

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 20: Gyroscopes**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 20: Gyroscopes**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-20:2014



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 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.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 20: Gyroscopes**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 20: Gyroscopes**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-1667-5

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Essential ratings and characteristics.....	6
4.1 Categorization of gyro.....	6
4.2 Absolute maximum ratings	7
4.3 Normal operating rating	8
4.4 Characteristics.....	8
5 Measuring methods	10
5.1 Scale factor	10
5.1.1 Purpose.....	10
5.1.2 Measuring circuit (circuit diagram).....	10
5.1.3 Measuring principle	12
5.1.4 Measurement procedures	21
5.1.5 Specified conditions.....	23
5.2 Cross axis sensitivity	24
5.2.1 Purpose.....	24
5.2.2 Measuring circuit (circuit diagram).....	24
5.2.3 Principle of measurement	25
5.2.4 Precautions to be observed during the measurements of the angular rate applied	27
5.2.5 Measurement procedures.....	27
5.2.6 Specified conditions.....	27
5.3 Bias	28
5.3.1 Purpose.....	28
5.3.2 Measuring circuit	28
5.3.3 Principle of measurement	30
5.3.4 Measurement procedures	35
5.3.5 Specified conditions.....	37
5.4 Output noise	38
5.4.1 Purpose.....	38
5.4.2 Measuring circuit	38
5.4.3 Principle of measurement	39
5.4.4 Precautions during measurement.....	40
5.4.5 Measurement procedures	40
5.4.6 Specified conditions.....	43
5.5 Frequency band.....	43
5.5.1 Purpose.....	43
5.5.2 Measuring circuit	43
5.5.3 Principle of measurement	45
5.5.4 Precautions during measurement.....	47
5.5.5 Measurement procedure	47
5.5.6 Specified conditions.....	49
5.6 Resolution	49
5.6.1 Purpose.....	49

5.6.2	Measuring circuit	49
5.6.3	Principle of measurement	49
5.6.4	Measurement procedures	50
5.6.5	Specified conditions.....	51
Annex A	(informative) Accuracy of measured value of gyro characteristics	52
A.1	General.....	52
A.2	Angle and angular rate.....	52
A.3	Example of angular deviation occurring after calibration.....	52
Bibliography		53
Figure 1	– Example of measuring circuit	11
Figure 2	– Example of wiring configuration.....	12
Figure 3	– Example of measurement data when the angular rate is applied	13
Figure 4	– Example of scale factor data at each temperature	15
Figure 5	– Example of relationship between scale factor and scale factor temperature coefficient at each temperature	16
Figure 6	– Example of measurement of ratiometric error for the scale factor	17
Figure 7	– Example measurement of scale factor stability	19
Figure 8	– Example of measurement of scale factor symmetry	20
Figure 9	– Measuring circuit for cross axis sensitivity.....	25
Figure 10	– Principle of measurement for cross axis sensitivity.....	26
Figure 11	– Measuring circuit 1 for bias	29
Figure 12	– Measuring circuit 2 for bias	30
Figure 13	– Example measurement of ratiometric error for bias	32
Figure 14	– Bias temperature sensitivity and bias hysteresis.....	34
Figure 15	– Bias linear acceleration sensitivity.....	35
Figure 16	– Output noise measuring system	39
Figure 17	– Example of wiring configuration for output noise.....	39
Figure 18	– Frequency power spectrums.....	40
Figure 19	– Angular random walk.....	41
Figure 20	– Bias instability and Allan variance curve.....	42
Figure 21	– Measuring circuit for frequency response	44
Figure 22	– Example of wiring configuration for frequency response	45
Figure 23	– Frequency response characteristics	46
Figure 24	– Gain peak response characteristics.....	46
Figure 25	– Calibration of frequency response	48
Table 1	– Categories of gyro	7
Table 2	– Absolute maximum ratings	7
Table 3	– Normal operating ratings	8
Table 4	– Characteristics	9
Table 5	– Specified condition for measurement of scale factor	23
Table 6	– Specified conditions for the measurement of bias.....	37
Table 7	– Specified condition for the measurement of frequency band	49
Table 8	– Specified condition for the measurement of resolution.....	51

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 20: Gyroscopes

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 62047-20 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC 47: Semiconductor devices.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47F/188/FDIS	47F/191/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62047 series, published under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication 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 62047-20:2014

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 20: Gyroscopes

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies terms and definitions, ratings and characteristics, and measuring methods of gyroscopes.

Gyroscopes are primarily used for consumer, general industries and aerospace applications. MEMS and semiconductor lasers are widely used for device technology of gyroscopes.

Hereafter, gyroscope is referred to as gyro.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

None

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

rotating table rate table

rotating tool on which a gyro is loaded during measurement

3.2

earth rate

angular rate generated in inertial space due to the rotation of the earth

Note 1 to entry: When the angular rate in inertial space is defined as stellar day 23 hours, 56 minutes, a reference of 4,098 903 691 seconds is obtained as specified by the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) and therefore, the angular rate of Earth in inertial space is approximately 15,04 °/h. For details of the definition, refer to the IERS website (<http://www.iers.org>).

3.3

scale factor

ratio of gyro output voltage or output digital signal versus the rotating angular rate being applied, described in unit: V/(°/s) or bit/(°/s)

4 Essential ratings and characteristics

4.1 Categorization of gyro

Table 1 shows uses of gyro categorized by application fields.

Table 1 – Categories of gyro

Category	Contents
1	primarily for consumer use where variations of bias are not specified
2	primarily for industrial use where designing with appropriate range of values of variations of bias
3	primarily for aerospace use where designing with detectable function of the earth rate

4.2 Absolute maximum ratings

Table 2 describes absolute maximum ratings of gyro.

The following items listed in the table shall be described in the specification, unless otherwise stated in the relevant procurement specifications. Stresses over these limits can be one of the causes of permanent damage to the devices.

Table 2 – Absolute maximum ratings

Item no	Absolute maximum ratings	Category			Specification			Unit	Remarks
		1	2	3	min	typ	max		
4.2.1	Storage temperature range	x	x	x	x		x	°C	
4.2.2	Operating temperature range	x	x	x	x		x	°C	
4.2.3	Storage humidity range							%	Moisture absorption management level (for example, see levels specified in Table 5-1 "Moisture Sensitivity Levels" of page 7 in IPC/JEDEC J-STD-020C, [1] ¹) for reflow soldering shall be specified. Those descriptions shall not be provided to devices applied with no reflow soldering process and/or hermetic seal packaging process.
4.2.4	Mechanical shock in operating state	x	x	x			x	m/s ²	Maximum limiting value of mechanical shock which does not cause permanent damage to devices under an appropriate operating state. Acceleration, times and wave forms shall be specified.
4.2.5	Mechanical shock in non operating state	x	x	x			x	m/s ²	Maximum limiting value of mechanical shock which does not cause permanent damage to devices under an appropriate non-operating state. Acceleration, times and wave forms shall be specified.
4.2.6	Mechanical vibration in operating state	x	x	x			x	m/s ²	Maximum limiting value of mechanical vibration acceleration and frequency which does not cause permanent damage to devices under an appropriate operating state.
4.2.7	Mechanical vibration in non operating state	x	x	x			x	m/s ²	Maximum limiting value of mechanical vibration acceleration and frequency which does not cause permanent damage to devices under an appropriate non-operating state.
4.2.8	Angular rate limit	x	x	x			x	°/s	Maximum limiting value of angular rate which does not cause permanent damage to devices under an appropriate operating state.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Item no	Absolute maximum ratings	Category			Specification			Unit	Remarks
		1	2	3	min	typ	max		
4.2.9	Angular acceleration limit	x	x	x			x	°/s ²	Maximum limiting value of angular acceleration which does not cause permanent damage to devices under an appropriate operating state.
4.2.10	Maximum supply voltage	x	x	x			x	V	Maximum limiting value of supply voltage which does not cause permanent damage to devices.
4.2.11	Maximum supply current						x	A	Maximum limiting value of supply current which does not cause permanent damage to devices. This limiting value shall be specified only for a kind of constant current driving devices.
NOTE x: mandatory, blank: optional									

4.3 Normal operating rating

Table 3 describes normal operating ratings of gyro.

The following items should be described in the specification, unless otherwise stated in the relevant procurement specifications. These conditions are recommended to keep specified characteristics in stable state during operations of applying devices.

Table 3 – Normal operating ratings

Item no.	Normal operating ratings	Category			Specification			Unit	Remarks
		1	2	3	min	typ	max		
4.3.1	Guarantee operating temperature range	x	x	x	x		x	°C	Recommended ranges of appropriate indexes of environmental conditions (such as conditions of electromagnetic environments, air pressure) specified as a specified minimum value to maximum value.
4.3.2	Guarantee operating humidity range	x	x	x			x	%	
4.3.3	Supply voltage range	x	x	x	x	x	x	V	
4.3.4	Current consumption	x	x	x			x	A	
4.3.5	Start up current			x			x	A	
4.3.6	Power supply ripple requirement			x			x	V _{pp}	
4.3.7	Other environmental condition				x		x		
4.3.8	Overload recovering time			x			x	s	Maximum value of overload recovering time in the range of measurement less than maximum rating.
NOTE x: mandatory, blank: optional									

4.4 Characteristics

Table 4 describes characteristics of gyro.

Table 4 – Characteristics

Item no	Characteristics	Category			Specification			Unit	Remarks
		1	2	3	min	typ	max		
4.4.1	Measurement range	x	x	x			x	°/s	Angular rate measuring range for guarantee of performance
4.4.2	Nominal scale factor	x	x	x		x		V/(°/s) or bit/(°/s)	Nominal scale factor is also called as standard sensitivity.
4.4.3	Initial scale factor variation		x	x	x		x	%	Minimum and maximum value of variation from standard sensitivity at a specified temperature
4.4.4	Scale factor variation with temperature or Temperature coefficient of scale factor		x	x	x		x	%	Minimum and maximum value of standard sensitivity under a specified variation in temperature
4.4.5	Ratiometric error for scale factor			x			x	%	Maximum value of error of sensitivity applying voltage fluctuation caused by operating instability of applying electric power supply
4.4.6	Linearity						x	%	
4.4.7	Scale factor stability	n		x		x			A typical value of stability of sensitivity under a specified definite input voltage value
4.4.8	Scale factor symmetry	n		x		x			A typical value of asymmetry of sensitivity defined as a ratio of the sensitivity applying plus value of a specified input voltage to minus value of a specified input voltage, see 5.1.3.8.
4.4.9	Cross axis sensitivity			x			x	%	Maximum value of sensitivity of cross axis (see 5.2.3 Principle of measurement).
4.4.10	Nominal bias	x	x	x		x		V or bit	Typical value of bias voltage or bit value under an appropriate applying input voltage value
4.4.11	Initial bias variation			x	x		x	°/s	Minimum and maximum value of bias under a specified temperature
4.4.12	Bias variation with temperature or Temperature coefficient of bias			x	x		x	°/s	Minimum and maximum value of standard bias under a specified variation in temperature
4.4.13	Ratiometric error for bias			x			x	V	Maximum value of error of bias applying voltage fluctuation caused by operating instability of applying electric power supply. No description is required for digital output case.
4.4.14	Bias repeatability (switch on to switch off)			x	x		x	°/s	Minimum value and maximum value of bias fluctuation of each period during a switching on state to a switching off state
4.4.15	Bias hysteresis			x			x	°/s	Maximum value of hysteresis of bias under a specified variation in temperature
4.4.16	Linear g sensitivity			x			x		Maximum value of changed bias value under operating conditions of a specified constant acceleration value, expressed in comparison with $g((^{\circ}/s)/g)$

Item no	Characteristics	Category			Specification			Unit	Remarks
		1	2	3	min	typ	max		
4.4.17	Bias drift after power on			x			x	°/s	Maximum value of drift of bias during turned on state of applying electric power supply
4.4.18	In-band noise			x			x	°/s	In-band output noise at stable state operation, described with RMS
4.4.19	Broadband noise			x			x	°/s	Broadband output noise at stable state operation, described with RMS
4.4.20	Angular random walk			x			x	°/√h or (°/h)/√Hz	Output variation of gyroscope due to noise, described with RMS
4.4.21	Bias instability			x			x	°/s	Described with RMS
4.4.22	Start up time			x			x	s	Time required for the gyro output to reach the specified output after power on
4.4.23	Frequency band	x	x	x	x			Hz	Frequency response characteristics
4.4.24	Gain peak						x	dB	Maximum value of gain of frequency characteristics under a specified frequency. Describe with a specified value of the frequency (Hz).
4.4.25	Resolution			x	x			°/s	Detectable minimum change in the input angular rate
NOTE x: mandatory, blank: optional, n: unnecessary									

5 Measuring methods

5.1 Scale factor

5.1.1 Purpose

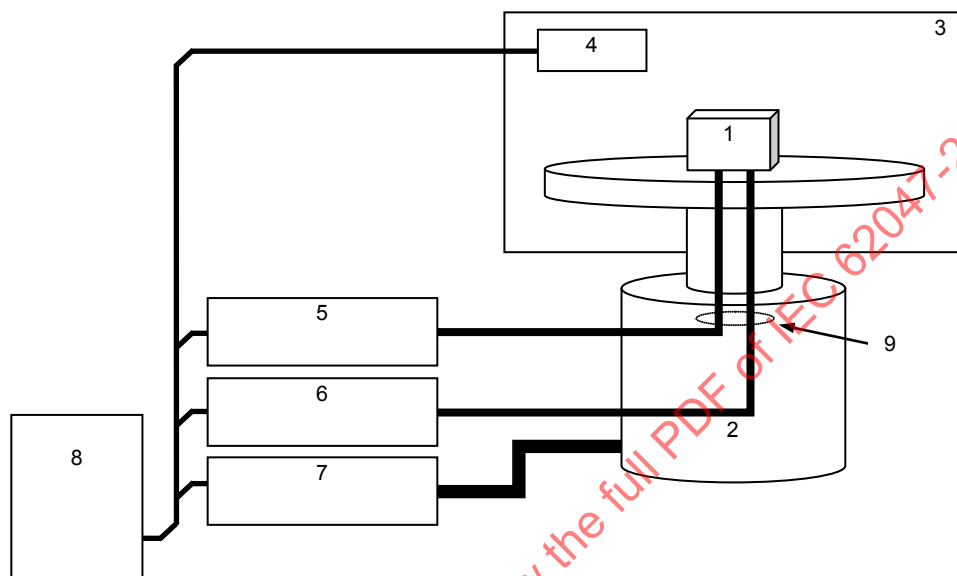
To specify measuring method relating to scale factor in gyro.

5.1.2 Measuring circuit (circuit diagram)

Figure 1 shows an example of composition of the sensitivity measuring circuit and Figure 2 shows an example of wiring configuration. The measuring circuit is composed of the gyro to be measured and the devices listed below. Components to apply in the measuring circuit shall satisfy the points described below.

- Temperature controlled chamber: This should be capable of maintaining the gyro at a specified ambient temperature. Furthermore, the temperature control range should be wider than the operating temperature range of gyro.
- Temperature sensor: This should be capable of measuring the temperature in the temperature controlled chamber. A temperature sensor provided in advance in the temperature controlled chamber can be used.
- Power supply for gyro: This should be capable of supplying the voltage and current required by gyro. The fluctuating range for ripple voltage on the output should meet the gyro requirements in the supplying state.
- Data acquisition system: Measuring device or measuring system adjusted to the output configuration of gyro. For example, a digital multimeter or data logger is used if gyro output is analogue voltage.

- Rotating table control device: Control device which controls the input angular rate given to the rating table. This table is given an angular rate of rotation that is not less than the detection range of gyro, and that is capable of accommodating changes in the angular rate corresponding to the minimum resolution. See Annex A for measurement accuracy of the rotating table.
- Measuring system controller: An overall system for automatic control of the power supply, gyro, data acquisition system and rotating table control device. This is not required for manual operation.
- Slip ring: It should be noted that the slip ring can be a source of noise generation.

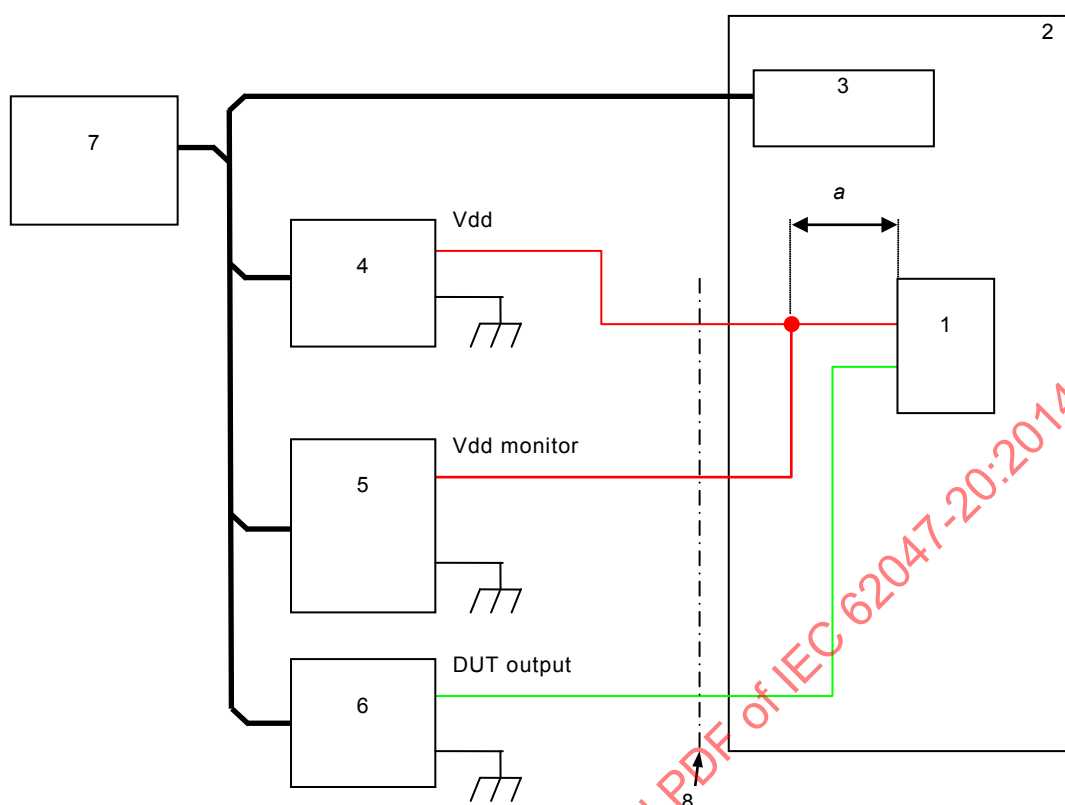


IEC 2054/14

Key

- | | |
|---|---|
| 1 | DUT, a piece of gyro |
| 2 | rate table |
| 3 | temperature controlled chamber, to keep a specified temperature value of DUT |
| 4 | temperature sensor, to monitor environmental temperature in a chamber |
| 5 | power supply to operate DUT |
| 6 | data logger, to obtain data during the measurement |
| 7 | controller for rate table, to set up a specified rotating condition of the rate table |
| 8 | control system, to control the measuring circuit during the measurement |
| 9 | slip ring |

Figure 1 – Example of measuring circuit



IEC 2055/14

Key

- 1 DUT, a piece of gyro
- 2 temperature controlled chamber, to keep a specified temperature value of DUT
- 3 thermometer, to monitor environmental temperature in a chamber
- 4 power supply, to supply electric power to operate DUT
- 5 monitor for power supply
- 6 data logger, to obtain data during the measurement
- 7 control system
- 8 slip ring position (when slip ring used)
- a length from power supply feedback position to gyro supply terminal position (the length of wiring should preferably be as short as possible)
- Vdd voltage of power supply
- Vdd Monitor
- DUT output output of DUT (gyro)

Figure 2 – Example of wiring configuration

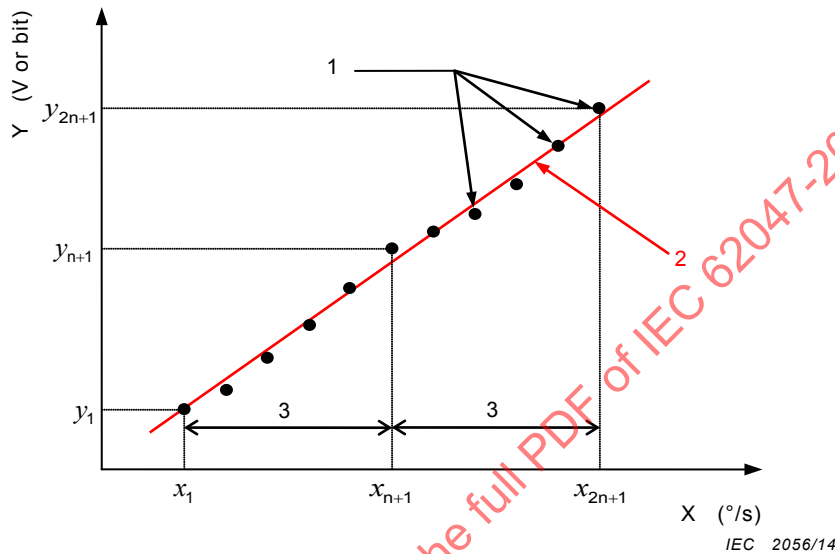
5.1.3 Measuring principle

5.1.3.1 Scale factor

In the measuring circuit shown in Figure 1, while gyro is under conditions of a specified measuring temperature T_{BASE} (specified temperature provided as a medium value between a specified minimum operating temperature and maximum operating temperature, see Figure 4) and a specified supply voltage V_{BASE} , rotating angular rate of $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$, which divides lower and higher half detection range of gyro into n -distribution such as $x_1, x_2, \dots, x_n$ (preferably $n \geq 5$) are applied, and corresponding output values of signal of $y_1, y_2, \dots, y_{2n+1}$ measured in unit of $V/(\text{°/s})$ or $\text{bit}/(\text{°/s})$ of this detection input angular rate.

Furthermore, although the manufacturer can specify the value of n , it can be changed as necessary based on specifications agreed between a manufacturer and its user.

Figure 3 shows an example of the measurement data. Abbreviated symbols of CCW and CW in the figure show the left rotation (counter clockwise) and right rotation (clockwise), respectively. (In Figure 3, it is equally divided by $n = 5$ and a total of 11 points of data are shown including the stationary state). A scale factor is obtained by calculations from these points. However, since acquired data are not on a straight line as represented by Figure 3, a straight line on which the sum of squares becomes minimum is obtained by calculation (this straight line is referred to hereafter as the best fit line).



Key

- 1 points of measurement data at the applied angular rate value
- 2 best fit line
- 3 divided in specified intervals of " n "
- X x-axis, input angular rate in unit of $^{\circ}/s$
- x_1 CCW maximum detection
- x_{n+1} stationary state
- x_{2n+1} CW maximum detection input angular rate
- Y y-axis, gyro output signal in unit of V or bit
- y_1 CCW side maximum output value
- y_{n+1} output value at stationary state
- y_{2n+1} CW side maximum output value

Figure 3 – Example of measurement data when the angular rate is applied

Here, the gyro output value at each measuring point is represented by " y_i " and the angular rate to be input to gyro is represented by " x_i ". Constants of the best fit line " $y = a_{\text{BASE}} \times x + b_{\text{BASE}}$ " are then obtained as follows:

$$a_{\text{BASE}} = \frac{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i y_i - \sum_{i=1}^{2n+1} x_i \sum_{i=1}^{2n+1} y_i}{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (1)$$

$$b_{\text{BASE}} = \frac{\sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 \sum_{i=1}^{2n+1} y_i - \sum_{i=1}^{2n+1} x_i y_i \sum_{i=1}^{2n+1} x_i}{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (2)$$

Inclination “ a_{BASE} ” of the best fit line on this occasion is the scale factor under the conditions of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” and reference supply voltage “ V_{BASE} ”.

5.1.3.2 Initial scale factor variation

This shows the amount of variation between the scale factor “ a_{BASE} ” and the nominal scale factor (standard value of scale factor) “ a_{TYP} ” of its gyro under the conditions of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” and reference supply voltage “ V_{BASE} ” of gyro.

Here, initial scale factor variation “ $S_{\text{F,VAR,BASE}}$ ” is obtained as follows:

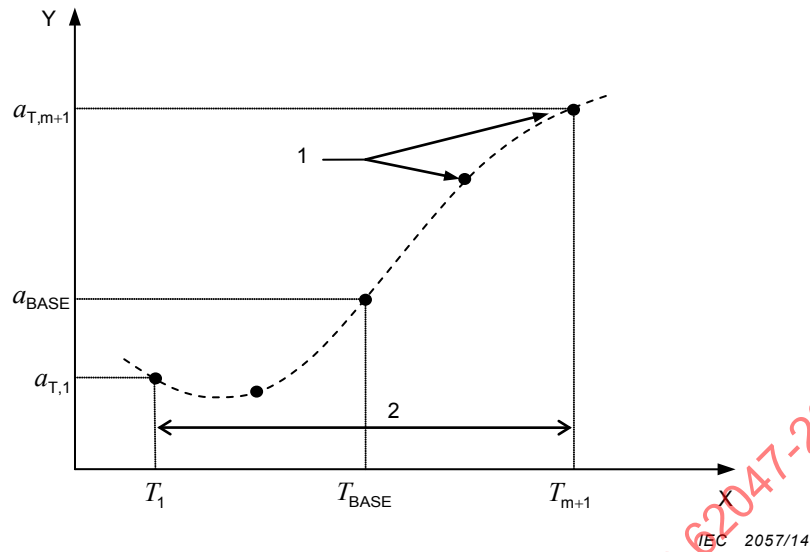
$$S_{\text{F,VAR,BASE}} = \frac{a_{\text{BASE}} - a_{\text{TYP}}}{a_{\text{TYP}}} \quad (3)$$

5.1.3.3 Scale factor variation with temperature

When the operating temperature range of gyro into m -distribution of $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ (preferably $m \geq 4$) under the condition of reference supply voltage “ V_{BASE} ” of gyro, and the scale factor obtained at each temperature values of “ $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ ” is expressed by “ $a_{T1}, a_{T2}, \dots, a_{Tm+1}$ ”, respectively, the amount of variation between these values and “ a_{BASE} ” represents the temperature error at that temperature.

Furthermore, although the manufacturer can specify the value of m , it can be changed as necessary based on specifications agreed between a manufacturer and its user.

Figure 4 shows an example of scale factor data. (In Figure 4, it is equally divided by $m = 4$ and one with $m = 3$ is considered to be the reference measurement temperature).

**Key**

- 1 scale factor value at each temperature
- 2 divided in m -segments
- X x-axis: gyro environment temperature
- T_1 lower operating temperature
- T_{BASE} reference measurement temperature
- T_{m+1} maximum operating temperature
- Y y-axis: gyro scale factor value
- $a_{T,1}$ scale factor value at minimum operating temperature
- a_{BASE} scale factor value at reference measurement temperature
- $a_{T,m+1}$ scale factor value at maximum operating temperature

Figure 4 – Example of scale factor data at each temperature

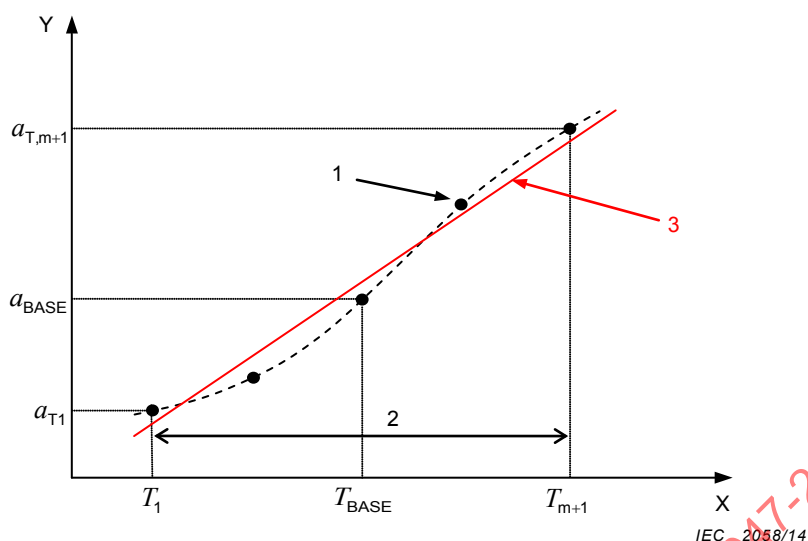
Here, when the scale factor at temperature " T_i " is represented by " $a_{T,i}$ ", the scale factor variation with temperature " $S_{F,VAR,Ti}$ " is obtained as follows:

$$S_{F,VAR,Ti} = \frac{a_{T,i} - a_{BASE}}{a_{BASE}} \quad (4)$$

The above calculation is carried out for each of the temperatures " $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ " and the value " $S_{F,VAR,Ti}$ " obtained is the scale factor variation with temperature value at that temperature " T_i ".

5.1.3.4 Temperature coefficient for scale factor

The amount of inclination of temperature change for scale factor variation with temperature under the condition of reference supply voltage " V_{BASE} " of gyro becomes the temperature coefficient for the scale factor. Figure 5 shows an example.



Key

- 1 scale factor value at each temperature
- 2 divided in m -segments
- 3 best fit line (Temperature coefficient = $T_{c,SF}$)
- X x-axis: gyro environment temperature
- T_1 minimum operating temperature
- T_{BASE} reference measurement temperature
- T_{m+1} maximum operating temperature
- Y y-axis: gyro scale factor value
- $a_{T,1}$ scale factor value at minimum operating temperature
- a_{BASE} scale factor value at reference measurement temperature
- $a_{T,m+1}$ scale factor value at maximum operating temperature

Figure 5 – Example of relationship between scale factor and scale factor temperature coefficient at each temperature

For " $a_{T,1}, a_{T,2}, \dots, a_{T,m+1}$ " obtained by the method shown in 5.1.3.3, the straight line, best fit line " $y = T_{c,SF} \times x + c$ " on which the sum of squares becomes minimum is obtained.

$$T_{c,SF} = \frac{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i a_{Ti} - \sum_{i=1}^{m+1} T_i \sum_{i=1}^{m+1} a_{Ti}}{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m+1} T_i \right)^2} \quad (5)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 \sum_{i=1}^{m+1} a_{Ti} - \sum_{i=1}^{m+1} T_i a_{Ti} \sum_{i=1}^{m+1} T_i}{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m+1} T_i \right)^2} \quad (6)$$

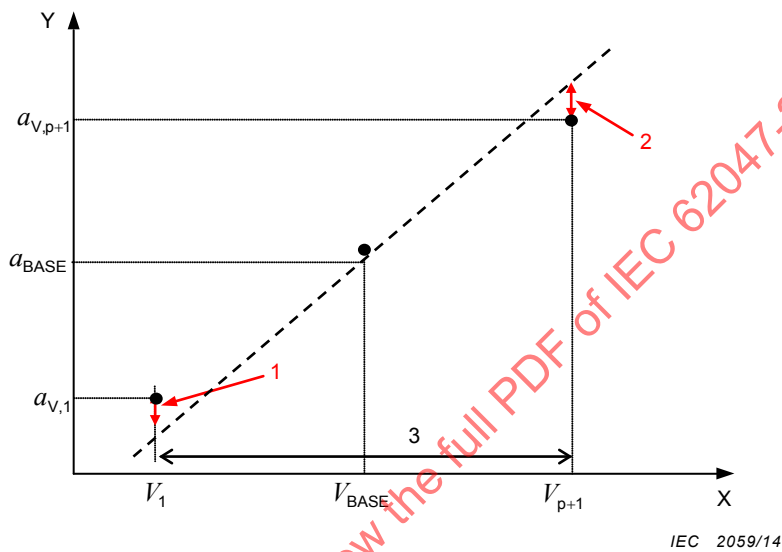
Inclination $T_{c,SF}$ of the best fit line on this occasion is the temperature coefficient for the scale factor.

5.1.3.5 Ratiometric error for scale factor

When the operating power voltage range of gyro is divided in p -distribution (preferably $p \geq 2$) under the condition of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” of gyro, the scale factor at each power voltage “ $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ ” becomes “ $a_{V,1}, a_{V,2}, \dots, a_{V,p+1}$ ” respectively.

Here, although the manufacturer can specify the value of p , it can be changed as necessary based on discussions between the user and manufacturer.

Figure 6 shows an example of ratiometric error for scale factor data. (In Figure 6, it is equally divided by $p = 2$ and one with $p = 2$ is considered to be the reference supply voltage).



Key

- 1 ratiometric error amount (R_{error,V_1})
- 2 ratiometric error amount ($R_{\text{error},V_{p+1}}$)
- 3 divided in p -segments
- X x-axis: gyro operating voltage
- V_1 operating voltage lower limit
- V_{BASE} reference supply voltage
- V_{p+1} operating voltage upper limit
- Y y-axis: gyro scale factor value
- $a_{V,1}$ scale factor value at operating voltage lower limit
- a_{BASE} scale factor value at reference supply voltage
- $a_{V,p+1}$ scale factor value at operating voltage upper limit

Figure 6 – Example of measurement of ratiometric error for the scale factor

In this case, ratiometric error for the scale factor “ R_{error,V_i} ” is obtained as follows:

$$R_{\text{error},V_i} = \frac{\left| a_{V_i} - (a_{\text{BASE}}) \times \left(\frac{V_i}{V_{\text{BASE}}} \right) \right|}{a_{\text{BASE}}} \quad (7)$$

The above-shown calculation is carried out for each of voltages “ $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ ” and the value “ R_{error,V_i} ” obtained is the ratiometric error for the scale factor value at the voltage “ V_i ”.

5.1.3.6 Linearity

This is a value showing the amount of variation between the measured output data and the values on the best fit line under the conditions of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” and reference supply voltage “ V_{BASE} ” of gyro in accordance with 5.1.3.1.

The linearity error “ $L_{\text{error},i}$ ” at a specified angular rate is obtained as shown below, when a certain angular rate “ x_i ” is added and the gyro output value is represented by “ y_i ”, the value is obtained from the best fit line by “ $a_{\text{BASE}} \times x_i + b_{\text{BASE}}$ ” and the gyro detection range is represented by “ F_{ullScale} ”.

$$L_{\text{error},i} = \frac{|y_i - (a_{\text{BASE}} \times x_i + b_{\text{BASE}})|}{F_{\text{ullScale}}} \quad (8)$$

Here, the case of Figure 3 is considered,

$$F_{\text{ullScale}} = y_{\text{MAX,CW}} - y_{\text{MAX,CCW}} = y_{2n+1} - y_1 \quad (9)$$

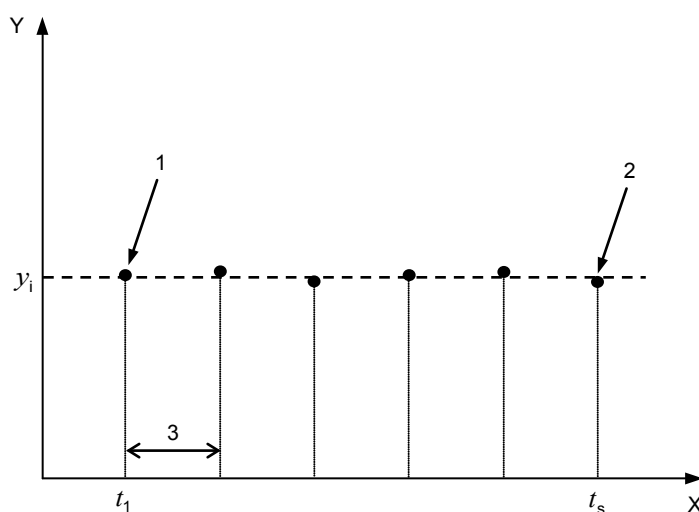
The above-shown calculation is carried out for each of measuring points “ $y_1, y_2, \dots, y_{2n+1}$ ”. “ $L_{\text{error},i}$ ” obtained is the linearity error value at that rotating angular rate y_i .

5.1.3.7 Scale factor stability

This shows the amount of stability while gyro is rotating continuously at a constant angular rate under the condition of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” and reference supply voltage “ V_{BASE} ” of gyro. Rotating angular rate “ x_i ” (x_i is the angular rate of either of $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$) is given while the detection range of gyro is divided in q -segments, and output value “ y_i ” (y_i is one output of $y_1, y_2, \dots, y_{q+1}$) is measured continuously with constant sampling time “ r ” during sampling number “ s ”. (Therefore, measuring time is expressed by $r \times s$).

Here, although the manufacturer can specify the values of “ q ”, “ r ” and “ s ”, they can be changed as necessary based on discussions between the user and manufacturer.

Figure 7 shows an example of measurement data for scale factor stability. (Figure 7 is an explanatory drawing showing output stability at input angular rate x_i).



IEC 62047-20:2014

Key

- 1 output at start ($y_{i,1}$)
- 2 output at measurement completion ($y_{i,s}$)
- 3 sampling time
- X x-axis: time elapsed
- t_1 measurement start time
- t_s measurement completion time
- Y y-axis: gyro output value
- y_i gyro output value under constant angular rate

Figure 7 – Example measurement of scale factor stability

When groups of data of gyro output values at input angular rate “ x_i ” are represented by “ $y_{i,1}$ ”, “ $y_{i,2}$, $y_{i,3}$, ... $y_{i,s}$ ”, and the detection range is represented by “ $F_{ullScale}$ ”, stability “ δ_i ” of these values is obtained as follows:

$$\delta_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^s (y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{s}}}{F_{ullScale}} \quad (10)$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{s} \times \sum_{j=1}^s y_{i,j} \quad (11)$$

Here, Figure 3 case is taken into account. Then,

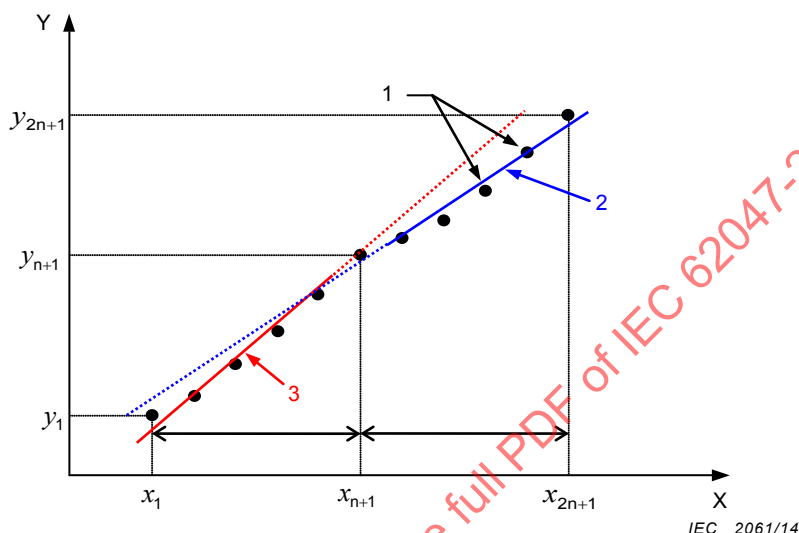
$$F_{ullScale} = y_{MAX,CW} - y_{MAX,CCW} = y_{2n+1} - y_1 \quad (12)$$

is obtained.

The above-shown calculation is carried out for rotating angular rate “ $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ ” to be set. Value δ_i obtained is the scale factor stability value at that rotating angular rate “ x_i ”. Furthermore, this measurement is not applicable to the stationary state.

5.1.3.8 Scale factor symmetry

This is a value showing the difference in scale factor values obtained when the best fit line is calculated while measured output data are separated into CW (right turning) and CCW (left turning) under the conditions of reference measurement temperature “ T_{BASE} ” and reference supply voltage “ V_{BASE} ” of gyro in accordance with 5.1.3.1.



Key

- 1 group of measurement data when angular rate is applied
- 2 best fit line (CW)
- 3 best fit line (CCW)
- X x-axis: input angular rate
- x_1 CCW maximum detection input angular rate
- x_{n+1} resting state
- x_{2n+1} CW maximum detection input angular rate
- Y y-axis: gyro output signal
- y_1 CCW side maximum output value
- y_{n+1} resting state output value
- y_{2n+1} CW side maximum output value

Figure 8 – Example of measurement of scale factor symmetry

Here, taking Figure 8 case as an example, the best fit line of CW and CCW is represented by “ $y_i = a_{CW} \times x_i + b_{CW}$ ” and “ $y_i = a_{CCW} \times x_i + b_{CCW}$ ”, respectively. They are then obtained as follows:

$$a_{CW} = \frac{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i y_i - \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \sum_{i=n+2}^{2n+1} y_i}{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (13)$$

$$b_{CW} = \frac{\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 \sum_{i=n+2}^{2n+1} y_i - \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i y_i \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i}{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (14)$$

$$a_{CCW} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (15)$$

$$b_{CCW} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (16)$$

The measurement data “ y_{n+1} ” in stationary state is not used for this calculation.

For scale factor “ a_{CW} ” and “ a_{CCW} ” of CW and CCW thus obtained, symmetry error “ $S_{Y,error}$ ” is calculated by the following equation:

$$S_{Y,error} = \frac{|a_{CW} - a_{CCW}|}{a_{TYP}} \quad (17)$$

5.1.4 Measurement procedures

5.1.4.1 Scale factor

Measurement procedures of scale factor in temperature “ T_i ” and supply voltage “ V_i ” is shown hereunder. For scale factor variation with temperature and ratiometric error for scale factor, measurement is taken while the temperature and voltage are changed according to the procedures same as those shown below, and calculation is made from the result of the measurement.

a) Supply voltage

Voltage “ V_i ” is applied to gyro. Voltage drop due to wirings is also conceivable in this case. Therefore, power supply line and voltage monitoring line are wired separately as shown in Figure 2 and it should be checked if the output value of the voltage monitoring line agrees with the target voltage.

b) Temperature setting

Gyro on the rotating table is exposed to the temperature “ T_i ” to be measured. Gyro on the rotating table should be left in the temperature controlled chamber at the very least till it reaches the set temperature.

c) Voltage readjustment

It is probable that the set power voltage varies slightly due to time elapsed or changes in consumption current at temperature setting mentioned above. Therefore, the voltage should be adjusted again after gyro reached the set temperature.

In this case, it is probable that the voltage cannot be set accurately to the set point (e.g., 4,999 8 V for set voltage of 5,000 0 V) and therefore, the voltage actually supplied should be recorded.

d) Confirmation of output

After confirming that the output of gyro in resting state is stable, rotating angular rate is given as shown in 5.1.3.1 and output on this occasion is measured.

e) Normalization of output

When gyro has the ratiometric characteristics, in order to minimize faint error due to power voltage (e.g., error due to the fact that supply voltage at measurement is 4,999 8 V against set voltage 5,000 0 V), output value actually measured should be normalized considering that the measured output functions in ratiometric fashion along with theoretical value.

Here, output value actually measured is represented by " $y_{\text{RAW},i}$ ", set voltage by " V_{BASE} ", and supply voltage is represented by " V_i ", and output corrected value " y_i " is expressed by the following equation:

$$y_i = y_{\text{RAW},i} \times \frac{V_{\text{BASE}}}{V_i} \quad (18)$$

f) Calculation of each data

Each data is obtained by calculation based on the equations shown in 5.1.3.1. Items other than scale factor stability can be obtained by changing the temperature and voltage.

5.1.4.2 Scale factor stability

Measurement procedures of scale factor stability at temperature " T_i " and supply voltage " V_i " are shown hereunder.

a) Supply voltage

See 5.1.4.1 a).

b) Temperature setting

See 5.1.4.1 b).

c) Voltage readjustment

See 5.1.4.1 c).

d) Confirmation of output

After confirming that the output of gyro in resting state is stable, rotating angular rate is given as shown in 5.1.3.7 and output on this occasion is measured.

e) Normalization of output

When gyro has the ratiometric characteristics, in order to minimize faint error due to power voltage (e.g., error due to the fact that supply voltage at measurement is 4,9998 V against set voltage 5,0000 V), output value actually measured should be normalized considering that the measured output functions in ratiometric fashion along with theoretical value.

Here, output value actually measured is represented by " $y_{\text{RAW},i,j}$ ", set voltage by " V_{BASE} ", and supply voltage is represented by " V_i ", and output corrected value " $y_{i,j}$ " is expressed by the following equation:

$$y_{i,j} = y_{\text{RAW},i,j} \times \frac{V_{\text{BASE}}}{V_i} \quad (19)$$

f) Calculation of each data

Each data is obtained by calculation based on the equations shown in 5.1.3.7.

5.1.5 Specified conditions

Table 5 describes measurement condition parameters which should be determined prior to the measurement.

Table 5 – Specified condition for measurement of scale factor

Item No.	Measuring item	Parameter	Supplemental explanations
5.1.3.1	Scale factor	Reference measurement temperature: T_{BASE} Reference supply voltage: V_{BASE} Measured angular rate: $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$	Angular rate of " $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ " in Figure 3 Therefore, data as many as " $2n+1$ " are necessary for calculation of scale factor.
5.1.3.2	Initial scale factor variation	Reference measurement temperature: T_{BASE} Reference supply voltage: V_{BASE}	
5.1.3.3	Scale factor variation with temperature	Reference supply voltage: V_{BASE} Measurement temperature: $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$	Temperature value of " $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ " in Figure 4 Data of as many as " $2n+1$ " points are necessary for calculation of scale factor at each temperature. Therefore, for calculation of scale factor variation with temperature, data as many as $(2n+1) \times (m+1)$ are necessary.
5.1.3.4	Temperature coefficient for scale factor	Reference supply voltage: V_{BASE} Measurement temperature: $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$	Same as those of item 5.1.3.3
5.1.3.5	Ratiometric error for scale factor	Reference measurement temperature: T_{BASE} Measurement voltage: $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$	Measurement voltage value of " $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ " in Figure 6 Data of as many as " $2n+1$ " points are necessary for calculation of scale factor at each temperature. Therefore, for calculation of ratiometric error for scale factor, data as many as $(2n+1) \times (p+1)$ are necessary.
5.1.3.6	Linearity	Reference measurement temperature: T_{BASE} Reference supply voltage: V_{BASE} Measurement angular rate: " $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ "	Same as those of item 5.1.3.1
5.1.3.7	Scale factor stability	Reference measurement temperature: T_{BASE} Reference supply voltage: V_{BASE} Measurement angular rate: " $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ " Sampling frequency: r Number of times of sampling: s	For measurement conditions of sampling frequency and number of times of sampling and for stability calculation at each angular rate of " $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ " to be measured, data of " s " points are necessary. Therefore, data as many as $s \times (q+1)$ are necessary for calculation of scale factor stability.

Item No.	Measuring item	Parameter	Supplemental explanations
5.1.3.8	Scale factor symmetry	Reference measurement temperature: T_{BASE} Reference supply voltage: V_{BASE} Measurement angular rate: " $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ " (However, x_{n+1} "rest point" is excluded).	Angular rate value of " $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ " in Figure 8 (however, x_{n+1} "rest point" is excluded). Therefore, data as many as "2n" are necessary for calculation of scale factor symmetry.

5.2 Cross axis sensitivity

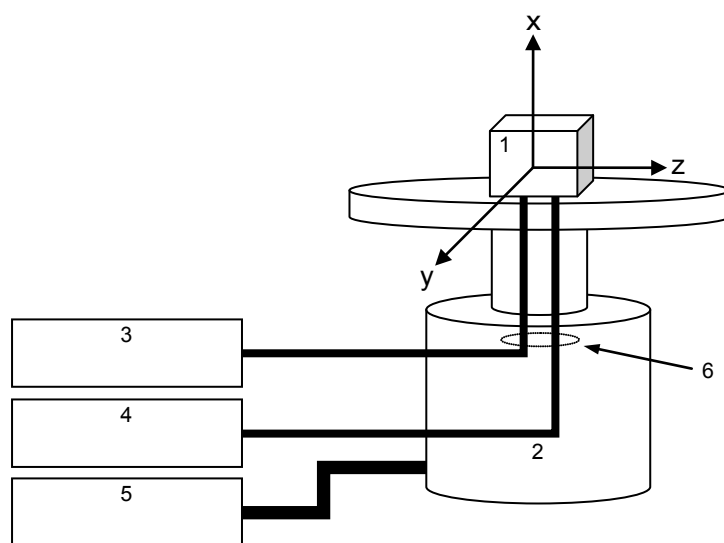
5.2.1 Purpose

To specify the measuring method related to cross axis sensitivity in gyro.

5.2.2 Measuring circuit (circuit diagram)

Figure 9 shows a measuring circuit for cross axis sensitivity. The measuring circuit is composed of the gyro to be measured, power supply, rotating table, data logger system, and wiring. Components to apply in the measuring circuit shall satisfy the points described below.

- Power supply shall be able to supply a specified voltage and electric current required by the gyro (DUT) and the fluctuating range for ripple voltage on the output, etc. should meet the gyro requirements in the supplying state.
- Rate table part of rotating system shall have capabilities to apply a specified rotating angular rate for the gyro, and should be able to vary input angular rate of the gyro within an appropriate range that is equivalent to a specified minimum resolution value of the angular rate. Moreover, in case of measurement of cross axis sensitivity, specified value of angular rate should apply to the gyro continuously. So supply of a specified electric power and detection of electric output signal should be provided appropriately through slip ring(s). Slip ring(s) should be used with any influence of the noise to detection.
- Controller shall be able to control specified ranges of input angular rate of the gyro by controlling rotation of the rotating table.
- Data logger system shall be a kind of measuring tool or measuring system adjusted to the output mode of gyro. For example, a digital multimeter or data logger is used if the gyro output is voltage (analogue).
- Wiring shall be connected by cables for electrical connection of the power supply, gyro, and data logger system. Pass of the measurement wiring shall be performed as an appropriate pass to minimize influence generated by inside of the measuring system and interfering noises from outside of the system.



IEC 2062/14

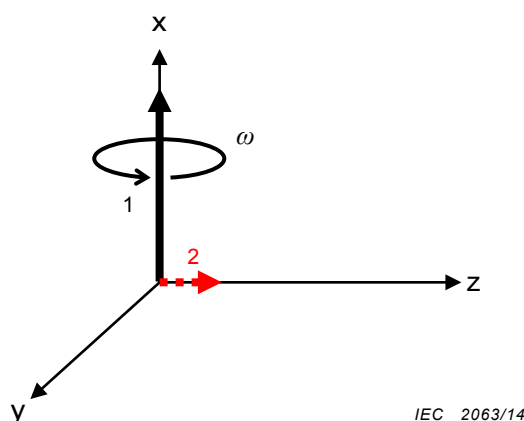
Key

- 1 DUT (gyro)
- 2 rate table
- 3 power supply for DUT (gyro)
- 4 data logger
- 5 rate table controller
- 6 slip ring position (when slip ring used)
- x x-axis: DUT (gyro) non detection axis
- y y-axis: DUT (gyro) non detection axis
- z z-axis: DUT (gyro) detection axis

Figure 9 – Measuring circuit for cross axis sensitivity**5.2.3 Principle of measurement**

The definition of cross axis sensitivity is as follows:

Figure 10 shows the case when angular rate ω is applied around the x-axis and cross axis sensitivity is defined to be the gyro output angular rate divided by the applied angular rate.



Key

- | | |
|---|--|
| 1 | applied angular rate (gyro non-detection axis) |
| 2 | gyro output angular rate |
| x | x-axis: DUT(gyro) non detection axis |
| y | y-axis: DUT (gyro) non detection axis |
| z | z-axis: DUT (gyro) detection axis |

Figure 10 – Principle of measurement for cross axis sensitivity

Considering the definitions described above, the basic principle of measurement is provided as follows:

In here, to provide a simplified principle of measurement for cross axis sensitivity, an example of principle of measurement of one axis sensitivity of the gyro involving its input axis is provided as follows.

The reference axis of the three orthogonal axes defined by a mechanistic chassis or gyro case, is set as the reference axis of the gyro, and the angular rate is applied to each of the axes which should be defined as non-detection axes, then, to measure the gyro output.

For example, as shown in Figure 9 and Figure 10, gyro having an input axis in the z-direction of the chassis is mounted to the rotating table, then the angular rate is applied around the x-axis to measure the gyro output $O_{ut,x}$.

Similarly, the angular rate is applied around the y-axis to measure the gyro output, $O_{ut,y}$ and the cross axis sensitivity is calculated according to the following equation.

$$\omega_x = (O_{ut,x} \times S_F) \quad (20)$$

$$\omega_y = (O_{ut,y} \times S_F) \quad (21)$$

$$K_x = \omega_x / \omega \quad (22)$$

$$K_y = \omega_y / \omega \quad (23)$$

where

- | | |
|------------|--|
| ω_x | angular rate output when angular rate is applied to x-axis |
| ω_y | angular rate output when angular rate is applied to y-axis |
| $O_{ut,x}$ | measurement data when angular rate is applied to x-axis |

$O_{ut,y}$	measurement data when angular rate is applied to y-axis
S_F	scale factor
K_x	cross axis sensitivity when angular rate is applied to x-axis
K_y	cross axis sensitivity when angular rate is applied to y-axis
ω	applied angular rate

The cross axis sensitivity can be determined by the measurements shown above.

5.2.4 Precautions to be observed during the measurements of the angular rate applied

- The axial runout of the rotating table, orthogonal accuracy of the gyro mounting fixture and accuracy of the gyro mounting plane shall be sufficiently smaller ($\leq 0,1, \dots, 0,2$) than the cross axis sensitivity to be measured;
- In general, applied angular rate shall not exceed the absolute maximum rating of gyro;
- To assure more accurate measurement of cross axis sensitivity and/or, for better understanding, the following considerations should be taken into account prior to measure; for example, if the angular rate output stability of gyro is $0,5 \text{ }^\circ/\text{s}$ and measurement range is $200 \text{ }^\circ/\text{s}$, it can be determined that the output is generated by cross axis sensitivity when the measured output is greater than double ($1 \text{ }^\circ/\text{s}$) of the gyro stability. In this case, therefore, a significant measurement of cross axis sensitivity is possible as “ $1 \text{ }^\circ/\text{s}$ output measurement when $200 \text{ }^\circ/\text{s}$ is applied”. (Around $1/200 = 0,5 \text{ } \%$ is obtained when converted to cross axis sensitivity).
- When this cross axis sensitivity is used for the correction or compensation of the measurement, it is recommended that polarity and other relevant factors be adjusted by agreement between the manufacturer and user.

5.2.5 Measurement procedures

Measurement procedures for cross axis sensitivity of gyro are shown below. These are applicable similarly to measurement procedures of gyro having the plurality of the input axes.

- a) Mount the gyro to the rotating table to apply the angular rate to the non-detection axis: orthogonal to the input axis.
- b) Supply a specified value of voltage to DUT (gyro) by applying an appropriate electrical power source, then turn on the DUT to a specified turning on state.
- c) Apply the angular rate around the non-detection axis set described in the procedure step a).
- d) Measure the gyro output while the angular rate is applied.
- e) Switch off the electric power supply not to supply any voltage, and mount the gyro to the rotating table so that the angular rate can be applied to the other non-detection axis: orthogonal to both the axis set described in the procedure step a) and the input axis.
- f) Supply a specified value of voltage to DUT (gyro) by applying an appropriate electrical power source, then turn on the DUT to a specified turning on state and apply the angular rate around the non-detection axis set described in the procedure step e).
- g) Measure the gyro output while the angular rate is applied. Then, switch off the gyro and the measurement system.
- h) By using the results of the procedure steps d) and g), obtain the cross axis sensitivity according to the method specified in the principle of measurement.

5.2.6 Specified conditions

- Angular rate value applied to the DUT;
- Operating temperature value under measurement procedures;
- Voltage value applied to the DUT.

5.3 Bias

5.3.1 Purpose

To specify measuring methods for each item in gyro related to bias.

5.3.2 Measuring circuit

5.3.2.1 General

Figures 11 and 12 show measuring circuits 1 and 2 respectively along with the composition of the measuring device. Measuring circuit 2 is used for measurements of bias linear acceleration sensitivity shown in 5.3.3.8, and measuring circuit 1 is used for measurements of other bias related items.

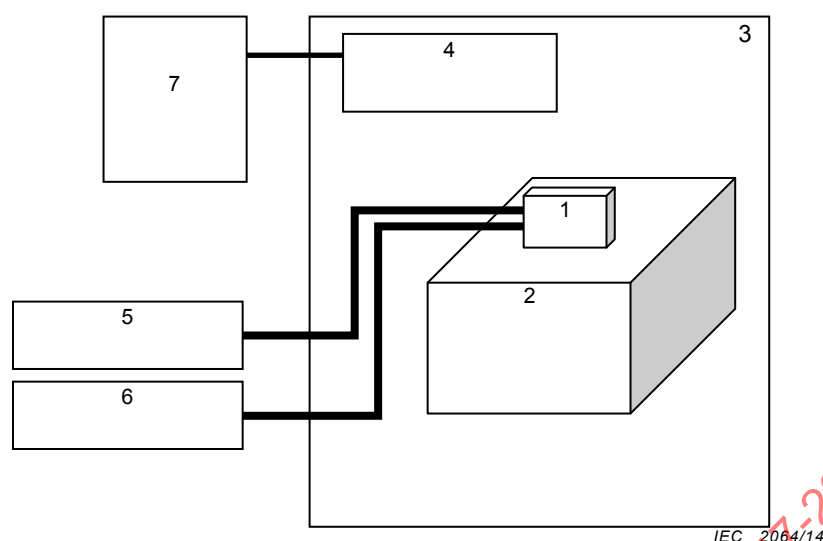
5.3.2.2 Measuring circuit 1

Figure 11 shows measuring circuit 1 for bias that consists of the gyro to be measured, power supply, fixed table, data acquisition system, and temperature controlled chamber (including temperature sensor). Components to apply in the measuring circuit shall satisfy the points described below.

- Fixed table: A device capable of securely fixing the gyro, installed under conditions free of external factors such as vibration, and is capable of directing the input axis of the gyro in a specified direction. Construction to allow for input angular rate is not required.

NOTE Provision for input axis direction is to subtract the amount of Earth rotation angular rate at bias measurement. This is not required when the Earth rotation angular rate: $4,178 \times 10^{-3} \text{ }^\circ/\text{s}$ can be neglected.

- Power supply: Voltage, electric current and noise characteristics of applied power supply have to satisfy appropriate capabilities of those to be able to apply to gyro.
- Data logger system: A measuring device selected according to output specifications (analogue, digital) of the gyro and which is capable of satisfying the accuracy requirements for bias measurement. When the gyro is based on analogue output (analogue voltage or analogue current), a voltmeter or ampere meter should be used and the measuring range and resolution should meet the specifications of the test piece. Similarly, for digital output, the measuring range (number of bits) should be sufficient to meet the specifications of the gyro. The measuring range should be more than double and the resolution should be less than 1/10.
- Temperature controlled chamber: The temperature controlled chamber should be capable of controlling ambient temperature of the test piece provided on the fixed table and of producing the ambient temperature. The ambient temperature can be measured using a temperature sensor different from the one used for functions of the temperature controlled chamber.

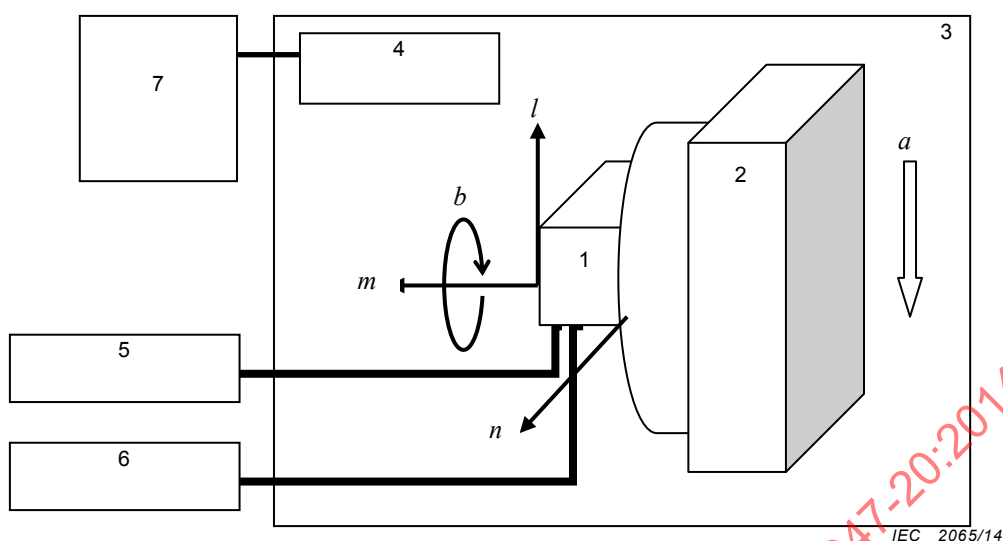
**Key**

- 1 DUT, a piece of gyro
- 2 fixed table
- 3 temperature controlled chamber, to keep a specified temperature value of DUT
- 4 temperature sensor, to monitor environmental temperature in a chamber
- 5 power supply, to supply electric power to operate DUT
- 6 data logger
- 7 controller for the temperature of chamber

Figure 11 – Measuring circuit 1 for bias**5.3.2.3 Measuring circuit 2**

Figure 12 shows measuring circuit 2 for bias. The following parts comprising the measurement circuit have to be set up to the following specified conditions. The same parts comprising circuit 1 have to be set up under the same specified conditions in circuit 2 also.

Fixed table: A device capable of securely fixing the gyro, installed under conditions free of external factors such as vibration, and is capable of directing the input axis of the gyro in a specified direction (two directions; that of the acceleration of gravity and orthogonal to the acceleration of gravity), and is capable of rotating the axis orthogonal to the direction of acceleration and capable of being fixed with a specified angular of interval.



Key

- 1 DUT, a piece of gyro
- 2 rotatable fixed table
- 3 temperature controlled chamber, to keep a specified temperature value of the DUT
- 4 temperature sensor, to monitor environmental temperature in a chamber
- 5 power supply, to supply electric power to operate the DUT
- 6 data logger
- 7 controller, to control the temperature of chamber
- a* direction of acceleration of gravity
- b* amount of acceleration of gravity exerted to detection axis by rotation is changed
- l* perpendicular setting: z-axis, gyro detection axis
vertical setting: y-axis, non-detection axis
- m* perpendicular setting: x-axis, gyro non-detection axis
vertical setting: z-axis, detection axis
- n* perpendicular setting: y-axis, non-detection axis
vertical setting: x-axis, non-detection axis

Figure 12 – Measuring circuit 2 for bias

5.3.3 Principle of measurement

5.3.3.1 Nominal bias

Nominal bias value is obtained based on the following measurement procedures of gyro output and Calculation formula (24).

Gyro output is measured under conditions where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known (presence of Earth rotation input angular rate).

After specified electric power is supplied to gyro and a specified time has elapsed, the known input angular rate (Earth rotation angular rate) is subtracted from the overall average within the specified time (specified data length) of the gyro output.

$$N_{\text{bias}} = O_{\text{ut,ave}} - E_{\text{arthrotation}} (^{\circ}/\text{s}) \quad (24)$$

Where

N_{bias}	Nominal bias
$O_{\text{ut,ave}}$	Output average value of gyro
$E_{\text{arthrotation}}$	Earth rotation angular rate component

The Earth rotation angular rate component is calculated from the direction of the input axis.

For vertical input axis: $E_{\text{arthrotation}}: 4,178 \times 10^{-3} \times \cos \lambda$

λ : Latitude of point of measurement

For horizontal input axis: $E_{\text{arthrotation}}: 4,178 \times 10^{-3} \times \sin \lambda \times \cos \varphi$

φ : Input axis direction (Northward is 0 °)

5.3.3.2 Initial bias variation

Initial bias variation is obtained based on the following measurement procedures of gyro output and Calculation formula (25).

Variation from nominal bias value of gyro output under the environments where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known, is obtained.

After specified electric power is supplied to gyro and a specified time has elapsed, the output obtained by subtracting the known input angular rate (Earth rotation angular rate) from overall average within the specified time (specified data length) of the gyro output is defined as O_{ut} . When the nominal bias is expressed by $O_{\text{ut,typ}}$, the initial bias variation is obtained as follows:

$$\text{Initial bias variation: } O_{\text{ut}} - O_{\text{ut,typ}} \text{ (°/s)} \quad (25)$$

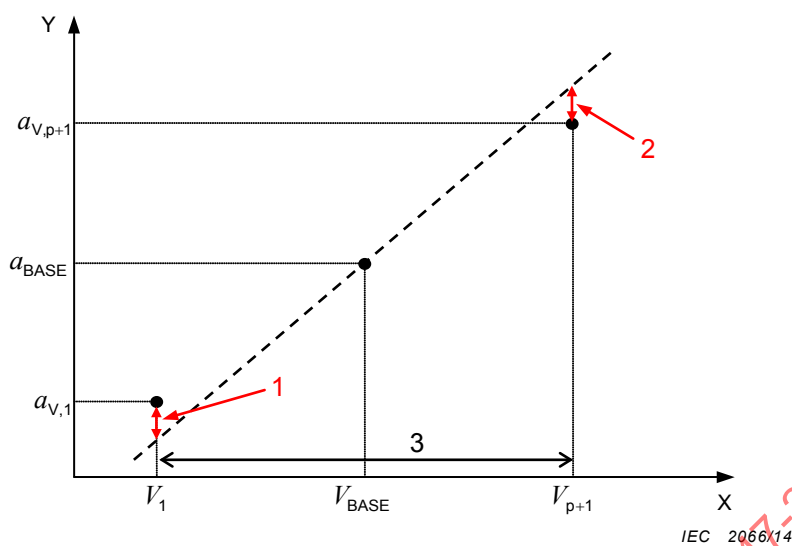
5.3.3.3 Ratiometric error for bias

Ratiometric error for bias is obtained based on following measurement values of key parameters of gyro described in Figure 13 and Calculation formula (26).

When an operating power voltage range where the gyro is functioning is divided into p -segments (preferably $p \geq 2$) under the reference measurement temperature $[T_{\text{BASE}}]$ of gyro, bias in each power voltage " $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ " becomes " $a_{V,1}, a_{V,2}, \dots, a_{V,p+1}$ ", respectively.

Here, although the manufacturer can specify the value of " p ", it can be changed as necessary based on discussions between the user and manufacturer.

Figure 13 shows an example of ratiometric error for bias data. (In Figure 13, it is equally divided by $p = 2$, and $p = 2$ is considered to be the reference supply voltage).



Key

- 1 ratiometric error amount (R_{error,V_1})
- 2 ratiometric error amount ($R_{\text{error},V_{p+1}}$)
- 3 p -segments
- X x-axis, gyro operating voltage
- V_1 operating voltage lower limit
- V_{BASE} reference supply voltage
- V_{p+1} operating voltage upper limit
- Y gyro bias value
- $a_{V,1}$ bias value at operating voltage lower limit
- a_{BASE} bias value at reference supply voltage
- $a_{V,p+1}$ bias value at operating voltage upper limit

Figure 13 – Example measurement of ratiometric error for bias

In this case, ratiometric error for bias “ R_{error,V_i} ” is obtained as follows:

$$R_{\text{error},V_i} = \frac{\left| a_{V_i} - (a_{\text{BASE}}) \times \left(\frac{V_i}{V_{\text{BASE}}} \right) \right|}{a_{\text{BASE}}} \quad (26)$$

The above calculation is carried out for each voltage “ $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ ” and “ R_{error,V_i} ” thus obtained is ratiometric error for bias at voltage “ V_i ”.

5.3.3.4 Bias repeatability

Bias repeatability is obtained based on the measurement value changes of the gyro output described in the following paragraphs of 5.3.3.4.

This shows changes (scattering) in bias values of the gyro output by activating and deactivating the power supply under conditions where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known.

Bias is measured for the specified number of times, and its maximum and minimum values ($\pm$ °/s) are obtained to be used as bias repeatability.

5.3.3.5 Bias drift after power on

Bias drift after power on is obtained based on the following measurement procedures of gyro output and Calculation formula (27).

This shows fluctuation of gyro output after the power is turned on under the environments where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known.

After specified electric power is supplied to gyro, average value of the output within the specified time is used as the reference, and the difference between maximum value of absolute value of gyro output within the specified time (specified data length) and the reference value is taken.

When the maximum value of absolute value of gyro output is represented by $O_{ut,max}$ and average value of specified time length (data length) immediately after the power is turned on is represented by $O_{ut,ave}$, bias drift after power on is obtained as follows:

$$\text{Bias drift after power on: } O_{ut,max} - O_{ut,ave} \text{ (°/s max)} \quad (27)$$

5.3.3.6 Bias sensitivity (bias temperature sensitivity coefficient)

Figure 14 shows changes in bias value of gyro output under the environments where the ambient temperature is changed and the input angular rate is zero or known.

a) Bias temperature sensitivity (bias variation with temperature)

This shows maximum and minimum values ($\pm$ °/s) of fluctuation from bias in the operating temperature range and at bias reference temperature.

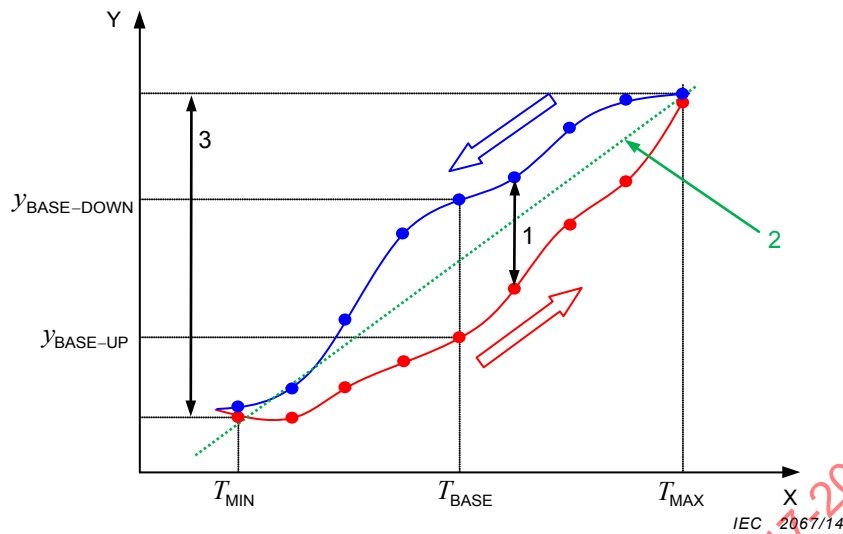
b) Bias temperature sensitivity coefficient (temperature coefficient of bias)

This shows inclination of bias fluctuation ((°/s)/°C) against temperature change in the operating temperature range.

5.3.3.7 Bias hysteresis

This shows the hysteresis of the bias value of the gyro output (the difference of bias values due to the direction of temperature change at the same temperature) under conditions where the ambient temperature changes and the input angular rate is zero or known.

The maximum value in unit of °/s of the difference of bias values at the same temperature when temperature changes are turned around from T_{MIN} to T_{MAX} and back to T_{MIN} as represented in Figure 14 is shown.



Key

1	bias hysteresis
2	bias temperature sensitivity coefficient
3	bias temperature sensitivity
X	x-axis, temperature under gyro environments
T_{MIN}	minimum operating temperature
T_{BASE}	reference measurement temperature
T_{MAX}	maximum operating temperature
Y	y-axis, gyro output value
$Y_{BASE-UP}$	gyro output value at reference temperature, ascending temperature
$Y_{BASE-DOWN}$	gyro output value at reference temperature, descending temperature

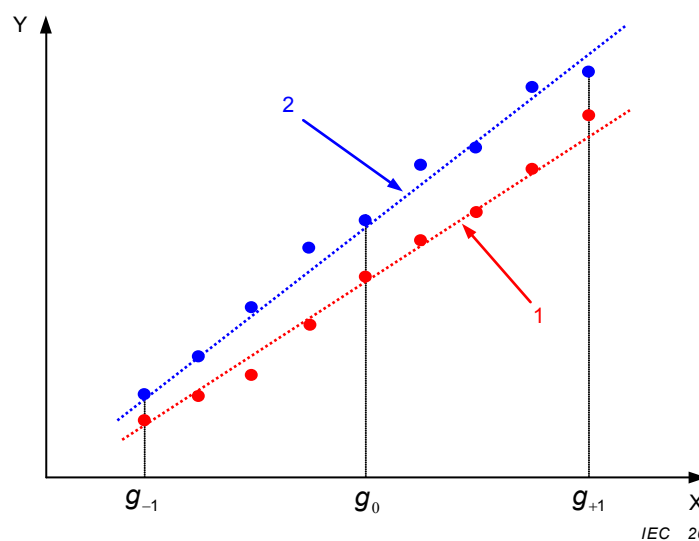
Figure 14 – Bias temperature sensitivity and bias hysteresis

5.3.3.8 Bias linear acceleration sensitivity

This shows the amount of changes in bias values of the gyro output by linear acceleration under conditions where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known.

Application of linear acceleration specifies the method where acceleration of gravity is used as the reference input (± 1 g).

Gradient of a primary approximation straight line of the gyro output fluctuation relating to the applied acceleration is represented by $O_{ut, gp}$ ($(^\circ/s)/g$ max) when linear acceleration is applied in parallel with the input axis of the gyro, gradient of the line is represented by $O_{ut, gv}$ ($(^\circ/s)/g$ max) when linear acceleration is applied orthogonal to the input axis. The bias linear acceleration sensitivity shows either $O_{ut, gp}$ or $O_{ut, gv}$, whichever is greater.

**Key**

- 1 gyro output change best fit line in a perpendicular setting
- 2 gyro output change best fit line in a vertical setting
- X x-axis, applied acceleration (within ± 1 g)
- g_{-1} state in which -1 g is applied
- g_0 state where no acceleration is input
- g_{+1} state where $+1$ g is applied
- Y y-axis, gyro output value

Figure 15 – Bias linear acceleration sensitivity**5.3.3.9 Start-up time**

This shows the time required for the gyro output to reach the specified output after the power is turned on under conditions where the ambient temperature is constant (specified temperature) and the input angular rate is zero or known. Unit indication of maximum value of start-up time is described as (s max).

5.3.4 Measurement procedures**5.3.4.1 Variation in nominal and initial bias**

- a) Fix the gyro to the fixed table, and connect the power cables and signal cables to the power supply and the data logger system according to the specifications.
- b) Check the direction of the gyro input axis and obtain the Earth rotation angular rate component corresponding to the latitude of the test site.
- c) Set the gyro ambient temperature. The temperature shall be set at a specified temperature value described in the specifications of the objective gyro.
- d) Turn on the power supply, and start to read the gyro output at an appropriate later time compared with a specified time described in the specifications of the objective gyro.
- e) The time for data acquisition shall be more than the specified time.

5.3.4.2 Bias repeatability

- a) The first measurement shall be performed according to the procedures for bias measurement.
- b) Upon completion of the first measurement, turn off the power supply for the gyro only, while the power supply for the data logger system and for the temperature controlled chamber shall remain turned on.

- c) At an appropriate later time compared with a specified time described in specifications of the objective gyro, start measurement of bias.
- d) Perform this measurement the specified number of times.

5.3.4.3 Bias drift after power on and start-up time

- a) Fix the gyro to the fixed table, and connect the power cables and signal cables to the power supply and the data logger system according to the specifications.
- b) Set the gyro ambient temperature to the temperature specified in the gyro specifications.
- c) Turn on the power supply and immediately start to read gyro output.
- d) Time for data acquisition shall be more than the specified time.
- e) Time interval from the power supply turn-on to a time at which a specified gyro output is reached is defined as start-up time, and the maximum difference between the average value (reference value) within the specified time after power supply turn-on and the absolute value of the gyro output within the specified time length (data length) is specified as bias drift after power-on.

5.3.4.4 Bias temperature sensitivity, bias hysteresis and ratiometric error

- a) Fix the gyro to the fixed table, and connect the power cables and signal cables to the power supply and data logger system according to the gyro specifications.
- b) Check the direction of the input axis of the gyro, and obtain the Earth rotation angular rate component corresponding to the latitude of the test site. To avoid influences of temperature sensitivity of the scale factor, the input angular rate should preferably be 0. The input angular rate 0 could be achieved while the input axis of the gyro is placed horizontally and facing east (or west).
- c) Set the gyro ambient temperature to the reference temperature (specified temperature) specified in the gyro specifications.
- d) Turn on the power supply, and start to read the gyro output data from a time later than a specified time given in the gyro specifications.
- e) For bias temperature sensitivity (bias temperature sensitivity coefficient) and bias hysteresis, change the temperature of the chamber by the specified amount, keep the temperature for specified time, and record the output for the specified time.

The variation amount of increase or decrease in setting up the temperature of the DUT shall be chosen based on a specified amount given in the gyro specifications, and applied to in the order from maximum operating temperature, reference temperature, minimum operating temperature, and reference temperature. The amount of one-time change should be 1/m of the operating temperature change (a specified change) and the temperature change rate should be more than n °C/min (a specified change rate). Furthermore, although the manufacturer can specify values of n and m as appropriate values, they can be changed as necessary based on agreements between user and manufacturer.

- f) For ratiometric error, change the gyro voltage supplied by the power supply, then measure the bias.

5.3.4.5 Linear g sensitivity

5.3.4.5.1 General

Measuring circuit 2 for bias of Figure 12 shall also be applied to measure linear g sensitivity.

The linear acceleration value applied to the gyro is defined as the following formula, and the value is able to be varied by changing the direction of acceleration of gravity through the rotating angle of the fixed table.

$$A_{lin} = A_{gr} \times \sin \gamma \quad (28)$$

where:

A_{lin} is the applied linear acceleration

A_{gr} is the acceleration of gravity

γ is the rotating angle of the fixed table

5.3.4.5.2 Measurement procedures under conditions of input axis parallel to acceleration

- Fix the gyro to the fixed table, and connect the power cables and signal cables to the power supply and data logger system according to the gyro specifications.
- Check the direction of the gyro input axis, and fix it so that the input axis is parallel to the direction of acceleration of gravity. The axis of rotation of the fixed table (orthogonal to acceleration of gravity) shall be orthogonal to the input axis.
- Set the gyro at a specified ambient temperature.
- Turn on the power supply, and start to read the gyro output data from a time later than a specified time given in the gyro specifications.
- The input axis shall normally be faced upward (inverse direction of acceleration of gravity) and turned clockwise (or counter clockwise) to the specified angle.
- Record the gyro output at every rotating angle for the specified time.

5.3.4.5.3 Measurement procedures under conditions of input axis orthogonal to acceleration

- Fix the gyro to the fixed table and connect the power cables and signal cables to the power supply and data logger system according to the gyro specifications.
- Check the direction of the gyro input axis and fix it so that the input axis is orthogonal to the direction of acceleration of gravity. The axis of rotation of the fixed table (orthogonal to acceleration of gravity) shall be parallel to the input axis.
- Set the gyro at a specified ambient temperature.
- Turn on the power supply, and start to read the gyro output data from a time later than a specified time specified in the gyro specifications.
- The input axis shall normally be faced upward (inverse direction of acceleration of gravity) and turned clockwise (or counter clockwise) to the specified angle.
- Record gyro output at every rotating angle for the specified time.

5.3.5 Specified conditions

Table 6 describes the specified conditions for each measuring items concerning the bias which shall be determined prior to the measurement.

Table 6 – Specified conditions for the measurement of bias

Measuring item	Unit	Specified conditions	Unit
Bias	°/s	ambient temperature	°C
		warm-up time	min or s
		measuring time (data length)	min or h
		input angular rate	°/s
Initial bias fluctuation	°/s max	ambient temperature	°C
		warm-up time	min or s
		measuring time (data length)	min or h
		input angular rate	°/s
Bias repeatability	°/s	ambient temperature	°C
		warm-up time	min or s

Measuring item	Unit	Specified conditions	Unit
		measuring time (data length)	min or h
		input angular rate	°/s
		number of times measured	
Bias drift after power on	°/s max	ambient temperature	°C
		reference time	s
		measuring time (data length)	min or h
Start-up time	s	ambient temperature	°C
		reference output	°/s
Bias temperature sensitivity	°/s	reference temperature	°C
		warm-up time	min or s
		amount of stepwise temperature change	°C
		time for holding temperature (measuring time)	min
		rate of temperature change	°C/min
Bias hysteresis	°/s max	reference temperature	°C
		warm-up time	min
		amount of stepwise temperature change	°C
		time for holding temperature (measuring time)	min
		rate of temperature change	°C/min
Linear g sensitivity	(°/s)/g	ambient temperature	°C
		warm-up time	min
		stepwise rotating angle	°
		measuring time (data length)	min

5.4 Output noise

5.4.1 Purpose

To specify the measuring method related to output noise characteristics of gyro.

5.4.2 Measuring circuit

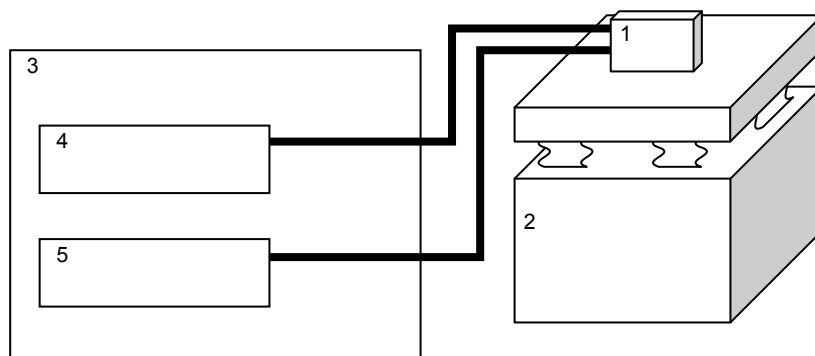
Figure 16 shows an example of composition of a measuring circuit for the gyro and Figure 17 shows an example of wiring configuration.

The measuring circuit is composed of the gyro (DUT) to be measured, power supply, vibration isolated table, data logger system, and wiring.

Components to apply in the measuring circuit shall satisfy the points described below.

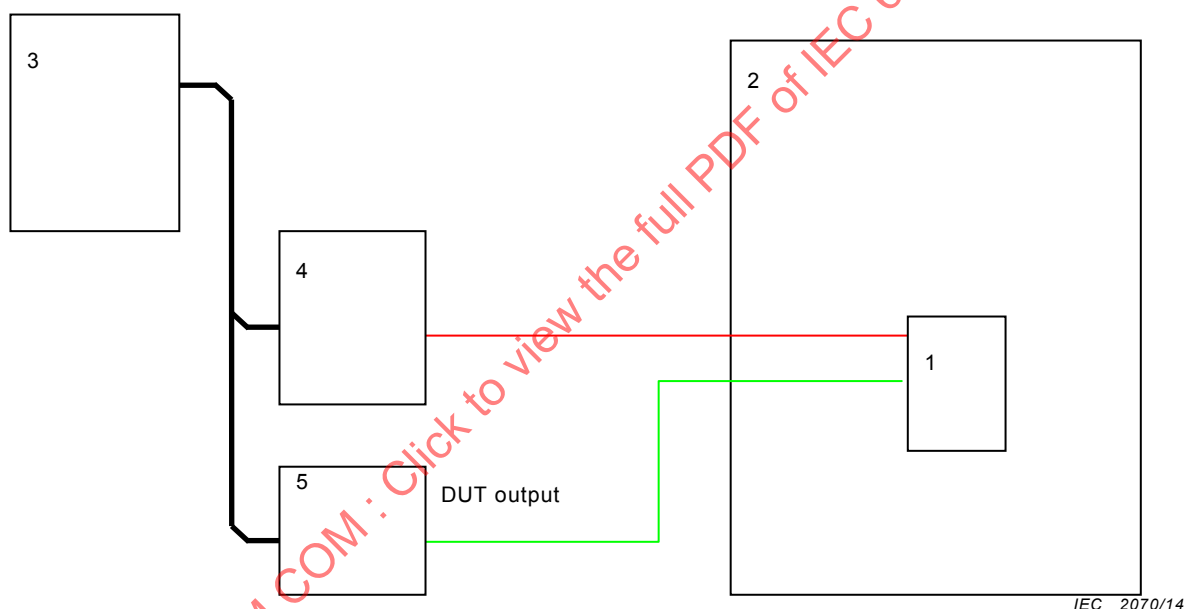
- Power supply shall be able to supply a specified voltage and electric current required for the gyro (DUT) and the fluctuating range of ripple voltage etc. should meet the gyro requirements in the supply state.
- Vibration isolated table shall be able to isolate from the source of any disturbance noise such as vibrations (particularly rotational vibration in the response band range).
- Data logger system shall be a kind of measuring tool or measuring system adjustable to the output mode of the gyro. For example, a digital multimeter or data logger is used when the gyro output is voltage (analogue). Furthermore, the measurement resolution should preferably be capable of reading changes less than 1/10 of the minimum resolution to be measured.

- Wiring shall be connected by cables for electrical connection of the power supply, gyro, and data logger system. Pass of the measurement wiring shall be performed as an appropriate pass to minimize influence generated from inside the measuring system and interfering noises from outside the system.



IEC 2069/14

Figure 16 – Output noise measuring system



IEC 2070/14

Key

- 1 DUT
- 2 vibration isolated table
- 3 control system
- 4 power supply
- 5 data logger
- DUT output output signal of DUT

Figure 17 – Example of wiring configuration for output noise

5.4.3 Principle of measurement

Output voltage from the gyro at stable state operation (0 input rate) is measured and output noise components included therein are measured.

5.4.4 Precautions during measurement

- The voltage of stabilized power supply shall be used as the reference of the output noise measurement to prevent influence from power supply ripple;
- To prevent influence such as external vibration, consideration shall be given to stabilization since the measurements are taken on a vibration isolated table;
- The power supply voltage applied to the gyro and any deviation shall be within the range of the respective specifications. When output noise of the gyro has a proportional dependence on characteristics of the power supply, any floor noise shall be sufficiently smaller than the gyro output noise in order to avoid to confuse the power supply noise with the gyro output noise. Moreover, V_{dd} and Ground should be monitored to cancel power supply noise;
- Reference of ambient temperature is $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Reference of relative humidity is from 45 % to 75 %, where appropriate;
- Reference of atmospheric pressure is from 86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar).

5.4.5 Measurement procedures

5.4.5.1 Output noise (in-band noise and broadband noise)

- a) Connect the gyro output to a data measuring device (e.g., spectrum analyzer) and apply the power supply.
- b) In-band noise is the frequency that is lower than the upper limit frequency of the gyro, as shown in Figure 18, measure the effective value (rms) of the output voltage, convert it to in-band V_{rms}/Hz and or angular rate and express it in $(^{\circ}/s)/\sqrt{\text{Hz}}$.
- c) Broadband noise is the upper frequency area from the cross point of the effective value (rms) of the output voltage and $1/f$ noise, as shown in Figure 18, measure the - 20 dB/decade value and express it in $^{\circ}/s^{1.5}$.

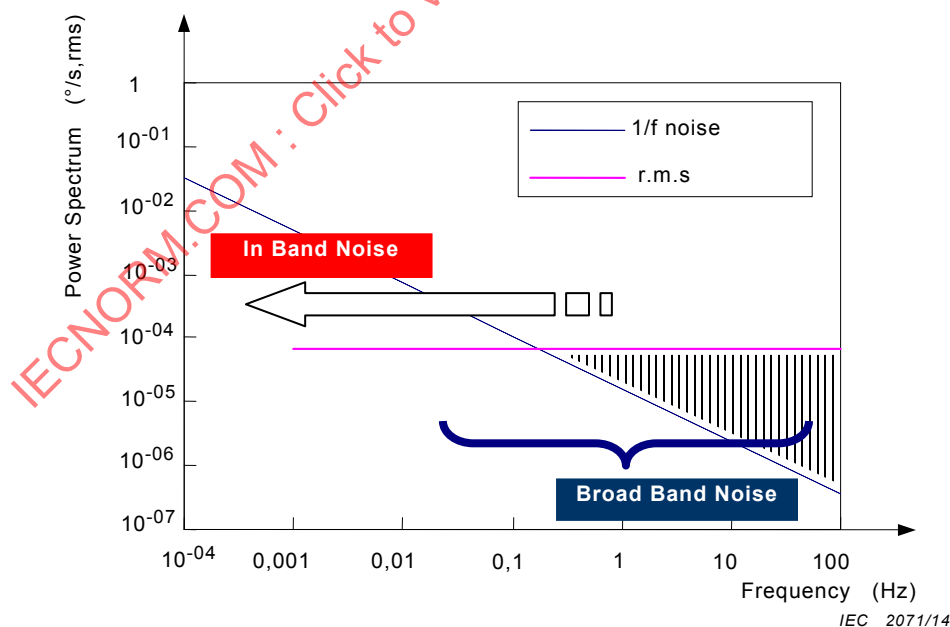
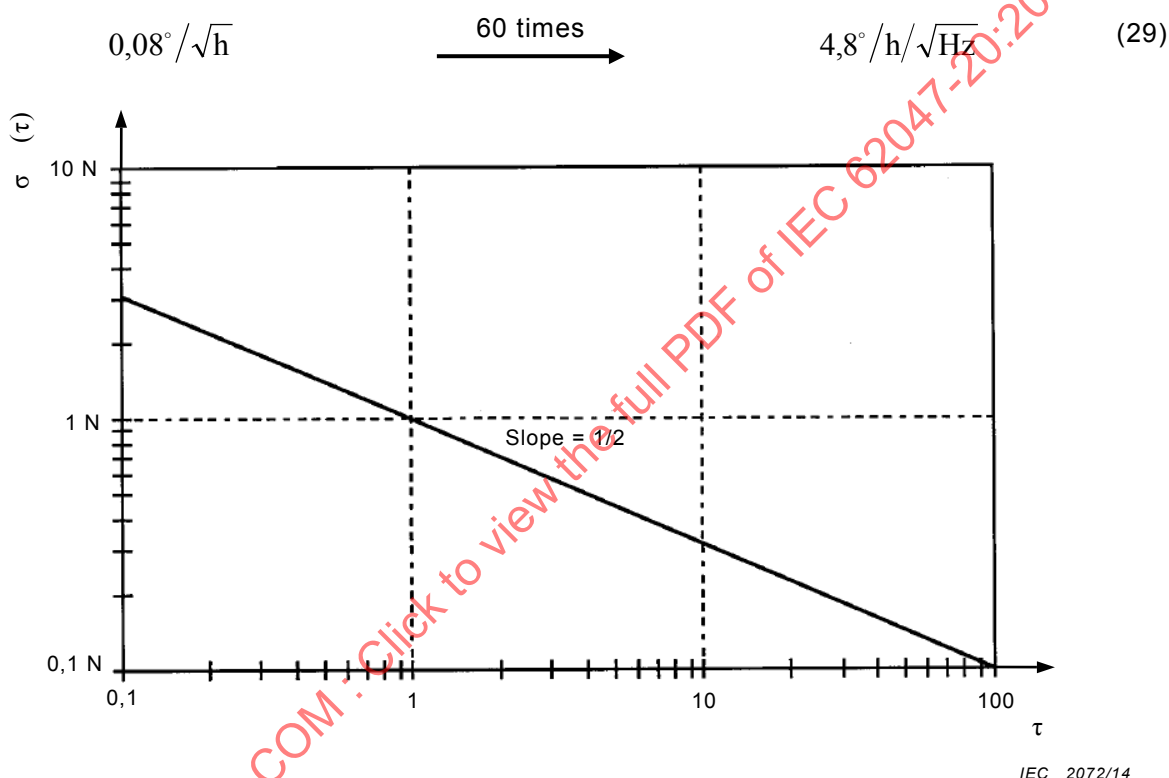


Figure 18 – Frequency power spectrums

5.4.5.2 Angular random walk

- a) Connect the gyro output to the data measuring device, turn on the power and maintain this state until the initial drift converges sufficiently.

- b) After convergence of the initial drift, measure the bias data (r.m.s. value) for the desired time (target: more than 1 hour) with a sampling rate within the band of data measuring device (e.g. data logger).
- c) Extract the data and calculate the Allan variance. (See IEEE 952-1997 [2] for calculation method).
- d) Take the calculated dispersion value and using dispersion value σ (time integration angle) at time τ as shown in Figure 19, draw a logarithmic expression graph (log scale to log scale).
- e) The straight line showing a graph shaped with gradient of $-1/2$ of shorter cluster time range, i.e., a straight line with $-1/2$ gradient in the range of shorter cluster time, is subjected to fitting. Then, read out the 2-hour value of the straight line subjected to fitting, and the one expressed within the band indicated in $^{\circ}/h/\sqrt{\text{Hz}}$ from its value in $^{\circ}/\sqrt{h}$ is considered to be angle random walk.



Key

$\sigma(\tau)$: dispersion value (time integration angle) at time τ

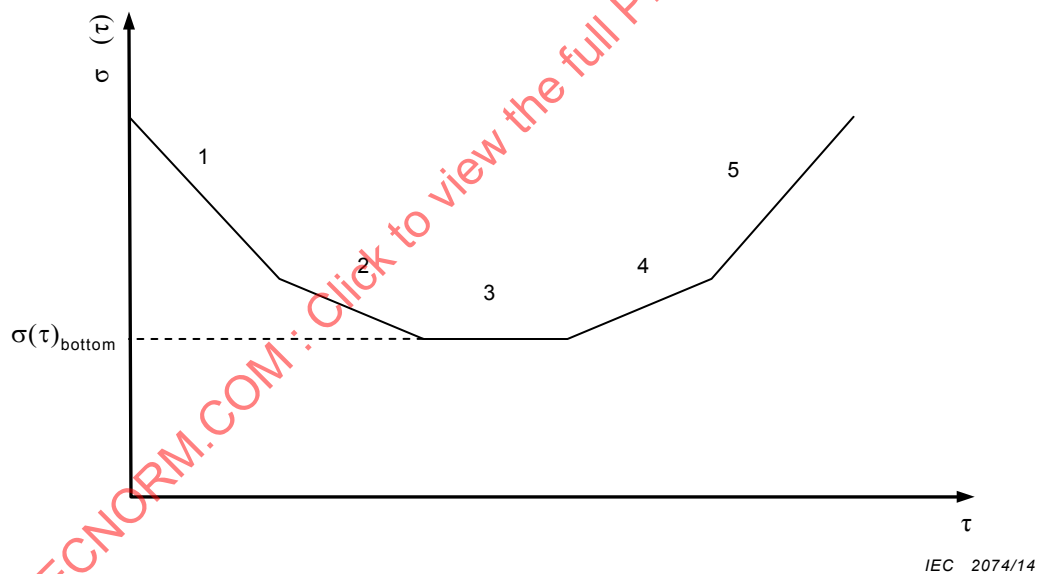
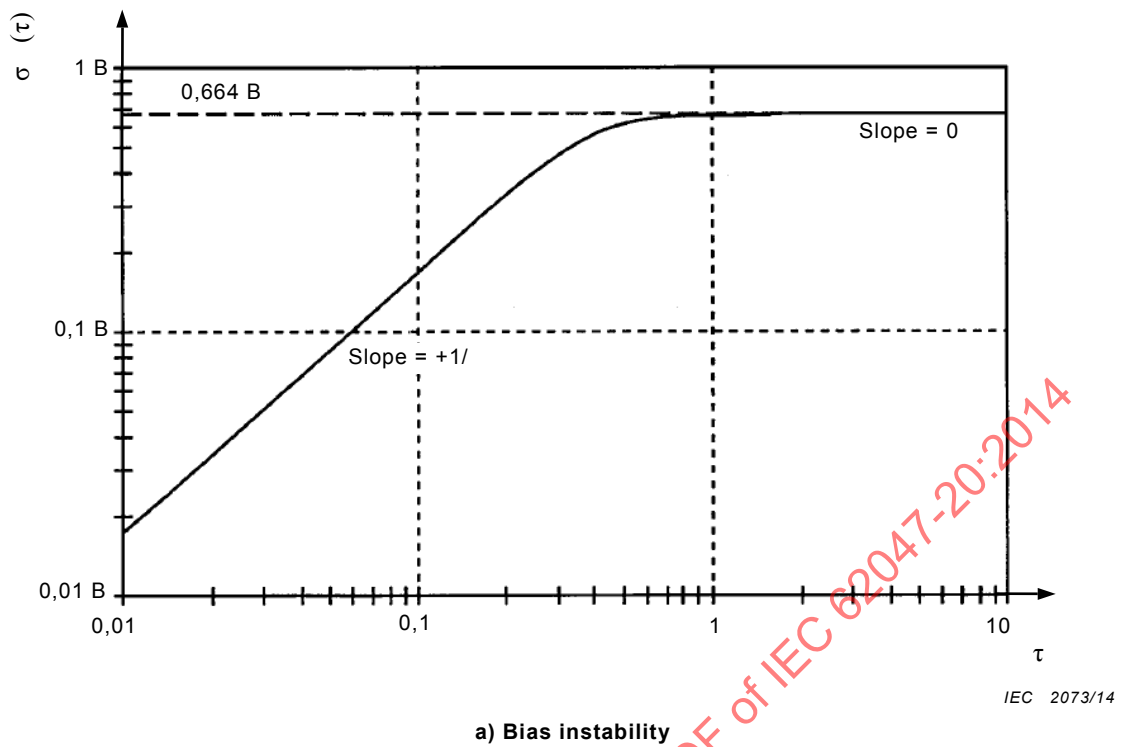
Figure 19 – Angular random walk

5.4.5.3 Bias instability

- a) The measuring method should be in accordance with items a) through d) of 5.4.5.2.
- b) Using the calculated dispersion value and using dispersion value σ (time integration angle) at time τ as shown in Figure 20, draw a logarithmic expression graph (log scale to log scale).
- c) Read out the bottom figure (slope = 0) of Allan variance curve and divide it by

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \ln 2}{\pi}} = 0,664$$

If $\sigma(\tau)$ axis read out value at the bottom figure (slope = 0) of Allan variance curve is $0,4^{\circ}/h$, bias instability is $0,4 / 0,664 = 0,6 (^{\circ}/h)$.



Key

$\sigma(\tau)$	dispersion value (time integration angle) at time τ
$\sigma(\tau)_{\text{bottom}}$	dispersion value of bottom figure (slope = 0)
τ	time
1	slope = -1
2	slope = -1/2
3	slope = 0 (bias instability)
4	slope = +1/2
5	slope = +1

Figure 20 – Bias instability and Allan variance curve

5.4.6 Specified conditions

- temperature;
- relative humidity;
- air pressure;
- nominal supply voltage.

5.5 Frequency band

5.5.1 Purpose

To specify the measuring method related to the frequency band of the gyro.

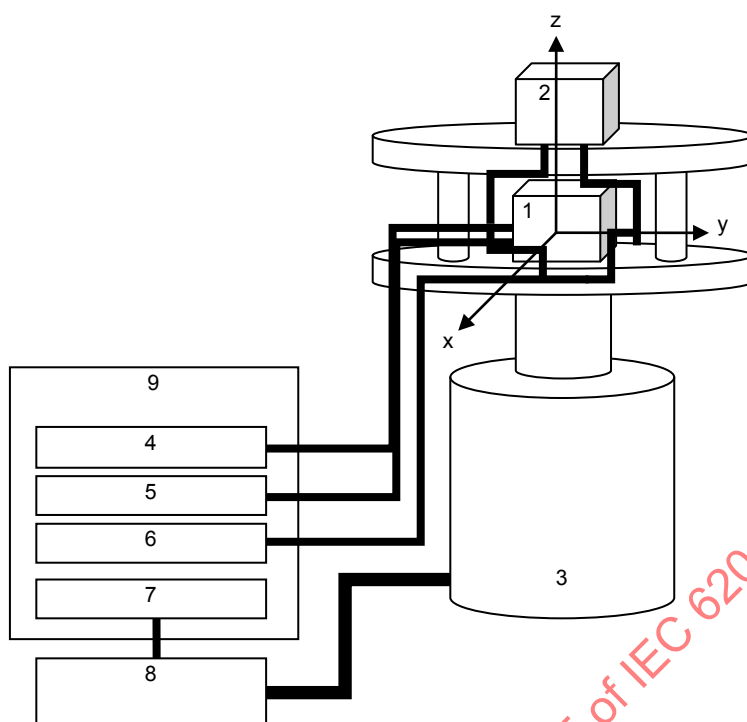
5.5.2 Measuring circuit

Figure 21 shows an example of composition of the measuring circuit of the gyro and Figure 22 shows an example of wiring configuration.

The measuring circuit is composed of the gyro to be measured, power supply, rotating table, data comparison and logger system, and wiring.

Components to apply in the measuring circuit shall satisfy the points described below.

- Power supply shall be able to supply a specified voltage and electric current required by the gyro (DUT) and the fluctuating range for ripple voltage, etc. should meet the gyro requirements in the supplying state.
- Rotating table: A device with sufficient torque to generate the applied angular rate measurement frequency for the inertia moment loaded with the article to be measured. This table is given an angular rate of rotation that is not less than the detection range of gyro, and that is capable of accommodating changes in the angular rate corresponding to the minimum resolution. See Annex A for measurement accuracy of the rotating table.
- Gyro measuring device: A device or measuring system adjustable to the gyro output configuration. For example, a digital multimeter or data logger is used when the gyro output is voltage (analogue). Furthermore, the sampling frequency of this system should be set sufficiently higher than the upper limit frequency to be measured.
- Reference angular rate detector and angular rate measuring device: Detector and measuring device or system for motion detection of the rotating table. This should possess response characteristics sufficiently higher than those of the gyro (angle detector is preferable). Furthermore, the device should have an angle (applied angular rate/measurement frequency) resolution compatible with the measurement frequency.
- Data comparison and acquisition system: This should be a measuring device or system adjustable to the output configuration of the gyro. For example, a digital multimeter or data logger is used when the gyro output is voltage (analogue). Furthermore, the sampling frequency of this system should be set sufficiently higher than the upper limit frequency to be measured. Since comparison with the reference is made, the system should be capable of synchronizing the gyro and the reference.
- Wiring: Cables for electric connection of the power supply, gyro, and data acquisition system. Care should be taken to suppress influence from the equipment, particularly the generation of reaction force by rotation. To reduce the reaction force, wiring can be carried via a slip ring and noise interference should preferably be minimized.

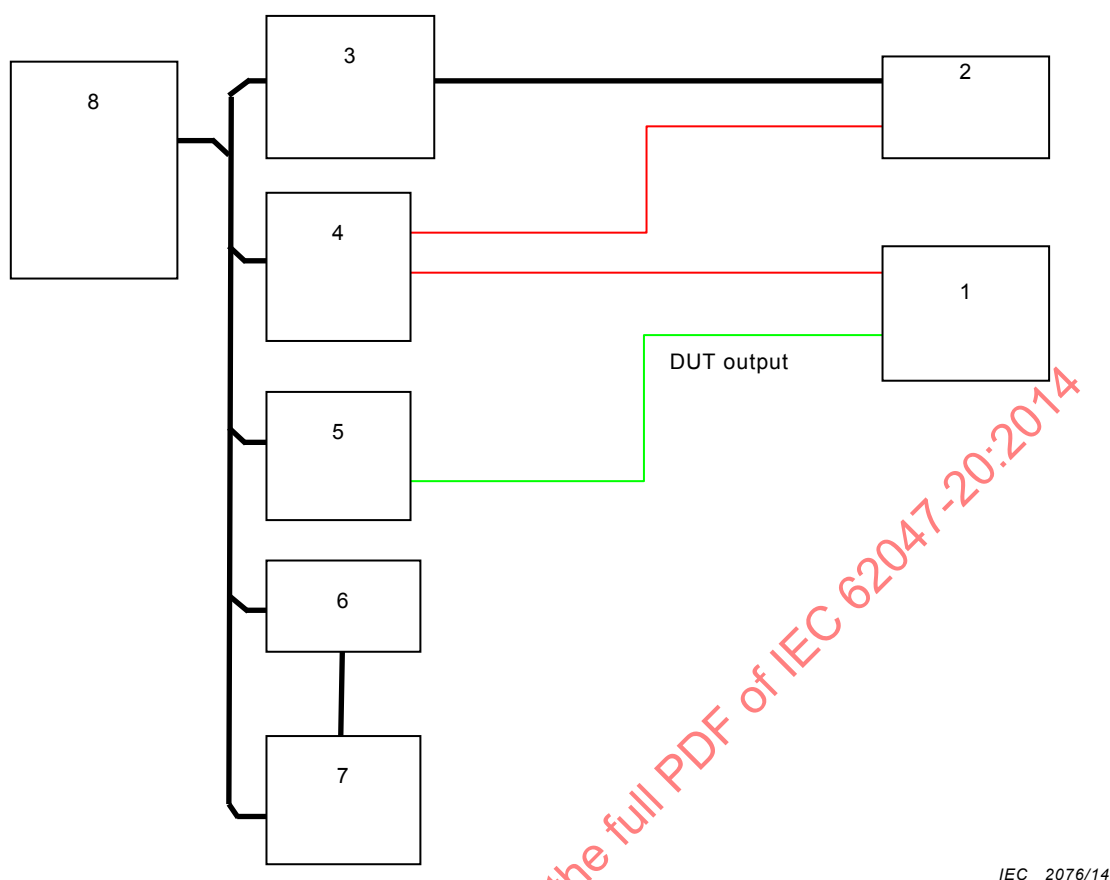


IEC 2075/14

Key

- 1 DUT, a piece of gyro
- 2 reference angular rate detector
- 3 rate table
- 4 power supply, to supply electric power to operate the DUT and the reference angular rate detector
- 5 data logger
- 6 monitor for reference angular rate detector
- 7 frequency oscillator
- 8 power controller
- 9 control system
- x x-axis, sensor non-detection axis
- y y-axis, sensor non-detection axis
- z z-axis, sensor detection axis (IRA)

Figure 21 – Measuring circuit for frequency response



IEC 2076/14

Key

- 1 DUT, a piece of gyro
- 2 reference angular rate detector
- 3 monitor for reference angular rate detector
- 4 power supply, to supply electric power to operate the DUT and the reference angular rate detector
- 5 data logger
- 6 frequency oscillator
- 7 power controller
- 8 control system

Figure 22 – Example of wiring configuration for frequency response

5.5.3 Principle of measurement

Using the measuring system shown in Figure 21, the rotating angular rate (variable frequency) is input in the reference axis (IRA) direction of the sensor detection axis (IRA), the signal output from the gyro (S_{out}) is compared with the rotating angular rate output which is considered the reference (R_{ref}), and the input/output transmission characteristics are measured. This allows for measurement of attenuation characteristics and phase due to time delay.

Input/output frequency characteristics can be expressed by transfer function $G(j\omega)$ as represented by the following equation and this is expressed by the vector sum of the actual number and imaginary number as shown by the following equation.

$$G(j\omega) = \text{Re}[G(j\omega)] + j\text{Im}[G(j\omega)] = |G(j\omega)|e^{j\angle G(j\omega)} \quad (30)$$

Here, the absolute value of the frequency transfer function $|G(j\omega)|$ is referred to as the gain and the deflection angle $\angle G(j\omega)$ is referred to as the phase (phase angle).

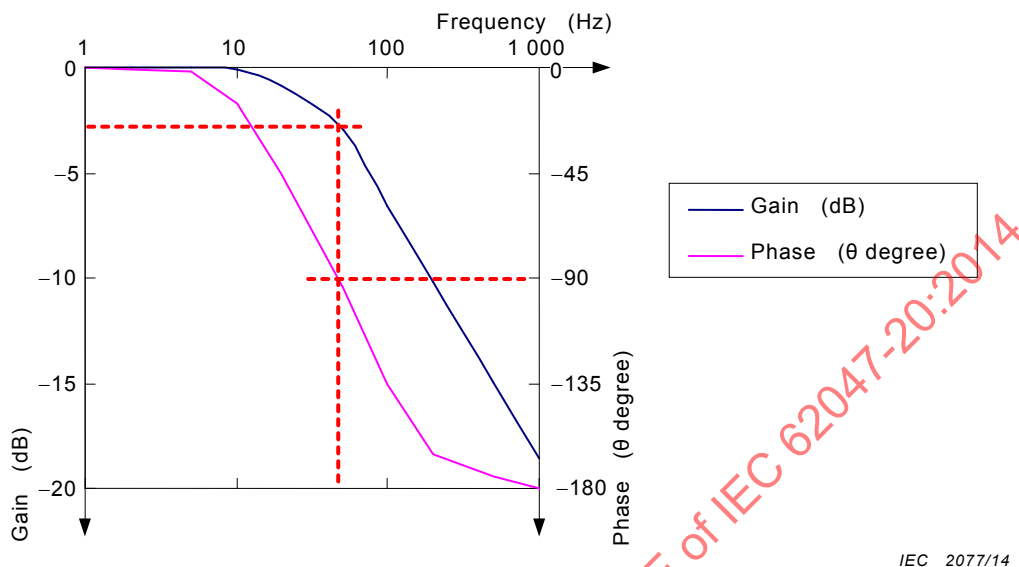


Figure 23 – Frequency response characteristics

As noticed from the frequency response characteristics shown in Figure 23, the range up to a point where gain becomes -3 dB with regard to initial value (0) or the range up to a frequency where the output phase against input is delayed by 90° is considered the frequency bandwidth.

Furthermore, when there is a local maximum value of gain in the gain peak response characteristics shown in Figure 24, this should preferably be shown in the specifications as the gain peak.

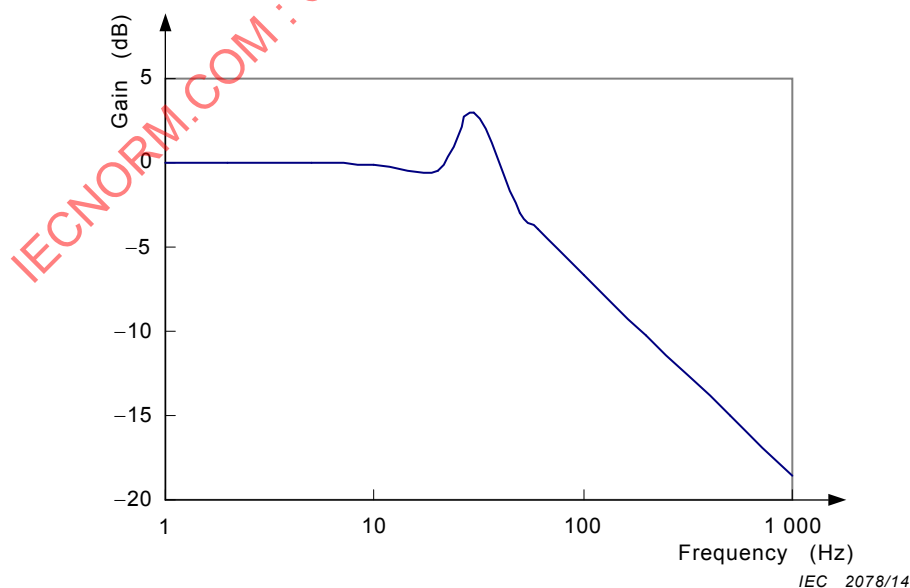


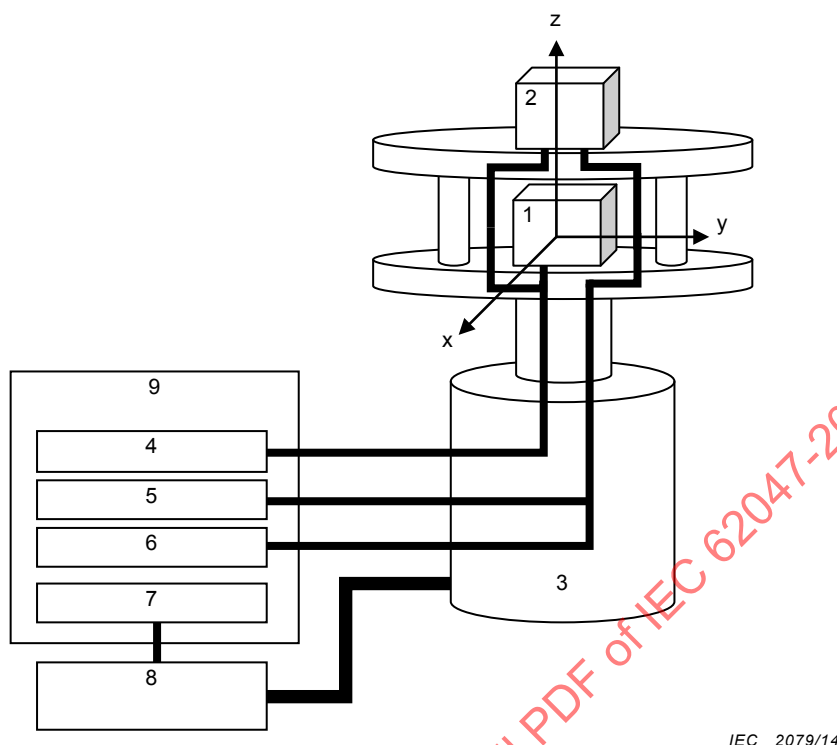
Figure 24 – Gain peak response characteristics

5.5.4 Precautions during measurement

- The gyro reference angle detector and input reference axis (IRA) should be consistent;
- The reference angle detector should possess the angle (applied angular rate/measurement frequency) resolution up to the measurement frequency. The rotating table used should have sufficient torque to generate the applied angular rate measurement frequency for the inertia moment loaded with the article to be measured;
- The power voltage to be applied to the gyro and deviation should be within the respective specifications and in a stable state for measuring the amplitude output following application of the angular rate;
- The angular rate should be applied so that sufficient output amplitude from the gyro is ensured and constant speed is maintained with regard to the frequency. (For example, application of the angular rate from 1/2 to 1/10 of the dynamic range is preferable);
- The measurement frequency should preferably be up to the response frequency shown in the specifications or to about double that of the gain peak frequency;
- When the frequency sweeping time (variable speed) is too fast, judgment of such items as phase delay is difficult. It is therefore preferable that, for stepwise input of the constant frequency, it should be not less than four times for one-wavelength time of the measurement frequency;
- The reference ambient temperature should be $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- The reference relative humidity should be from 45 % to 75 %, where appropriate;
- The reference atmospheric pressure should be from 86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar).

5.5.5 Measurement procedure

a) Calibration



IEC 2079/14

Key

- | | |
|---|---|
| 1 | DUT, a piece of gyro |
| 2 | reference angular rate detector |
| 3 | rate table |
| 4 | monitor for reference angular rate detector |
| 5 | power supply, to supply electric power to operate the DUT and the reference angular rate detector |
| 6 | data logger |
| 7 | frequency oscillator |
| 8 | power controller |
| 9 | control system |
| x | x-axis, sensor non-detection axis |
| y | y-axis, sensor non-detection axis |
| z | z-axis, sensor detection axis (IRA) |

Figure 25 – Calibration of frequency response

As shown in Figure 25, a signal from the reference angular rate detector (Ref) and with an output equivalent to the scale factor of the DUT (gyro) is channelled to the gyro data comparison and acquisition system (data reader) and the reference angular rate detector (monitor for Ref) and input.

Offset of the obtained response characteristics shall be adjusted and calibrated beforehand to assure an amplitude difference of 0 dB and a phase difference of 0°.

b) Bandwidth

Apply a sinusoidal input of specified conditions, determine the input frequency at which the gyro output lags the input rate by $90 \pm 5^\circ$ or the gyro output gain of -3 db.

c) Gain peak

Input the specified angular rate and frequency and measure the frequency by whichever gain of output signal exhibits the local maximum value (Hz) and the amplitude gain (dB) which shows the local maximum value.

5.5.6 Specified conditions

Table 7 describes measurement condition parameters which shall be determined prior to the measurement.

Table 7 – Specified condition for the measurement of frequency band

Measuring item	Parameter	Supplemental explanation
Frequency response measurement	Measurement temperature: T_{BASE} Supply voltage: V_{BASE}	

5.6 Resolution

5.6.1 Purpose

To specify the measuring method related to resolution (minimum resolution) for the gyro.

5.6.2 Measuring circuit

Figure 1 shows an example composition of the gyro measuring circuit and Figure 2 shows an example wiring configuration.

Furthermore, since resolution measurement is easily influenced by noise, care should be taken to suppress influence of noise interference including that generated by the equipment.

5.6.3 Principle of measurement

Details of ideal output from gyro free from any noise are as follows.

In the measuring circuit shown in Figure 1 when the input angular rate is changed by the rotating table, a minimum change in the input angular rate for which more than 50% of the output of the input angular rate can be confirmed, is considered the resolution (minimum resolution).

For example, when an angular rate change of $0,01^\circ/\text{s}$ is applied by the rotating table, and the change amount Δy of the gyro output value is more than $0,005^\circ/\text{s}$ and input from the rotating table is less than $0,01^\circ/\text{s}$, and when the change in the gyro output value is less than 50% of angular rate change given by the rotating table, resolution is $0,01^\circ/\text{s}$.

Details of actual output containing noise are as follows.

When repeated fluctuation resulting from noise is detected by the gyro output measuring device, the noise influence should be removed by filtering, and obtain the resolution value ($O_{\text{ut,resolution}}$) with the method as specified above.

After that, this value ($O_{\text{ut,resolution}}$) should be compared to the value of in-band noise ($N_{\text{oise,RMS}}$) as specified in 5.4.5.1 b).

Hereby:

$O_{ut,resolution} > N_{oise,RMS}$: Minimum resolution = $O_{ut,resolution}$

$O_{ut,resolution} \leq N_{oise,RMS}$: Minimum resolution = $N_{oise,RMS}$

The value of minimum resolution is defined as above.

The method of filtering can be specified by the manufacturer or can be changed as necessary based on discussions between the user and manufacturer.

5.6.4 Measurement procedures

a) Power supply

Apply voltage (V_{BASE}) to the gyro. In this case, since voltage drop is also considered, the power supply line and voltage monitoring line shall be supplied separately as shown in Figure 2 and the voltage monitoring line shall be checked to confirm that the voltage is identical to the setting voltage.

b) Temperature setting

The gyro and rotating table (rotating table only acceptable) are exposed to the measurement temperature (T_{BASE}). They shall be left at least until the gyro reaches the measurement temperature.

c) Readjustment of voltage

It is probable that the set power voltage will vary slightly due to the time elapsed or changes in the consumption current at the temperature setting specified above. Therefore, the voltage shall be readjusted after the gyro achieves the set temperature.

In this case, it is probable that the voltage cannot be set accurately to the setting point (e.g., 4,999 8 V for setting voltage of 5,000 0 V) and therefore, the voltage actually supplied shall be recorded.

d) Confirmation of output

After confirming that the output of the gyro in resting state is stable, the rotating angular rate is given as shown in 5.6.3 and output is measured.

e) Normalization of output

When the gyro functions in a ratiometric fashion, in order to minimize faint error due to power voltage (e.g. voltage at measurement is 4,999 8 V as opposed to the set voltage 5,000 0 V), the actual measured output value shall be corrected so that the output function is measured in a ratiometric fashion along with the theoretical value.

Here, actual measured output value is represented by " y_{RAWi} ", the set voltage by " V_{BASE} ", and the supply voltage is represented by " V_{SUPPLY} ", and the output corrected value " y_i " is expressed by the following equation:

$$y_i = y_{RAWi} \times \frac{V_{BASE}}{V_{SUPPLY}} \quad (31)$$

f) Confirmation of results

Resolution is determined based on the principle specified in 5.6.3.

5.6.5 Specified conditions

Table 8 describes the specified conditions of parameter setting-up prior to the measurement of resolution.

Table 8 – Specified condition for the measurement of resolution

Measuring item	Parameter	Supplemental explanation
Resolution	Measurement temperature: T_{BASE} Supply voltage: V_{BASE}	

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-20:2014

Annex A (informative)

Accuracy of measured value of gyro characteristics

A.1 General

The measurement accuracy of gyro characteristics specified by this standard is confirmed by calibrating the equipment used for measuring and controlling the physical quantities (angle, angular rate, voltage, temperature, humidity, frequency, etc.) related to each characteristic under conditions equivalent to those at on-site measurement. It is preferred that the traceability of the used equipment to national standards is secured. This Annex A shows an example of an implementation method to confirm the measurement accuracy of the measuring equipment for angle or angular rate. The implementation method introduced here is merely a reference example and does not preclude the use of other methods.

A.2 Angle and angular rate

Characteristics such as scale factor, cross axis sensitivity, frequency characteristics, angle value or angular rate are normally measured by measuring device incorporated in the rotating table such as the rotary encoder or tachometer calibrated in advance.

Calibration of these measuring devices is performed according to various angle calibration methods of the rotary encoder [6], [7] such as primary calibration [3] specified in ISO 16063 series, secondary calibration (comparison method) [4] and equal divide average method [5]. However, due consideration should be given to the causes of deviations in angle or angular rate that occur after calibration. For example, after calibrating the rotary encoder, angular deviation can occur due to irregularities between the encoder shaft and the rotating shaft, distortion of the encoder at installation, or dynamic irregularities due to axial runout depending on the quality of the bearings for the rotating table [8]. Therefore, measures to keep measurement accuracy should be investigated according to magnitude of the deviation even after calibration, and can include reduction of irregularities by improving functions of mounting jigs and couplings, employment of materials which are robust over temperature change, and reduction of deformation by the use of high-rigidity members. Furthermore, the addition of a sensor head should be considered for effective cancellation of irregularities.

A.3 Example of angular deviation occurring after calibration

As one example of countermeasures for reduction of angular deviation caused by installation of the rotary encoder, application of a rotary encoder with a self-calibration function using the equal divide average method is mentioned [9], [10]. The principle of the equal divide average method is such that the sum of the Fourier series for the integral multiple of n which is found in the original curve is obtained when there are arbitrary curves which can be expressed by the Fourier series, and an average of curves as great as n where the phase of the curve is shifted every $2\pi/n$ for the arbitrary natural number n .

In general, utilizing this principle, self-calibration is performed by comparing the angle between the reference rotary encoder in which a plurality of sensor heads are arranged at equal angle intervals and the rotary encoder which serves as the calibrator. This angle calibration method is extended for the rotary encoder with a self-calibration function, where the reference sensor head is substituted for one of the sensor heads arranged at equal angle intervals to allow application of the equal divide average method. Even if there is no calibration device, this rotary encoder is able to detect angular deviation by itself. Therefore, it is possible to reduce angular deviation caused at installation, even after calibration.

Bibliography

- [1] IPC/JEDEC J-STD-020D.1 March 2008, Supersedes IPC/JEDEC J-STD-020D August 2007, *JOINT INDUSTRY STANDARD Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices*
 - [2] IEEE 952-1997: *IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros – Annex B (informative) Dynamic and stochastic modeling overview*
 - [3] ISO 16063-15:2006, *Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 15: Primary angular vibration calibration by laser interferometry*
 - [4] A. Just et al., *Comparison of angle standards with the aid of a high-resolution angle encoder*, *Precision Engineering*, 33, 530-533 (2009)
 - [5] T. Masuda and M. Kajitani: *High-accuracy calibration system for angular encoders*, *J. Robotics and Mechatronics*, 5 (5), 448-452 (1993)
 - [6] X.-D. Lu, D. L. Trumper: *Self-calibration of on-axis rotary encoders*, *Annals of the CIRP*, 56 (1), 499-504 (2007)
 - [7] E. W. Palmer: *High-accuracy angle measurement*, NPL, Teddington, U.K. (1984)
 - [8] T. Watanabe: *Is an angular standard necessary for rotary encoders?: development of a rotary encoder that enables visualization of angle deviation*, *Synthesiology*, Vol.1, No.4, pp. 296-304 (2008)
 - [9] Patent 3826207: *Angle detector with self-calibration capability* (available in Japanese only)
 - [10] T. Watanabe, H. Fujimoto and T. Masuda: *Self-calibratable rotary encoder*, *J. Physics: Conference Series*, 13, 240-245 (2005)
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	56
1 Domaine d'application	58
2 Références normatives	58
3 Termes et définitions	58
4 Valeurs assignées et caractéristiques essentielles	59
4.1 Catégorisation du gyro	59
4.2 Valeurs assignées maximales absolues	59
4.3 Valeurs assignées de fonctionnement normal	60
4.4 Caractéristiques	61
5 Méthodes de mesure	63
5.1 Coefficient de conversion	63
5.1.1 Objectif	63
5.1.2 Circuit de mesure (schéma du circuit)	63
5.1.3 Principe de mesure	65
5.1.4 Modes opératoires de mesure	74
5.1.5 Conditions spécifiées	76
5.2 Sensibilité de l'axe transversal	77
5.2.1 Objectif	77
5.2.2 Circuit de mesure (schéma du circuit)	77
5.2.3 Principe de mesure	78
5.2.4 Précautions à observer pendant les mesures de la vitesse angulaire appliquée	80
5.2.5 Modes opératoires de mesure	80
5.2.6 Conditions spécifiées	81
5.3 Biais	81
5.3.1 Objectif	81
5.3.2 Circuit de mesure	81
5.3.3 Principe de mesure	83
5.3.4 Modes opératoires de mesure	88
5.3.5 Conditions spécifiées	90
5.4 Bruit de sortie	91
5.4.1 Objectif	91
5.4.2 Circuit de mesure	91
5.4.3 Principe de mesure	93
5.4.4 Précautions pendant la mesure	93
5.4.5 Modes opératoires de mesure	94
5.4.6 Conditions spécifiées	97
5.5 Bande de fréquences	97
5.5.1 Objet	97
5.5.2 Circuit de mesure	97
5.5.3 Principe de mesure	99
5.5.4 Précautions pendant la mesure	101
5.5.5 Mode opératoire de mesure	101
5.5.6 Conditions spécifiées	103
5.6 Résolution	103
5.6.1 Objectif	103
5.6.2 Circuit de mesure	103

5.6.3	Principe de mesure.....	103
5.6.4	Modes opératoires de mesure.....	104
5.6.5	Conditions spécifiées.....	105
Annexe A (informative) Exactitude de la valeur mesurée des caractéristiques du gyro		106
A.1	Généralités	106
A.2	Angle et vitesse angulaire	106
A.3	Exemple d'écart angulaire se produisant après l'étalonnage	106
Bibliographie.....		108
Figure 1 – Exemple de circuit de mesure		64
Figure 2 – Exemple de configuration de câblage		65
Figure 3 – Exemple de données de mesure lorsque la vitesse angulaire est appliquée		66
Figure 4 – Exemple de données de coefficient de conversion à chaque température		68
Figure 5 – Exemple de relation entre le coefficient de conversion et le coefficient de température du coefficient de conversion à chaque température		69
Figure 6 – Exemple de mesure d'erreur ratiométrique du coefficient de conversion.....		70
Figure 7 – Exemple de mesure de stabilité du coefficient de conversion		72
Figure 8 – Exemple de mesure de symétrie du coefficient de conversion		73
Figure 9 – Circuit de mesure de la sensibilité de l'axe transversal.....		78
Figure 10 – Principe de la mesure de sensibilité de l'axe transversal		79
Figure 11 – Circuit de mesure 1 du biais		82
Figure 12 – Circuit de mesure 2 du biais		83
Figure 13 – Exemple de mesure d'erreur ratiométrique de biais		85
Figure 14 – Sensibilité en température du biais et hystérésis du biais		87
Figure 15 – Sensibilité à l'accélération linéaire du biais		88
Figure 16 – Système de mesure du bruit de sortie		92
Figure 17 – Exemple de configuration de câblage pour le bruit de sortie		93
Figure 18 – Spectres de puissance-fréquence		94
Figure 19 – Marche aléatoire angulaire		95
Figure 20 – Instabilité de biais et courbe de variance d'Allan		96
Figure 21 – Circuit de mesure de la réponse en fréquence.....		98
Figure 22 – Exemple de configuration de câblage pour la réponse en fréquence		99
Figure 23 – Caractéristiques de réponse en fréquence		100
Figure 24 – Caractéristiques de réponse de crête de gain.....		100
Figure 25 – Étalonnage de la réponse en fréquence		102
Tableau 1 – Catégories de gyro		59
Tableau 2 – Valeurs assignées maximales absolues		59
Tableau 3 – Valeurs assignées de fonctionnement normal		61
Tableau 4 – Caractéristiques		62
Tableau 5 – Condition spécifiée pour la mesure du coefficient de conversion		76
Tableau 6 – Conditions spécifiées pour la mesure du biais		91
Tableau 7 – Condition spécifiée pour la mesure de la bande de fréquences.....		103
Tableau 8 – Condition spécifiée pour la mesure de résolution		105

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 20: Gyroscopes

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 62047-20 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/188/FDIS	47F/191/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62047, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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 62047-20:2014

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 20: Gyroscopes

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie les termes et définitions, les valeurs assignées et les caractéristiques, ainsi que les méthodes de mesure des gyroscopes.

Les gyroscopes sont principalement utilisés dans des applications grand public, des applications industrielles générales et des applications aérospatiales. Les dispositifs microélectromécaniques (MEMS, *Micro-Electrical-Mechanical Systems*) et les lasers à semiconducteur sont largement utilisés dans la technologie des dispositifs de gyroscopes.

Un gyroscope est appelé ci-après gyro.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

Aucune

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

plateau tournant

plateau de vitesse

outil rotatif sur lequel un gyro est chargé pendant une mesure

3.2

vitesse de rotation de la terre

vitesse angulaire générée dans l'espace inertiel, due à la rotation de la terre

Note 1 à l'article: Lorsque la vitesse angulaire dans l'espace inertiel est définie par le jour stellaire de 23 heures 56 minutes, on obtient une référence de 4,098 903 691 secondes, comme spécifié par le Service international de rotation de la terre (IERS, *International Earth Rotation and Reference Systems Service*) et la vitesse angulaire de la terre dans l'espace inertiel est donc approximativement de 15,04 °/h. Pour tout détail relatif à la définition, se référer au site web de l'IERS (<http://www.iers.org>).

3.3

coefficient de conversion

rapport entre la tension de sortie du gyro ou le signal numérique de sortie et la vitesse angulaire de rotation appliquée, exprimé en V/(°/s) ou en bit/(°/s)

4 Valeurs assignées et caractéristiques essentielles

4.1 Catégorisation du gyro

Le Tableau 1 montre l'utilisation d'un gyro classé par domaines d'application.

Tableau 1 – Catégories de gyro

Catégorie	Contenu
1	principalement pour une utilisation grand public où les variations de biais ne sont pas spécifiées
2	principalement pour une utilisation industrielle pour une conception avec une gamme de valeurs appropriée de variations de biais
3	principalement pour une utilisation aérospatiale pour une conception avec une fonction détectable de la vitesse de rotation de la terre

4.2 Valeurs assignées maximales absolues

Le Tableau 2 décrit les valeurs assignées maximales absolues d'un gyro.

Les points suivants énumérés dans le tableau doivent être décrits dans la spécification, sauf indication contraire dans les spécifications d'achat correspondantes. Des contraintes dépassant ces limites peuvent constituer l'une des causes d'un endommagement permanent des dispositifs.

Tableau 2 – Valeurs assignées maximales absolues

Point n°	Valeurs assignées maximales absolues	Catégorie			Spécification			Unité	Commentaires
		1	2	3	min	type	max		
4.2.1	Gamme de températures de stockage	x	x	x	x		x	°C	Le niveau de management d'absorption d'humidité (voir par exemple les niveaux spécifiés dans le Tableau 5-1 «Niveaux de sensibilité à l'humidité», page 7 de l'IPC/JEDEC J-STD-020C, [1] ¹) pour le soudage par refusion doit être spécifié. Ces descriptions ne doivent pas être fournies pour des dispositifs sans processus de soudage par refusion et/ou processus de conditionnement avec joint hermétique.
4.2.2	Gamme de températures de fonctionnement	x	x	x	x		x	°C	
4.2.3	Gamme d'humidités de stockage							%	
4.2.4	Choc mécanique dans l'état fonctionnel	x	x	x			x	m/s ²	
4.2.5	Choc mécanique dans l'état non fonctionnel	x	x	x			x	m/s ²	

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Point n°	Valeurs assignées maximales absolues	Catégorie			Spécification			Unité	Commentaires
		1	2	3	min	type	max		
									approprié. L'accélération, les temps et les formes d'ondes doivent être spécifiés.
4.2.6	Vibration mécanique dans l'état fonctionnel	x	x	x			x	m/s ²	Valeur limite maximale d'accélération et de fréquence de vibration mécanique n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs dans un état fonctionnel approprié.
4.2.7	Vibration mécanique dans l'état non fonctionnel	x	x	x			x	m/s ²	Valeur limite maximale d'accélération et de fréquence de vibration mécanique n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs dans un état non fonctionnel approprié.
4.2.8	Vitesse angulaire limite	x	x	x			x	°/s	Valeur limite maximale de vitesse angulaire n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs dans un état fonctionnel approprié.
4.2.9	Accélération angulaire limite	X	x	x			x	°/s ²	Valeur limite maximale d'accélération angulaire n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs dans un état fonctionnel approprié.
4.2.10	Tension d'alimentation maximale	x	x	x			x	V	Valeur limite maximale de la tension d'alimentation n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs
4.2.11	Courant d'alimentation maximum						x	A	Valeur limite maximale du courant d'alimentation n'entraînant pas d'endommagement permanent des dispositifs. Cette valeur limite ne doit être spécifiée que pour un type de dispositif commandé par un courant constant
NOTE x: obligatoire, vierge: facultatif									

4.3 Valeurs assignées de fonctionnement normal

Le Tableau 3 décrit les valeurs assignées de fonctionnement normal d'un gyro.

Il convient de décrire les points suivants dans la spécification, sauf indication contraire dans les spécifications d'achat appropriées. Ces conditions sont recommandées pour maintenir les caractéristiques spécifiées dans un état stable pendant le fonctionnement des dispositifs d'application.

Tableau 3 – Valeurs assignées de fonctionnement normal

Point n°	Valeurs assignées de fonctionnement normal	Catégorie			Spécification			Unité	Commentaires
		1	2	3	min	type	max		
4.3.1	Gamme de températures de fonctionnement garantie	x	x	x	x		x	°C	Gammes recommandées d'indices appropriés de conditions liées à l'environnement (tels que les conditions d'environnement électromagnétique, la pression d'air) spécifiées en tant que valeurs minimales spécifiées jusqu'à une valeur maximale. Valeur maximale du temps de rétablissement après surcharge dans une gamme de mesure inférieure à la valeur maximale assignée.
4.3.2	Gamme d'humidités de fonctionnement garantie	x	x	x			x	%	
4.3.3	Gamme de tensions d'alimentation	x	x	x	x	x	x	V	
4.3.4	Consommation de courant	X	x	x			x	A	
4.3.5	Courant de démarrage			x			x	A	
4.3.6	Exigence d'ondulation de l'alimentation			x			x	Vpp	
4.3.7	Autres conditions liées à l'environnement				x		x		
4.3.8	Temps de rétablissement après surcharge			x			x	s	
NOTE x: obligatoire, vierge: facultatif									

4.4 Caractéristiques

Le Tableau 4 décrit les caractéristiques d'un gyro.

Tableau 4 – Caractéristiques

Point n°	Caractéristiques	Catégorie			Spécification			Unité	Commentaires
		1	2	3	min	type	max		
4.4.1	Gamme de mesure	x	x	x			x	°/s	Gamme de mesure de vitesse angulaire garantissant les performances
4.4.2	Coefficient de conversion nominal	x	x	x		x		V/(°/s) ou bits/(°/s)	Le coefficient de conversion nominal est également appelé sensibilité normalisée.
4.4.3	Variation du coefficient de conversion initial		x	x	x		x	%	Valeurs minimale et maximale de la variation par rapport à la sensibilité normalisée à une température spécifiée
4.4.4	Variation du coefficient de conversion avec la température ou coefficient de température du coefficient de conversion		x	x	x		x	%	Valeurs minimale et maximale de la sensibilité normalisée pour une variation de température spécifiée
4.4.5	Erreur ratiométrique du coefficient de conversion			x			x	%	Valeur maximale de l'erreur de fluctuation de tension d'application de sensibilité provoquée par une instabilité de fonctionnement de l'alimentation électrique appliquée
4.4.6	Linéarité						x	%	
4.4.7	Stabilité du coefficient de conversion	n		x		x			Valeur type de stabilité de sensibilité pour une valeur de tension d'entrée définie spécifiée
4.4.8	Symétrie du coefficient de conversion	n		x		x			Valeur type d'asymétrie de sensibilité définie par le rapport de la sensibilité appliquée plus la valeur d'une tension d'entrée spécifiée moins la valeur d'une tension d'entrée spécifiée, voir 5.1.3.8.
4.4.9	Sensibilité de l'axe transversal			x			x	%	Valeur maximale de la sensibilité de l'axe transversal (voir 5.2.3 Principe de mesure).
4.4.10	Biais nominal	x	x	x		x		V ou bit	Valeur type de la tension de biais ou valeur en bits pour une valeur de tension d'entrée appliquée appropriée
4.4.11	Variation de biais initial			x	x		x	°/s	Valeurs minimale et maximale de biais pour une température spécifiée
4.4.12	Variation de biais avec la température ou coefficient de température du biais			x	x		x	°/s	Valeurs minimale et maximale de biais normalisé pour une variation de température spécifiée
4.4.13	Erreur ratiométrique de biais			x			x	V	Valeur maximale de l'erreur de biais de fluctuation de tension d'application provoquée par une instabilité de fonctionnement de l'alimentation électrique appliquée. Aucune description n'est exigée dans le cas d'une sortie numérique.
4.4.14	Reproductivité de biais (allumage à extinction)			x	x		x	°/s	Valeur minimale et valeur maximale de fluctuation de biais de chaque période d'un état d'allumage jusqu'à un état d'extinction

Point n°	Caractéristiques	Catégorie			Spécification			Unité	Commentaires
		1	2	3	min	type	max		
4.4.15	Hystérésis de biais			x			x	°/s	Valeur maximale d'hystérésis de biais pour une variation de température spécifiée
4.4.16	Sensibilité linéaire de g			x			x		Valeur maximale de la valeur de biais modifiée pendant le fonctionnement d'une valeur d'accélération spécifiée constante exprimée en comparaison avec $g((^{\circ}/s)/g)$
4.4.17	Dérive de biais après mise sous tension			x			x	°/s	Valeur maximale de dérive de biais durant l'état d'allumage d'application d'une alimentation électrique
4.4.18	Bruit dans la bande			x			x	°/s	Bruit de sortie dans la bande pour un fonctionnement dans un état stable, exprimé en RMS (valeur efficace)
4.4.19	Bruit large bande			x			x	°/s	Bruit de sortie large bande pour un fonctionnement dans un état stable, exprimé en RMS (valeur efficace)
4.4.20	Marche aléatoire angulaire			x			x	°/√h ou (°/h)/√Hz	Variation de la sortie du gyroscope due au bruit, exprimée en RMS (valeur efficace)
4.4.21	Instabilité de biais			x			x	°/s	Exprimée en RMS (valeur efficace)
4.4.22	Temps de démarrage			x			x	s	Temps nécessaire pour que la sortie du gyro atteigne la sortie spécifiée après mise sous tension
4.4.23	Bande de fréquences	x	x	x	x			Hz	Caractéristiques de réponse en fréquence
4.4.24	Crête de gain						x	dB	Valeur maximale de gain des caractéristiques de fréquence à une fréquence spécifiée. Exprimer en une valeur spécifiée de la fréquence (Hz).
4.4.25	Résolution			x	x			°/s	Variation minimale détectable de la vitesse angulaire d'entrée
NOTE x: obligatoire, vierge: facultatif, n: inutile									

5 Méthodes de mesure

5.1 Coefficient de conversion

5.1.1 Objectif

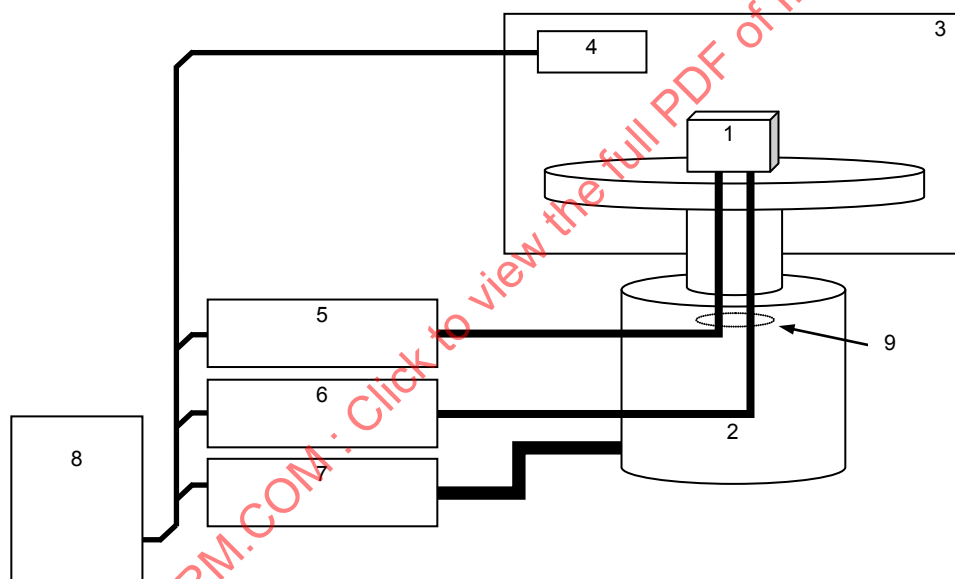
Spécifier une méthode de mesure du coefficient de conversion du gyro.

5.1.2 Circuit de mesure (schéma du circuit)

La Figure 1 montre un exemple de constitution du circuit de mesure de sensibilité et la Figure 2 montre un exemple de configuration de câblage. Le circuit de mesure est constitué du gyro à mesurer et des dispositifs énumérés ci-dessous. Les composants à appliquer dans le circuit de mesure doivent satisfaire aux points décrits ci-dessous.

- Enceinte thermostatée: Il convient que celle-ci soit capable de maintenir le gyro à une température ambiante spécifiée. De plus, il convient que la gamme de régulation de température soit plus large que la gamme de températures de fonctionnement du gyro.

- Capteur de température: Il convient que celui-ci soit capable de mesurer la température dans l'enceinte thermostatée. On peut utiliser un capteur de température disposé à l'avance dans l'enceinte thermostatée.
- Alimentation du gyro: Il convient que celle-ci soit capable de fournir la tension et le courant nécessaires pour le gyro. Il convient que la gamme de fluctuation de la tension d'ondulation à la sortie soit conforme aux exigences du gyro dans l'état alimenté.
- Système d'acquisition de données: Dispositif de mesure ou système de mesure adapté à la configuration de sortie du gyro. On utilise par exemple un multimètre numérique ou un enregistreur de données si la sortie du gyro est une tension analogique.
- Dispositif de commande du plateau tournant: Dispositif de commande qui commande la vitesse angulaire d'entrée communiquée au plateau de vitesse. On communique à ce plateau une vitesse angulaire de rotation supérieure ou égale à la gamme de détection du gyro et capable d'admettre des variations de la vitesse angulaire correspondant à la résolution minimale. Voir l'Annexe A pour l'exactitude de mesure du plateau tournant.
- Contrôleur du système de mesure: Système complet permettant de commander automatiquement l'alimentation, le gyro, le système d'acquisition de données et le dispositif de commande du plateau tournant. Celui-ci n'est pas exigé pour un fonctionnement manuel.
- Bague collectrice: Il convient de noter que la bague collectrice peut constituer une source de génération de bruit.

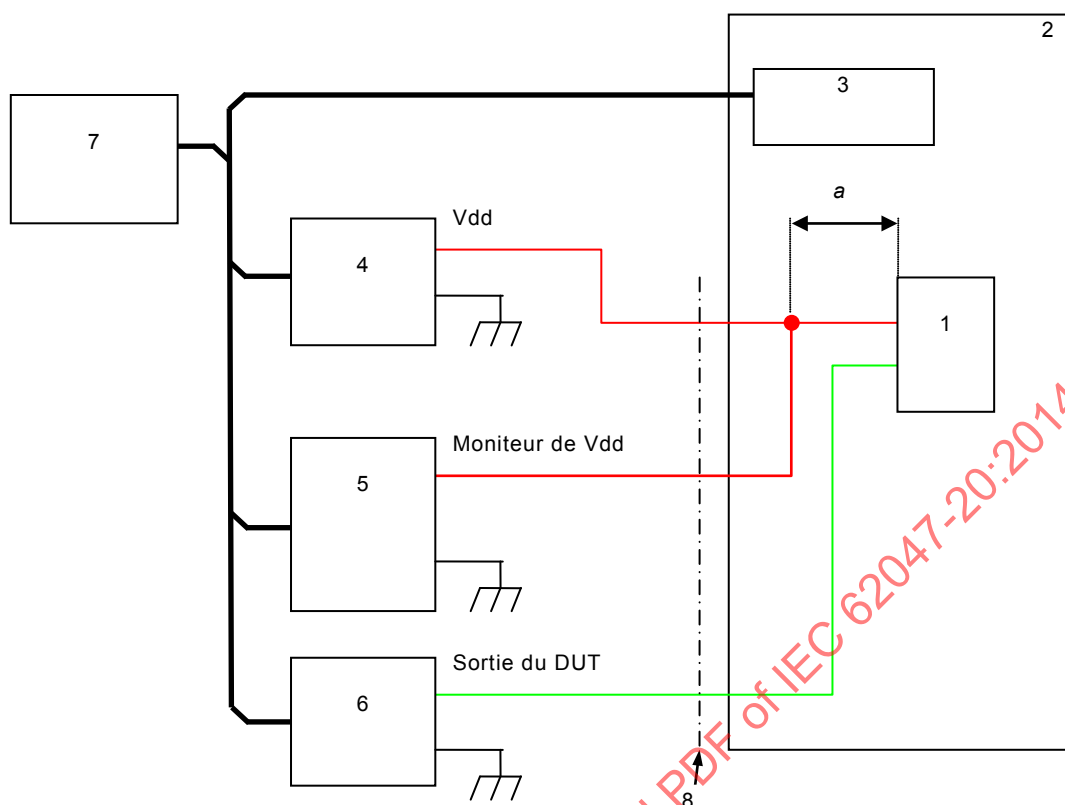


IEC 2054/14

Légende

- 1 DUT (Device under test - Dispositif en essai), élément de gyro
- 2 plateau de vitesse
- 3 enceinte thermostatée, permettant de maintenir une valeur de température spécifiée du DUT
- 4 capteur de température, permettant de surveiller la température de l'environnement dans une enceinte
- 5 alimentation permettant de faire fonctionner le DUT
- 6 enregistreur de données, permettant d'obtenir des données pendant la mesure
- 7 contrôleur du plateau de vitesse, permettant de déterminer un état de rotation spécifié du plateau de vitesse
- 8 système de commande, permettant de commander le circuit de mesure pendant la mesure
- 9 bague collectrice

Figure 1 – Exemple de circuit de mesure



IEC 2055/14

Légende

- 1 DUT, élément de gyro
- 2 enceinte thermostatée, permettant de maintenir une valeur de température spécifiée du DUT
- 3 thermomètre, permettant de surveiller la température de l'environnement dans une enceinte
- 4 alimentation, permettant de fournir de l'énergie électrique pour faire fonctionner le DUT
- 5 moniteur de l'alimentation
- 6 enregistreur de données, permettant d'obtenir des données pendant la mesure
- 7 système de commande
- 8 position de la bague collectrice (lorsqu'on utilise une bague collectrice)
- a distance entre la position de réinjection de l'alimentation et la position des bornes d'alimentations du gyro (il convient de préférence que la longueur du câblage soit aussi courte que possible).
- Vdd tension d'alimentation
- Moniteur de Vdd
- Sortie du DUT sortie du DUT (gyro)

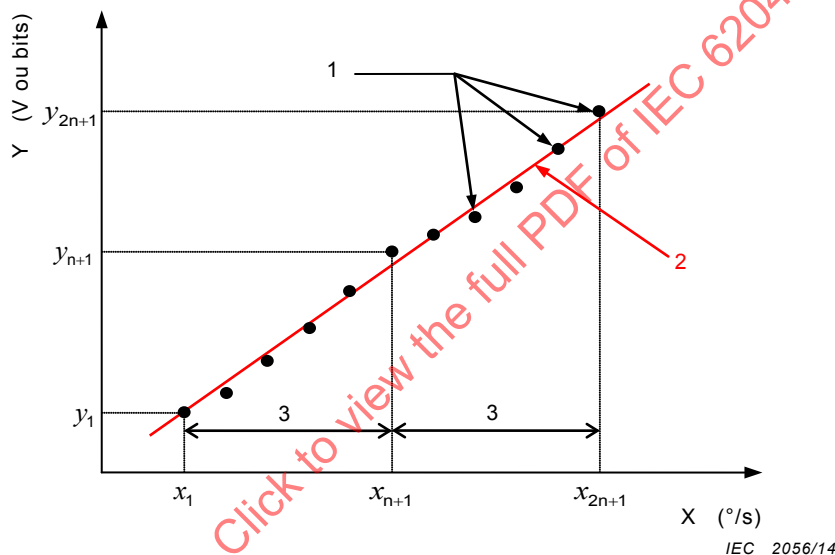
Figure 2 – Exemple de configuration de câblage**5.1.3 Principe de mesure****5.1.3.1 Coefficient de conversion**

Dans le circuit de mesure représenté à la Figure 1, lorsque le gyro est à une température de mesure spécifiée T_{BASE} (température spécifiée donnée par la valeur moyenne entre une température minimale de fonctionnement spécifiée et une température maximale de fonctionnement, voir Figure 4) et à une tension d'alimentation spécifiée V_{BASE} , une vitesse angulaire de rotation de $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ qui divise la demi-plage de détection inférieure et supérieure du gyro en n distributions, par exemple $x_1, x_2, \dots, x_n$ (de préférence $n \geq 5$) est

appliquée, ainsi que les valeurs de sortie correspondantes de signal y_1 , y_2 , ..., y_{2n+1} mesurées en V/(°/s) ou en bits/(°/s) de cette vitesse angulaire d'entrée de détection.

De plus, bien que le fabricant puisse spécifier la valeur de n , celle-ci peut être modifiée comme nécessaire en se fondant sur des spécifications ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et son utilisateur.

La Figure 3 montre un exemple de données de mesure. Les symboles abrégés CCW et CW sur la figure représentent respectivement la rotation vers la gauche (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, en anglais «counter clockwise») et la rotation vers la droite (dans le sens des aiguilles d'une montre, en anglais «clockwise»). (Sur la Figure 3, elle est divisée de manière égale en $n = 5$ et un nombre total de 11 points de données sont représentés, incluant l'état stationnaire). Un coefficient de conversion est obtenu par des calculs à partir de ces points. Toutefois, puisque les données acquises ne se trouvent pas sur une ligne droite, comme représenté à la Figure 3, une ligne droite sur laquelle la somme des carrés devient minimale est obtenue par calcul (cette ligne droite est appelée ci-après droite de meilleur ajustement).



Légende

- 1 points de données de mesure à la valeur de la vitesse angulaire appliquée
- 2 droite de meilleur ajustement
- 3 divisée en «n» intervalles spécifiques
- X axe x, vitesse angulaire d'entrée en °/s
- x_1 détection maximale dans le sens inverse des aiguilles d'une montre
- x_{n+1} état stationnaire
- x_{2n+1} vitesse angulaire d'entrée de détection maximale dans le sens des aiguilles d'une montre
- Y axe y, signal de sortie du gyro en V ou en bits
- y_1 valeur de sortie maximale côté sens inverse des aiguilles d'une montre
- y_{n+1} valeur de sortie à l'état stationnaire
- y_{2n+1} valeur de sortie maximale côté sens des aiguilles d'une montre

Figure 3 – Exemple de données de mesure lorsque la vitesse angulaire est appliquée

La valeur de sortie du gyro pour chaque point de mesure est ici représentée par « y_i » et la vitesse angulaire à appliquer à l'entrée du gyro est représentée par « x_i ». Les constantes de la droite de meilleur ajustement « $y = a_{\text{BASE}} \times x + b_{\text{BASE}}$ » sont alors obtenues comme suit:

$$a_{\text{BASE}} = \frac{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i y_i - \sum_{i=1}^{2n+1} x_i \sum_{i=1}^{2n+1} y_i}{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (1)$$

$$b_{\text{BASE}} = \frac{\sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 \sum_{i=1}^{2n+1} y_i - \sum_{i=1}^{2n+1} x_i y_i \sum_{i=1}^{2n+1} x_i}{(2n+1) \sum_{i=1}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (2)$$

La pente « a_{BASE} » de la droite de meilleur ajustement à cette occasion est le coefficient de conversion à la température de mesure de référence « T_{BASE} » et à la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} ».

5.1.3.2 Variation du coefficient de conversion initial

Il s'agit de la valeur de la variation entre le coefficient de conversion « a_{BASE} » et le coefficient de conversion nominal (valeur normalisée du coefficient de conversion) « a_{TYP} » de son gyro à la température de mesure de référence « T_{BASE} » et à la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro.

La variation initiale du coefficient de conversion « $S_{\text{F,VAR,BASE}}$ » est ici obtenue comme suit:

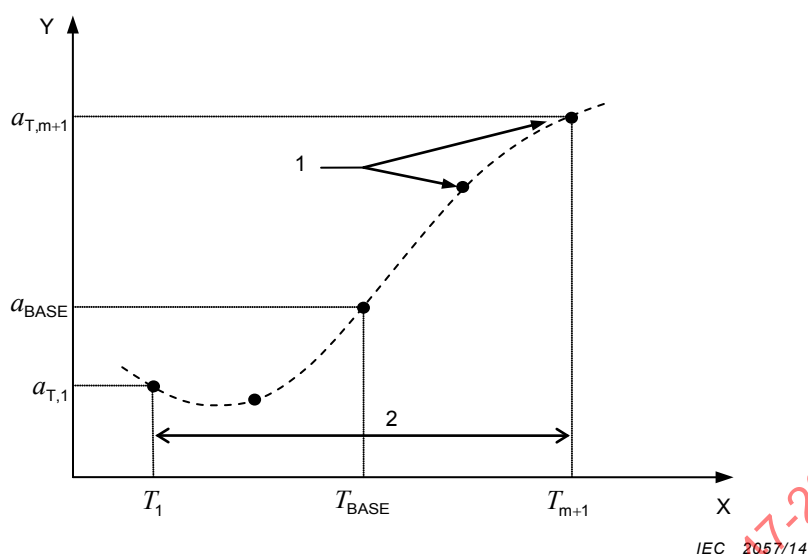
$$S_{\text{F,VAR,BASE}} = \frac{a_{\text{BASE}} - a_{\text{TYP}}}{a_{\text{TYP}}} \quad (3)$$

5.1.3.3 Variation du coefficient de conversion avec la température

Lorsque la gamme de températures de fonctionnement du gyro dans les m distributions de $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ (de préférence $m \geq 4$) dans les conditions de la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro et du coefficient de conversion obtenu pour chaque valeur de température « $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ » est respectivement exprimée par « $a_{T_1}, a_{T_2}, \dots, a_{T_{m+1}}$ », la valeur de la variation entre ces valeurs et « a_{BASE} » représente l'erreur de température à cette température.

De plus, bien que le fabricant puisse spécifier la valeur de m , celle-ci peut être modifiée comme nécessaire en se fondant sur des spécifications ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et son utilisateur.

La Figure 4 montre un exemple de données de coefficient de conversion. (Sur la Figure 4, elle est divisée de manière égale en $m = 4$ et $m = 3$ est considérée comme étant la température de mesure de référence).



Légende

- 1 valeur du coefficient de conversion à chaque température
- 2 divisée en m segments
- X axe x: température de l'environnement du gyro
- T_1 température basse de fonctionnement
- T_{BASE} température de mesure de référence
- T_{m+1} température maximale de fonctionnement
- Y axe y: valeur du coefficient de conversion du gyro
- $a_{T,1}$ valeur du coefficient de conversion à la température minimale de fonctionnement
- a_{BASE} valeur du coefficient de conversion à la température de mesure de référence
- $a_{T,m+1}$ valeur du coefficient de conversion à la température maximale de fonctionnement

Figure 4 – Exemple de données de coefficient de conversion à chaque température

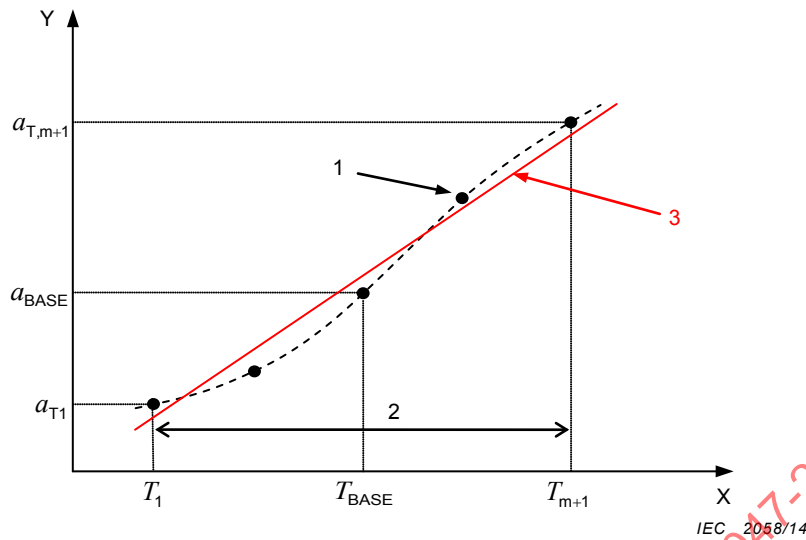
Lorsque le coefficient de conversion à la température « T_i » est ici représenté par « $a_{T,i}$ », la variation du coefficient de conversion avec la température « $S_{F,VAR,Ti}$ » est obtenue comme suit:

$$S_{F,VAR,Ti} = \frac{a_{T,i} - a_{BASE}}{a_{BASE}} \quad (4)$$

Le calcul ci-dessus est effectué à chacune des températures « $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ » et la valeur « $S_{F,VAR,Ti}$ » obtenue est la variation du coefficient de conversion par rapport à la valeur de température à cette température « T_i ».

5.1.3.4 Coefficient de température du coefficient de conversion

La valeur de la pente de la variation de température de la variation du coefficient de conversion avec la température dans les conditions de l'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro devient le coefficient de température du coefficient de conversion. La Figure 5 montre un exemple.

**Légende**

- 1 valeur du coefficient de conversion à chaque température
- 2 divisée en m segments
- 3 droite de meilleur ajustement (Coefficient de température = $T_{c,SF}$)
- X axe x: température de l'environnement du gyro
- T_1 température minimale de fonctionnement
- T_{BASE} température de mesure de référence
- T_{m+1} température maximale de fonctionnement
- Y axe y: valeur du coefficient de conversion du gyro
- $a_{T,1}$ valeur du coefficient de conversion à la température minimale de fonctionnement
- a_{BASE} valeur du coefficient de conversion à la température de mesure de référence
- $a_{T,m+1}$ valeur du coefficient de conversion à la température maximale de fonctionnement

Figure 5 – Exemple de relation entre le coefficient de conversion et le coefficient de température du coefficient de conversion à chaque température

Pour $a_{T,1}, a_{T,2}, \dots, a_{T,m+1}$ obtenus au moyen de la méthode présentée en 5.1.3.3, on obtient la ligne droite, droite de meilleur ajustement $y = T_{c,SF} \times x + c$ sur laquelle la somme des carrés devient minimale.

$$T_{c,SF} = \frac{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i a_{Ti} - \sum_{i=1}^{m+1} T_i \sum_{i=1}^{m+1} a_{Ti}}{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m+1} T_i \right)^2} \quad (5)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 \sum_{i=1}^{m+1} a_{Ti} - \sum_{i=1}^{m+1} T_i a_{Ti} \sum_{i=1}^{m+1} T_i}{(m+1) \sum_{i=1}^{m+1} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m+1} T_i \right)^2} \quad (6)$$

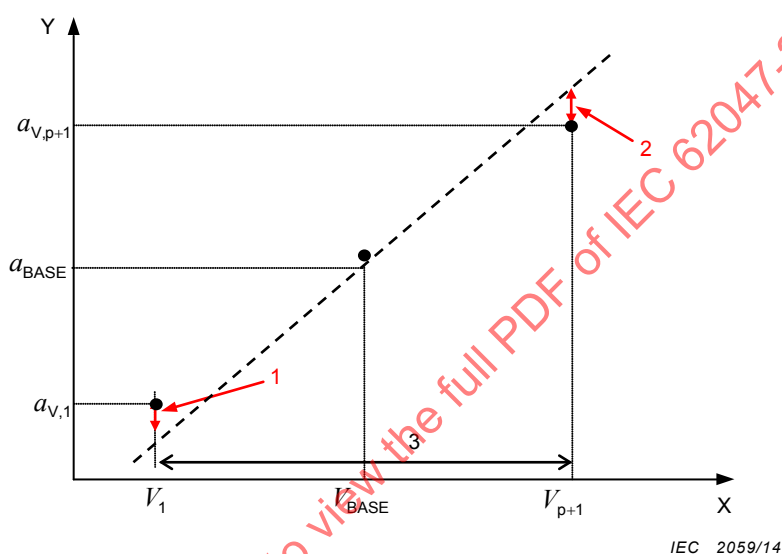
La pente $T_{c,SF}$ de la droite de meilleur ajustement à cette occasion est le coefficient de température du coefficient de conversion.

5.1.3.5 Erreur ratiométrique du coefficient de conversion

Lorsque la gamme de tensions d'alimentation de fonctionnement du gyro est divisée en p distributions (de préférence $p \geq 2$) à la température de mesure de référence « T_{BASE} » du gyro, le coefficient de conversion à chaque tension d'alimentation « $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ » devient respectivement « $a_{V,1}, a_{V,2}, \dots, a_{V,p+1}$ ».

Ici, bien que le fabricant puisse spécifier la valeur de « p », celle-ci peut être modifiée comme nécessaire en se fondant sur des discussions entre l'utilisateur et le fabricant.

La Figure 6 montre un exemple d'erreur ratiométrique pour les données du coefficient de conversion. (Sur la Figure 6, elle est divisée de manière égale en $p = 2$ et $p = 2$ est considérée comme étant la tension d'alimentation de référence).



Légende

- 1 valeur d'erreur ratiométrique ($R_{\text{error},V1}$)
- 2 valeur d'erreur ratiométrique ($R_{\text{error},Vp+1}$)
- 3 divisée en p segments
- X axe x: tension de fonctionnement du gyro
- V_1 limite inférieure de la tension de fonctionnement
- V_{BASE} tension d'alimentation de référence
- V_{p+1} limite supérieure de la tension de fonctionnement
- Y axe y: valeur du coefficient de conversion du gyro
- $a_{V,1}$ valeur du coefficient de conversion à la limite inférieure de la tension de fonctionnement
- a_{BASE} valeur du coefficient de conversion à la tension d'alimentation de référence
- a_{Vp+1} valeur du coefficient de conversion à la limite supérieure de la tension de fonctionnement

Figure 6 – Exemple de mesure d'erreur ratiométrique du coefficient de conversion

Dans ce cas, l'erreur ratiométrique du coefficient de conversion « $R_{\text{error},Vi}$ » est obtenue comme suit:

$$R_{\text{error},Vi} = \frac{\left| a_{Vi} - (a_{\text{BASE}}) \times \left(\frac{Vi}{V_{\text{BASE}}} \right) \right|}{a_{\text{BASE}}} \quad (7)$$

Le calcul présenté ci-dessus est effectué pour chacune des tensions « $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ » et la valeur « R_{error,V_i} » obtenue est l'erreur ratiométrique de la valeur du coefficient de conversion à la tension « V_i ».

5.1.3.6 Linéarité

Il s'agit d'une valeur représentant l'importance de la variation entre les données de sortie mesurées et les valeurs sur la droite de meilleur ajustement à la température de mesure de référence « T_{BASE} » et la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro selon le 5.1.3.1.

L'erreur de linéarité « $L_{\text{error},i}$ » à une vitesse angulaire spécifiée est obtenue comme indiqué ci-dessous, lorsqu'une certaine vitesse angulaire « x_i » est ajoutée et que la valeur de sortie du gyro est représentée par « y_i », la valeur est obtenue d'après la droite de meilleur ajustement par « $a_{\text{BASE}} \times x_i + b_{\text{BASE}}$ » et la gamme de détection du gyro est représentée par « $F_{\text{FullScale}}$ ».

$$L_{\text{error},i} = \frac{|y_i - (a_{\text{BASE}} \times x_i + b_{\text{BASE}})|}{F_{\text{FullScale}}} \quad (8)$$

On considère ici le cas de la Figure 3,

$$F_{\text{FullScale}} = y_{\text{MAX,CW}} - y_{\text{MAX,CCW}} = y_{2n+1} - y_1 \quad (9)$$

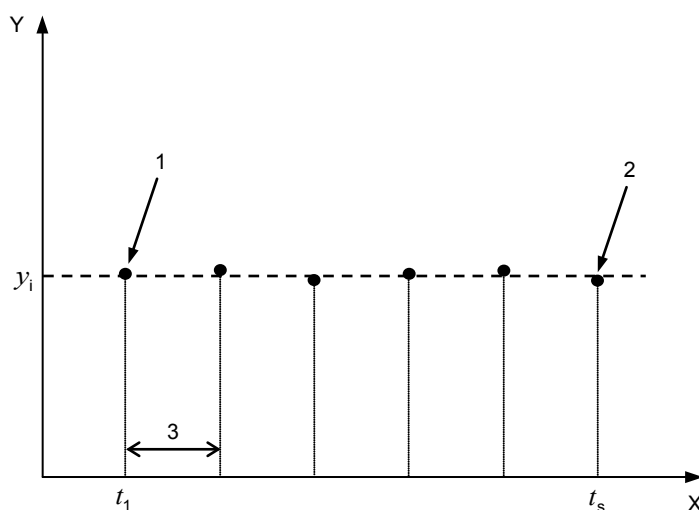
Le calcul présenté ci-dessus est effectué pour chacun des points de mesure « $y_1, y_2, \dots, y_{2n+1}$ ». « $L_{\text{error},i}$ » obtenue est la valeur de l'erreur de linéarité à cette vitesse angulaire de rotation y_i .

5.1.3.7 Stabilité du coefficient de conversion

Il s'agit de la valeur de la stabilité pendant que le gyro tourne en continu à une vitesse angulaire constante à la température de mesure de référence « T_{BASE} » et la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro. La vitesse angulaire de rotation « x_i » (x_i est la vitesse angulaire de l'un ou l'autre parmi $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$) est donnée, tandis que la gamme de détection du gyro est divisée en q segments, et la valeur de sortie « y_i » (y_i est une sortie de $y_1, y_2, \dots, y_{q+1}$) est mesurée en continu avec un temps d'échantillonnage constant « r » pendant le nombre d'échantillonnages « s ». (Le temps de mesure est donc exprimé par $r \times s$).

Ici, bien que le fabricant puisse spécifier les valeurs de « q », « r » et « s », celles-ci peuvent être modifiées comme nécessaire en se fondant sur des discussions entre l'utilisateur et le fabricant.

La Figure 7 montre un exemple de données de mesure de la stabilité du coefficient de conversion. (La Figure 7 est un dessin explicatif montrant la stabilité de sortie à la vitesse angulaire d'entrée x_i).



Légende

- 1 sortie au démarrage ($y_{i,1}$)
- 2 sortie à la fin de la mesure ($y_{i,s}$)
- 3 temps d'échantillonnage
- X axe x: temps écoulé
- t_1 heure de démarrage de la mesure
- t_s heure de fin de la mesure
- Y axe y: valeur de sortie du gyro
- Y_i valeur de sortie du gyro à une vitesse angulaire constante

Figure 7 – Exemple de mesure de stabilité du coefficient de conversion

Lorsque des groupes de données des valeurs de sortie du gyro à la vitesse angulaire d'entrée « x_i » sont représentés par « $y_{i,1}$ », « $y_{i,2}$, $y_{i,3}$, ... $y_{i,s}$ », et que la gamme de détection est représentée par « $F_{fullScale}$ », la stabilité « δ_i » de ces valeurs est obtenue comme suit:

$$\delta_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^s (y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{s}}}{F_{fullScale}} \quad (10)$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{s} \times \sum_{j=1}^s y_{i,j} \quad (11)$$

Ici, le cas de la Figure 3 est pris en compte. Alors,

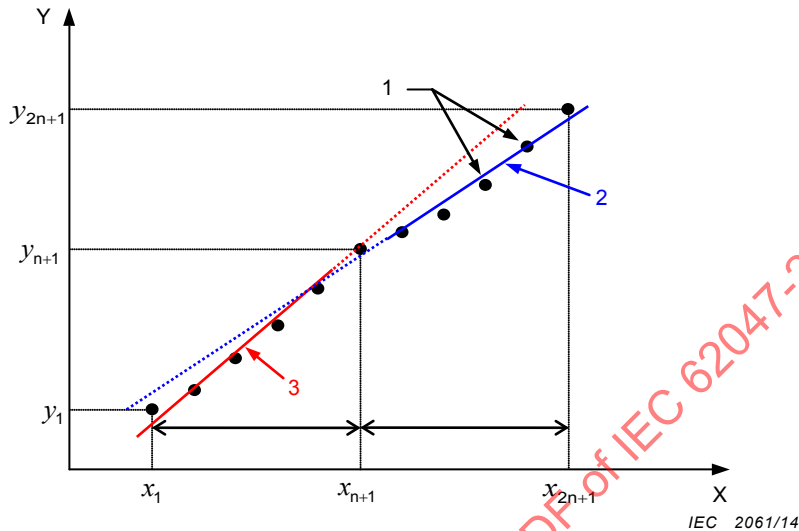
$$F_{fullScale} = y_{MAX,CW} - y_{MAX,CCW} = y_{2n+1} - y_1 \quad (12)$$

est obtenue.

Le calcul présenté ci-dessus est effectué pour la vitesse angulaire de rotation « $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ » à fixer. La valeur δ_i obtenue est la valeur de stabilité du coefficient de conversion à cette vitesse angulaire de rotation « x_i ». De plus, cette mesure n'est pas applicable à l'état stationnaire.

5.1.3.8 Symétrie du coefficient de conversion

Il s'agit d'une valeur représentant la différence des valeurs de coefficient de conversion obtenues lorsque la droite de meilleur ajustement est calculée tandis que les données de sortie mesurées sont séparées en CW (vers la droite) et CCW (vers la gauche) à la température de mesure de référence « T_{BASE} » et à la tension d'alimentation de référence « V_{BASE} » du gyro selon 5.1.3.1.



Légende

- 1 groupe de données de mesure lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée
- 2 droite de meilleur ajustement (CW)
- 3 droite de meilleur ajustement (CCW)
- X axe x: vitesse angulaire d'entrée
- x_1 vitesse angulaire d'entrée de détection maximale dans le sens inverse des aiguilles d'une montre
- x_{n+1} état de repos
- x_{2n+1} vitesse angulaire d'entrée de détection maximale dans le sens des aiguilles d'une montre
- Y axe y: signal de sortie du gyro
- y_1 valeur de sortie maximale côté sens inverse des aiguilles d'une montre
- y_{n+1} valeur de sortie à l'état de repos
- y_{2n+1} valeur de sortie maximale côté sens des aiguilles d'une montre

Figure 8 – Exemple de mesure de symétrie du coefficient de conversion

En prenant ici comme exemple le cas de la Figure 8, la droite de meilleur ajustement CW et CCW est respectivement représentée par « $y_i = a_{CW} \times x_i + b_{CW}$ » et « $y_i = a_{CCW} \times x_i + b_{CCW}$ ». Celles-ci sont alors obtenues comme suit:

$$a_{CW} = \frac{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i y_i - \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \sum_{i=n+2}^{2n+1} y_i}{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (13)$$

$$b_{CW} = \frac{\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 \sum_{i=n+2}^{2n+1} y_i - \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i y_i \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i}{n \sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i^2 - \left(\sum_{i=n+2}^{2n+1} x_i \right)^2} \quad (14)$$

$$a_{CCW} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (15)$$

$$b_{CCW} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (16)$$

Les données de mesure « y_{n+1} » dans l'état stationnaire ne sont pas utilisées pour ce calcul.

Pour le coefficient de conversion « a_{CW} » et « a_{CCW} » de CW et CCW ainsi obtenu, l'erreur de symétrie « $S_{Y,error}$ » est calculée au moyen de la formule suivante:

$$S_{Y,error} = \frac{|a_{CW} - a_{CCW}|}{a_{TYP}} \quad (17)$$

5.1.4 Modes opératoires de mesure

5.1.4.1 Coefficient de conversion

Les modes opératoires de mesure du coefficient de conversion en température « T_i » et de la tension d'alimentation « V_i » sont présentés ci-dessous. Pour la variation de coefficient de conversion avec la température et l'erreur ratiométrique du coefficient de conversion, la mesure est effectuée pendant que la température et la tension sont modifiées avec les mêmes modes opératoires que ceux qui sont présentés ci-dessous, et le calcul est effectué d'après le résultat de la mesure.

a) Tension d'alimentation

Une tension « V_i » est appliquée au gyro. Une chute de tension due aux câblages est également concevable dans ce cas. En conséquence, la ligne d'alimentation et la ligne de surveillance de tension sont câblées séparément, comme représenté à la Figure 2, et il convient de vérifier si la valeur de sortie de la ligne de surveillance de la tension est en accord avec la tension cible.

b) Réglage de température

Le gyro situé sur le plateau tournant est exposé à la température « T_i » à mesurer. Il convient de laisser jusqu'au bout le gyro sur le plateau tournant dans l'enceinte thermostatée, jusqu'à ce qu'il atteigne la température de consigne.

c) Nouveau réglage de tension

Il est probable que la tension d'alimentation de consigne varie légèrement en raison du temps qui s'est écoulé ou des variations de consommation de courant à la température de consigne.

mentionnée ci-dessus. Il convient donc de régler à nouveau la tension après que le gyro a atteint la température de consigne.

Dans ce cas, il est probable que la tension ne puisse pas être réglée exactement au point de consigne (par exemple, 4,999 8 V pour une tension de consigne de 5,000 0 V) et en conséquence, il convient d'enregistrer la tension réellement fournie.

d) Confirmation de la sortie

Après avoir confirmé que la sortie du gyro à l'état de repos est stable, la vitesse angulaire de rotation est donnée comme mentionné en 5.1.3.1 et la sortie à cette occasion est mesurée.

e) Normalisation de la sortie

Lorsque le gyro possède les caractéristiques ratiométriques, pour minimiser l'erreur très faible due à la tension d'alimentation (par exemple, une erreur due au fait que la tension d'alimentation mesurée est de 4,999 8 V par rapport à une tension de consigne de 5,000 0 V), il convient de normaliser la valeur de sortie réellement mesurée en considérant que la sortie mesurée agit d'une façon ratiométrique avec la valeur théorique.

La valeur de sortie réellement mesurée est ici représentée par « $y_{RAW,i}$ », la tension de consigne par « V_{BASE} », la tension d'alimentation est représentée par « V_i », et la valeur corrigée de sortie « y_i » est exprimée par la formule suivante:

$$y_i = y_{RAW,i} \times \frac{V_{BASE}}{V_i} \quad (18)$$

f) Calcul de chaque donnée

Chaque donnée est obtenue par un calcul fondé sur les formules présentées en 5.1.3.1. Les éléments autres que la stabilité du coefficient de conversion peuvent être obtenus en modifiant la température et la tension.

5.1.4.2 Stabilité du coefficient de conversion

Les modes opératoires de mesure de la stabilité du coefficient de conversion à la température « T_i » et la tension d'alimentation « V_i » sont présentés ci-dessous.

a) Tension d'alimentation

Voir 5.1.4.1 a).

b) Réglage de température

Voir 5.1.4.1 b).

c) Nouveau réglage de tension

Voir 5.1.4.1 c).

d) Confirmation de la sortie

Après avoir confirmé que la sortie du gyro à l'état de repos est stable, la vitesse angulaire de rotation est donnée comme mentionné en 5.1.3.7 et la sortie à cette occasion est mesurée.

e) Normalisation de la sortie

Lorsque le gyro possède les caractéristiques ratiométriques, pour minimiser l'erreur très faible due à la tension d'alimentation (par exemple, une erreur due au fait que la tension d'alimentation mesurée est de 4,999 8 V par rapport à une tension de consigne de 5,000 0 V), il convient de normaliser la valeur de sortie réellement mesurée en considérant que la sortie mesurée agit d'une façon ratiométrique avec la valeur théorique.

La valeur de sortie réellement mesurée est ici représentée par « $y_{\text{RAW},i,j}$ », la tension de consigne par « V_{BASE} », la tension d'alimentation est représentée par « V_i », et la valeur corrigée de sortie « $y_{i,j}$ » est exprimée par la formule suivante:

$$y_{i,j} = y_{\text{RAW},i,j} \times \frac{V_{\text{BASE}}}{V_i} \quad (19)$$

f) Calcul de chaque donnée

Chaque donnée est obtenue par un calcul fondé sur les formules présentées en 5.1.3.7.

5.1.5 Conditions spécifiées

Le Tableau 5 décrit les paramètres des conditions de mesure qu'il convient de déterminer avant la mesure.

Tableau 5 – Condition spécifiée pour la mesure du coefficient de conversion

Point n°	Élément de mesure	Paramètre	Explications complémentaires
5.1.3.1	Coefficient de conversion	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Vitesse angulaire mesurée: $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$	Vitesse angulaire de « $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ » sur la Figure 3 Un nombre de données aussi grand que « $2n+1$ » est donc nécessaire pour le calcul du coefficient de conversion.
5.1.3.2	Variation du coefficient de conversion initial	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension d'alimentation de référence: V_{BASE}	
5.1.3.3	Variation du coefficient de conversion avec la température	Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Température de mesure: $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$	Valeur de température de « $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$ » sur la Figure 4 Un nombre de données aussi grand que « $2n+1$ » points est donc nécessaire pour le calcul du coefficient de conversion à chaque température. Pour le calcul de la variation du coefficient de conversion avec la température, un nombre aussi grand que $(2n+1) \times (m+1)$ est donc nécessaire.
5.1.3.4	Coefficient de température du coefficient de conversion	Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Température de mesure: $T_1, T_2, \dots, T_{m+1}$	Identiques à celles du point 5.1.3.3
5.1.3.5	Erreur ratiométrique du coefficient de conversion	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension de mesure: $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$	Valeur de la tension de mesure « $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ » sur la Figure 6 Un nombre de données aussi grand que « $2n+1$ » points est nécessaire pour le calcul du coefficient de conversion à chaque température. Pour le calcul de l'erreur ratiométrique du coefficient de conversion, un nombre de données aussi grand que $(2n+1) \times (p+1)$ est donc nécessaire.
5.1.3.6	Linéarité	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Vitesse angulaire de mesure: « $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ »	Identiques à celles du point 5.1.3.1

Point n°	Élément de mesure	Paramètre	Explications complémentaires
5.1.3.7	Stabilité du coefficient de conversion	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Vitesse angulaire de mesure: « $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ » Fréquence d'échantillonnage: r Nombre de temps d'échantillonnage: s	Pour les conditions de mesure de la fréquence d'échantillonnage et du nombre de temps d'échantillonnage et pour le calcul de stabilité à chaque vitesse angulaire de « $x_1, x_2, \dots, x_{q+1}$ » à mesurer, des données de « s » points sont nécessaires. Un nombre de données aussi grand que $s \times (q+1)$ est donc nécessaire pour le calcul de la stabilité du coefficient de conversion.
5.1.3.8	Symétrie du coefficient de conversion	Température de mesure de référence: T_{BASE} Tension d'alimentation de référence: V_{BASE} Vitesse angulaire de mesure: « $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ » (Toutefois, le «point de repos», x_{n+1} est exclu).	Valeur de la vitesse angulaire de « $x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}$ » sur la Figure 8 (toutefois le «point de repos», x_{n+1} est exclu). Un nombre de données aussi grand que « $2n$ » est donc nécessaire pour le calcul de la symétrie du coefficient de conversion.

5.2 Sensibilité de l'axe transversal

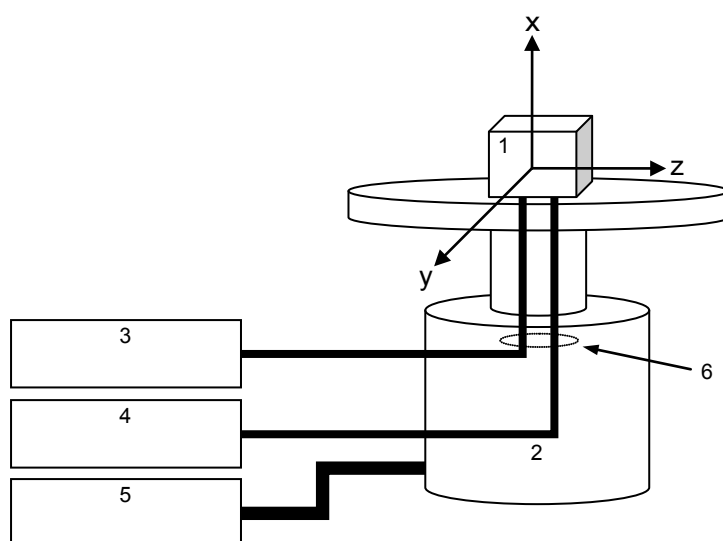
5.2.1 Objectif

Spécifier la méthode de mesure de la sensibilité de l'axe transversal dans le gyro.

5.2.2 Circuit de mesure (schéma du circuit)

La Figure 9 représente un circuit de mesure de la sensibilité de l'axe transversal. Le circuit de mesure est constitué du gyro à mesurer, d'une alimentation, d'un plateau tournant, d'un système enregistreur de données et d'un câblage. Les composants à appliquer dans le circuit de mesure doivent satisfaire aux points décrits ci-dessous.

- L'alimentation doit être capable de fournir une tension spécifiée et un courant électrique exigés par le gyro (DUT) et il convient que la gamme de fluctuation de la tension d'ondulation sur la sortie, etc., soit conforme aux exigences du gyro dans l'état d'alimentation.
- La partie du plateau de vitesse du système rotatif doit avoir la possibilité d'appliquer une vitesse angulaire de rotation spécifiée pour le gyro et il convient qu'elle soit capable de faire varier la vitesse angulaire d'entrée du gyro dans une gamme appropriée équivalente à une valeur de résolution minimale spécifiée de la vitesse angulaire. De plus, dans le cas de la mesure de la sensibilité de l'axe transversal, il convient d'appliquer une valeur spécifiée de vitesse angulaire au gyro de manière continue. Ainsi, il convient que la fourniture d'une alimentation électrique spécifiée et la détection d'un signal de sortie électrique soient fournies de manière appropriée à travers une ou plusieurs bagues collectrices. Il convient d'utiliser la ou les bagues collectrices avec toute influence du bruit sur la détection.
- Le contrôleur doit être capable de contrôler des gammes spécifiées de vitesses angulaires d'entrée du gyro en contrôlant la rotation du plateau tournant.
- Le système enregistreur de données doit être un type d'outil de mesure ou un système de mesure adapté au mode de sortie du gyro. On utilise par exemple un multimètre numérique ou un enregistreur de données si la sortie du gyro est une tension (analogique).
- Le câblage doit être raccordé par des câbles pour la connexion électrique de l'alimentation, du gyro et du système enregistreur de données. Le passage du câblage de mesure doit être effectué sous la forme d'un passage approprié permettant de réduire au minimum l'influence générée depuis l'intérieur du système de mesure et des bruits d'interférence de l'extérieur du système.



Légende

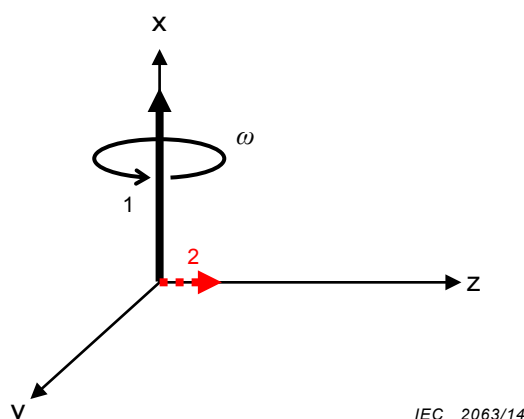
- 1 DUT (gyro)
- 2 plateau de vitesse
- 3 alimentation du DUT (gyro)
- 4 enregistreur de données
- 5 contrôleur du plateau de vitesse
- 6 position de la bague collectrice (lorsqu'on utilise une bague collectrice)
- x axe x: DUT (gyro) axe sans détection
- y axe y: DUT (gyro) axe sans détection
- z axe z: DUT (gyro) axe de détection

Figure 9 – Circuit de mesure de la sensibilité de l'axe transversal

5.2.3 Principe de mesure

La définition de la sensibilité de l'axe transversal est la suivante:

La Figure 10 montre le cas où la vitesse angulaire ω est appliquée autour de l'axe x et la sensibilité de l'axe transversal est définie par la vitesse angulaire de sortie du gyro divisée par la vitesse angulaire appliquée.



IEC 2063/14

Légende

- | | |
|---|--|
| 1 | vitesse angulaire appliquée (axe sans détection du gyro) |
| 2 | vitesse angulaire de sortie du gyro |
| x | axe x: DUT (gyro) axe sans détection |
| y | axe y: DUT (gyro) axe sans détection |
| z | axe z: DUT (gyro) axe de détection |

Figure 10 – Principe de la mesure de sensibilité de l'axe transversal

Considérant les définitions décrites ci-dessus, le principe de base de la mesure est le suivant:

Pour fournir un principe de mesure simplifié de la sensibilité de l'axe transversal, un exemple de principe de la mesure de sensibilité d'un axe du gyro impliquant son axe d'entrée est ici indiqué ci-après.

L'axe de référence des trois axes orthogonaux définis par un châssis mécanique ou boîtier de gyro, est déterminé comme axe de référence du gyro, et la vitesse angulaire est appliquée à chacun des axes qu'il convient de définir comme des axes sans détection, et pour mesurer la sortie du gyro.

Par exemple, comme représenté à la Figure 9 et à la Figure 10, un gyro ayant un axe d'entrée dans la direction z du châssis est monté sur le plateau tournant, la vitesse angulaire est ensuite appliquée autour de l'axe x pour mesurer la sortie du gyro $O_{ut,x}$.

De façon similaire, la vitesse angulaire est appliquée autour de l'axe y pour mesurer la sortie du gyro, $O_{ut,y}$ et la sensibilité de l'axe transversal est calculée au moyen de la formule suivante.

$$\omega_x = (O_{ut,x} \times S_F) \quad (20)$$

$$\omega_y = (O_{ut,y} \times S_F) \quad (21)$$

$$K_x = \omega_x / \omega \quad (22)$$

$$K_y = \omega_y / \omega \quad (23)$$

où

ω_x sortie de vitesse angulaire lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe x

ω_y sortie de vitesse angulaire lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe y

$O_{ut,x}$	données de mesure lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe x
$O_{ut,y}$	données de mesure lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe y
S_F	coefficient de conversion
K_x	sensibilité de l'axe transversal lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe x
K_y	sensibilité de l'axe transversal lorsqu'une vitesse angulaire est appliquée à l'axe y
ω	vitesse angulaire appliquée

La sensibilité de l'axe transversal peut être déterminée au moyen des mesures présentées ci-dessus.

5.2.4 Précautions à observer pendant les mesures de la vitesse angulaire appliquée

- Le battement axial du plateau tournant, exactitude orthogonale de la monture de fixation du gyro et exactitude du plan de montage du gyro, doit être suffisamment inférieur ($\leq 0,1, \dots, 0,2$) à la sensibilité de l'axe transversal à mesurer;
- En général, la vitesse angulaire appliquée ne doit pas dépasser la vitesse maximale absolue du gyro;
- Pour garantir une mesure plus précise de la sensibilité de l'axe transversal et/ou pour une meilleure compréhension, il convient de prendre en compte les éléments suivants avant la mesure, par exemple, si la stabilité de la sortie de vitesse angulaire du gyro est de $0,5 \text{ }^\circ/\text{s}$ et que la gamme de mesure est de $200 \text{ }^\circ/\text{s}$, on peut déterminer que la sortie est générée par la sensibilité de l'axe transversal lorsque la sortie mesurée est supérieure au double ($1 \text{ }^\circ/\text{s}$) de la stabilité du gyro. Dans ce cas, par conséquent, une mesure significative de la sensibilité de l'axe transversal est possible comme "une mesure de sortie de $1 \text{ }^\circ/\text{s}$ lorsqu'une vitesse de $200 \text{ }^\circ/\text{s}$ est appliquée". (On obtient environ $1/200 = 0,5 \text{ } \%$ après conversion en sensibilité de l'axe transversal).
- Lorsque cette sensibilité de l'axe transversal est utilisée pour la correction ou la compensation de la mesure, il est recommandé de régler la polarité et les autres facteurs pertinents par accord entre le fabricant et l'utilisateur.

5.2.5 Modes opératoires de mesure

Les modes opératoires de mesure de la sensibilité de l'axe transversal du gyro sont présentés ci-dessous. Ceux-ci sont applicables de manière similaire aux modes opératoires de mesure du gyro ayant la pluralité d'axes d'entrée.

- a) Monter le gyro sur le plateau tournant pour appliquer la vitesse angulaire à l'axe sans détection: orthogonal à l'axe d'entrée.
- b) Fournir une valeur de tension spécifiée au DUT (gyro) en appliquant une source d'alimentation électrique appropriée, activer ensuite le DUT dans un état de fonctionnement spécifié.
- c) Appliquer la vitesse angulaire autour de l'axe sans détection déterminé décrit à l'étape a) du mode opératoire.
- d) Mesurer la sortie du gyro pendant que la vitesse angulaire est appliquée.
- e) Couper l'alimentation électrique afin de n'appliquer aucune tension, et monter le gyro sur le plateau tournant de façon que la vitesse angulaire puisse être appliquée à l'autre axe sans détection: orthogonal à l'axe déterminé décrit à l'étape a) du mode opératoire et à l'axe d'entrée.
- f) Fournir une valeur spécifiée de tension au DUT (gyro) en appliquant une source d'alimentation électrique appropriée, activer ensuite le DUT dans un état de fonctionnement spécifié et appliquer la vitesse angulaire autour de l'axe sans détection déterminé décrit à l'étape e) du mode opératoire.
- g) Mesurer la sortie du gyro pendant que la vitesse angulaire est appliquée. Arrêter ensuite le gyro et le système de mesure.
- h) En utilisant les résultats des étapes d) et g) du mode opératoire, obtenir la sensibilité de l'axe transversal conformément à la méthode spécifiée dans le principe de mesure.

5.2.6 Conditions spécifiées

- Valeur de la vitesse angulaire appliquée au DUT;
- Valeur de la température de fonctionnement dans les modes opératoires de mesure;
- Valeur de la tension appliquée au DUT.

5.3 Biais

5.3.1 Objectif

Spécifier les méthodes de mesure pour chaque élément dans le gyro concernant le biais.

5.3.2 Circuit de mesure

5.3.2.1 Généralités

Les Figures 11 et 12 représentent respectivement les circuits de mesure 1 et 2 avec la constitution du dispositif de mesure. Le circuit de mesure 2 est utilisé pour les mesures de la sensibilité d'accélération linéaire de biais représentée en 5.3.3.8 et le circuit de mesure 1 est utilisé pour mesurer les autres éléments associés au biais.

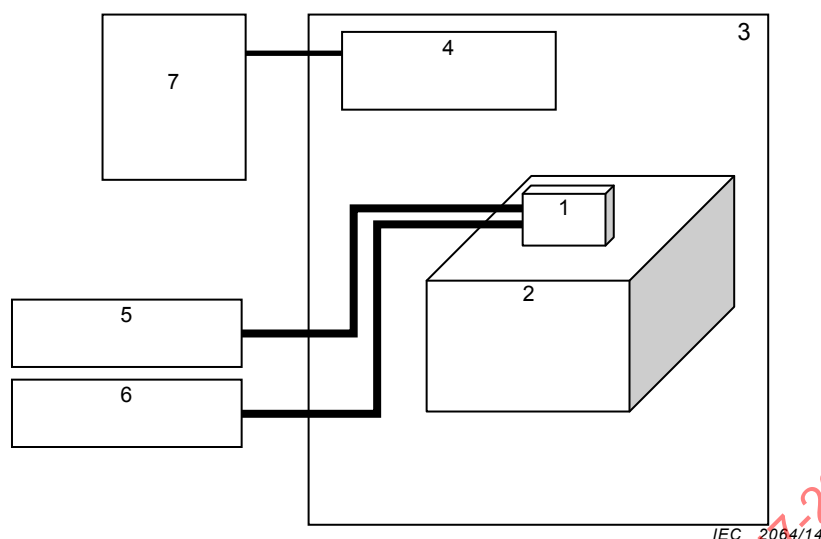
5.3.2.2 Circuit de mesure 1

La Figure 11 représente un circuit de mesure 1 de biais constitué du gyro à mesurer, d'une alimentation, d'un plateau fixe, d'un système d'acquisition de données et d'une enceinte thermostatée (incluant un capteur de température). Les composants à appliquer dans le circuit de mesure doivent satisfaire aux points décrits ci-dessous.

- Plateau fixe: Dispositif capable de fixer solidement le gyro, installé dans des conditions exemptes de facteurs externes tels que des vibrations, et capable de diriger l'axe d'entrée du gyro dans un sens spécifié. Une construction permettant une vitesse angulaire d'entrée n'est pas exigée.

NOTE Un aménagement de la direction de l'axe d'entrée consiste à soustraire la valeur de la vitesse angulaire de la rotation terrestre lors de la mesure de biais. Ceci n'est pas exigé lorsque la vitesse angulaire de rotation terrestre: $4,178 \times 10^{-3}$ °/s peut être négligée.

- Alimentation: La tension, le courant électrique et les caractéristiques de bruit de l'alimentation appliquée ont à satisfaire à des capacités appropriées permettant d'être appliquées au gyro.
- Système d'enregistrement de données: Dispositif de mesure sélectionné en fonction des spécifications de sortie (analogique, numérique) du gyro et capable de satisfaire aux exigences d'exactitude de la mesure de biais. Lorsque le gyro est fondé sur un circuit analogique (tension analogique ou courant analogique), il convient d'utiliser un voltmètre ou un ampèremètre et il convient que la gamme de mesure et la résolution soient conformes aux spécifications de l'éprouvette d'essai. De façon similaire, pour une sortie numérique, il convient que la gamme de mesure (nombre de bits) soit suffisante pour satisfaire aux spécifications du gyro. Il convient que la gamme de mesure soit supérieure au double et que la résolution soit inférieure à 1/10.
- Enceinte thermostatée: Il convient que l'enceinte thermostatée soit capable de réguler la température ambiante de l'éprouvette d'essai disposé sur le plateau fixe et de produire la température ambiante. La température ambiante peut être mesurée en utilisant un capteur de température différent de celui qui est utilisé pour les fonctions de l'enceinte thermostatée.



Légende

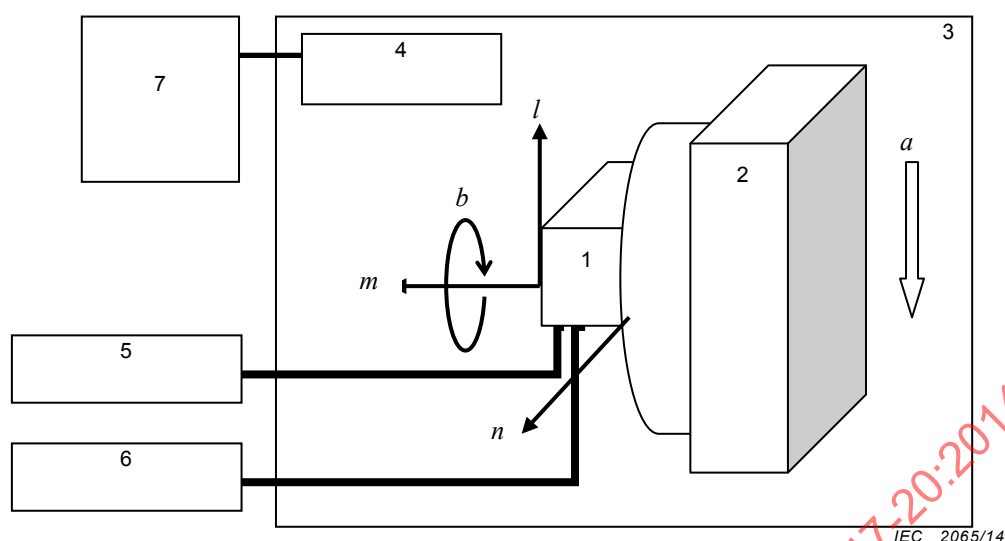
- 1 DUT, élément de gyro
- 2 plateau fixe
- 3 enceinte thermostatée, permettant de maintenir une valeur de température spécifiée du DUT
- 4 capteur de température, permettant de surveiller la température de l'environnement dans une enceinte
- 5 alimentation, permettant de fournir de l'énergie électrique pour faire fonctionner le DUT
- 6 enregistreur de données
- 7 contrôleur de température de l'enceinte

Figure 11 – Circuit de mesure 1 du biais

5.3.2.3 Circuit de mesure 2

La Figure 12 représente le circuit de mesure 2 du biais. Les éléments suivants dont le circuit de mesure sont à mettre en place dans les conditions spécifiées suivantes. Les mêmes éléments comprenant le circuit 1 sont également à mettre en place dans le circuit 2 dans les mêmes conditions spécifiées.

Plateau fixe: Dispositif capable de fixer solidement le gyro, installé dans des conditions exemptes de facteurs externes tels que des vibrations, et capable de diriger l'axe d'entrée du gyro dans un sens spécifié (deux sens; le sens de l'accélération de la pesanteur et celui orthogonal à l'accélération de la pesanteur), et qui est capable de faire tourner l'axe orthogonal dans le sens de l'accélération et susceptible d'être fixé avec un angle d'intervalle spécifié.



Légende

- 1 DUT, élément de gyro
- 2 plateau fixe rotatif
- 3 enceinte thermostatée, permettant de maintenir une valeur de température spécifiée du DUT
- 4 capteur de température, permettant de surveiller la température de l'environnement dans une enceinte
- 5 alimentation, permettant de fournir de l'énergie électrique pour faire fonctionner le DUT
- 6 enregistreur de données
- 7 contrôleur permettant de réguler la température de l'enceinte
- a* sens de l'accélération de la pesanteur
- b* la valeur de l'accélération de la pesanteur exercée sur l'axe de détection par rotation est modifiée
- l* réglage perpendiculaire: axe z, axe de détection du gyro
réglage vertical: axe y, axe sans détection
- m* réglage perpendiculaire: axe x, axe sans détection du gyro
réglage vertical: axe z, axe de détection
- n* réglage perpendiculaire: axe y, axe sans détection
réglage vertical: axe x, axe sans détection

Figure 12 – Circuit de mesure 2 du biais

5.3.3 Principe de mesure

5.3.3.1 Biais nominal

La valeur de biais nominal est obtenue en se fondant sur les modes opératoires de mesure suivants de la sortie du gyro et la Formule de calcul (24).

La sortie du gyro est mesurée dans des conditions où la température ambiante est constante (température spécifiée) et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue (présence de la vitesse angulaire d'entrée de rotation de la terre).

Après avoir fourni l'alimentation électrique spécifiée au gyro et après qu'un temps spécifié s'est écoulé, la vitesse angulaire d'entrée connue (vitesse angulaire de rotation de la terre) est soustraite de la moyenne globale dans le temps spécifié (longueur de données spécifiée) de la sortie du gyro.

$$N_{\text{bias}} = O_{\text{ut,ave}} - E_{\text{arthrotation}} \text{ (°/s)} \quad (24)$$

où

N_{bias}	Biais nominal
$O_{\text{ut,ave}}$	Valeur de sortie moyenne du gyro
$E_{\text{arthrotation}}$	Composante de vitesse angulaire de rotation de la terre

La composante de vitesse angulaire de rotation de la terre est calculée d'après la direction de l'axe d'entrée.

Pour un axe d'entrée vertical: $E_{\text{arthrotation}}: 4,178 \times 10^{-3} \times \cos \lambda$

λ : Latitude du point de mesure

Pour un axe d'entrée horizontal: $E_{\text{arthrotation}}: 4,178 \times 10^{-3} \times \sin \lambda \times \cos \varphi$

φ : Direction de l'axe d'entrée (le Nord est à 0°)

5.3.3.2 Variation de biais initial

La variation de biais initial est obtenue en se fondant sur les modes opératoires de mesure suivants de la sortie du gyro et la Formule de calcul (25).

La variation par rapport à la valeur de biais nominal de la sortie du gyro dans des environnements où la température ambiante est constante (température spécifiée) et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue, est obtenue.

Après avoir fourni l'alimentation électrique spécifiée au gyro et après qu'un temps spécifié s'est écoulé, la sortie obtenue en soustrayant la vitesse angulaire d'entrée connue (vitesse angulaire de rotation de la terre) de la moyenne globale dans le temps spécifié (longueur de données spécifiée) de la sortie du gyro est définie par O_{ut} . Lorsque le biais nominal est exprimé par $O_{\text{ut,typ}}$, la variation de biais initial est obtenue comme suit:

$$\text{Variation de biais initial: } O_{\text{ut}} - O_{\text{ut,typ}} \text{ (°/s)} \quad (25)$$

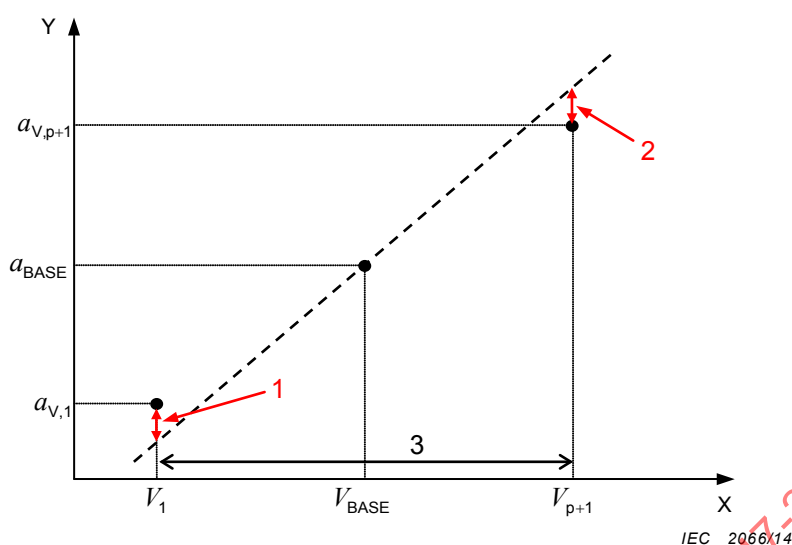
5.3.3.3 Erreur ratiométrique de biais

L'erreur ratiométrique de biais est obtenue en se fondant sur les valeurs de mesure suivantes des paramètres essentiels du gyro décrits à la Figure 13 et la Formule de calcul (26).

Lorsque la gamme de tensions d'alimentation de fonctionnement dans laquelle le gyro fonctionne est divisée en p segments (de préférence, $p \geq 2$) à la température de mesure de référence $[T_{\text{BASE}}]$ du gyro, le biais de chaque tension d'alimentation « $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ » devient respectivement « $a_{V,1}, a_{V,2}, \dots, a_{V,p+1}$ ».

Ici, bien que le fabricant puisse spécifier la valeur de « p », celle-ci peut être modifiée comme nécessaire en se fondant sur des discussions entre l'utilisateur et le fabricant.

La Figure 13 montre un exemple d'erreur ratiométrique pour les données de biais. (Sur la Figure 13, elle est divisée de manière égale en $p = 2$ et $p = 2$ est considérée comme étant la tension d'alimentation de référence).



Légende

1	valeur d'erreur ratiométrique (R_{error,V_1})
2	valeur d'erreur ratiométrique ($R_{\text{error},V_{p+1}}$)
3	p segments
X	axe x: tension de fonctionnement du gyro
V_1	limite inférieure de la tension de fonctionnement
V_{BASE}	tension d'alimentation de référence
V_{p+1}	limite supérieure de la tension de fonctionnement
Y	valeur de biais du gyro
$a_{V,1}$	valeur de biais à la limite inférieure de la tension de fonctionnement
a_{BASE}	valeur de biais à la tension d'alimentation de référence
$a_{V,p+1}$	valeur de biais à la limite supérieure de la tension de fonctionnement

Figure 13 – Exemple de mesure d'erreur ratiométrique de biais

Dans ce cas, l'erreur ratiométrique du biais « R_{error,V_i} » est obtenue comme suit:

$$R_{\text{error},vi} = \frac{\left| a_{Vi} - (a_{\text{BASE}}) \times \left(\frac{V_i}{V_{\text{BASE}}} \right) \right|}{a_{\text{BASE}}} \quad (26)$$

Le calcul ci-dessus est effectué pour chaque tension « $V_1, V_2, \dots, V_{p+1}$ » et « $R_{\text{error},vi}$ » ainsi obtenu est l'erreur ratiométrique pour le biais à la tension « V_i ».

5.3.3.4 Reproductibilité du biais

La reproductibilité du biais est obtenue en se fondant sur les variations de la valeur de mesure de la sortie du gyro décrites dans les alinéas suivants du 5.3.3.4.

Ceci montre les variations (dispersion) des valeurs de biais de la sortie du gyro par activation et désactivation de l'alimentation dans des conditions où la température ambiante est constante (température spécifiée) et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue.

Le biais est mesuré le nombre de fois spécifié et ses valeurs maximales et minimales ($\pm$ %/s) sont obtenues pour être utilisées en tant que reproductibilité du biais.

5.3.3.5 Dérive de biais après mise sous tension

La dérive de biais après mise sous tension est obtenue en se fondant sur les modes opératoires de mesure suivants de la sortie du gyro et la Formule de calcul (27).

Celle-ci montre la fluctuation de la sortie du gyro après mise sous tension dans des environnements où la température ambiante est constante (température spécifiée) et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue.

Après avoir fourni une alimentation électrique spécifiée au gyro, la valeur moyenne de la sortie dans le temps spécifié est utilisée en tant que référence et la différence entre la valeur maximale de la valeur absolue de la sortie du gyro dans le temps spécifié (longueur de données spécifiée) et la valeur de référence est utilisée.

Si la valeur maximale de la valeur absolue de la sortie du gyro est représentée par $O_{ut,max}$ et la valeur moyenne de la longueur de temps spécifié (longueur de données) immédiatement après la mise sous tension est représentée par $O_{ut,ave}$, la dérive de biais après mise sous tension est obtenue comme suit:

$$\text{Dérive de biais après mise sous tension: } O_{ut,max} - O_{ut,ave} \text{ (°/s max)} \quad (27)$$

5.3.3.6 Sensibilité de biais (coefficient de sensibilité en température de biais)

La Figure 14 représente les variations de la valeur de biais de la sortie du gyro dans des environnements où la température ambiante est modifiée et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue.

a) Sensibilité en température de biais (variation du biais avec la température)

Il s'agit des valeurs maximales et minimales ($\pm$ °/s) de fluctuation par rapport au biais dans la gamme de températures de fonctionnement et la température de référence de biais.

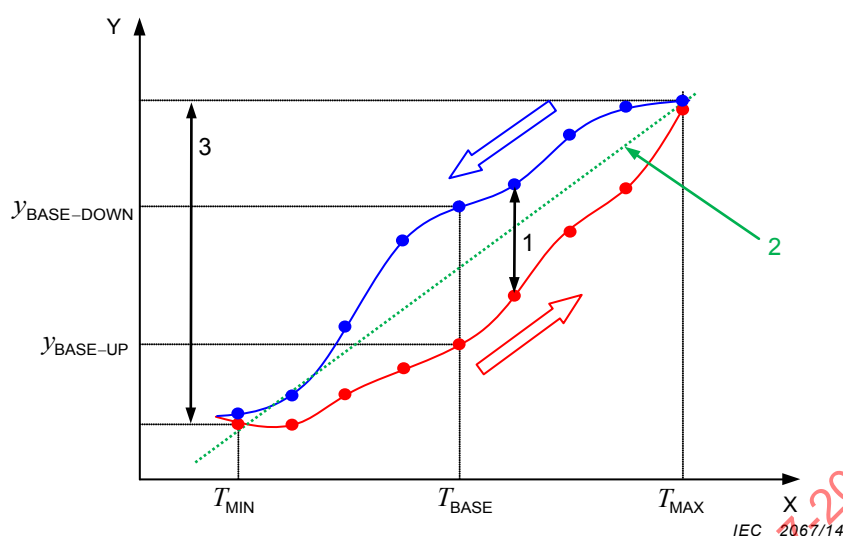
b) Coefficient de sensibilité en température du biais (coefficient de température du biais)

Il s'agit de la pente de la fluctuation de biais ((°/s)/°C) par rapport à la variation de température dans la gamme de températures de fonctionnement.

5.3.3.7 Hystérésis de biais

Il s'agit de l'hystérésis de la valeur de biais de la sortie du gyro (différence des valeurs de biais due au sens de la variation de température à la même température) dans des conditions où la température ambiante varie et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue.

La valeur maximale en °/s de la différence des valeurs de biais à la même température lorsque les variations de température se situent aux environs de T_{MIN} à T_{MAX} et en retour à T_{MIN} comme le montre la Figure 14, est représentée.



Légende

1	hystérésis de biais
2	coefficient de sensibilité en température du biais
3	sensibilité en température du biais
X	axe x, température dans l'environnement du gyro
T_{MIN}	température minimale de fonctionnement
T_{BASE}	température de mesure de référence
T_{MAX}	température maximale de fonctionnement
Y	axe y: valeur de sortie du gyro
$Y_{\text{BASE-UP}}$	valeur de sortie du gyro à la température de référence, température ascendante
$Y_{\text{BASE-DOWN}}$	valeur de sortie du gyro à la température de référence, température descendante

Figure 14 – Sensibilité en température du biais et hystérésis du biais

5.3.3.8 Sensibilité à l'accélération linéaire du biais

Il s'agit de la valeur des variations des valeurs de biais de la sortie du gyro par accélération linéaire dans des conditions où la température ambiante est constante (température spécifiée) et la vitesse angulaire d'entrée est nulle ou connue.

L'application de l'accélération linéaire spécifie la méthode où l'accélération de la pesanteur est utilisée comme entrée de référence (± 1 g).

Le gradient d'une ligne droite d'approximation primaire de la fluctuation de sortie du gyro par rapport à l'accélération appliquée est représenté par $O_{\text{ut,gp}}$ ($^{\circ}/\text{s})/\text{g}$ max) lorsque l'accélération linéaire est appliquée en parallèle avec l'axe d'entrée du gyro, le gradient de la ligne est représenté par $O_{\text{ut,gv}}$ ($^{\circ}/\text{s})/\text{g}$ max) lorsque l'accélération linéaire est appliquée de manière orthogonale à l'axe d'entrée. La sensibilité à l'accélération linéaire du biais représente la plus grande des deux valeurs $O_{\text{ut,gp}}$ ou $O_{\text{ut,gv}}$.