

GUIDE 115

GUIDE 115

**Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities
in the electrotechnical sector**

**Application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la
conformité dans le secteur électrotechnique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



GUIDE 115

GUIDE 115

**Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities
in the electrotechnical sector**

**Application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la
conformité dans le secteur électrotechnique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	4
1 Scope.....	5
2 Reference documents.....	5
3 Terms and definitions	5
4 Application of uncertainty of measurement principles	6
4.1 General	6
4.2 Uncertainty of measurement principles	7
4.3 Background	7
4.4 Uncertainty of measurement principles – Application of procedures	8
4.5 Conclusion	10
5 Guidance on making uncertainty of measurement calculations including examples of how to perform the calculations	10
5.1 General principles	10
5.2 Summary of steps when estimating uncertainty	11
5.3 Simple example – Estimation of measurement uncertainty for a temperature- rise test with thermocouples	14
Annex A (informative) Uncertainty of measurement calculations for product conformity assessment testing – Examples 1 to 6	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**APPLICATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT
TO CONFORMITY ASSESSMENT ACTIVITIES
IN THE ELECTROTECHNICAL SECTOR**

FOREWORD

This first edition of IEC Guide 115 has been prepared in accordance with Annex A of Part 1 of the ISO/IEC Directives by the IECEE/CTL.

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

Approval document	Report on voting
C/1446/DV	C/1457/RV

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

INTRODUCTION

This Guide has been prepared by the IECEE Committee of Testing Laboratories (CTL) to provide guidance on the practical application of the measurement uncertainty requirements of ISO/IEC 17025 to the electrical safety testing conducted within the IECEE CB Scheme.

The IECEE CB Scheme is a multilateral, international agreement, among over 40 countries and some 60 national certification bodies, for the acceptance of test reports on electrical products tested to IEC standards.

The aim of the CTL is, among other tasks, to define a common understanding of the test methodology with regard to the IEC standards as well as to ensure and continually improve the repeatability and reproducibility of test results among the member laboratories.

The practical approach to measurement uncertainty outlined in this Guide has been adopted for use in the IECEE Schemes, and is also extensively used around the world by testing laboratories engaged in testing electrical products to national safety standards.

This guide is of particular interest to the following IEC Technical Committees which may decide to make use of it if necessary:

TECHNICAL COMMITTEE 13: EQUIPMENT FOR ELECTRICAL ENERGY MEASUREMENT, TARIFF AND LOAD CONTROL

TECHNICAL COMMITTEE 17: SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR

TECHNICAL COMMITTEE 18: ELECTRICAL INSTALLATIONS OF SHIPS AND OF MOBILE AND FIXED OFFSHORE UNITS

TECHNICAL COMMITTEE 20: ELECTRIC CABLES

TECHNICAL COMMITTEE 21: SECONDARY CELLS AND BATTERIES

TECHNICAL COMMITTEE 22: POWER ELECTRONIC SYSTEMS AND EQUIPMENT

TECHNICAL COMMITTEE 23: ELECTRICAL ACCESSORIES

TECHNICAL COMMITTEE 32: FUSES

TECHNICAL COMMITTEE 33: POWER CAPACITORS

TECHNICAL COMMITTEE 34: LAMPS AND RELATED EQUIPMENT

TECHNICAL COMMITTEE 35: PRIMARY CELLS AND BATTERIES

TECHNICAL COMMITTEE 38: INSTRUMENT TRANSFORMERS

TECHNICAL COMMITTEE 39: ELECTRONIC TUBES

TECHNICAL COMMITTEE 40: CAPACITORS AND RESISTORS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT

TECHNICAL COMMITTEE 47: SEMICONDUCTOR DEVICES

TECHNICAL COMMITTEE 59: PERFORMANCE OF HOUSEHOLD ELECTRICAL APPLIANCES

TECHNICAL COMMITTEE 61: SAFETY OF HOUSEHOLD AND SIMILAR ELECTRICAL APPLIANCES

TECHNICAL COMMITTEE 62: ELECTRICAL EQUIPMENT IN MEDICAL PRACTICE

TECHNICAL COMMITTEE 64: ELECTRICAL INSTALLATIONS AND PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK

TECHNICAL COMMITTEE 65: INDUSTRIAL-PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL

TECHNICAL COMMITTEE 66: SAFETY OF MEASURING, CONTROL AND LABORATORY EQUIPMENT

TECHNICAL COMMITTEE 76: OPTICAL RADIATION SAFETY AND LASER EQUIPMENT

TECHNICAL COMMITTEE 77: ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

TECHNICAL COMMITTEE 78: LIVE WORKING

TECHNICAL COMMITTEE 80: MARITIME NAVIGATION AND RADIOCOMMUNICATION EQUIPMENT AND SYSTEMS

TECHNICAL COMMITTEE 82: SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS

APPLICATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT TO CONFORMITY ASSESSMENT ACTIVITIES IN THE ELECTROTECHNICAL SECTOR

1 Scope

This Guide presents a practical approach to the application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector. It is specifically conceived for use in IECEE Schemes as well as by testing laboratories engaged in testing electrical products to national safety standards. Clause 4 describes the application of uncertainty of measurements principles. Clause 5 provides guidance on making uncertainty of measurement calculations. Annex A gives some examples relating to uncertainty of measurement calculations for product conformity assessment testing.

2 Reference documents

ISO/IEC 17025: *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) (1995)
[BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML]

International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM) (1996)
[BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML]

3 Terms and definitions

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

3.1

coverage factor

number that, when multiplied by the combined standard uncertainty, produces an interval (the expanded uncertainty) about the measurement result that may be expected to encompass a large, specified fraction (e.g. 95 %) of the distribution of values that could be reasonably attributed to the measurand

3.2

combined standard uncertainty

result of the combination of standard uncertainty components

3.3

error of measurement

result of a measurement minus a true value of the measurand (not precisely quantifiable because true value lies somewhere unknown within the range of uncertainty)

3.4

expanded uncertainty

obtained by multiplying the combined standard uncertainty by a coverage factor

3.5

level of confidence

probability that the value of the measurand lies within the quoted range of uncertainty

3.6

measurand

quantity subjected to measurement, evaluated in the state assumed by the measured system during the measurement itself

[IEC 60359:2001]

3.7

quantity X_i

source of uncertainty

3.8

standard deviation

positive square root of the variance

3.9

standard uncertainty

estimated standard deviation

3.10

uncertainty (of measurement)

parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

[IEC 60359:2001, modified]

3.11

type A evaluation method

method of evaluation of uncertainty of measurement by the statistical analysis of series of observations

3.12

type B evaluation method

method of evaluation of uncertainty of measurement by means other than the statistical analysis of series of observations

4 Application of uncertainty of measurement principles

4.1 General

4.1.1 Qualification and acceptance of CB test laboratories (CBTL), e.g. in the IECEE, is performed according to IEC/ISO 17025, which states in 5.4.6.2:

“Testing laboratories shall have and apply procedures for estimating uncertainty of measurement. In certain cases, the nature of the test method may preclude rigorous, metrologically and statistically valid, calculation of uncertainty of measurement. In these cases the laboratory shall at least attempt to identify all the components of uncertainty and make a reasonable estimation, and shall ensure that the form of reporting of the result does not give a wrong impression of the uncertainty. Reasonable estimation shall be based on knowledge of the performance of the method and on the measurement scope and shall make use of, for example, previous experience and validation data.

NOTE 1 The degree of rigour needed in an estimation of uncertainty of measurement depends on factors such as:

- the requirements of the test method;
- the requirements of the client;
- the existence of narrow limits on which decisions on conformance to a specification are based.

NOTE 2 In those cases where a well-recognized test method specifies limits to the values of the major sources of uncertainty of measurement and specifies the form of presentation of calculated results, the laboratory is considered to have satisfied this clause by following the test method and reporting instructions (see 5.10).”

4.1.2 IEC/ISO 17025, 5.10.3.1, item c), states:

“Subclause 5.10.3.1 includes the following:

- c) where applicable, a statement on the estimated uncertainty of measurement; information on uncertainty is needed in test reports, when it is relevant to the validity of application of the test results, when a client's instruction so requires, or when the uncertainty affects compliance to a specification limit.”

4.1.3 IEC/ISO 17025 was written as a general use document, for all industries. Uncertainty of measurement principles are applied to laboratory testing and presentation of test results to provide a degree of assurance that decisions made about conformance of the products tested according to the relevant requirements are valid. Procedures and techniques for uncertainty of measurement calculations are well established. This CB Testing Laboratory (CBTL) procedure is written to provide more specific guidance on the application of uncertainty of measurement principles to reporting of testing results under the CB Scheme.

4.1.4 This clause of CBTL procedure focuses on the application of uncertainty of measurement principles under the CB Scheme, while, Clause 5 of CBTL procedure provides guidance on making uncertainty of measurement calculations and includes examples.

4.2 Uncertainty of measurement principles

4.2.1 A challenge to applying uncertainty of measurement principles to conformity assessment activities is managing the cost, time and practical aspects of determining the relationships between various sources of uncertainty. Some relationships are either unknown or would take considerable effort, time and cost to establish. There are a number of proven techniques available to address this challenge. These techniques include eliminating from consideration those sources of variability, which have little influence on the outcome and minimizing significant sources of variability by controlling them.

4.3 Background

4.3.1 Test methods used under the IECEE CB Scheme are in essence consensus standards. Criteria used to determine conformance with requirements are most often based on a consensus of judgment of what the limits of the test result should be. Exceeding the limit by a small amount does not result in an imminent hazard. Test methods used may have a precision statement expressing the maximum permissible uncertainty expected to be achieved when the method is used. Historically, test laboratories have used state-of-the-art equipment and not considered uncertainty of measurement when comparing results to limits. Safety standards have been developed in this environment and the limits in the standards reflect this practice.

4.3.2 Test parameters that influence the results of tests can be numerous. Nominal variations in some test parameters have little effect on the uncertainty of the measurement result. Variations in other parameters may have an effect. However, the degree of influence can be minimized by limiting the variability of the parameter when performing the test.

4.3.3 A frequent way of accounting for the effects of test parameters on tests results is to define the acceptable limits of variability of test parameters. When this is done, any variability in measurement results obtained due to changes in the controlled parameters is not considered significant if the parameters are controlled within the limits. Examples of the application of this technique require:

- a) input power source to be maintained: voltage $\pm 2\%$, frequency $\pm 0,5\%$, total harmonic distortion maximum 3% ;
- b) ambient temperature: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) relative humidity: $93\% \pm 2\%$ (RH);
- d) personnel: documented technical competency requirements for the test;
- e) procedures: documented laboratory procedures;

f) equipment accuracy: instrumentation with accuracy according to CTL decision 251A.

NOTE The acceptable limits in items a) through c) are given as examples and do not necessarily represent actual limits established.

4.3.4 The end result of controlling sources of variability within prescribed limits is that the measurement result can be used as the best estimate of the measurand. In effect, the uncertainty of measurement about the measured result is negligible with regard to the final pass/fail decision.

4.4 Uncertainty of measurement principles – Application of procedures

4.4.1 When a test results in measurement of a variable, there is uncertainty associated with the test result obtained

4.4.2 Procedure 1, see Figure 1, is used when calculation of uncertainty of measurement is required by IEC/ISO 17025, 5.4.6.2 and 5.10.3.1 item c). Calculate the uncertainty for measurement (see Clause 5) and compare the measured result with the uncertainty band to a defined acceptable limit. The measurement complies with the requirement if the probability of its being within the limit is at least 50 %.

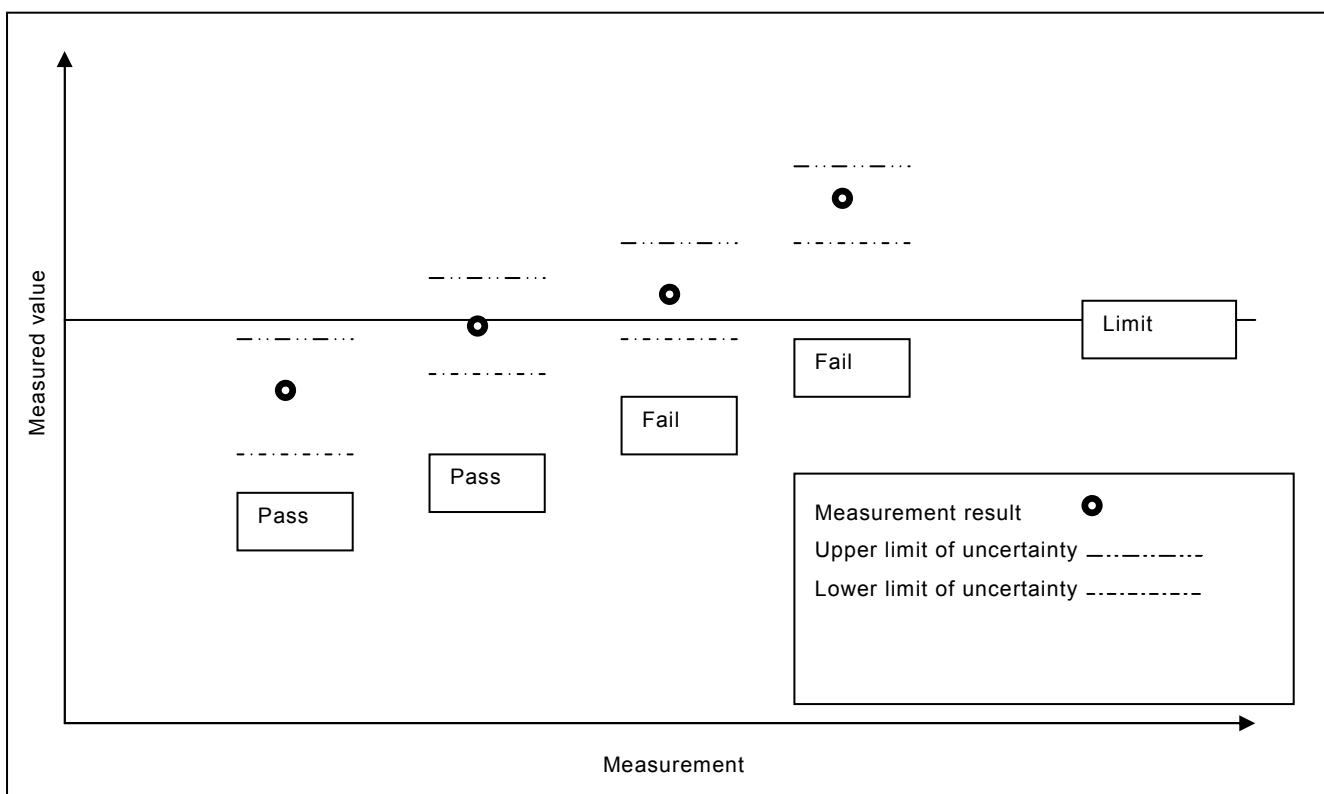


Figure 1 – Procedure 1: uncertainty of measurement calculated

4.4.3 Procedure 2, see Figure 2, is used when IEC/ISO 17025, 5.4.6.2, Note 2, applies. Procedure 2 is the traditional method used under the CB Scheme and has been referred to as the “accuracy method”. The test performed is routine. Sources of uncertainty are minimized so that the uncertainty of the measurement need not be calculated to determine conformance with the limit. Variability in test parameters is within acceptable limits. Test parameters such as power source voltage, ambient temperature and ambient humidity are maintained within the defined acceptable limits for the test. Personnel training and laboratory procedures minimize uncertainty of measurement due to human factors. Instrumentation used has an uncertainty within prescribed limits.

NOTE The name, accuracy method, comes from the concept of limiting uncertainty due to instrumentation by using instruments within prescribed accuracy limits. For this purpose, the accuracy specification for an instrument is considered the maximum uncertainty of measurement attributable to the instrument.

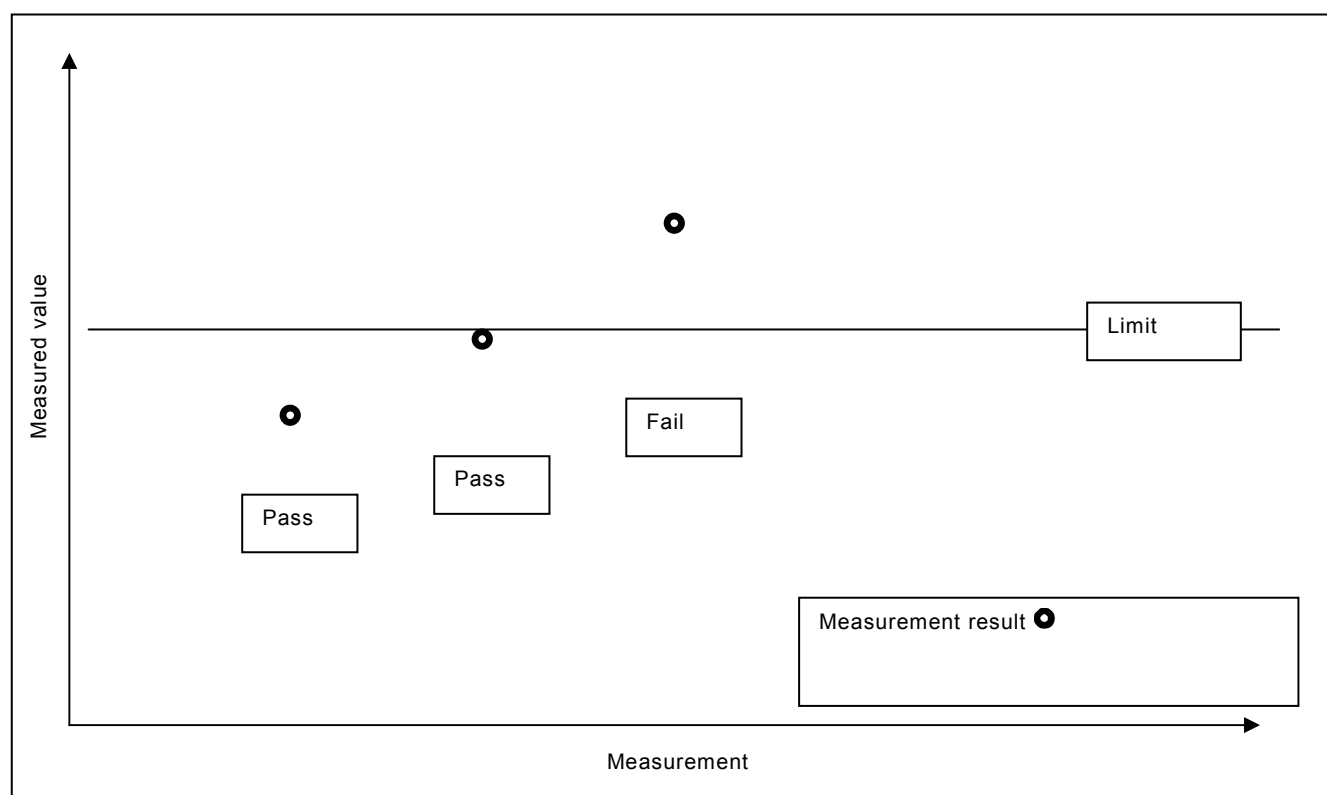


Figure 2 – Procedure 2: accuracy method

4.4.4 The measurement result is considered in conformance with the requirement if it is within the prescribed limit. It is not necessary to calculate the uncertainty associated with the measurement result.

4.4.5 Example – Procedure 2

- Power supply output voltage measurement test

a) Method

Connect the power supply to a mains source of rated voltage, $\pm 2\%$, and rated frequency. Measure output voltage from power supply while loaded to rated current, $\pm 2\%$, with a non-inductive resistive load. The test is to be performed in an ambient temperature of $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Use metres having an accuracy conforming to CTL decision 251A.

The power supply conforms to the requirements if the output voltage is $\pm 5\%$ of rated value.

b) Results

Power supply rating: 240 V, 50 Hz input; 5 V d.c., 2 A output.

Input		Output	
U V	Frequency Hz	I A	U V
242	50	2,01	5,1

Test ambient temperature: $24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The accuracy of the instruments used is shown in the following table:

Metre	Calibrated accuracy for scale used for measurement	CTL decision 251A, max.
Thermometer	$\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Voltmeter	$\pm 0,5\text{ }\%$	$\pm 1,5\text{ }\%$
Frequency	$\pm 0,2\text{ }\%$	$\pm 0,2\text{ }\%$
Current	$\pm 0,5\text{ }\%$	$\pm 1,5\text{ }\%$

The conclusion of the test is that the power supply conforms to the requirement.

4.5 Conclusion

4.5.1 The traditional approach to addressing uncertainty of measurement for conformity assessment activities under the CB Scheme, has been the application of the accuracy method. This method minimizes sources of uncertainty associated with the performance of routine tests so that the measurement result can be directly compared with the test limit to determine conformance with the requirement. This method conforms to the requirements in IEC/ISO 17025. The accuracy method takes less time and costs less to implement than detailed uncertainty of measurement calculations and the conclusions reached are valid with regard to the final pass/fail decision.

4.5.2 In situations where the traditional, accuracy method does not apply, uncertainty of measurement values are calculated and reported along with the variables results obtained during testing.

5 Guidance on making uncertainty of measurement calculations including examples of how to perform the calculations

5.1 General principles

5.1.1 This clause is meant to be a short and simplified summary of the steps to be taken by a CBTL when the need to estimate uncertainties arises. It also includes examples of how to perform the calculations.

5.1.2 It is by no means a comprehensive paper about measurement uncertainty (MU), its sources and estimation in general, but is supposed to offer a practical approach for most applicable circumstances within a CBTL in the IECEE CB Scheme.

5.1.3 No measurement is perfect and the imperfections give rise to error of measurement in the result. Consequently, the result of a measurement is only an approximation to the measured value (measurand) and is only complete when accompanied by a statement of the uncertainty of that approximation. Indeed, because of measurement uncertainty, a true value can never be known.

5.1.4 The total uncertainty of a measurement is a combination of a number of component uncertainties. Even a single instrument reading may be influenced by several factors. Careful consideration of each measurement involved in the test is required to identify and list all the factors that contribute to the overall uncertainty. This is a very important step and requires a good understanding of the measuring equipment, the principles and practice of the test and the influence of environment.

5.1.5 The Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) has adopted the approach of grouping uncertainty components into two categories based on their method of evaluation, Type A and Type B. This categorization of the methods of evaluation, rather than of the components themselves, avoids certain ambiguities.

5.1.6 Type A evaluation is carried out by calculation from a series of repeated observations, using statistical methods.

5.1.7 Type B evaluation is carried out by means other than that used for Type A. For example, by judgment based on the following table.

Data in calibration certificates	This enables corrections to be made and type B uncertainties to be assigned
Previous measurement data	For example, history graphs can be constructed and yield useful information about changes with time
Experience with or general knowledge	Behaviour and properties of similar materials and equipment
Accepted values of constants	Associated with materials and quantities
Manufacturers' specifications	
All other relevant information	

5.1.8 Individual uncertainties are evaluated by the appropriate method and each is expressed as a standard deviation and is referred to as a standard uncertainty.

5.2 Summary of steps when estimating uncertainty

5.2.1 Identify the factors that may significantly influence the measured values and review their applicability. There are many possible sources in practice, mainly including.

- a) Contribution from calibration of the measuring instruments, including contribution from reference or working standards.
- b) Temperature error at the beginning and end of a test (e.g. winding resistance method).
- c) Uncertainty related to the loading applied and the measurement of it.
- d) Velocity of air flow over the test sample and uncertainty in measuring it.
- e) For digital instruments, there are the number of displayed digits and the stability of the display at the time the reading is taken. In addition, the reported uncertainty of an instrument does not necessarily include the display.
- f) Instrument resolution, limits in graduation of a scale.
- g) Approximations and assumptions incorporated in the measurement method.
- h) Uncertainty due to the procedures used to prepare the sample for test and actually testing it.
- i) If a computer is used to acquire the readings from the instrument, there is uncertainty associated with the processing of the data due to calculations or other manipulations within the computer such as analog to digital conversions, and conversions between floating point and integer numbers.
- k) Rounded values of constants and other parameters used for calculations.
- m) Effects of environmental conditions (e.g. variation in ambient temperature) or measurement of these on the measurement.
--> Negligible in case environmental conditions are stable (*assumed and expected from a CBTL*).
- n) Variability of the power supply source (voltage, current, frequency) the sample is connected to and the uncertainty in measuring it.
--> Negligible in case stabilized supply sources are used (*assumed and expected from a CBTL*).
- o) Personal bias in reading analogue instruments
(e.g. parallax error or the number of significant figures that can be interpolated).
--> Negligible in case of digital displays or in case of appropriate training (*assumed and expected from a CBTL*).
- p) Variation between test samples and in case the samples are not fully representative.

Unless the IEC standard specifies tests on multiple samples, only one sample is tested.

--> The variation between test samples is assumed to be negligible by CBTLs

NOTE This list does not state all of the items that can contribute to MU. Other factors may have to be identified and considered by each laboratory respectively.

5.2.2 Transform influencing factors x_i to the unit of the measured value (quantify), for which you are going to estimate the uncertainty, if not already given in that unit (e.g. if the unit of the measured value is V and a resistor's tolerance in Ω is one of the influencing factors, transform the change of resistance to the resulting contribution in V).

Once the uncertainty contributions associated with a measurement process have been identified and quantified, it is necessary to combine them in some manner in order to provide a single value of uncertainty that can be associated with the measurement result.

5.2.3 Determine the probability distribution

The probability distribution of the measured quantity describes the variation in probability of the true value lying at any particular difference from the measured or assigned result. The form of the probability distribution will often not be known, and an assumption has to be made, based on prior knowledge or theory, that it approximates to one of the common forms. It is then possible to calculate the standard uncertainty, $U(x_i)$, for the assigned form from simple expressions. The four main distributions of interest are

- normal;
- rectangular;
- triangular;
- U-shaped.

5.2.4 Normal distribution is assigned when the uncertainty is taken from, for example, a calibration certificate/report where the coverage factor, k , is stated. The standard uncertainty is found by dividing the stated uncertainty from the calibration certificate by its coverage factor k , which is $k = 2$ for a level of confidence of approximately 95 % (recommended for CBTL in the IECCE CB scheme). It may be necessary to confirm k with the calibration laboratory in case it is not stated on the certificate.

$$\text{Normal: } u(x_i) = \frac{\text{uncertainty}}{k}$$

5.2.5 Rectangular distribution means that the probability density is constant within the prescribed limits. A rectangular distribution should be assigned where a manufacturer's specification limits are used as the uncertainty, unless there is a statement of confidence associated with the specification, in which case a normal distribution can be assumed.

$$\text{Rectangular: } u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$$

where a_i is the half width of the rectangular distribution.

5.2.6 U-shaped distribution is applicable to mismatch uncertainty. The value of the limit for the mismatch uncertainty, M , associated with the power transfer at a junction is obtained from

$$100 ((1 \pm |\Gamma_G| |\Gamma_L|)^2 - 1) \% \text{ or } 20 \log_{10} (1 \pm |\Gamma_G| |\Gamma_L|) \text{ dB (logarithmic units)}$$

where Γ_G and Γ_L are the reflection coefficients for the source and load.

The mismatch uncertainty is asymmetric about the measured result; however, the difference this makes to the total uncertainty is often insignificant, and it is acceptable to use the larger of the two limits.

U-shaped distribution is used for EMC purposes but also for climatic control of temperature and humidity.

$$\text{U-shaped: } u(x_i) = \frac{M}{\sqrt{2}}$$

5.2.7 Triangular distribution means that the probability of the true value lying at a point between two prescribed limits increases uniformly from zero at the extremities to the maximum at the centre. A triangular distribution should be assigned where the contribution has a distribution with defined limits and where the majority of the values between the limits lie around the central point.

$$\text{Triangular: } u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}}$$

5.2.8 A detailed approach to the determination of probability distribution can be found in the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).

5.2.9 Correlation: For the statistical approach to the combination of individual uncertainty contributions to be valid, there shall be no common factors associated with these contributions.

5.2.10 The effect of correlated input quantities may be to increase or decrease the combined standard uncertainty. For example, if the area of a rectangle is determined by measurement of its width and height using the same measuring implement the correlation will increase the uncertainty. On the other hand, if a gauge block were to be measured by comparison with another of identical material, the effect of uncertainty due to temperature will depend on the difference in temperature between the two blocks and will therefore tend to cancel.

5.2.11 If the correlation is such that the combined standard uncertainty is increased, the most straightforward approach is to add the standard uncertainties for these quantities before combining the result statistically with other contributions.

5.2.12 If, however, the correlation is such that the combined standard uncertainty will be decreased, as in the gauge-block comparison above, the difference in standard uncertainty would be used as the input quantity.

5.2.13 A detailed approach to the treatment of correlated input quantities can be found in the GUM.

5.2.14 Establish the uncertainty budget m_x , containing the standard uncertainties of each influencing factor (quantity) $u(x_i)$. Usually $u(x_i)$ will already represent the uncertainty contribution $u_i(y)$ of each factor. A convenient way to do that is to write the identified and potential contributing factors and their estimates into a table (see examples). The uncertainty contribution $u(m_x)$ is calculated by the formula:

$$u(m_x) = \text{SQRT} (u_1(y)^2 + u_2(y)^2 + \dots + u_i(y)^2)$$

5.2.15 Calculate the expanded uncertainty U , considering your level of confidence. The expanded uncertainty is calculated by multiplying the standard uncertainty with the coverage factor k , which is $k = 2$ for a level of confidence of approximately 95 % (recommended for CBTL in the IECCE CB scheme), or $k = 3$ for approximately 99,7 % level of confidence.

$$u = k \times u(m_x)$$

5.2.16 Report the result of the measurement comprising the measured value, the associated expanded uncertainty U and the coverage factor k .

Example: 10,5 V \pm 0,4 V (coverage factor $k = 2$, for a level of confidence of approximately 95 %).

5.3 Simple example – Estimation of measurement uncertainty for a temperature-rise test with thermocouples

The following example has been chosen to demonstrate the basic method of evaluating the uncertainty of measurement. It has been simplified in order to provide transparency for the reader and intended to be general guidance on how to proceed. The contributions and values are not intended to imply mandatory or preferred requirements. The input quantities are regarded as being not correlated.

a) Identification of significant influencing factors

Quantity X_i	Source of uncertainty	Source of error quantity $s_p(x_i)$
δ_{TC}	Uncertainty of thermocouple	For example, from specifications
δ_{HR}	Uncertainty of hybrid recorder	For example, from the calibration certificate of a calibration laboratory, including their inherited uncertainty and the listed coverage factor of $k = 3$
δ_{Fixing}	Influence of fixing method of thermocouples	For example, from the laboratory's own investigation campaign
$\delta_{ambient}$	Uncertainty of ambient temperature measurement	For example, measured by a separate instrument, data taken from the manufacturer's specifications

b) Relating influencing factors to the measured value

The relationship between the influencing factor and the measured value evaluated at the point of measurement is known as the sensitivity coefficient. In this simple example, there is a 1-to-1 relationship between the influencing factors and the measured value. Therefore, the sensitivity coefficient is 1. For more complex relationships, the sensitivity coefficient can take on other values.

Quantity X_i	Estimate x_i	Sensitivity coefficient	Error quantity $s_p(x_i)$
δ_{TC}	–40 °C to +350 °C	1	0,5 °C
δ_{HR}	Worst case of calibrated items, e.g. –25 °C to +250 °C	1	1,8 °C
δ_{Fixing}	Worst case of investigated temperatures, e.g. 25 °C, 85 °C, 150 °C	1	2,4 °C
$\delta_{ambient}$	Usually used in the vicinity of 25 °C	1	1,25 °C

c) Uncertainty budget, m_x

Quantity X_i	Estimate x_i	Error quantity $s_p(x_i)$	Probability distribution	Standard uncertainty $u(x_i)$	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution $u_i(y)$
δ_{TC}	–40 °C to +350 °C	0,5 °C	Rectangular	0,29 °C	1	0,29 °C
δ_{HR}	–25 °C to +250 °C	1,8 °C	Normal	0,6 °C	1	0,6 °C
δ_{Fixing}	25 °C, 85 °C, 150 °C	2,4 °C	Normal	2,4 °C	1	2,4 °C
$\delta_{ambient}$	–	1,25 °C	Rectangular	0,72 °C	1	0,72 °C
m_x	25 °C to 150 °C					$u(m_x) = 2,63 °C$

$$u(m_x) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}$$

$$\sqrt{3} = 1,73, \sqrt{6} = 2,45$$

d) *Expanded uncertainty, U*

$$U = k \times u(m_x) = 2 \times 2,63 \text{ °C} = 5,27 \text{ °C} = \text{approximately } 5,3 \text{ °C}$$

e) *Reported result*

The measured temperature rise is xx,x K \pm 5,3 °C

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.

Annex A
(informative)

**Uncertainty of measurement calculations for product
conformity assessment testing –
Examples 1 to 6**

IECEE CTL WG 1 provides the following set of examples of calculations to illustrate the application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities carried out under the IECEE CB Scheme.

Example 1 – Input test

Example 2 – Input power test

Example 3 – Leakage current measurement test

Example 4 – Distance measurement using caliper gauge

Example 5 – Torque measurement

Example 6 – Pre-conditioning for ball pressure test

These examples have been simplified to illustrate various steps of the process for performing uncertainty of measurement calculations.

Example 1

Test name: input test.

Result: uncertainty of input current expressed in per cent of reading in amperes.

Description: Input current is measured to product connected to mains power source. Input current to product is proportional to voltage applied.

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Relative error quantity, $S_p(X_i)$	Probability shape	Distribution division factor, k	Relative standard uncertainty, $u(X_i)$	Sensitivity coefficient, C_i	Relative uncertainty contribution, $u_i(y)$
δ_R	Repeatability of measurement	X_R	A		Normal		0,2 %	1	0,2 %
δ_{instr}	Specification for instrument	X_{instr}	B	0,5 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,3 %	1	0,3 %
$\delta_{reading}$	Reading error	$X_{reading}$	B	0,3 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,17 %	1	0,17 %
δ_{power}	Specification for power mains fluctuation	X_{power}	B	0,17 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %	1	0,1 %
					Relative combined standard uncertainty, u_c				0,41 %
					Coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Relative expanded uncertainty, $U = u_c \times K_p$				0,81 %

Reported result – The measured input current is $m_x (1 \pm 0,0081) \text{ A}$, $k = 2$, 95 % confidence level.

δ_R repeatability of measurement – uncertainty due to repeatedly making the same measurement – Type A with normal distribution

$$u_1 = \frac{\overline{s}}{\sigma_{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,2 \%$$

δ_{instr} specification for instrument – uncertainty due to instrument used for measurements. Determined from specifications in instrument manual (MPE). Meter is 0,5 class. Error is $\pm 0,5 \%$. Rectangular distribution, $k = \sqrt{3}$.

$$u_2 = 0,5 / \sqrt{3} = 0,3 \%$$

$\delta_{reading}$ reading of instrument – uncertainty due to technician reading the instrument. When testing meter is 0,5 A per graduation and 100 graduations, estimating reading error is 1/10 graduation. In the practice testing, reading value is 34,8 line. Rectangular distribution, $k = \sqrt{3}$.

$$u_3 = [(0,1)(0,5)] / [(34,5)(0,5) \sqrt{3}] \times 100 = 0,17 \%$$

δ_{power} power mains fluctuation – uncertainty due to fluctuations in power mains voltage. Uncertainty of the regulator is 0,2%. Rectangular distribution, $k = \sqrt{3}$. Sensitivity coefficient = 1.

$$u_4 = 0,2 / \sqrt{3} = 0,1 \%$$

Example 2

Test name: input power test.

Result: uncertainties expressed in per cent of input power in watts.

Description: input power is measured to product operating in stabile condition while connected to regulated mains power source. Input power measured by analog or digital power meter.

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Relative error quantity, $S_p(X_i)$	Probability shape	Distribution division factor, k	Relative standard uncertainty, $u(X_i)$	Sensitivity coefficient, C_i	Relative uncertainty contribution, $u_i(y)$
δ_R	Repeatability of measurement	X_R	A		Normal		0,2 %	1	0,2 %
δ_{instr}	Specification for instrument	X_{instr}	A	0,2 %	Normal	2	0,1 %	1	0,1 %
$\delta_{reading}$	Reading error	$X_{reading}$	B	0,45 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,26 %	1	0,26 %
δ_{power}	Specification for power mains fluctuation	X_{power}	B	0,35 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,2 %	1	0,20 %
					Relative combined standard uncertainty, u_c				0,40 %
					Coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Relative expanded uncertainty, $U = u_c \times k_p$				0,80 %

Reported Result – The measured input power is $m_x (1 \pm 0,008) \text{ W}$, $k = 2$, 95 % confidence level.

δ_R **repeating error repeatability of measurement** – uncertainty due to repeatedly making the same measurement – Type A with normal distribution

$$u_1 = \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,2 \%$$

δ_{instr} **specification for instrument** – uncertainty due to instrument used for measurements. Determined from calibration laboratory report. Expanded uncertainty reported is $\pm 0,2$. Distribution is normal, $k = 2$.

$$u_2 = 0,2/2 = 0,1 \%$$

$\delta_{reading}$ **reading of instrument** – uncertainty due to technician reading instrument – estimated.

δ_{power} **specification of power mains fluctuation** – uncertainty due to fluctuations in power mains voltage.

Example 3

Test name: leakage current measurement.

Result: uncertainties of leakage current expressed in micro-amperes.

Description: leakage current is measured with product operating under normal working conditions. Leakage current is measured directly by a leakage current metre. The measurement is carried out under following conditions.

- Between any pole of the power source and metal parts that can be easily touched or the metal foil on the insulating materials that can be easily touched, not exceeding 20 cm by 10 cm.
- Between any pole of the power source and the metal parts only using basic insulation to separate live parts of 1 stage apparatus.
- Before and after humidity conditioning.

Tested parts are

- between live parts and the enclosure isolated from the live part by only basic insulation;
- between the live parts and the shell with re-enforced insulation.

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Error quantity, $S_p(X_i)$ μA	Probability shape	Distribution division factor, k	Standard uncertainty, $u(X_i)$ μA	Sensitivity coefficient, C_i	Uncertainty contribution, $u_i(y)$ μA
δ_R	Repeatability of measurement	X_R	A		Normal		1	1	1
δ_{inher}	Calibration of instrument	X_{inher}	A	15 normal 18 after	Normal	3	5 normal 6 after	1	5 normal 6 after
δ_{instr}	Quantum error of instrument	X_{instr}	B	0,5	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,3	1	0,3
δ_{range}	Range of measurement	X_{range}	B	0,0	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0	1	0,0
δ_{temp}	Ambient temperature fluctuation	X_{temp}	A	3,2 normal 3,7 after	Normal	3	1 normal 1,2 after	1	1 normal 1,2 after
$\delta_{humidity}$	Relative humidity	$X_{humidity}$	B	3,7	Rectangular	$\sqrt{3}$	2 after	1	2,1 after
δ_{power}	Specification of power mains fluctuation	X_{power}	B	2	Rectangular	$\sqrt{3}$	1,2	1	1
					Combined standard uncertainty, u_c				5,3 normal 6,6 after
					Coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Expanded uncertainty, $U = u_c \times k_p$				11 normal 13 after

Reported result – The measured leakage current is $320 \mu\text{A} \pm 11 \mu\text{A}$ and $370 \mu\text{A} \pm 13 \mu\text{A}$ after humidity, $k = 2,95$ % confidence level.

δ_R **repeating error repeatability of measurement** – uncertainty due to repeatedly making the same measurement – Type A with a normal distribution:

$$u_1 = \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 1 \mu\text{A}$$

δ_{inher} **calibration of instrument** – leakage current of basic insulation is $320 \mu\text{A}$ under operating condition and $370 \mu\text{A}$ under humidity conditioning. According to the certificate of calibration, the system error of the measured instrument is ± 5 %, normal, $k = 3$.

$$u_2 = 0,05 \times 320/3 = 5 \mu\text{A} \quad \text{normal condition}$$

$$u_2 = 0,05 \times 370/3 = 6 \mu\text{A} \quad \text{humidity condition}$$

δ_{instr} **quantum error of instrument** – uncertainty due to instrument used for measurements (MPE). When testing, used 2 mA measuring range, resolution is 0,001 mA, quantization error of instrument is in the same probability distribution in the 0,001/2 mA range.

$$u_3 = \frac{0,001/2}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0,3 \mu\text{A}$$

NOTE MPE is the maximum permissible error given by the manufacturer.

δ_{range} **range of measurement** – can be ignored because of its small value.

$$u_4 = 0$$

δ_{temp} **ambient temperature fluctuation** – for each 10°C in environmental temperature, the variation of the indicated value is no more than $\pm 1,5$ %. when testing. For common electronic and electro-mechanical and assembled apparatus, the temperature should be kept $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, we can consider that limit of variation of the indicated value is ± 1 %. Normal distribution: $k = 3$.

$$u_5 = (320 \mu\text{A} \times 0,01)/3 = 1,1 \mu\text{A} \text{ normal}$$

$$u_5 = (370 \mu\text{A} \times 0,01)/3 = 1,2 \mu\text{A} \text{ after}$$

δ_{humidity} **relative humidity** – when tested under normal operation, it can be ignored. During humidity testing, the relative humidity should be kept $93\% \pm 2\%$ (RH). If it varies, each 1 % of leakage current of basic insulation changes ± 1 %. Rectangular distribution: $k = \sqrt{3}$.

$$u_6 = 0 \text{ normal}$$

$$u_6 = (370 \mu\text{A} \times 0,01)/\sqrt{3} = 2,1 \mu\text{A}$$

δ_{power} **power mains fluctuation** – the u_7 reflects the influence of output power and voltage. For the electric heating apparatus and microwave oven, $\Delta P = (0,25\% \times \text{measuring range} + 0,25\% \times \text{reading values}) \leq 10 \text{ W}$. Leakage current variation does not go over $2 \mu\text{A}$. Rectangular distribution: $k = \sqrt{3}$.

$$u_7 = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,2 \mu\text{A}$$

Example 4

Test name: calliper gauge (analog).

Result: budget of uncertainty of distance for a calliper gauge (analog).

Description: distance measurement with a calliper gauge by an expert.

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Error quantity, $S_p(X_i)$	Probability shape	Distribution division factor, k	Standard uncertainty, $u(X_i)$	Sensitivity coefficient, C_i	Uncertainty contribution, $u_i(y)$
δ_{INST}	Specification for instrument	X_{INST}	B	50 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	29 μm	1	29 μm
δ_{read}	Reading of instrument (e.g. because of parallax)	X_{read}	B	5 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	2,89 μm	1	2,89 μm
δ_{temp}	Ambient temperature fluctuation	X_{temp}	B	0,1 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 μm	1	0,0577 μm
δ_{calibr}	Calibration of gauge	X_{calibr}	B	0,5 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	2,89 μm	1	1,89 μm
δ_{abbe}	Canting of position of the measuring surface	X_{abbe}	B	60 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	35 μm	1	35 μm
δ_{user}	Difference in contact pressure by user	X_{user}	B	100 μm	Rectangular	$\sqrt{3}$	60 μm	1	60 μm
					Combined standard uncertainty, u_c				75 μm
					Coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Expanded uncertainty, $U = u_c \times k_p$				150 μm

Reported result – The measured distance is $m_x \mu\text{m} \pm 150 \mu\text{m}$, $k = 2$, 95 % confidence level.

δ_{INST} MPE is the maximum permissible error given by the manufacturer. According to the technical information of the manufacturer, MPE = 0,05 mm.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,05 \text{ mm} / \sqrt{3} = 29 \mu\text{m}$.

δ_{read} **reading error** – depends on human influences and practical experience. Estimated as $\pm 0,005 \text{ mm}$.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,005 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2,89 \mu\text{m}$.

δ_{temp} **temperature error** – because of the specific range of the caliper, influence of temperature can be neglected.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 0,0001 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,0577 \mu\text{m}$.

δ_{calibr} **calibration of gauge** – according to calibration certificate.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 0,005 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2,89 \mu\text{m}$.

δ_{abbe} **canting** – because of the position of the measuring surface.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,06 \text{ mm} / \sqrt{3} = 35 \mu\text{m}$.

δ_{user} **contact pressure** – influence of user, depends on the practical experience of the expert.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_6 = 0,1 \text{ mm} / \sqrt{3} = 60 \mu\text{m}$.

Example 5

Test name: torque measurement.

Result: uncertainty of torque measured.

Description: the complete measurement chain consists of a torque/speed sensor with uncertainty contributions due to eccentricity, internal friction (bearings), repeatability, influence of measuring amplifier and plotting unit (computer).

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Relative error quantity, $S_p(X_i)$	Probability shape	Distribution division factor, k	Relative standard uncertainty, $u(X_i)$	Sensitivity coefficient, C_i	Relative uncertainty contribution, $u_i(y)$
δ_{friction}	Internal friction	X_{friction}	B	0,05 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0289 %	1	0,0289 %
δ_{MPE}	Measurement amplifier	X_{MPE}	B	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
δ_{plotter}	Plotting unit	X_{plotter}	B	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
δ_{eccent}	Eccentricity of axes	X_{eccent}	B	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
δ_{repeat}	Repeatability of measurement	X_{repeat}	B	0,5 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,289 %	1	0,289 %
					Relative combined standard uncertainty, u_c				0,0307 %
					Relative coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Relative expanded uncertainty, $U = u_c \times k_p$				0,61 %

Reported result – The measured torque is $m_x (1 \pm 0,0061)$ N-m, $k = 2$, 95 % confidence interval.

δ_{friction} loss because of mechanical friction (clamping unit). Because of practical experience, this error is estimated as +0,1 % of the final result. Estimation: average 0,05 % \pm 0,05 %.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,05 \% / \sqrt{3} = 0,0289 \%$.

δ_{MPE} standard measuring amplifier; MPE = 0,1 % (accuracy class I).

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577 \%$.

δ_{plotter} normally signals from torque sensors are sampled electronically to be evaluated statistical by plotting unit (e.g. computers and specific measuring boards). Because of practical experience, the error is assumed as $\pm 0,1$ % of the final value.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577 \%$.

δ_{excent} because of misalignment of axes (eccentricity) there are superposed torques (dynamic and static rates of torque) which lead to additional losses. Because of practical experience, the error is assumed as $\pm 0,1$ % of the final value.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577 \%$.

δ_{repeat} because of non-identical settings of the measuring device and clamping situation (often because of high/lower experienced staff), there are repeatability errors. Because of practical experience, the error is assumed as $\pm 0,5$ % of the final value.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,5 \% / \sqrt{3} = 0,289 \%$.

Example 6

Test name: pre-conditioning for ball pressure test.

Result variable: uncertainty of temperature of test sample.

Description: influence by possible factors: set point of the heater, reading accuracy, spatial temperature gradient based on the thermal isolation of the heater, influence of the two-stage heater control, thermal/temporal inertia of the system, surface/volume ratio of the test specimen (the smaller the ratio, the greater the thermal inertia), uncertainty of thermocouple.

Quantity X_i	Source of uncertainty	X_i	Type	Error quantity, $S_p(X_i)$	Probability shape	Distribution division factor, k	Standard uncertainty, $u(X_i)$	Sensitivity coefficient, C_i	Uncertainty contribution, $u_i(y)$
δT_R	Spatial temperature gradient and fluctuation	XT_R	B	0,1 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 °C	1	0,0577 °C
δ_{Indic}	Rough scale for temperature set	X_{Indic}	B	0,5 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,289 °C	1	0,289 °C
δT_{contr}	Function of heating control	XT_{contr}	B	1 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,577 °C	1	0,577 °C
δ_{Rec}	Influence of recorder	X_{Rec}	B	1,5 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,866 °C	1	0,866 °C
δT_{res}	Transition of resistance	XT_{res}	B	0,25 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,144 °C	1	0,144 °C
δ_{ref}	Calibration of reference thermocouple	X_{ref}	B	0,1 °C	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,0577 °C	1	0,0577 °C
					Combined standard uncertainty, u_c				1,093 °C
					Coverage factor $k_p = 2$; confidence level: 95 %				–
					Expanded uncertainty, $U = u_c \times k_p$				2,2 °C

Reported result – The measured temperature is 70,6 °C \pm 2,2 °C, $k = 2,95$ % confidence interval.

T_{INVP} constant value: 75 °C; temperature set with control dial.

T_R constant value: 4,4 °C; according to the manufacturer's specification, the spatial temperature gradient is ± 2 % of maximum temperature (220 °C). Practical experience shows that this value can be divided into one systematic and one random failure. Extreme estimate for systematic fluctuation: due to thermal loss, there is a spatial temperature difference of $-4,4$ °C.

δ_R extreme estimate for random fluctuation: the mean values fluctuate at intervals (0,08; $-0,03$). An approximate spatial temperature fluctuation of $\pm 0,1$ °C can be specified.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,0577 \text{ °C}$.

δ_{Indic} due to the rough scale, the temperature of the warming cabinet can only be set with a tolerance of $\pm 0,5$ °C (estimated value).

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,5 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,289 \text{ °C}$.

δ_{contr} distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 1,0 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,577 \text{ °C}$.

δ_{secr} summarized all impacts on uncertainty of the recorder.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0,866 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$\delta T_{r_{\text{res}}}$ estimated impact of transition resistance based on practical experience.

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,25 \text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0,144 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

δ_{ref} estimated impact of reference element (PT100 based on practical experience).

Distribution is rectangular, $k = \sqrt{3}$, $u_6 = 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0,0577 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	27
INTRODUCTION.....	28
1 Domaine d'application	29
2 Documents de référence.....	29
3 Termes et définitions	29
4 Application des principes de l'incertitude de mesure.....	30
4.1 Généralités.....	30
4.2 Principes de l'incertitude de mesure	31
4.3 Contexte	31
4.4 Principes de l'incertitude de mesure – Application des procédures	32
4.5 Conclusion	34
5 Lignes directrices pour la réalisation des calculs de l'incertitude de mesure avec des exemples de calculs.....	34
5.1 Principes généraux.....	34
5.2 Résumé des étapes pour l'estimation d'une incertitude	35
5.3 Exemple simple – Estimation de l'incertitude de mesure pour un essai d'échauffement avec des thermocouples	38
Annexe A (informative) Calculs de l'incertitude de mesure pour les essais d'évaluation de la conformité des produits – Exemples 1 à 6.....	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE
AUX ACTIVITÉS D'ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ
DANS LE SECTEUR ÉLECTROTECHNIQUE****AVANT-PROPOS**

Cette première édition du Guide 115 de la CEI a été établie par le CTL de l'IECEE conformément à la procédure donnée à l'Annexe A de la Partie 1 des Directives ISO/CEI.

Le texte de ce Guide est issu des documents suivants:

Document d'approbation	Rapport de vote
C/1446/DV	C/1457/RV

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

INTRODUCTION

Ce Guide a été établi par le Comité des Laboratoires d'Essai (en anglais: *Committee of Testing Laboratories [CTL]*) du système CEI d'Essais de Conformité et de Certification des Equipements Electriques (IECEE) afin de donner des lignes directrices pour l'application pratique des exigences concernant l'incertitude de mesure de l'ISO/CEI 17025 aux essais de sécurité électrique réalisés dans le cadre de la méthode OC du système IECEE.

La méthode OC du système IECEE est un accord international multilatéral conclu entre plus de 40 pays et quelques 60 organismes nationaux de certification pour l'acceptation des rapports d'essai sur les produits électriques ayant subi des essais selon les normes CEI.

Le but du CTL est, entre autres tâches, de définir une analyse commune de la méthodologie d'essai selon les normes CEI ainsi que d'assurer et d'améliorer de manière continue la répétabilité et la reproductibilité des résultats d'essai entre les laboratoires membres.

L'approche pratique de l'incertitude de mesure décrite dans ce Guide a été adoptée pour être utilisée dans les méthodes du système IECEE et elle est également largement utilisée dans le monde par les laboratoires d'essai pour les essais des produits électriques selon les normes nationales de sécurité.

Ce Guide présente un intérêt particulier pour les Comités d'Etudes CEI suivants qui peuvent, si nécessaire, décider de l'utiliser.

COMITE D'ETUDES 13 : MESURE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE, CONTROLE DES TARIFS ET DE LA CHARGE

COMITE D'ETUDES 17 : APPAREILLAGE

COMITE D'ETUDES 18 : INSTALLATIONS ELECTRIQUES DES NAVIRES ET DES UNITES MOBILES ET FIXES EN MER

COMITE D'ETUDES 20 : CABLES ELECTRIQUES

COMITE D'ETUDES 21 : ACCUMULATEURS

COMITE D'ETUDES 22 : SYSTEMES ET EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES DE PUISSANCE

COMITE D'ETUDES 23 : PETIT APPAREILLAGE

COMITE D'ETUDES 32 : COUPE-CIRCUIT A FUSIBLES

COMITE D'ETUDES 33 : CONDENSATEURS DE PUISSANCE

COMITE D'ETUDES 34 : LAMPES ET EQUIPEMENTS ASSOCIES

COMITE D'ETUDES 35 : PILES

COMITE D'ETUDES 38 : TRANSFORMATEURS DE MESURE

COMITE D'ETUDES 39 : TUBES ELECTRONIQUES

COMITE D'ETUDES 40 : CONDENSATEURS ET RESISTANCES POUR EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

COMITE D'ETUDES 47 : DISPOSITIFS A SEMICONDUCTEURS

COMITE D'ETUDES 59 : APTITUDE A LA FONCTION DES APPAREILS ELECTRODOMESTIQUES

COMITE D'ETUDES 61 : SECURITE DES APPAREILS ELECTRODOMESTIQUES ET ANALOGUES

COMITE D'ETUDES 62 : EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DANS LA PRATIQUE MEDICALE

COMITE D'ETUDES 64 : INSTALLATIONS ELECTRIQUES ET PROTECTION CONTRE LES CHOCS ELECTRIQUES

COMITE D'ETUDES 65 : MESURE ET COMMANDE DANS LES PROCESSUS INDUSTRIELS

COMITE D'ETUDES 66 : SECURITE DES APPAREILS DE MESURE, DE COMMANDE ET DE LABORATOIRE

COMITE D'ETUDES 76 : SECURITE DES RAYONNEMENTS OPTIQUES ET MATERIELS LASER

COMITE D'ETUDES 77 : COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE

COMITE D'ETUDES 78 : TRAVAUX SOUS TENSION

COMITE D'ETUDES 80 : MATERIELS ET SYSTEMES DE NAVIGATION ET DE RADIOCOMMUNICATIONS MARITIMES

COMITE D'ETUDES 82 : SYSTEMES DE CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUES DE L'ENERGIE SOLAIRE

APPLICATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE AUX ACTIVITÉS D'ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ DANS LE SECTEUR ÉLECTROTECHNIQUE

1 Domaine d'application

Ce Guide présente une approche pratique de l'application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la conformité dans le secteur électrotechnique. Il est spécifiquement conçu pour être utilisé dans les méthodes du système IECEE ainsi que par les laboratoires qui réalisent les essais des produits électriques selon les normes nationales de sécurité. L'Article 4 décrit l'application des principes de l'incertitude de mesure. L'Article 5 donne des lignes directrices pour la réalisation des calculs de l'incertitude de mesure. L'annexe A donne quelques exemples de calculs de l'incertitude de mesure pour des essais d'évaluation de la conformité de certains produits.

2 Documents de référence

ISO/CEI 17025: *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais*

Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) (1995)
[BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, OIML]

Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM) (1996)
[BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, OIML].

3 Termes et définitions

Pour les besoins de ce Guide, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

facteur d'élargissement

facteur numérique qui, lorsqu'il est multiplié par l'incertitude type composée, définit un intervalle (l'incertitude élargie) autour du résultat d'un mesurage et dont on peut s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction spécifiée importante (par exemple 95 %) de la distribution des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

3.2

incertitude type composée

résultat de la combinaison des composantes de l'incertitude type

3.3

erreur de mesure

résultat d'un mesurage moins une valeur vraie du mesurande (pas quantifiable de manière précise car la valeur vraie se situe à un niveau inconnu dans l'étendue d'incertitude)

3.4

incertitude élargie

obtenue en multipliant l'incertitude type composée par un facteur d'élargissement

3.5

niveau de confiance

probabilité que la valeur du mesurande se trouve à l'intérieur de l'étendue d'incertitude indiquée

3.6

mesurande

grandeur faisant l'objet du mesurage, évaluée dans l'état où se trouve le système mesuré pendant le mesurage lui-même

[CEI 60359:2001, modifiée]

3.7

grandeur X_i

source d'incertitude

3.8

écart type

racine carrée positive de la variance

3.9

incertitude type

écart type estimé

3.10

incertitude (de mesure)

paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

[CEI 60359:2001, modifiée]

3.11

méthode d'évaluation de type A

méthode d'évaluation de l'incertitude de mesure par l'analyse statistique de séries d'observations

3.12

méthode d'évaluation de type B

méthode d'évaluation de l'incertitude de mesure par des moyens autres que l'analyse statistique de séries d'observations

4 Application des principes de l'incertitude de mesure

4.1 Généralités

4.1.1 La qualification et l'acceptation des laboratoires d'essai OC (CBTL), par exemple dans le système IECEE, se font conformément à l'ISO/CEI 17025, qui stipule dans son paragraphe 5.4.6.2:

“Les laboratoires d'essai doivent posséder et appliquer des procédures pour estimer l'incertitude de mesure. Dans certains cas, la nature de la méthode d'essai peut rendre impossible un calcul rigoureux et valable du point de vue métrologique et statistique de l'incertitude de mesure. Dans de tels cas, le laboratoire doit au moins essayer d'identifier toutes les composantes de l'incertitude et en faire une estimation raisonnable et il doit s'assurer que la forme sous laquelle apparaît le résultat ne donne pas une impression erronée de l'incertitude. Une estimation raisonnable doit être fondée sur la connaissance des performances de la méthode et sur le domaine de mesure et elle doit utiliser, par exemple, l'expérience et les données de validation antérieures.

NOTE 1 Le degré de rigueur nécessaire pour une estimation de l'incertitude de mesure dépend de facteurs tels que :

- les exigences de la méthode d'essai;
- les exigences du client;
- l'existence de limites étroites servant de base aux décisions de conformité à une spécification.

NOTE 2 Dans les cas où une méthode d'essai reconnue spécifie des limites aux valeurs des principales sources d'incertitude de mesure et spécifie la forme sous laquelle les résultats calculés sont présentés, le laboratoire est considéré avoir satisfait à cet article en suivant la méthode d'essai et les instructions pour le compte-rendu (voir 5.10).”

4.1.2 Dans l'ISO/CEI 17025, 5.10.3.1, point c), stipule:

“Le paragraphe 5.10.3.1 inclut ce qui suit:

- c) si applicable, une indication de l'incertitude de mesure estimée ; des informations sur l'incertitude sont nécessaires dans les rapports d'essai lorsque la validité d'application des résultats d'essai est en cause, lorsque une instruction d'un client le demande ou lorsque l'incertitude affecte la conformité à une limite de spécification.”

4.1.3 La norme ISO/CEI 17025 a été rédigée comme un document à usage général, pour toutes les industries. Les principes de l'incertitude de mesure sont appliqués aux essais des laboratoires et à la présentation des résultats d'essai pour assurer la validité des décisions concernant la conformité des produits soumis aux essais selon les exigences applicables. Les procédures et les techniques concernant les calculs de l'incertitude de mesure sont bien établies. Cette procédure des Laboratoires d'essai OC (CBTL) est destinée à donner des lignes directrices plus spécifiques concernant l'application des principes de l'incertitude de mesure à la consignation des résultats d'essai dans le cadre de la méthode OC.

4.1.4 Cet article de la procédure CBTL est consacré à l'application des principes de l'incertitude de mesure dans le cadre de la méthode OC, tandis que l'Article 5 de la procédure CBTL donne des lignes directrices pour la réalisation des calculs de l'incertitude de mesure et comprend des exemples.

4.2 Principes de l'incertitude de mesure

4.2.1 Un des points délicats de l'application des principes de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la conformité est la gestion des aspects de coût, de temps et des aspects pratiques pour la détermination des relations entre différentes sources d'incertitude. Certaines relations sont inconnues ou exigeraient un effort considérable, du temps et un coût élevé pour être établies. Il existe un certain nombre de techniques éprouvées qui sont disponibles pour traiter ce point délicat. Ces techniques prévoient de ne pas étudier les sources de variabilité qui n'ont qu'une faible influence sur le résultat et de réduire les sources importantes de variabilité en les contrôlant.

4.3 Contexte

4.3.1 Les méthodes d'essai utilisées dans le cadre de la méthode OC du système IECEE sont par nature des normes constituant un consensus. Les critères utilisés pour déterminer la conformité aux exigences sont la plupart du temps fondés sur un consensus quant aux limites qui devraient être celles des résultats d'essai. Le dépassement de la limite dans une faible proportion ne donne pas lieu à un danger imminent. Les méthodes d'essai utilisées peuvent inclure une indication sur la précision stipulant l'incertitude maximale admissible attendue lorsque la méthode est utilisée. Historiquement, les laboratoires d'essai utilisaient des équipements respectant les règles de l'art et ne tenaient pas compte de l'incertitude de mesure dans leurs comparaisons des résultats avec les valeurs limites. Des normes de sécurité ont été élaborées dans ce domaine et les limites données dans les normes reflètent cette pratique.

4.3.2 Les paramètres d'essai qui influencent les résultats des essais peuvent être nombreux. Des variations nominales de certains paramètres d'essai ont peu d'effet sur l'incertitude du résultat du mesurage. Les variations d'autres paramètres peuvent avoir un effet. Toutefois, le degré d'influence peut être minimisé en limitant la variabilité du paramètre lors de la réalisation de l'essai.

4.3.3 Un des moyens courants de prise en compte des effets des paramètres d'essai sur les résultats d'essais consiste à définir les limites acceptables de variabilité des paramètres d'essai. Ce faisant, toute variabilité des résultats de mesurage obtenus en raison de variations des paramètres contrôlés n'est pas considérée comme significative si les paramètres sont contrôlés dans le respect des limites. Des exemples de l'application de cette technique exigent :

- a) le maintien de la source d'alimentation d'entrée : tension $\pm 2 \%$, fréquence $\pm 0,5 \%$, distorsion harmonique totale 3 %;
- b) une température ambiante de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) une humidité relative de $93 \% \pm 2 \% \text{ (RH)}$;
- d) pour le personnel : des exigences de compétence technique documentées pour l'essai;
- e) pour les procédures : des procédures de laboratoire documentées;
- f) pour la précision de l'équipement: des appareils ayant une exactitude conforme à la décision 251A des CTL.

NOTE Les limites acceptables aux points a) à c) sont données à titre d'exemples et ne représentent pas nécessairement les limites réelles établies.

4.3.4 Le résultat final du contrôle des sources de variabilité dans les limites prescrites est que le résultat du mesurage peut être utilisé comme la meilleure estimation du mesurande. En effet, l'incertitude de mesure autour du résultat mesuré est négligeable par rapport à la décision finale d'acceptation ou de refus.

4.4 Principes de l'incertitude de mesure – Application des procédures

4.4.1 Lorsqu'un essai donne lieu au mesurage d'une variable, il existe une incertitude associée au résultat d'essai obtenu.

4.4.2 La procédure 1, voir la Figure 1, est utilisée lorsque le calcul de l'incertitude de mesure est exigé par l'ISO/CEI 17025, 5.4.6.2 et 5.10.3.1 point c). Calculer l'incertitude de mesure (voir l'Article 5) et comparer le résultat mesuré avec la plage d'incertitude à une limite acceptable définie. La mesure est conforme à l'exigence si la probabilité pour qu'elle soit à l'intérieur des limites est d'au moins 50 %.

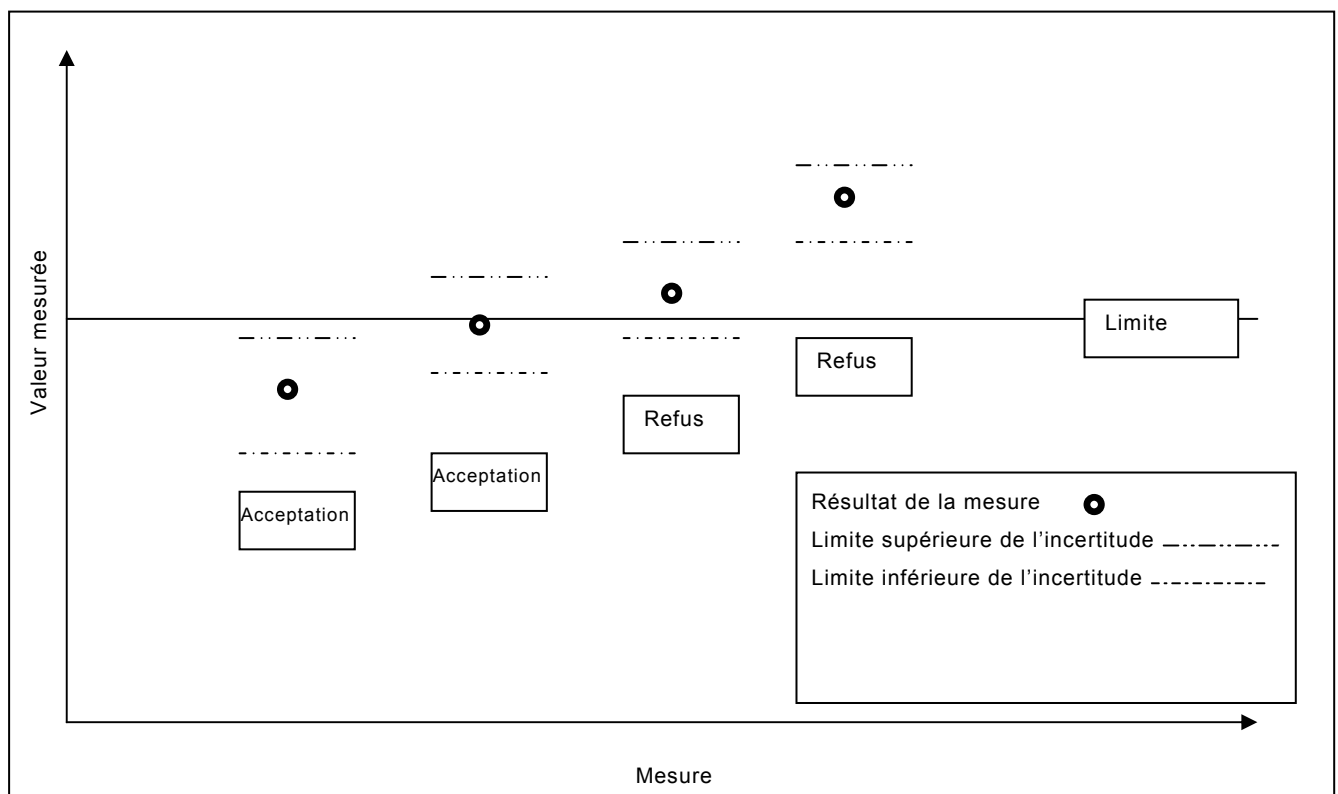


Figure 1 – Procédure 1: incertitude de mesure calculée

4.4.3 La procédure 2, voir la Figure 2, est utilisée lorsque la norme ISO/CEI 17025, 5.4.6.2, Note 2, s'applique. La procédure 2 est la méthode traditionnellement utilisée dans le cadre de la méthode OC et elle est désignée sous le terme "méthode d'exactitude". L'essai réalisé est un essai individuel de série. Les sources d'incertitude sont minimisées de manière à ce qu'il ne soit pas nécessaire de calculer l'incertitude de mesure pour déterminer la conformité avec la limite. La variabilité des paramètres d'essai se situe dans les limites acceptables. Les paramètres d'essai comme la tension de la source d'alimentation, la température ambiante et l'humidité ambiante sont maintenus dans les limites acceptables définies pour l'essai. La formation du personnel et les procédures de laboratoire réduisent l'incertitude de mesure due aux facteurs humains. Les appareils utilisés présentent une incertitude qui se situe dans les limites prescrites.

NOTE Le nom, la méthode d'exactitude, viennent du concept de limitation de l'incertitude due aux appareils en utilisant des appareils qui se situent dans les limites d'exactitude prescrites. A cet effet, la spécification d'exactitude d'un appareil est considérée comme l'incertitude maximale de mesure pouvant être attribuée à l'appareil.

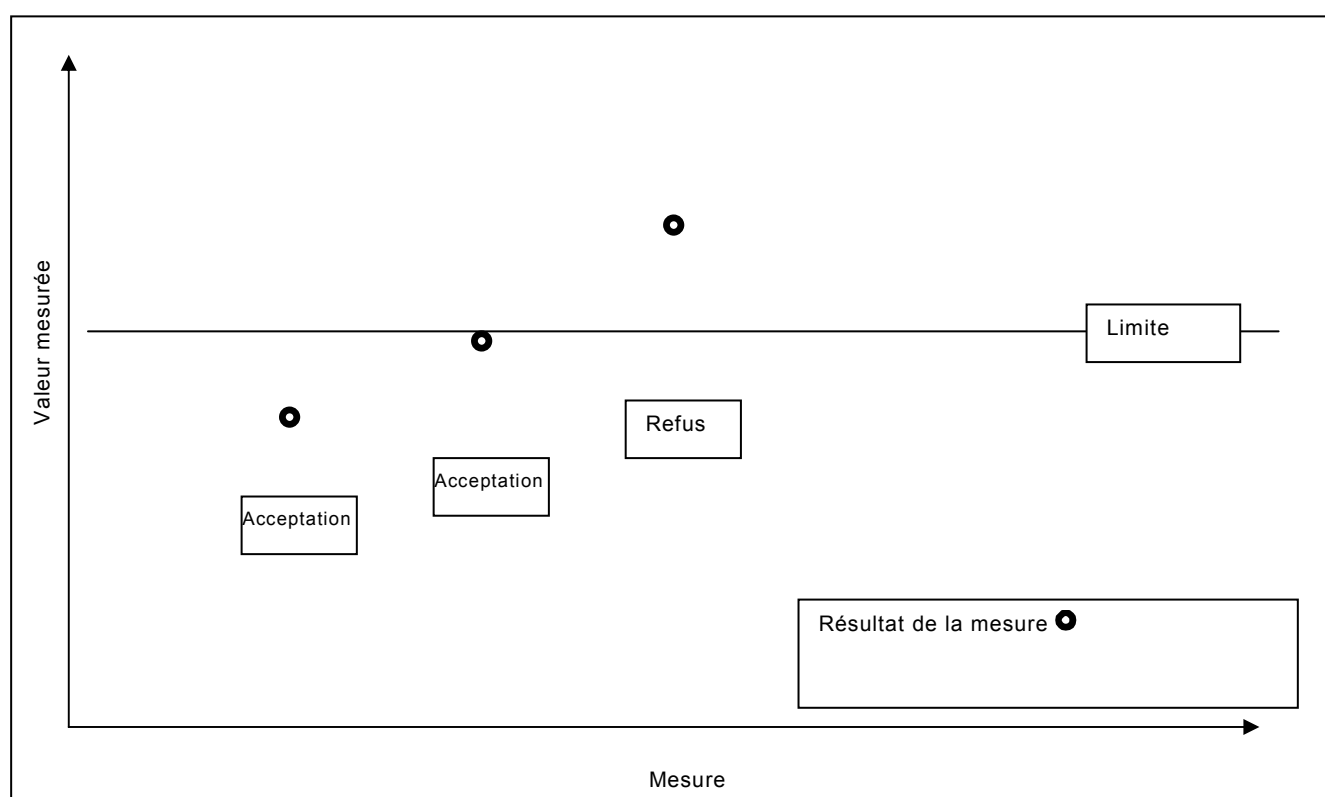


Figure 2 – Procédure 2: Méthode de précision

4.4.4 Le résultat du mesurage est considéré conforme à l'exigence s'il respecte la limite prescrite. Il n'est pas nécessaire de calculer l'incertitude associée au résultat du mesurage.

4.4.5 Exemple – Procédure 2

- Essai de mesure de la tension de sortie de l'alimentation

a) Méthode

Connecter l'alimentation à une source réseau de tension assignée, $\pm 2\%$ et de fréquence assignée. Mesurer la tension de sortie de l'alimentation lorsque qu'elle subit le courant assigné, $\pm 2\%$, avec une charge résistive non-inductive. L'essai est réalisé à une température ambiante de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Utiliser des appareils dont l'exactitude est conforme à la décision 251A des CTL.

L'alimentation est conforme aux exigences si la tension de sortie est égale à $\pm 5\%$ de la valeur assignée.

b) Résultats

Caractéristiques assignées de l'alimentation électrique : 240 V, 50 Hz en entrée; 5 V en courant continu, 2 A en sortie.

Entrée		Sortie	
U V	Fréquence Hz	I A	U V
242	50	2,01	5,1

Température ambiante d'essai : 24 °C.

L'exactitude des appareils utilisés est montrée dans le tableau suivant :

Appareil de mesure	Exactitude étalonnée pour l'échelle utilisée pour la mesure	Décision CTL 251A, max.
Thermomètre	±1,0 °C	±2,0 °C
Voltmètre	±0,5 %	±1,5 %
Fréquence	±0,2 %	±0,2 %
Courant	±0,5 %	±1,5 %

La conclusion de l'essai est que l'alimentation est conforme à l'exigence.

4.5 Conclusion

4.5.1 L'approche traditionnelle de l'incertitude de mesure pour les activités d'évaluation de la conformité dans le cadre de la méthode OC est l'application de la méthode d'exactitude. Cette méthode réduit les sources d'incertitude associées aux performances des essais individuels de série de manière à ce que le résultat de mesure puisse être directement comparé à la limite d'essai pour déterminer la conformité à l'exigence. Cette méthode est conforme aux exigences de l'ISO/CEI 17025. La méthode d'exactitude prend moins de temps et présente un coût inférieur à celle de l'incertitude détaillée des calculs de mesure et les conclusions obtenues sont valables pour la décision finale d'acceptation ou de refus.

4.5.2 Dans les situations où la méthode traditionnelle d'exactitude ne s'applique pas, l'incertitude des valeurs de mesure est calculée et consignée avec les résultats des variables obtenus au cours des essais.

5 Lignes directrices pour la réalisation des calculs de l'incertitude de mesure avec des exemples de calculs

5.1 Principes généraux

5.1.1 Cet article est destiné à constituer un bref résumé simplifié des étapes à suivre par un CBTL lorsqu'il a besoin d'estimer des incertitudes. Il donne également des exemples sur la manière de réaliser les calculs.

5.1.2 Il ne s'agit en aucune mesure d'un document complet sur l'incertitude de mesure (MU), ses sources et son estimation en général, mais il est susceptible d'offrir une approche pratique dans la plupart des circonstances applicables dans un CBTL dans le cadre de la méthode OC du système IECCE.

5.1.3 Aucun mesurage n'est parfait et les imperfections donnent lieu à des erreurs de mesure dans le résultat. Par conséquent, le résultat d'un mesurage est uniquement une approximation de la valeur mesurée (mesurande) et il est complet uniquement lorsqu'il est accompagné de l'indication de l'incertitude de cette approximation. En fait, compte tenu de l'incertitude de mesure, on ne peut jamais connaître une valeur vraie.

5.1.4 L'incertitude totale d'un mesurage est une combinaison d'un certain nombre d'incertitudes de composants. Même la lecture d'un seul appareil de mesure peut être influencée par plusieurs facteurs. Un examen attentif de chaque mesurage réalisé au cours d'un essai est nécessaire pour identifier et faire la liste de tous les facteurs qui contribuent à l'incertitude globale. Il s'agit d'une étape très importante et elle exige une bonne compréhension de l'équipement de mesure, des principes et de la pratique de l'essai et de l'influence de l'environnement.

5.1.5 Le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM) a adopté une approche qui regroupe les composantes de l'incertitude en deux catégories fondées sur leur méthode d'évaluation, le Type A et le Type B. Ce classement en catégories des méthodes d'évaluation, de préférence aux composants eux-mêmes, évite certaines ambiguïtés.

5.1.6 L'évaluation de type A est réalisée par un calcul à partir d'une série d'observations répétées, en utilisant des méthodes statistiques.

5.1.7 L'évaluation de type B est réalisée par des moyens différents de ceux utilisés pour le Type A. Par exemple, par un jugement à partir du tableau suivant.

Données des certificats d'étalonnage	Ceci permet d'apporter des corrections et d'assigner des incertitudes de type B
Données de mesurage antérieures	Par exemple, il est possible de construire des graphiques historiques et de collecter des informations utiles sur les variations dans le temps
Expérience ou connaissances générales	Comportement et propriétés de matériaux et équipements similaires
Valeurs acceptées des constantes	Associées aux matériaux et aux grandeurs
Spécifications du fabricant	
Toutes les autres informations présentant un intérêt	

5.1.8 Les incertitudes individuelles sont évaluées par la méthode appropriée et chacune est exprimée comme un écart type et il y est fait référence comme à une incertitude type.

5.2 Résumé des étapes pour l'estimation d'une incertitude

5.2.1 Identifier les facteurs qui peuvent influencer de manière significative les valeurs mesurées et examiner leur applicabilité. Il existe de nombreuses sources possibles en pratique, avec essentiellement.

- a) La part due à l'étalonnage des appareils de mesure, y compris la part apportée par les normes de référence ou les normes de travail.
- b) L'erreur de température au début et à la fin de l'essai (par exemple méthode de la résistance de bobinage).
- c) L'incertitude liée aux charges appliquées et au mesurage qui en est fait.
- d) La vitesse du flux d'air sur l'échantillon d'essai et l'incertitude de son mesurage.
- e) Pour les appareils de mesure numériques, il y a le nombre de chiffres affichés et la stabilité de l'affichage au moment de la lecture. En outre, l'incertitude consignée d'un appareil de mesure n'inclut pas nécessairement l'affichage.
- f) La résolution de l'appareil de mesure, les limites de graduation d'une échelle.
- g) Les approximations et les hypothèses intégrées à la méthode de mesurage.
- h) L'incertitude due aux procédures utilisées pour préparer l'échantillon pour l'essai et l'essai réel.
- i) Si un ordinateur est utilisé pour l'acquisition des valeurs lues provenant de l'appareil de mesure, il existe une incertitude associée au traitement des données due aux calculs ou aux autres manipulations qui sont réalisés dans l'ordinateur comme les conversions d'analogique en numérique et les conversions entre virgule flottante et entiers.
- k) Les valeurs arrondies des constantes et les autres paramètres utilisés pour les calculs.

- m) Les effets sur le mesurage des conditions environnementales (par exemple variation de la température ambiante) ou de leur mesurage.
--> Négligeables dans le cas de conditions environnementales stables (*prises comme hypothèses et attendues par un CBTL*).
- n) La variabilité de la source d'alimentation (tension, intensité, fréquence) auquel l'échantillon est connecté et l'incertitude de mesurage de celle-ci.
--> Négligeable dans le cas de sources d'alimentations stabilisées (*prises comme hypothèses et attendues par un CBTL*).
- o) Erreur systématique du personnel dans la lecture des appareils de mesure analogiques (par exemple erreur de parallaxe ou sur le nombre de chiffres significatifs pouvant être interpolés).
--> Négligeable dans le cas d'affichages numériques ou de formation appropriée (pris comme hypothèse et attendu d'un CBTL).
- p) La variation entre les échantillons d'essai et le cas où les échantillons ne sont pas complètement représentatifs.
À moins que la norme CEI ne spécifie des essais sur des échantillons multiples, un seul échantillon est soumis aux essais.
--> La variation entre les échantillons d'essai est considérée comme négligeable par les CBTL.

NOTE Cette liste n'indique pas tous les facteurs qui peuvent contribuer à l'incertitude de mesure. D'autres facteurs peuvent devoir être identifiés et pris en compte par chaque laboratoire respectivement.

5.2.2 Transformer les facteurs d'influence x_i pour les donner dans l'unité de la valeur mesurée (quantifier), dont on s'apprête à estimer l'incertitude, s'ils ne sont pas déjà donnés dans cette unité (par exemple si l'unité de la valeur mesurée est le V et qu'une tolérance de résistance en Ω est un des facteurs d'influence, transformer la variation de la résistance en donnant la contribution en V qui en résulte).

Après l'identification et la quantification des contributions d'incertitude associées à un processus de mesure, il est nécessaire de les combiner d'une certaine manière pour fournir une seule valeur d'incertitude qui puisse être associée avec le résultat de mesure.

5.2.3 Détermination des lois de probabilités

La loi de probabilité de la grandeur mesurée décrit la variation de probabilité pour que la valeur vraie présente une différence particulière par rapport au résultat mesuré ou au résultat assigné. La forme de cette loi de probabilité sera souvent inconnue et une hypothèse doit être formulée sur la base de connaissances antérieures ou de la théorie pour s'approcher de l'une des formes communes. Il est ensuite possible de calculer l'incertitude type, $U(x_i)$, pour la forme assignée à partir d'expressions simples. Les quatre lois principales qui présentent un intérêt sont les suivantes :

- normale;
- rectangulaire;
- triangulaire;
- en forme de U.

5.2.4 La loi normale est assignée lorsque l'incertitude est tirée, par exemple, d'un certificat / d'un rapport d'étalonnage lorsque le facteur d'élargissement, k , est indiqué. L'incertitude type est obtenue en divisant l'incertitude indiquée provenant du certificat d'étalonnage par son facteur d'élargissement k , qui est $k = 2$ pour un niveau de confiance d'environ 95 % (recommandé pour le CBTL dans la méthode OC du système IECEE). Il peut être nécessaire de confirmer k avec le laboratoire d'étalonnage dans le cas où il n'est pas indiqué sur le certificat.

$$\text{Normal : } u(x_i) = \frac{\text{incertitude}}{k}$$

5.2.5 On entend par loi rectangulaire le cas où la probabilité de densité est constante à l'intérieur des limites prescrites. Il convient d'assigner une loi rectangulaire lorsque les limites d'une spécification d'un fabricant sont utilisées comme incertitude, sauf s'il existe une mention de confiance associée à la spécification, auquel cas une loi normale peut être prise comme hypothèse.

$$\text{Rectangulaire: } u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$$

où a_i est la moitié de la largeur de la loi rectangulaire.

5.2.6 La loi en forme de U est applicable à l'incertitude de défaut d'alignement. La valeur de la limite pour l'incertitude de défaut d'alignement, M, associée au transfert de puissance au niveau d'une jonction est obtenue à partir de

$$100 ((1 \pm |\Gamma_G| |\Gamma_L|)^2 - 1) \% \text{ ou } 20 \log_{10} (1 \pm |\Gamma_G| |\Gamma_L|) \text{ dB (unités logarithmiques)}$$

où Γ_G et Γ_L sont les coefficients de réflexion pour la source et la charge.

L'incertitude de défaut d'alignement est asymétrique autour du résultat mesuré ; toutefois, la différence que cela représente par rapport à l'incertitude totale est souvent insignifiante et il est acceptable d'utiliser la plus grande des deux limites.

La loi en forme de U est utilisée en compatibilité électromagnétique mais aussi pour le contrôle climatique de la température et de l'humidité.

$$\text{En forme de U : } u(x_i) = \frac{M}{\sqrt{2}}$$

5.2.7 On entend par loi triangulaire le cas où la probabilité pour que la valeur vraie se situe en un point entre deux limites prescrites augmente de manière uniforme à partir de zéro aux extrémités pour atteindre son maximum au centre. Il convient qu'une loi triangulaire soit assignée lorsque la contribution a une distribution avec des limites définies et que la majorité des valeurs entre les limites se situent autour du point central.

$$\text{Triangulaire: } u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}}$$

5.2.8 Une approche détaillée de la détermination de la loi de probabilité peut être trouvée dans le Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM).

5.2.9 Corrélation: Pour que l'approche statistique de la combinaison des contributions d'incertitudes individuelles soit valable, il ne doit pas y avoir de facteurs communs associés à ces contributions.

5.2.10 L'effet des grandeurs d'entrée corrélées peut être une augmentation ou une diminution de l'incertitude type composée. Par exemple, si la surface d'un rectangle est déterminée par la mesure de sa largeur et de sa hauteur, en utilisant le même équipement de mesure, la corrélation augmentera l'incertitude. Par ailleurs, si on mesure une cale étalon par comparaison avec une autre en matériau identique, l'effet de l'incertitude dû à la température dépendra de la différence de température entre les deux cales et aura donc tendance à s'annuler.

5.2.11 Si la corrélation est telle que l'incertitude type composée est augmentée, l'approche la plus simple consiste à ajouter les incertitudes types pour ces grandeurs avant de combiner le résultat de manière statistique avec d'autres contributions.

5.2.12 Si, toutefois, la corrélation est telle que l'incertitude type composée est diminuée, comme dans la comparaison de cales étalons ci-dessus, la différence d'incertitude type serait utilisée comme grandeur d'entrée.

5.2.13 Une approche détaillée du traitement des grandeurs d'entrée corrélées peut être trouvée dans le GUM.

5.2.14 Etablir le budget d'incertitude m_x , contenant les incertitudes types de chaque facteur d'influence (grandeur) $u(x_i)$. Généralement $u(x_i)$ représente déjà la contribution d'incertitude $u_i(y)$ de chaque facteur. Une manière commode de procéder consiste à inscrire dans un tableau les facteurs identifiés et potentiels qui ont une contribution ainsi que leurs estimations (voir les exemples). La contribution de l'incertitude $u(m_x)$ est calculée par la formule:

$$u(m_x) = \text{SQRT} (u_1(y)^2 + u_2(y)^2 + \dots + u_i(y)^2)$$

5.2.15 Calculer l'incertitude élargie U , en tenant compte de votre niveau de confiance. L'incertitude élargie est calculée en multipliant l'incertitude type par le facteur d'élargissement k , qui est $k = 2$ pour un niveau de confiance d'environ 95 % (recommandé pour les CBTL dans la méthode OC du système IECEE), ou $k = 3$ pour un niveau de confiance d'environ 99,7 %.

$$u = k \times u(m_x)$$

5.2.16 Consigner le résultat du mesurage comprenant la valeur mesurée, l'incertitude élargie associée U et le facteur d'élargissement k .

Exemple: 10,5 V \pm 0,4 V (facteur d'élargissement $k = 2$, pour un niveau de confiance d'environ 95 %).

5.3 Exemple simple – Estimation de l'incertitude de mesure pour un essai d'échauffement avec des thermocouples

L'exemple suivant a été choisi pour montrer la méthode de base pour l'évaluation de l'incertitude de mesure. Il a été simplifié pour assurer une bonne transparence pour le lecteur et il est destiné à constituer un guide général sur la manière de procéder. Les contributions et les valeurs ne sont pas destinées à impliquer des exigences obligatoires ou préférentielles. Les grandeurs d'entrée sont considérées comme non-corrélées.

a) Identification des facteurs d'influence significatifs

Grandeur X_i	Source d'incertitude	Source de grandeur d'erreur $s_p(X_i)$
δ_{TC}	Incrtitude de thermocouple	Par exemple, venant des spécifications
δ_{HR}	Incrtitude d'un enregistreur hybride	Par exemple, venant du certificat d'étalonnage d'un laboratoire d'étalonnage, y compris leur incrtitude héritée et le facteur d'élargissement listé de $k = 3$
$\delta_{Fixation}$	Influence de la méthode de fixation des thermocouples	Par exemple, venant de la propre campagne de recherches du laboratoire
$\delta_{ambiant}$	Incrtitude de la mesure de la température ambiante	Par exemple, mesurée par un appareil séparé, données provenant des spécifications du fabricant

b) Relation entre facteurs d'influence et valeur mesurée

La relation entre le facteur d'influence et la valeur mesurée évaluée au point de mesure est connue comme le coefficient de sensibilité. Dans cet exemple simple, il existe une relation 1-à-1 entre les facteurs d'influence et la valeur mesurée. C'est la raison pour laquelle le coefficient de sensibilité est de 1. Pour des relations plus complexes, le coefficient de sensibilité peut prendre d'autres valeurs.

Grandeur X_i	Estimation x_i	Coefficient de sensibilité	Grandeur d'erreur $s_p(x_i)$
δ_{TC}	–40 °C à +350 °C	1	0,5 °C
δ_{HR}	Cas le plus défavorable des éléments étalonnés, par exemple –25 °C à +250 °C	1	1,8 °C
$\delta_{Fixation}$	Cas le plus défavorable des températures investiguées, par exemple 25 °C, 85 °C, 150 °C	1	2,4 °C
$\delta_{ambiant}$	Généralement utilisée autour de 25 °C	1	1,25 °C

c) Budget d'incertitude, m_x

Grandeur X_i	Estimation x_i	Grandeur d'erreur $s_p(x_i)$	Loi de probabilité	Incrtitude type $u(x_i)$	Coefficient de sensibilité	Contribution d'incertitude $u_i(y)$
δ_{TC}	–40 °C à +350 °C	0,5 °C	Rectangulaire	0,29 °C	1	0,29 °C
δ_{HR}	–25 °C à +250 °C	1,8 °C	Normale	0,6 °C	1	0,6 °C
$\delta_{Fixation}$	25 °C, 85 °C, 150 °C	2,4 °C	Normale	2,4 °C	1	2,4 °C
$\delta_{ambiant}$	–	1,25 °C	Rectangulaire	0,72 °C	1	0,72 °C
m_x	25 °C à 150 °C					$u(m_x) = 2,63$ °C

$$u(m_x) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}$$

$$\sqrt{3} = 1,73, \sqrt{6} = 2,45$$

d) Incertitude élargie, U

$$U = k \times u(m_x) = 2 \times 2,63 \text{ °C} = 5,27 \text{ °C} = \text{environ } 5,3 \text{ °C}$$

e) Résultat consigné

L'échauffement mesuré est $xx, x \text{ K} \pm 5,3 \text{ °C}$

L'incertitude de mesure élargie consignée est indiquée comme l'incertitude type de mesure multipliée par le facteur d'élargissement $k = 2$, ce qui, pour une loi normale correspond à une probabilité d'élargissement d'environ 95 %.

Annexe A (informative)

Calculs de l'incertitude de mesure pour les essais d'évaluation de la conformité des produits – Exemples 1 à 6

Le GT 1 CTL de l'IECEE donne l'échantillon d'exemples suivant de calculs pour illustrer l'application de l'incertitude de mesure aux activités d'évaluation de la conformité réalisées dans le cadre de la méthode OC du système IECEE.

Exemple 1 – Essai en entrée

Exemple 2 – Essai de la puissance d'entrée

Exemple 3 – Essai de mesure du courant de fuite

Exemple 4 – Mesure de distance avec un pied à coulisse

Exemple 5 – Mesure du couple

Exemple 6 – Pré-conditionnement pour essai à la bille

Ces exemples ont été simplifiés pour illustrer les différentes étapes du processus de réalisation des calculs de l'incertitude de mesure.

Exemple 1

Nom de l'essai: essai en entrée.

Résultat: incertitude du courant d'entrée exprimé en pourcentage des valeurs lues en ampères.

Description: le courant d'entrée est mesuré sur des matériels connectés au réseau. Le courant d'entrée des matériels est proportionnel à la tension appliquée.

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur relative, $S_p(X_i)$	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertitude type relative, $u(X_i)$	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude relative, $u_i(y)$
δ_R	Répétabilité de mesure	X_R	A		Normale		0,2 %	1	0,2 %
δ_{instr}	Spécification pour l'appareil	X_{instr}	B	0,5 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,3 %	1	0,3 %
$\delta_{lecture}$	Erreur de lecture	$X_{lecture}$	B	0,3 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,17 %	1	0,17 %
$\delta_{puissance}$	Spécification pour les fluctuations de la puissance réseau	$X_{puissance}$	B	0,17 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,1 %	1	0,1 %
					Incertitude type composée relative, u_c				0,41 %
					Facteur d'élargissement $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertitude élargie relative, $U = u_c \times K_p$				0,81 %

Résultat consigné – Le courant d'entrée mesuré est $m_x (1 \pm 0,0081) A$, $k = 2$, niveau de confiance 95 %.

δ_R répétabilité de mesure – incertitude due à une réalisation répétée de la même mesure – Type A avec loi normale

$$u_1 = \frac{\overline{\sigma}}{\sqrt{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,2 \%$$

δ_{instr} spécification pour appareil – incertitude due à l'appareil utilisé pour les mesures. Déterminée à partir des spécifications du manuel de l'appareil (MPE). L'appareil de mesure est de classe 0,5. L'erreur est de $\pm 0,5 \%$. Loi rectangulaire, $k = \sqrt{3}$.

$$u_2 = 0,5 / \sqrt{3} = 0,3 \%$$

$\delta_{lecture}$ lecture de l'appareil de mesure – incertitude due au technicien qui lit l'appareil de mesure. Avec un appareil de mesure d'essai ayant 100 graduations de 0,5 A, l'estimation de l'erreur de lecture est de 1/10 par graduation. Dans l'essai pratique, la valeur lue est de 34,8 lignes. Loi rectangulaire, $k = \sqrt{3}$.

$$u_3 = [(0,1)(0,5)] / [(34,5)(0,5) \sqrt{3}] \times 100 = 0,17 \%$$

$\delta_{puissance}$ fluctuation de la puissance réseau – incertitude due aux fluctuations de la tension réseau. L'incertitude du régulateur est de 0,2%. Loi rectangulaire, $k = \sqrt{3}$. Coefficient de sensibilité = 1.

$$u_4 = 0,2 / \sqrt{3} = 0,1 \%$$

Exemple 2

Nom de l'essai: essai de la puissance d'entrée.

Résultat: incertitudes exprimées en pourcentage de la puissance d'entrée en watts.

Description: la puissance d'entrée est mesurée sur les matériels qui fonctionnent en condition stable en étant connectés à la source de puissance réseau régulée. Puissance en entrée mesurée par un wattmètre analogique ou numérique.

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur relative, $S_p(X_i)$	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertitude type relative, $u(X_i)$	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude relative, $u_i(y)$
δ_R	Répétabilité de mesure	X_R	A		Normale		0,2 %	1	0,2 %
δ_{instr}	Spécification pour l'appareil	X_{instr}	A	0,2 %	Normale	2	0,1 %	1	0,1 %
$\delta_{lecture}$	Erreur de lecture	$X_{lecture}$	B	0,45 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,26 %	1	0,26 %
$\delta_{puissance}$	Spécification pour les fluctuations de la puissance réseau	$X_{puissance}$	B	0,35 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,2 %	1	0,20 %
					Incertitude type composée relative, u_c				0,40 %
					Facteur d'élargissement $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertitude élargie relative, $U = u_c \times k_p$				0,80 %

Résultat consigné – La puissance d'entrée mesurée est $m_x (1 \pm 0,008) \text{ W}$, $k = 2$, niveau de confiance 95 %.

δ_R répétition de la répétabilité d'erreur de mesure – incertitude due à une réalisation répétée de la même mesure – Type A avec loi normale

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,2 \%$$

δ_{instr} spécification pour appareil – incertitude due à l'appareil utilisé pour les mesurages. Déterminée à partir du rapport du laboratoire d'étalonnage. L'incertitude élargie consignée est $\pm 0,2$. La loi est la loi normale, $k = 2$.

$$u_2 = 0,2/2 = 0,1 \%$$

$\delta_{lecture}$ lecture de l'appareil de mesure – incertitude due au technicien qui lit l'appareil de mesure – estimée.

$\delta_{puissance}$ spécification de la fluctuation de la puissance réseau – incertitude due aux fluctuations de la tension réseau.

Exemple 3

Nom de l'essai: mesure du courant de fuite.

Résultat: incertitudes du courant de fuite exprimées en microampères.

Description: le courant de fuite est mesuré avec des matériels fonctionnant dans les conditions normales de fonctionnement. Le courant de fuite est mesuré directement par un appareil de mesure du courant de fuite. Le mesurage est effectué dans les conditions suivantes.

- Entre tout pôle de la source de puissance et les parties métalliques qui peuvent être facilement touchées ou la feuille métallique présente sur les matériaux isolants qui peut être facilement touchée, sans dépasser 20 cm par 10 cm.
- Entre tout pôle de la source de puissance et les parties métalliques utilisant seulement l'isolation principale pour séparer les parties actives de l'appareil à 1 étage.
- Avant et après le conditionnement à l'humidité.

Les parties soumises aux essais sont

- entre les parties actives et l'enveloppe isolée de la partie active uniquement par l'isolation principale;
- entre les parties actives et le boîtier à isolation renforcée.

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur, $S_p(X_i)$ μA	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertitude type, $u(X_i)$ μA	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude, $u_i(y)$ μA
δ_R	Répétabilité de mesure	X_R	A		Normale		1	1	1
δ_{inher}	Etalonnage de l'appareil	X_{inher}	A	15 normale- ment 18 après	Normale	3	5 normale- ment 6 après	1	5 normalement 6 après
δ_{instr}	Erreur quantique de l'appareil	X_{instr}	B	0,5	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,3	1	0,3
$\delta_{étend}$	Plage de mesure	$X_{étend}$	B	0,0	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0	1	0,0
δ_{temp}	Fluctuation de la température ambiante	X_{temp}	A	3,2 normale- ment 3,7 après	Normale	3	1 normale- ment 1,2 après	1	1 normalement 1,2 après
$\delta_{humidité}$	Humidité relative	$X_{humidité}$	B	3,7	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	2 après	1	2,1 après
$\delta_{puissance}$	Spécification de la fluctuation de la puissance réseau	$X_{puissance}$	B	2	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1,2	1	1
					Incertitude type composée, u_c				5,3 normalement 6,6 après
					Facteur d'élargissement $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertitude élargie, $U = u_c \times k_p$				11 normalement 13 après

Résultat consigné – Le courant de fuite mesuré est de $320 \mu\text{A} \pm 11 \mu\text{A}$ et de $370 \mu\text{A} \pm 13 \mu\text{A}$ après humidité, $k = 2$, niveau de confiance 95 %.

δ_R **répétition de la répétabilité d'erreur de mesure** – incertitude due à une réalisation répétée de la même mesure – Type A avec loi normale :

$$u_1 = \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 1 \mu\text{A}$$

δ_{inher} **étalonnage de l'appareil de mesure** – le courant de fuite de l'isolation principale est de $320 \mu\text{A}$ en condition de fonctionnement et de $370 \mu\text{A}$ avec conditionnement à l'humidité. D'après le certificat d'étalonnage, l'erreur système de l'appareil mesuré est de $\pm 5 \%$, normalement, $k = 3$.

$$u_2 = 0,05 \times 320/3 = 5 \mu\text{A} \quad \text{condition normale}$$

$$u_2 = 0,05 \times 370/3 = 6 \mu\text{A} \quad \text{condition humide}$$

δ_{instr} **erreur quantique de l'appareil** – incertitude due à l'appareil utilisé pour les mesures (MPE). Pour les essais, plage de mesure utilisée 2 mA , la résolution est de $0,001 \text{ mA}$, l'erreur de quantification de l'appareil est dans la même loi de probabilité dans la gamme de $0,001/2 \text{ mA}$.

$$u_3 = \frac{0,001/2}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0,3 \mu\text{A}$$

NOTE MPE est l'erreur maximale admissible donnée par le fabricant.

δ_{plage} **plage de mesure** – peut être ignorée compte tenu de sa faible valeur.

$$u_4 = 0$$

δ_{temp} **fluctuation de la température ambiante** – pour chaque 10°C de la température environnementale, la variation de la valeur indiquée n'est pas supérieure à $\pm 1,5 \%$. lors des essais. Pour les appareils électroniques, électromécaniques et assemblés courants, il convient que la température soit maintenue à $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, on peut estimer que la limite de la variation de la valeur indiquée est de $\pm 1 \%$. Loi normale: $k = 3$.

$$u_5 = (320 \mu\text{A} \times 0,01)/3 = 1,1 \mu\text{A} \text{ normalement}$$

$$u_5 = (370 \mu\text{A} \times 0,01)/3 = 1,2 \mu\text{A} \text{ après}$$

$\delta_{\text{humidité}}$ **humidité relative** – lors d'essais en fonctionnement normal, elle peut être ignorée. Au cours des essais d'humidité, il convient que l'humidité relative soit maintenue à $93 \% \pm 2 \%$ (RH). Si elle varie, chaque 1% du courant de fuite de l'isolation principale varie $\pm 1 \%$. Loi rectangulaire: $k = \sqrt{3}$.

$$u_6 = 0 \text{ normalement}$$

$$u_6 = (370 \mu\text{A} \times 0,01)/\sqrt{3} = 2,1 \mu\text{A}$$

$\delta_{\text{puissance}}$ **fluctuation de la puissance réseau** – u_7 reflète l'influence de la puissance et de la tension de sortie. Pour les appareils de chauffage électrique et les fours à micro-ondes, $\Delta P = (0,25 \% \times \text{measuring range} + 0,25 \% \times \text{reading values}) : 10 \text{ W}$. La variation du courant de fuite ne dépasse pas $2 \mu\text{A}$. Loi rectangulaire: $k = \sqrt{3}$.

$$u_7 = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,2 \mu\text{A}$$

Exemple 4

Nom de l'essai: pied à coulisse (analogique).

Résultat: budget d'incertitude de distance pour un pied à coulisse (analogique).

Description: mesure de distance avec un pied à coulisse réalisée par un expert.

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur, $S_p(X_i)$	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertitude type, $u(X_i)$	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude, $u_i(y)$
δ_{INST}	Spécification pour l'appareil	X_{INST}	B	50 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	29 μm	1	29 μm
δ_{lecture}	Lecture de l'appareil (par exemple à cause de la parallaxe)	X_{lecture}	B	5 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	2,89 μm	1	2,89 μm
δ_{temp}	Fluctuation de la température ambiante	X_{temp}	B	0,1 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 μm	1	0,0577 μm
$\delta_{\text{étal}}$	Étalonnage du calibre	$X_{\text{étal}}$	B	0,5 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	2,89 μm	1	1,89 μm
δ_{abbe}	Inclinaison de la position de la surface de mesure	X_{abbe}	B	60 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	35 μm	1	35 μm
$\delta_{\text{utilisateur}}$	Différence de pression de contact par l'utilisateur	$X_{\text{utilisateur}}$	B	100 μm	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	60 μm	1	60 μm
					Incertitude type composée, u_c				75 μm
					Facteur d'élargissement $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertitude élargie, $U = u_c \times k_p$				150 μm

Résultat consigné – La distance mesurée est $m_x \mu\text{m} \pm 150 \mu\text{m}$, $k = 2$, niveau de confiance 95 %.

δ_{INST} MPE est l'erreur maximale admissible (maximum permissible error) donnée par le fabricant. D'après les informations techniques du fabricant, MPE = 0,05 mm.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,05 \text{ mm} / \sqrt{3} = 29 \mu\text{m}$.

δ_{lect} **erreur de lecture** – dépend des influences humaines et de l'expérience pratique. Estimée à $\pm 0,005 \text{ mm}$.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,005 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2,89 \mu\text{m}$.

δ_{temp} **erreur de température** – compte tenu de la plage spécifique du pied à coulisse, l'influence de la température peut être négligée.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 0,0001 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0,0577 \mu\text{m}$.

$\delta_{\text{étal}}$ **étalonnage du calibre** – selon le certificat d'étalonnage.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 0,005 \text{ mm} / \sqrt{3} = 2,89 \mu\text{m}$.

δ_{abbe} **inclinaison** – en raison de la position de la surface de mesure.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,06 \text{ mm} / \sqrt{3} = 35 \mu\text{m}$.

$\delta_{\text{utilisateur}}$ **pression de contact** – influence de l'utilisateur, dépend de l'expérience pratique de l'expert.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_6 = 0,1 \text{ mm} / \sqrt{3} = 60 \text{ } \mu\text{m}$.

Exemple 5

Nom de l'essai: mesure du couple

Résultat: incertitude du couple mesuré.

Description: La chaîne de mesure complète comprend un capteur de couple/de vitesse avec des contributions d'incertitude dues à l'excentricité, à la friction interne (roulements), à la répétabilité, à l'influence de l'amplificateur de mesure et à l'enregistreur graphique (ordinateur).

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur relative, $S_p(X_i)$	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertitude type relative, $u(X_i)$	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude relative, $u_i(y)$
δ_{friction}	Friction interne	X_{friction}	B	0,05 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0289 %	1	0,0289 %
δ_{MPE}	Amplificateur de mesure	X_{MPE}	B	0,1 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
δ_{enreg}	Enregistreur graphique	X_{enreg}	B	0,1 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
δ_{excent}	Excentricité des axes	X_{excent}	B	0,1 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 %	1	0,0577 %
$\delta_{\text{répét}}$	Répétabilité de mesure	$X_{\text{répét}}$	B	0,5 %	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,289 %	1	0,289 %
					Incertitude type composée relative, u_c				0,0307 %
					Facteur d'élargissement relatif $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertitude élargie relative, $U = u_c \times k_p$				0,61 %

Résultat consigné – Le couple mesuré est $m_x (1 \pm 0,0061)$ N-m, $k = 2$, niveau de confiance 95 %.

δ_{friction} perte en raison de la friction mécanique (organe de serrage). Sur la base de l'expérience pratique, cette erreur est estimée à $\pm 0,1$ % du résultat final. Estimation: moyenne 0,05 % \pm 0,05 %.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,05 \% / \sqrt{3} = 0,0289$ %.

δ_{MPE} amplificateur de mesure normal; MPE = 0,1 % (classe I de précision).

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577$ %.

δ_{enreg} normalement les signaux provenant des capteurs de couple sont échantillonnés électroniquement pour être évalués statistiquement par l'enregistreur graphique (par exemple ordinateurs et cartes de mesure spécifiques). Sur la base de l'expérience pratique, cette erreur est estimée à $\pm 0,1$ % de la valeur finale.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577$ %.

δ_{excent} en raison du mauvais alignement des axes (excentricité) il existe des couples superposés (taux dynamiques et statiques de couple) qui donnent des pertes supplémentaires. Sur la base de l'expérience pratique, cette erreur est estimée à $\pm 0,1$ % de la valeur finale.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 0,1 \% / \sqrt{3} = 0,0577$ %.

$\delta_{\text{répét}}$ compte tenu des réglages qui ne sont pas identiques du dispositif de mesure et de la situation de serrage (souvent en raison de personnel ayant une grande ou moins grande expérience), il y a des erreurs de répétabilité. Sur la base de l'expérience pratique, cette erreur est estimée à $\pm 0,5$ % de la valeur finale.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,5 \% / \sqrt{3} = 0,289$ %.

Exemple 6

Nom de l'essai: préconditionnement pour l'essai à la bille.

Variable de résultat: incertitude de température de l'échantillon d'essai.

Description: influence par des facteurs possibles: point de réglage de l'appareil de chauffage, exactitude de lecture, gradient de température spatial basé sur l'isolation thermique de l'appareil de chauffage, influence du dispositif de commande à deux étages, inertie thermique/temporelle du système, rapport surface/volume de l'échantillon d'essai (plus le rapport est faible, plus l'inertie thermique est importante), incertitude du thermocouple.

Grandeur X_i	Source d'incertitude	X_i	Type	Grandeur d'erreur, $S_p(X_i)$	Forme de probabilité	Facteur de division de distribution, k	Incertain- tude type, $u(X_i)$	Coefficient de sensibilité, C_i	Contribution d'incertitude, $u_i(y)$
δT_R	Gradient de température spatial et fluctuation	XT_R	B	0,1 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 °C	1	0,0577 °C
δ_{Indic}	Échelle brute pour ensemble de températures	X_{Indic}	B	0,5 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,289 °C	1	0,289 °C
δT_{contr}	Fonction du dispositif de commande du chauffage	XT_{contr}	B	1 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,577 °C	1	0,577 °C
δ_{enreg}	Influence de l'enregistreur	X_{enreg}	B	1,5 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,866 °C	1	0,866 °C
$\delta T_{r_{\text{res}}}$	Transition de la résistance	$XT_{r_{\text{res}}}$	B	0,25 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,144 °C	1	0,144 °C
$\delta_{\text{réf}}$	Étalonnage du thermocouple de référence	$X_{\text{réf}}$	B	0,1 °C	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,0577 °C	1	0,0577 °C
					Incertain- tude type composée, u_c				1,093 °C
					Facteur d'élargissement $k_p = 2$; niveau de confiance 95 %				–
					Incertain- tude élargie, $U = u_c \times k_p$				2,2 °C

Résultat consigné – La température mesurée est de 70,6 °C ± 2,2 °C, $k = 2$, l'intervalle de confiance est de 95 %.

T_{INV} valeur constante: 75 °C; température réglée avec cadran de commande.

T_R valeur constante: 4,4 °C; selon la spécification du fabricant, le gradient de température spatial est de ±2 % de la température maximale (220 °C). L'expérience pratique montre que cette valeur peut être divisée en une défaillance systématique et en une défaillance aléatoire. Estimation extrême pour la fluctuation systématique: due à la perte thermique, il existe une différence de température spatiale de –4,4 °C.

δ_R estimation extrême pour la fluctuation aléatoire: Les valeurs moyennes fluctuent avec des intervalles (0,08; –0,03). Une fluctuation de température spatiale approximative de ±0,1 °C peut être spécifiée.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_1 = 0,1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,0577 \text{ °C}$.

δ_{Indic} en raison de l'échelle brute, la température de l'étuve ne peut être réglée qu'avec une tolérance de ±0,5 °C (valeur estimée).

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_2 = 0,5 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,289 \text{ °C}$.

δ_{contr} la distribution est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_3 = 1,0 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,577 \text{ °C}$.

δ_{secl} résume tous les impacts sur l'incertitude de l'enregistreur.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_4 = 1,5 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,866 \text{ °C}$.

δT_{res} impact estimé de la résistance de transition basé sur l'expérience pratique.

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_5 = 0,25 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,144 \text{ °C}$.

$\delta_{\text{réf}}$ impact estimé de l'élément de référence (PT100 basé sur l'expérience pratique).

La loi est rectangulaire, $k = \sqrt{3}$, $u_6 = 0,1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0,0577 \text{ °C}$.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch