

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Railway applications – Energy measurement on board trains –
Part 2: Energy measurement**

**Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains –
Partie 2: Mesure d'énergie**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Railway applications – Energy measurement on board trains –
Part 2: Energy measurement**

**Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains –
Partie 2: Mesure d'énergie**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 45.060.01

ISBN 978-2-8322-5152-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	11
2 Normative references	12
3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols.....	14
3.1 Terms and definitions.....	14
3.2 Abbreviated terms.....	17
3.3 Symbols.....	18
4 Requirements	18
4.1 General.....	18
4.2 Energy Measurement Function (EMF)	18
4.2.1 General	18
4.2.2 Electrical requirements	19
4.2.3 Accuracy requirements	20
4.2.4 Traction supply system change.....	22
4.2.5 Re-verification	22
4.3 Sensors	22
4.3.1 General	22
4.3.2 General requirements	22
4.3.3 Voltage sensors.....	24
4.3.4 Current sensors	28
4.4 Energy Calculation Function (ECF).....	34
4.4.1 General	34
4.4.2 General requirements	34
4.4.3 Electrical requirements	35
4.4.4 Accuracy requirements	38
4.4.5 Effect of temperature on error limits.....	39
4.4.6 Limits of additional error due to influence quantities	41
4.4.7 Electromagnetic compatibility	42
4.4.8 Data transfer from ECF to DHS.....	43
5 Conformance test	44
5.1 General.....	44
5.1.1 Conformance test requirements	44
5.1.2 Applicability	44
5.1.3 Methodology.....	44
5.2 Testing framework	45
5.2.1 General	45
5.2.2 Reporting.....	45
5.3 Design review	46
5.3.1 General	46
5.3.2 Device design review.....	46
5.3.3 EMF design review	47
5.4 Type testing	47
5.4.1 General	47
5.4.2 Common type testing	47
5.4.3 Sensor type test	51

5.4.4	ECF type test.....	58
5.5	Routine test	69
5.5.1	General	69
5.5.2	Visual Inspection	69
5.5.3	Insulation test.....	69
5.5.4	Accuracy tests	69
Annex A	(normative) Test with magnetic induction of external origin	72
A.1	General.....	72
A.2	Test method 1	72
A.3	Test method 2.....	72
A.4	Position of EUT	73
Annex B	(normative) EMF configurations	74
B.1	Background.....	74
B.2	General.....	74
B.3	EMF with several CMFs in parallel	74
B.4	EMF with several VMFs connected to one ECF	75
B.5	EMF with several pairs of VMF and CMF	75
B.6	Several EMFs in parallel	76
B.7	One VMF or CMF connected to several ECFs	77
B.8	EMF without VMF.....	77
Annex C	(informative) Expressing EMF accuracy	78
C.1	Summary	78
C.2	Error limits or uncertainty	78
C.3	Presentation of error limits	78
C.4	Uncertainty calculations	79
C.4.1	AC active power	79
C.4.2	Primary values.....	80
C.4.3	Uncertainty in the measurement of active power (Watts).....	80
C.4.4	Relative uncertainty	81
C.4.5	Uncertainty in the measurement of reactive power (var)	82
C.4.6	Relative uncertainty	84
Annex D	(informative) Re-verification and defining of its regime recommendations	85
D.1	Re-verification	85
D.1.1	Background	85
D.1.2	Approaches to re-verification	85
D.2	Defining re-verification regime recommendations	86
D.2.1	General approach	86
D.2.2	Testing regime.....	87
Annex E	(informative) Durability test	88
E.1	Durability test.....	88
E.2	Initial measurements.....	88
E.3	Conditioning.....	88
E.4	Intermediate measurements.....	89
E.5	Final temperature ramp.....	90
E.6	Final measurements and acceptance criteria	90
E.7	Information to be given in the test report	91
Bibliography		92

Figure 1 – EMS functional structure and dataflow diagram	10
Figure 2 – EMF functional block diagram	12
Figure 3 – Example of energy index value and delta value	15
Figure 4 – Example of maximum percentage error for a VMF of class 0,5 R and a VMF of class 1,0 R with input signal in the range $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	27
Figure 5 – Example of maximum percentage error for a CMF class 1,0 R AC with input signals in the range $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$, $5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$ and $1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	32
Figure 6 – Primary current and voltage ranges	38
Figure 7 – Example of maximum percentage error for an ECF of class 0,5 R and an ECF of class 1,0 R with input signals in Area 1 and Area 2	40
Figure 8 – Test point matrix for ECF accuracy tests (type test)	60
Figure 9 – Test point matrix for tests of ambient temperature variation and influence quantities (type test)	61
Figure 10 – Test circuit diagram for determining the influence on accuracy of odd harmonics or sub-harmonics in the current circuit	64
Figure 11 – Phase-fired waveform (shown for 50 Hz)	64
Figure 12 – Analysis of harmonic content of phase-fired waveform (shown for 50 Hz)	65
Figure 13 – Burst fire waveform (shown for 50 Hz)	65
Figure 14 – Analysis of harmonics (shown for 50 Hz)	66
Figure 15 – Test point matrix for ECF accuracy tests (routine test)	71
Figure A.1 – Test configuration for test method 1	72
Figure A.2 – Test configuration for test method 2	73
Figure B.1 – EMF with several CMFs in parallel	74
Figure B.2 – EMF with several VMFs connected to one ECF	75
Figure B.3 – EMF with several pairs of VMF and CMF	76
Figure B.4 – EMF with several ECFs	76
Figure B.5 – One VMF connected to two ECFs	77
Figure B.6 – EMF without VMF	77
Table 1 – Reference conditions	21
Table 2 – EMF percentage error limits at reference conditions	21
Table 3 – Percentage error limits – VMF	26
Table 4 – Maximum percentage error for a VMF including ambient temperature variation	26
Table 5 – Temperature coefficient for VMF	27
Table 6 – Influence quantities for voltage sensors	28
Table 7 – Percentage error limits – AC CMF	30
Table 8 – Percentage error limits – DC CMF	31
Table 9 – Maximum percentage error for a CMF including ambient temperature variation	31
Table 10 – Temperature coefficient for CMF	32
Table 11 – Percentage error limits with harmonics – AC current sensor	33
Table 12 – Influence quantities for current sensors	33
Table 13 – Variations due to short-time overcurrents	37
Table 14 – Variations due to self-heating	37

Table 15 – ECF percentage error limits for active energy.....	38
Table 16 – Maximum percentage error for an ECF including ambient temperature variation.....	39
Table 17 – Temperature coefficient for the ECF	40
Table 18 – Influence quantities for the ECF	41
Table 19 – Test current for harmonics.....	54

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RAILWAY APPLICATIONS – ENERGY MEASUREMENT ON BOARD TRAINS –

Part 2: Energy measurement

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62888-2 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This standard is based on EN 50463.

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

FDIS	Report on voting
9/2321/FDIS	9/2332/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62888 series, published under the general title *Railway applications – Energy measurement on board trains*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

INTRODUCTION

Three levels are introduced for categorizing EMS as described in IEC 62888-1:2018, 4.1.

This is Part 2 of the IEC 62888 series, which consists of the following parts, under the common title *Railway applications – Energy measurement on board trains*:

Part 1: General

Part 2: Energy measurement

Part 3: Data handling

Part 4: Communication

Part 5: Conformance test

Part 6: Requirements for purposes other than billing

This series of International Standards follows the functional guidelines description in Annex A, “Principles of conformity assessment”, of ISO/IEC 17000:2004 tailored to the Energy Measurement System (EMS).

The Energy Measurement System (EMS) provides measurement and data suitable for applications such as energy management, energy saving, billing and others.

This series of International Standards uses the functional approach to describe the EMS. These functions are implemented in one or more physical devices. The user of this series of standards is free to choose the physical implementation arrangements.

Structure and main contents of the IEC 62888 series

This series of International Standards is divided into six parts. The titles and brief descriptions of each part are given below:

IEC 62888-1 – General

The scope of IEC 62888-1 is the Energy Measurement System (EMS).

IEC 62888-1 provides system level requirements for the complete EMS and common requirements for all devices implementing one or more functions of the EMS.

IEC 62888-2 – Energy measurement

The scope of IEC 62888-2 is the Energy Measurement Function (EMF).

The EMF provides measurement of the consumed and regenerated active energy of a traction unit. If the traction unit is designed for use on AC traction supply systems, the EMF also provides measurement of reactive energy. The EMF provides the measured quantities via an interface to the Data Handling System.

The EMF consists of the three functions: Voltage Measurement Function, Current Measurement Function and Energy Calculation Function. For each of these functions, accuracy classes are specified and associated reference conditions are defined. This part also defines all specific requirements for all functions of the EMF.

The Voltage Measurement Function measures the voltage of the contact line (CL) system and the Current Measurement Function measures the current taken from and returned to the CL system. These functions provide signal inputs to the Energy Calculation Function.

The Energy Calculation Function inputs the signals from the Current and Voltage Measurement Functions and calculates a set of values representing the consumed and regenerated energies. These values are transferred to the Data Handling System and are used in the creation of Compiled Energy Measured Data.

All relevant metrological aspects are covered in this part of IEC 62888.

IEC 62888-2 also defines the conformance test of the EMF.

IEC 62888-3 – Data handling

The scope of IEC 62888-3 is the Data Handling System (DHS).

The on board DHS receives, produces and stores data, ready for transmission to any authorised receiver of data on board or on ground. The main goal of the DHS is to produce Compiled Energy Measured Data and transfer it to an on-ground Data Collection Service (DCS). The DHS can support other functionality on board or on-ground with data, as long as this does not conflict with the main goal.

IEC 62888-3 also defines the conformance test of the DHS.

IEC 62888-4 – Communication

The scope of IEC 62888-4 is the communication services.

This part of IEC 62888 gives requirements and guidance regarding the data communication between the functions implemented within EMS as well as between such functions and other on board units where data are exchanged using a communications protocol stack over a dedicated physical interface or a shared network.

It includes the on board to ground communication service and covers the requirements necessary to support data transfer between DHS and DCS.

IEC 62888-4 also defines the conformance test of the communications services.

IEC 62888-5 – Conformance test

The scope of IEC 62888-5 is the conformance test procedures for the EMS.

IEC 62888-5 also covers re-verification procedures and conformance test in the event of the replacement of a device of the EMS.

IEC 62888-6 – Requirements for purposes other than billing

The scope of IEC 62888-6 is to specify the requirements for EMS to be used for benchmarking, daily energy consumption monitoring, technical research and development.

This part provides the requirements for monitoring consumed energy on-board in daily services in an easy way and the measured data are applicable for general purposes in industry such as energy management, energy saving, etc. However, this part is not applicable for billing purposes.

EMS functional structure and dataflow

Figure 1 illustrates the functional structure of the EMS, the main sub-functions and the structure of the dataflow and is informative only. Only the main interfaces required by this standard are displayed by arrows.

Since the communication function is distributed throughout the EMS, it has been omitted for clarity. Not all interfaces are shown.

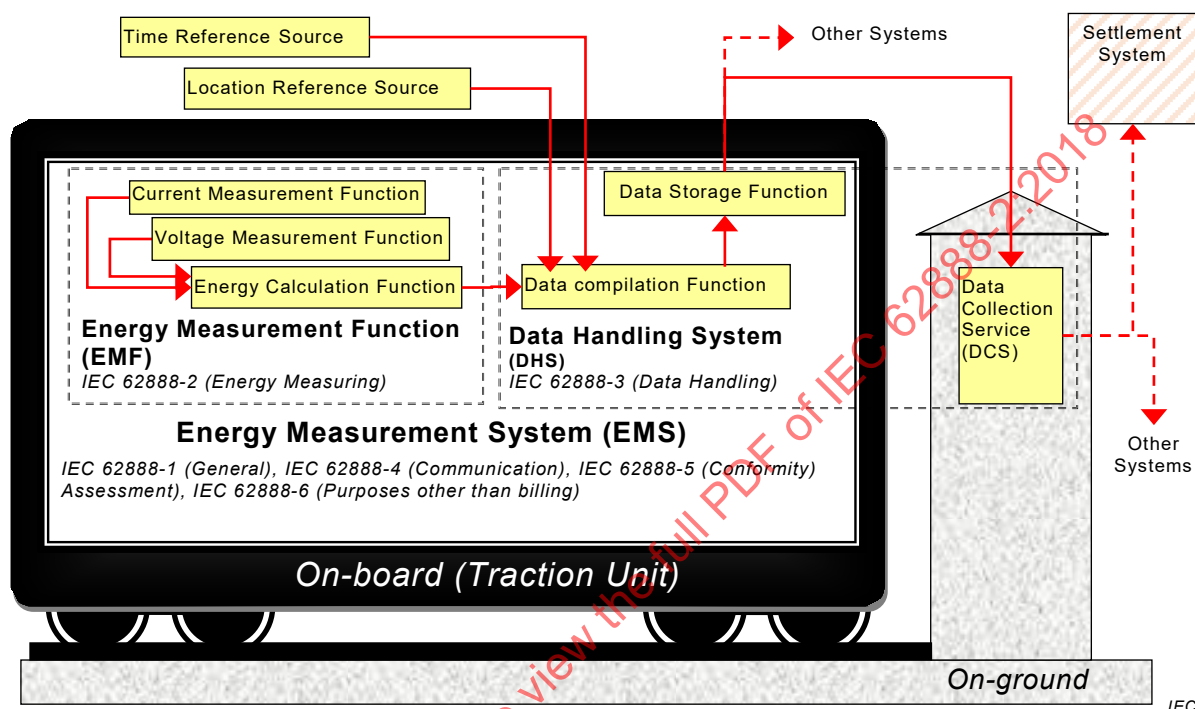


Figure 1 – EMS functional structure and dataflow diagram

RAILWAY APPLICATIONS – ENERGY MEASUREMENT ON BOARD TRAINS –

Part 2: Energy measurement

1 Scope

This part of IEC 62888 specifies the requirements applicable to the Energy Measurement Function (EMF) of an Energy Measurement System (EMS) for use on board traction units for measurement of energy supplied directly from/to the Contact Line system.

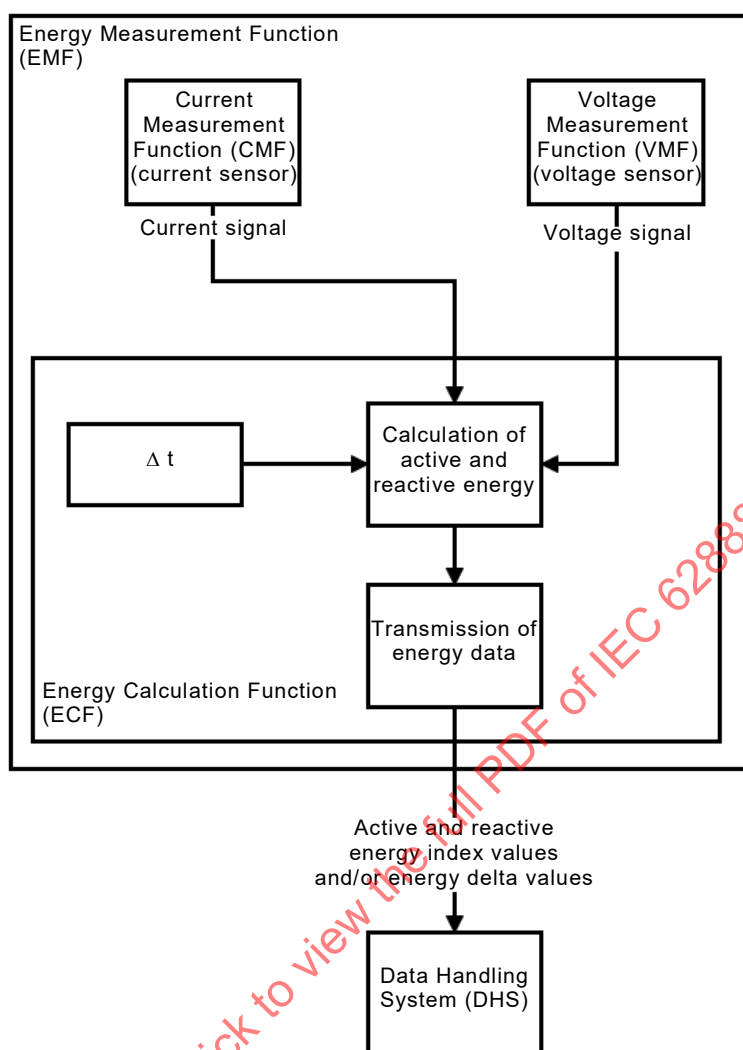
This document also gives requirements for the Current Measurement Function (e.g. current sensor), the Voltage Measurement Function (e.g. voltage sensor) and the Energy Calculation Function (e.g. energy meter).

The conformance test arrangements for the Voltage Measurement Function, Current Measurement Function, the Energy Calculation Function and a complete Energy Measurement Function are also specified in this document.

This document has been developed taking into account that in some applications the EMF may be subjected to metrological assessment. All relevant metrological aspects are covered in this part and they are applicable to EMS Level 1.

Specific requirements for EMS Level 2 and Level 3 are specified in IEC 62888-6.

Figure 2 shows the flow between the functional blocks of the EMF. Only connections between the functional blocks required by this document are displayed.



IEC

Figure 2 – EMF functional block diagram

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60028:1925, *International standard of resistance for copper*

IEC 60044-8:2002, *Instrument transformers – Part 8: Electronic current transformers*

IEC 60068-2-1:2007, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-30:2005, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60077-4:2003, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 4: Electrotechnical components – Rules for AC circuit-breakers*

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60121:1960, *Recommendation for commercial annealed aluminium electrical conductor wire*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60571:2012, *Railway applications – Electronic equipment used on rolling stock*

IEC 60850:2014, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-3:2006/AMD1:2007

IEC 61000-4-3:2006/AMD2:2010

IEC 61000-4-4:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61000-4-5:2014, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-6:2013, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61373:2010, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 61869 (all parts), *Instrument transformers*

IEC 61869-1, *Instrument transformers – Part 1: General requirements*

IEC 61869-2:2012, *Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers*

IEC 61992-1:2006, *Railway applications – Fixed installations – D.C. switchgear – Part 1: General*

IEC 62236-1:2008, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 1: General*

IEC 62236-3-2:2008, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*

IEC 62497-1, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*

IEC 62498-1:2010, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

IEC 62313:2009, *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*

IEC 62888-1:2018, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 1: General*

IEC 62888-3:2018, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 3: Data handling*

IEC 62888-4:2018, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 4: Communication*

IEC 62888-5:2018, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 5: Conformance test*

3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62888-1 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

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

3.1.1

accuracy class

designation that identifies a set of error limits for measured quantities under reference conditions and the additional percentage errors due to influence quantities

Note 1 to entry: An individual accuracy class is associated with each metrological function of the EMF.

Note 2 to entry: The suffix “R” is used to differentiate classes according to this standard from other technical standards.

3.1.2

consumed active energy

active energy taken from the contact line by the traction unit on which the EMF is installed

3.1.3

consumed reactive energy

reactive energy taken from the contact line by the traction unit on which the EMF is installed

3.1.4

electronic sensor

device in which electronic circuits are used to process a measured signal

Note 1 to entry: Electronic circuits for processing the measurement signal include items such as analogue to digital converters, signal amplifiers, etc.

3.1.5

energy delta value

energy consumed and/or regenerated during a time period

Note 1 to entry: See Figure 3 for an example.

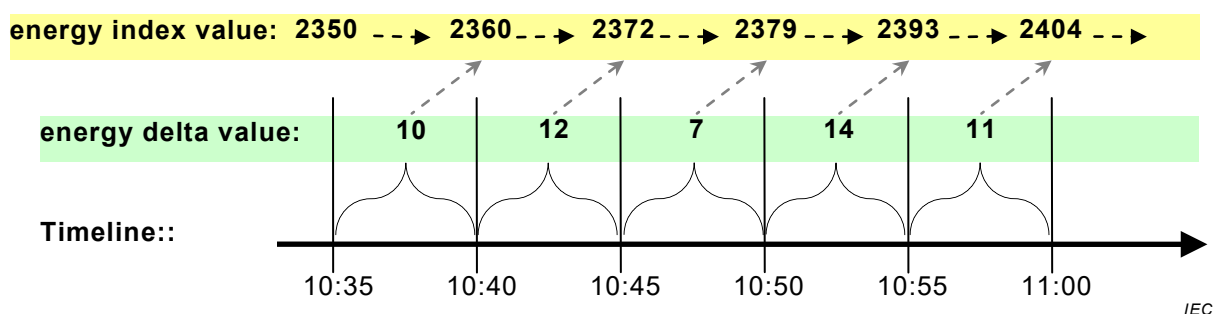


Figure 3 – Example of energy index value and delta value

3.1.6

energy index value

total accumulated energy consumption and/or energy regeneration at the end of a time period

Note 1 to entry: See Figure 3 for an example.

3.1.7

flag

code indicating information relevant to the functioning of the EMS

Note 1 to entry: Examples include data quality, operational status, etc.

3.1.8

index value overrun

return to zero of the index value after reaching the maximum value allowed by the register

3.1.9

influence quantity

external condition which affects metrological performance

3.1.10

k-factor

multiplicand necessary to convert a secondary value into a primary value

Note 1 to entry: Each Voltage Measurement Function and/or Current Measurement Function can have a specific k-factor. If the k-factor is applied to Energy Data, this factor is the product of the k-factors of the Voltage Measurement Function and/or Current Measurement Function used.

3.1.11

percentage error

$$\varepsilon = \left| \frac{Q_M - Q_T}{Q_T} \right| \times 100$$

where

Q_M is the measured quantity;

Q_T is the true quantity

Note 1 to entry: Since the true quantity cannot be determined, it is approximated by a quantity with a stated uncertainty that can be traced to standards agreed upon between supplier and purchaser or to national standards.

3.1.12

phase influence function

function of the real or apparent phase angle between a measured voltage and a measured current

Note 1 to entry: Phase influence function expressed as a power factor refers to measurements of real and apparent powers and energies, while $\sin \phi$ refers to reactive powers and energies.

Note 2 to entry: For DC measurements the requirements for a phase influence function of 1 need to be used.

3.1.13**Power Factor****PF**

under periodic conditions, ratio of the absolute value of the active power P to the apparent power S

Note 1 to entry: Under sinusoidal conditions, the power factor is the absolute value of the active factor.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46]

3.1.14**primary value**

value referred to the measuring inputs of an EMF

3.1.15**rated continuous thermal current** **$I_{CMF,cth}$**

value of current which can be permitted to flow continuously into the primary input of a current sensor

3.1.16**rated dynamic current** **$I_{CMF,dyn}$**

peak value of the primary current which a current sensor will withstand without being damaged

3.1.17**rated primary current of the EMF** **$I_{n,EMF}$**

value of current which is used to define the relevant performance of the EMF

Note 1 to entry: The term current refers to RMS value for AC unless otherwise specified.

3.1.18**rated primary voltage of the EMF** **$U_{n,EMF}$**

value of voltage which is used to define the relevant performance of the EMF

Note 1 to entry: The term voltage refers to RMS value for AC unless otherwise specified.

3.1.19**rated short-time thermal current** **$I_{CMF,th}$**

value of the primary current which a current sensor will withstand for a specified time period without being damaged

3.1.20**reference conditions**

set of influence quantities, with reference values and tolerances, with respect to which the error limits are specified for an input quantity range

3.1.21**regenerated active energy**

active energy fed back into the contact line by the traction unit on which the EMF is installed

3.1.22**regenerated reactive energy**

reactive energy fed back into the contact line by the traction unit on which the EMF is installed

3.1.23**register**

electronic device which stores the information representing the measured energy and associated flags

Note 1 to entry: Registers can also be accessed and displayed locally via a service tool and if available via a local display.

3.1.24**response time**

$t_{s,r}$

duration between the instant of a step change in the measured quantity and the instant when the output signal reaches 90 % of the intended value

3.1.25**secondary value**

value of current, voltage, power or energy which needs to be multiplied by a k-factor to become a primary value

3.1.26**sensor**

device performing the VMF and/or CMF

Note 1 to entry: Sensor is used as a general term and encompasses a wide variety of technology / devices for measurement purposes, e.g. inductive transformers, hall-effect devices, capacitive and resistive dividers, resistive shunts, etc.

Note 2 to entry: One sensor may perform multiple functions.

3.1.27**temperature coefficient**

ratio between the temperature change and the resulting change in measurement error

3.1.28**time period**

period of time for which energy data is produced

3.1.29**Time Reference Period****TRP**

period of time for which CEMD is produced

3.2 Abbreviated terms

CEMD Compiled Energy Measured Data

CMF Current Measurement Function

DHS Data Handling System

ECF Energy Calculation Function

EMF Energy Measurement Function

EMS Energy Measurement System

EUT Equipment Under Test

PF Power Factor

RAMS Reliability, Availability, Maintenance and Safety

TRP Time Reference Period

VMF Voltage Measurement Function

3.3 Symbols

f_a	maximum frequency without aliasing
f_n	rated frequency
$I_{CMF,cth}$	rated continuous thermal current
$I_{CMF,dyn}$	rated dynamic current
$I_{CMF,th}$	rated short-time thermal current
$I_{n,CMF}$	rated primary current of the CMF
$I_{n,ECF}$	rated primary current of the ECF
$I_{n,EMF}$	rated primary current of the EMF
$t_{s,r}$	response time
U_{max1}	highest permanent voltage according to IEC 60850:2014
U_{max2}	highest non-permanent voltage according to IEC 60850:2014
U_{max3}	highest long-term overvoltage according to IEC 60850:2014
U_{min1}	lowest permanent voltage according to IEC 60850:2014
U_{min2}	lowest non-permanent voltage according to IEC 60850:2014
$U_{n,EMF}$	rated primary voltage of the EMF
$U_{n,VMF}$	rated primary voltage of the VMF
ε_{CMF}	maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the CMF
ε_{ECF}	maximum percentage error allowed in accordance with the selected accuracy class for the ECF
ε_{EMF}	calculated maximum percentage error of the EMF
ε_{VMF}	maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the VMF

4 Requirements

4.1 General

The requirements in IEC 62888-1:2018, Clause 4, apply to any device containing one or more functions of the Energy Measurement Function (EMF), where applicable. IEC 62888-2:2018 defines additional requirements for a complete EMF and to any device comprising one or more functions of the EMF.

4.2 Energy Measurement Function (EMF)

4.2.1 General

4.2.1.1 Overview

The Energy Measurement Function (EMF) is made up of the following functions, which can be contained in one or more devices:

- Voltage Measurement Function (VMF);
- Current Measurement Function (CMF);
- Energy Calculation Function (ECF).

NOTE 1 In this document, the voltage sensor and current sensor are used as terms for the device implementing measurement functions. It is possible that one or more devices may be used to fulfil the role of one function. It is also possible that different functions are combined in one device.

NOTE 2 Multiple CMFs and VMFs can be used with a single ECF (see Annex B).

The purpose of the EMF is to measure the voltage and current, calculate the energy and produce energy data.

The EMF provides energy data through an interface to the Data Handling System (DHS).

4.2.1.2 General requirements

If functions are grouped together in a single device, such grouping shall not degrade the performance (including accuracy) of the system.

4.2.1.3 Identification and marking of the EMF

The EMF function shall be clearly identified.

Devices containing the EMF will have the marking as specified in IEC 62888-1:2018, 4.3.1.1. In addition, all devices that include functions which are subject to metrological assessment shall include a metrological mark.

If different functions are included in one device, it is not necessary to duplicate the marking.

In case of EMF as a function included in the function of traction equipment or auxiliary equipment, marking of equipment type is not necessary.

4.2.1.4 Essential information

For all devices containing the EMF the essential information as specified in IEC 62888-1:2018, 4.3.1.2 shall be available in a format (e.g. hardcopy or electronic) agreed between supplier and purchaser.

The k-factor of the EMF shall also be stated.

4.2.2 Electrical requirements

4.2.2.1 Rated voltages

The characteristics of the voltage systems to which the EMF can be connected are specified in IEC 60850:2014.

The rated primary voltage of the EMF ($U_{n,EMF}$) shall be equal to the nominal voltage of the traction supply system as listed in IEC 60850:2014 and in Table B.1 of IEC 60850:2014, Annex B.

Other voltages may be agreed between the involved parties.

If the EMF is designed to be used on more than one traction supply system it shall have a rated primary voltage assigned for each traction supply system.

4.2.2.2 Rated current

The standard values of rated primary current of the EMF ($I_{n,EMF}$) are:

10 A – 12,5 A – 15 A – 20 A – 25 A – 30 A – 40 A – 50 A – 60 A – 75 A, and their decimal multiples.

NOTE For example, decimal multiples of 10 A are 100 A, 1 000 A, 10 000 A.

The rated primary current ($I_{n,EMF}$) of the EMF shall be between 80 % and 120 % of the rated traction unit current.

If an EMF is designed to be used on more than one traction supply system it may have more than one value of rated primary current assigned.

4.2.2.3 Rated frequency (f_n)

The rated frequency of the EMF shall be equal to the frequency of the traction supply system for which it is designed to operate, selected according to IEC 60850:2014. Other frequencies may be agreed between the involved parties.

If an EMF is designed to be used on more than one traction supply system it may have more than one value of rated frequency.

4.2.3 Accuracy requirements

4.2.3.1 General

The accuracy of the EMF is determined by the accuracy of the functions included within the EMF.

For any device which includes one or more functions of the EMF, any interface constraint (e.g. cable type, maximum / minimum burden, etc.), which is necessary to ensure accuracy is assured, shall be clearly stated.

The following subclauses detail the requirements and procedure for determination of the accuracy of the complete EMF.

4.2.3.2 Limits of error for the EMF

The percentage error for the complete EMF shall be determined in accordance with the following formula:

$$\varepsilon_{\text{EMF}} = \sqrt{(\varepsilon_{\text{VMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{CMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{ECF}})^2}$$

where

ε_{EMF} is the calculated maximum percentage error of the EMF;

ε_{VMF} is the maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the VMF under the reference conditions;

ε_{CMF} is the maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the CMF under the reference conditions;

ε_{ECF} is the maximum percentage error allowed in accordance with the selected accuracy class for the ECF under the reference conditions.

NOTE Informative Annex C provides further explanation about the method above.

For EMFs with more than one VMF, CMF or ECF, the formula above shall be used, but with errors for the squared terms being determined in accordance with appropriate rules in Annex B.

Errors caused by digits number, quantization, sampling periods are the matter of the interface.

The allocation of the errors to the related function (VMF, CMF, ECF) shall be stated in the documentation.

4.2.3.3 Reference conditions

Table 1 details the reference conditions to be used for any part of the EMF and the complete EMF.

If the tests have to be made at a temperature other than the reference temperature, including permissible tolerances, the results shall be corrected by applying the appropriate temperature coefficient of the equipment under test.

Table 1 – Reference conditions

Influence quantity	Reference value	Permissible tolerances
Ambient temperature	23 °C ^a	± 2 °C
Frequency	Rated frequency	± 0,3 %
Wave-form AC	Sinusoidal voltages and currents	Distortion factor less than: 2 %
Wave-form DC	Pure DC voltages and currents	Ripple less than 1 %
Auxiliary power supply voltage	Rated auxiliary power supply voltage	± 5 %
Continuous magnetic induction of external origin	Equal to zero	Induction value shall be less than 0,05 mT
Electromagnetic RF fields, 30 kHz to 2 GHz	Equal to zero	< 1 V/m
Conducted disturbances, induced by radio frequency fields, 150 kHz to 80 MHz	Equal to zero	-
Magnetic induction of external origin at the reference frequency	Magnetic induction equal to zero	Induction value shall be less than 0,05 mT
^a If the tests have to be made at a temperature other than the reference temperature, including permissible tolerances, the results shall be corrected by applying the appropriate temperature coefficient of the item.		

4.2.3.4 Limits of error due to variations in input quantities

When all functions of the EMF pass the accuracy tests as detailed in Clause 5, and the input quantities and power factor are within the range given in Table 2, the percentage error when calculated in accordance with 4.2.3.2 shall not exceed the limits given in Table 2. These limits shall apply to the measurement of energy in each direction.

Table 2 – EMF percentage error limits at reference conditions

System type	Input quantity range		PF = Power Factor or $\sin \varphi^c$	Percentage error limit, active energy	Percentage error limit, reactive energy
	Value of current ^a	Value of voltage ^b			
AC	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	$0,85 \leq \text{PF}$ or $\sin \varphi = 1$ Inductive	1,5	3,0
DC	$10 \% I_0 \leq I \leq 120 \% I_n$	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	N/A	2,0	N/A
^a I_n is the rated primary current of the EMF.					
^b The values of $U_{\min 2}$ and $U_{\max 2}$ are as specified in IEC 60850:2014.					
^c The power factor is taken from IEC 62313:2009, Table 1. The reactive energy cannot be measured accurately for power factor near 1. Therefore the reactive energy is tested at $\sin \varphi = 1$.					

The accuracy classes of the VMF, CMF and ECF (which together form an EMF) shall be selected to ensure that the EMF accuracy requirements detailed above are achieved.

4.2.3.5 Starting conditions

The EMF shall measure energy if the primary current is equal to or greater than 0,4 % I_n , and the voltage is at $U_{\min 2}$ or above.

If the primary current is zero, no energy shall be added to the energy registers.

4.2.4 Traction supply system change

When there is a changeover between traction supply systems the EMF shall ensure that all consumption is measured.

4.2.5 Re-verification

The supplier shall provide recommendations to the purchaser regarding any re-verification activities (testing and surveillance) that are considered necessary to ensure that the metrological performance of the functions making up the EMF can be expected to remain within the specified accuracies during the intended design life of the device containing these functions.

The recommendations shall be accompanied by supporting evidence based on technical justification to explain why the ongoing metrological performance can be expected to remain within the accuracy limits for the duration of the design life. The supporting evidence shall also indicate which aspects of the devices (making up the EMF) are relevant to ensure the ongoing metrological performance perspective. The supplier shall clearly identify all aspects which require planned intervention (i.e. re-verification testing and surveillance). The supplier shall clearly describe how this planned intervention should be undertaken.

Further information on re-verification is included in the Annex D.

4.3 Sensors

4.3.1 General

Sensors measure the primary voltage and primary current input to the EMF and provide an output (digital or analogue) for use by the Energy Calculation Function (ECF).

Sensors may be self-powered (i.e. drawing any power they require from the sensor input) or may be separately powered from an auxiliary power supply external to the sensor.

4.3.2 General requirements

4.3.2.1 General

Voltage and current sensor requirements may be realised using separate devices or within a combined device.

Where sensor technology is covered by IEC 61869, these standards may be applied to sensors as applicable. Where requirements in IEC 61869 conflict with the requirements in IEC 62888 the latter shall take precedence.

4.3.2.2 Insulation requirements

4.3.2.2.1 Insulation withstand for passive analogue sensors

For passive analogue sensors having insulation between the input and output, insulation withstand of the primary side shall be according to IEC 62497-1 and the rated power-frequency withstand voltage of the output signal to ground shall be 3 kV (RMS) according to IEC 61869-1 and IEC 61869-2.

For passive analogue sensors having two or more outputs separated by insulation, the rated power-frequency withstand voltage between the sections shall be 3 kV (RMS) according to IEC 61869-1 and IEC 61869-2.

Where passive analogue sensors have no galvanic isolation between the input and output, the rated withstand voltage of the output signal to ground shall be equal to that applied to the input.

4.3.2.2.2 Insulation withstand for electronic analogue sensors

For electronic analogue sensors with multiple low voltage circuits having galvanic isolation between them, the rated power-frequency withstand voltage between these circuits shall be in accordance with IEC 62497-1, taking into account the rated insulation voltage and the overvoltage category.

4.3.2.3 Requirements for outputs

4.3.2.3.1 General

Sensors can have three different types of output: analogue dedicated, digital dedicated or digital shared outputs. The output shall be compatible with the device performing the Energy Calculation Function. The requirements on dataflow security are given in IEC 62888-1:2018, 4.3.5 and shall be applied according to the output type.

4.3.2.3.2 Requirements for dedicated analogue outputs

A sensor may have multiple outputs as long as these outputs do not influence any outputs used in the Energy Measurement Function.

If agreed between the supplier and purchaser, equipment may be temporarily connected to any outputs of the EMF, e.g. for short-term monitoring, periodic testing and calibration purposes. The design of these outputs shall take account of the effect of such temporary connections to ensure that no additional errors are introduced, e.g. the effect of additional burden.

4.3.2.3.3 Requirements for digital dedicated or digital shared outputs

Requirements for communication protocols stack and communication security can be found in IEC 62888-4:2018, 4.3.4.2, 4.3.4.3 and 4.3.4.4.

4.3.2.3.4 Essential information

In addition to the requirements given in IEC 62888-1:2018, 4.3.1.2, the following essential information relevant to control the operation of the sensors shall be available on an accompanying document:

- a) the accuracy-class of the sensors;
- b) if applicable: the auxiliary power supply voltage and form (e.g. 230 V 50 Hz, 110 V DC), together with the tolerance, maximum power consumption and the supply voltage interruption class according to IEC 60571:2012, 5.1.1.2;
- c) main diagrams (e.g. overall schematics, general arrangements, etc.) and drawings including their drawing number, version identifier and title;
- d) terminal marking identification information for:
 - the primary and secondary connections;
 - if applicable, other accessible terminals e.g. testing and service points;
 - if applicable, auxiliary power supply voltage connections;
 - if applicable, the relative polarities of connections and connector details.

- e) the rated primary input;
- f) the rated frequency(s) of the primary input (e.g. DC, 16,7 Hz, 50 Hz, 60 Hz);
- g) if applicable, the maximum frequency which can be measured without aliasing (see 4.3.3.1.7 and 4.3.4.1.7);
- h) in case of analogue outputs, the rated secondary output signal information;
- i) if applicable, k-factor of sensor inclusive of measurement units;
- j) in case of digital outputs, the communication protocol and, if applicable, how communication security is achieved;
- k) all other sensor rated values and classification information (e.g. electrical, mechanical, EMC and environmental ratings and classifications);
- l) if applicable, software version and other information necessary for configuration control;
- m) integration and installation constraints.

4.3.3 Voltage sensors

4.3.3.1 Electrical requirements

4.3.3.1.1 Rated primary voltage ($U_{n,VMF}$)

The rated primary voltage of the sensor input shall be equal to the highest nominal voltage of the traction supply systems used at which the sensor is designed to be used, selected from the values given in 4.2.2.1.

4.3.3.1.2 Rated secondary values for analogue sensors

The rated secondary values of the sensor output shall be compatible with the input of the ECF to which it is intended to be connected.

The rated values shall be agreed between supplier and purchaser.

4.3.3.1.3 Rated secondary output signal for analogue sensors

The rated output signal, either as a voltage or a current, shall be defined, the preferred values are:

- a) for voltage transformers: 100 V, 110 V or 150 V (AC);
- b) for electronic sensors with voltage output: 2 V, 4 V or 10 V (AC or DC);
- c) for electronic sensors with current output: 20 mA, 50 mA or 100 mA (AC or DC).

4.3.3.1.4 Rated output burden for analogue sensors

The rated output burden shall be defined to be matched with the input circuit of ECF, the preferred values are:

- a) for rated secondary voltage > 10 V: 1 VA, 2 VA, 4 VA or 5 VA;
- b) for rated secondary voltage ≤ 10 V: 0,001 VA, 0,01 VA, 0,1 VA or 0,5 VA;
- c) for current outputs, a burden such that the voltage across the burden at maximum input voltage shall not exceed 45 V (AC RMS or DC).

4.3.3.1.5 Influence of input overvoltage

The sensors shall not be damaged by overvoltage of U_{max3} in accordance with IEC 60850:2014, Table A.1. Other voltages of U_{max3} listed in Table A.1 shall be agreed between the involved parties.

The sensors shall perform correctly when returned to initial working conditions.

4.3.3.1.6 Response time ($t_{s,r}$)

Sensors for DC measurement shall have a maximum response time of 10 ms.

If the DC sensor is to be used in a system where the energy content associated with harmonics is significant, a shorter response time may be appropriate.

4.3.3.1.7 Bandwidth requirements for electronic sensors

The supplier shall provide a curve showing the variation in performance of the sensor for variation in frequency.

For a sensor with digital output, the supplier shall specify the maximum frequency (f_a) which can be measured without aliasing.

For sensors with a digital output, f_a is usually half the sampling frequency used.

NOTE This will give an overall view of the frequency performances of the sensor.

4.3.3.1.8 Power frequency withstand voltage for earthed terminals

Any terminal of the voltage sensor's measuring circuit which is intended to be connected to (the traction unit) earth and which is also insulated from the metallic case or other accessible conductive parts of the sensor, shall withstand a rated power frequency short duration withstand voltage according to IEC 60571.

4.3.3.2 Short circuit withstand and fault protection for analogue sensors

Application of a short circuit to the analogue output or outputs of a sensor shall not damage the sensor. The duration of the short circuit shall be

- 1 s (for passive sensors), or
- 60 s (for electronic sensors).

For electronic sensors, the supplier shall indicate the type of current limiting measures used (if any).

For electronic sensors, the supplier shall specify any time delay between removal of the short circuit and the outputs returning to within specified accuracy limits. The time delay shall not exceed 5 s.

Fault protection for electronic sensors shall be provided in accordance with IEC 60571:2012, 7.2.2.

4.3.3.3 Limit of temperature rise

Sensors with electrical insulation shall be assigned a thermal class in accordance with IEC 60085. The permitted temperature limits for other components shall be stated by the supplier.

The sensor shall not exceed these limits and shall not be damaged when operating under the following conditions:

- continuous operation at U_{max2} and at the rated frequency;
- maximum applicable ambient temperature of the temperature class selected in accordance with environmental requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- output conditions which creates the highest temperatures in the sensor;
- if applicable, the auxiliary power supply which creates the highest temperatures in the sensor.

4.3.3.4 Accuracy requirements

The VMF shall be assigned an accuracy class selected from Table 3.

Table 3 – Percentage error limits – VMF

Accuracy class	$\pm$ Maximum percentage voltage (ratio) error at voltage defined in IEC 60850:2014		$\pm$ Maximum phase displacement at voltage defined in IEC 60850:2014	
	ε_{VMF}		AC VMH (min) at rated frequency	
	$U_{min2} \leq U < U_{min1}$	$U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$	$U_{min2} \leq U < U_{min1}$	$U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$
0,2 R	0,4	0,2	15	10
0,5 R	1,0	0,5	30	20
0,75 R	1,5	0,75	45	30
1,0 R	2,0	1,0	60	40

For traction unit designed for multiple traction supply systems, a single voltage sensor can be used if it achieves the accuracy requirement defined in Table 4 for each rated voltage.

Unless otherwise specified, the requirements of class 0,2 R apply.

4.3.3.5 Effect of temperature on error limits

4.3.3.5.1 Limits of error including the effects of ambient temperature variation

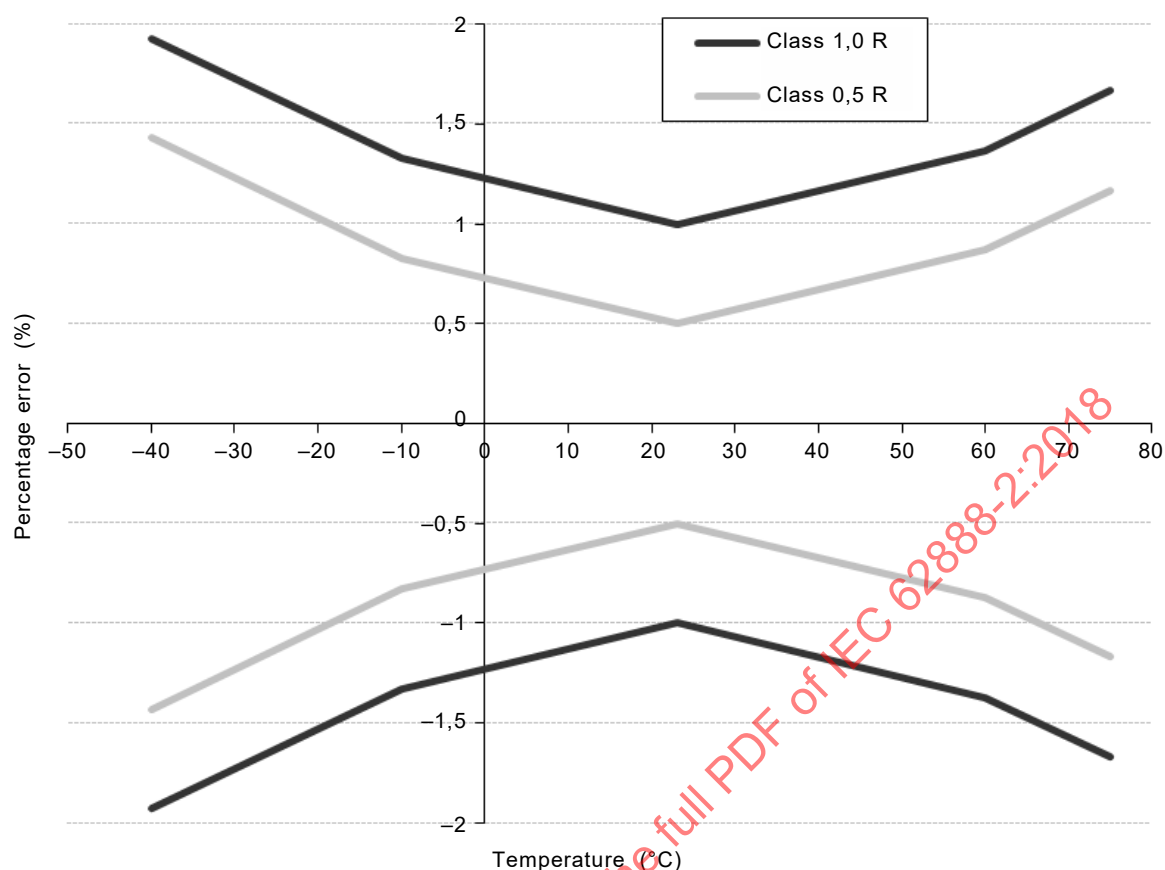
The maximum percentage error, including the effects of temperature variation, shall not exceed the values given in Table 4.

In order to be able to achieve compliance with the maximum error limits specified in Table 4, a VMF of a given class can have its maximum error at reference temperature constrained to a value lower than the maximum allowed by the accuracy class as specified in Table 3. If this is the case, the supplier shall declare this lower maximum error limit at reference temperature and give evidence to demonstrate this lower limit will ensure the maximum limits given in Table 4 are not exceeded.

Table 4 – Maximum percentage error for a VMF including ambient temperature variation

Value of voltage	System type	$\pm$ Maximum percentage error limits for a VMF	
		Ambient temperature variation, main range –10 °C to +60 °C	Ambient temperature variation, extended range –40 °C to –10 °C and + 60 °C to + 75 °C
$U_{min2} \leq U \leq U_{max2}$	AC and DC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
^a ΔT is the temperature variation in Kelvin between reference temperature 23 °C and the ambient temperature. ^b The term N is the maximum allowable percentage ratio error allowed for the VMF class as specified in Table 3. For example, for a class 0,5 R VMF and input signal in the range $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$, the formula for the main temperature range becomes $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ and for the input signal in the range $U_{min2} \leq U \leq U_{min1}$ the formula becomes $1,0 + (0,01 \times \Delta T)$. ^c ΔT_1 is the difference between the ambient temperature and the boundary temperature of main range. ^d N_1 is the error limit at the boundary temperature of main range.			

NOTE As an example, the maximum percentage error limits with an input signal in the range $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$ for a class 0,5 R and a class 1,0 R VMF over the temperature range in accordance with Table 4 are shown in Figure 4.



IEC

Figure 4 – Example of maximum percentage error for a VMF of class 0,5 R and a VMF of class 1,0 R with input signal in the range $U_{\min1} \leq U \leq U_{\max2}$

4.3.3.5.2 Mean temperature coefficient of a VMF

In addition to the requirements in 4.3.3.5.1, the mean temperature coefficient of a VMF shall not exceed the limits specified in Table 5.

Table 5 – Temperature coefficient for VMF

Accuracy class	± Mean temperature coefficient
	%/K
	$U_{\min2} \leq U \leq U_{\max2}$
0,2 R	0,02
0,5 R	0,025
0,75 R	0,03
1,0 R	0,035

The maximum additional percentage error due to temperature variation specified in Table 4 and the temperature coefficients specified in Table 5 only apply in the range defined by the device's maximum and minimum ambient temperature limits according to the applicable temperature class requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.3.3.6 Limits of additional error due to influence quantities

The limit of variation in errors due to changes in an influence quantity with respect to reference conditions, as given in Table 1, shall not exceed the limits for the relevant accuracy class given in Table 6.

Table 6 – Influence quantities for voltage sensors

Influence quantity	Specified measuring range/measuring points	Additional percentage error limits or output offset = N^g
	VMF Value of voltage ^a	
Variations of supply voltage according to IEC 60571:2012, 5.1 ^b	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	$\pm 0,2 \times N$
Magnetic induction of external origin ^c – maximum magnetic induction, as specified by the supplier	0 V U_n	$\pm N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 0,5 \times N$
Fast transient bursts ^d	0 V ^f or $U_{\min 1}$	$\pm 0,5 \times N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 0,5 \times N$
Electromagnetic RF fields ^e	0 V ^f or $U_{\min 1}$	$\pm 2,0 \times N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 2,0 \times N$

^a U_n is the rated primary voltage of the EMF.
^b The test conditions are specified in 5.4.3.6, tests a) and b).
^c The test conditions are specified in 5.4.3.8.
^d The test conditions are specified in 5.4.3.9, test c).
^e The test conditions are specified in 5.4.3.9, tests d) and e).
^f If the sensor response is linear from 0 to maximum value, the test can be performed without any primary input. If not the test shall be performed with $U_{\min 1}$.
^g N is the numeric part of the accuracy class designation.

4.3.4 Current sensors

4.3.4.1 Electrical requirements

4.3.4.1.1 Rated primary current ($I_{n,CMF}$)

The sensor rated primary current input shall be equal to the rated primary current ($I_{n,EMF}$) of the EMF.

It is permitted to test the same CMF for different rated primary currents ($I_{n,EMF}$), in order to reduce the number of different types of CMF.

4.3.4.1.2 Rated continuous thermal current ($I_{CMF,cth}$)

The rated continuous thermal current shall be at least 1,2 times the rated primary current unless specifically agreed between the purchaser and the supplier.

4.3.4.1.3 Rated short-time thermal current ($I_{CMF,th}$)

The rated short-time current shall be equal to the maximum fault current for the traction supply system on which the sensor is intended to be used as specified IEC 62313:2009. The duration of the short-time current shall be 0,3 s for AC and 0,1 s for DC.

NOTE 1 The durations are based on IEC 62313:2009.

The current sensor shall withstand this current without damage.

NOTE 2 This subclause is applicable only to current sensors through which the short-time current flows.

4.3.4.1.4 Rated dynamic current ($I_{CMF,dyn}$)

The rated dynamic current shall be at least 2,5 times the rated short-time thermal current for AC systems and 1,0 times the rated short-time thermal current for DC systems, unless specifically agreed between the purchaser and the supplier. The current sensor shall withstand this current without damage.

NOTE This subclause is applicable only to current sensors through which the short-time current flows.

4.3.4.1.5 Rated secondary values

4.3.4.1.5.1 General

The rated secondary values of the sensor output shall be equal to the rated input of the ECF to which it is connected.

The value for the secondary output signal shall be agreed between purchaser and supplier.

4.3.4.1.5.2 Rated secondary output signal for analogue sensors

The rated output signal, either as a current or a voltage, shall be defined.

The preferred values are:

- a) for sensors with current output: 50 mA, 100 mA, 200 mA, 250 mA, 400 mA, 500 mA, 800 mA, 1 A, 2 A or 5 A;
- b) for sensors with voltage output: 22,5 mV, 150 mV, 200 mV, 225 mV, 4 V or 10 V.

4.3.4.1.5.3 Rated output power

The rated output power shall be defined.

For sensors with analogue current output, the preferred values of rated output are:

0,5 VA, 1 VA, 2 VA, 4 VA or 5 VA.

4.3.4.1.5.4 Rated burden

The rated burden shall be defined.

For electronic sensors with a analogue voltage output, the preferred values of rated burden are:

2 k Ω , 10 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω or 2 M Ω .

4.3.4.1.5.5 Ratings for digital outputs

For sensors with a digital output, the values given in IEC 60044-8:2002, 5.3, may be used.

4.3.4.1.6 Response time ($t_{S,r}$)

Sensors for DC measurement shall have a maximum response time of 10 ms.

If the DC sensor is to be used in a system where the energy content associated with harmonics is significant, a shorter response time is agreed between the involved parties.

4.3.4.1.7 Bandwidth requirements for electronic sensors

The supplier shall provide a curve showing the variation in performance of the sensor for variation in frequency.

NOTE This will give an overall view of the frequency performances of the sensor.

For a sensor with a digital output, the supplier shall specify the maximum frequency (f_a) which can be measured without aliasing.

For sensors with a digital output, f_a is usually half the sampling frequency used.

4.3.4.2 Limit of temperature rise

Sensors with electrical insulation shall be assigned a thermal class in accordance with IEC 60085. Permitted temperature limits for other components of the sensor shall be stated by the supplier.

The sensor shall not exceed these limits and shall not be damaged when operating under the following conditions:

- continuous operation at the rated thermal current and at rated frequency;
- maximum applicable ambient temperature of the temperature class selected in accordance with environmental requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- output circuit connections which creates the highest temperatures in the sensor;
- if applicable, the auxiliary power supply which creates the highest temperatures in the sensor.

4.3.4.3 Accuracy requirements

The CMF shall be assigned an accuracy class selected from Table 7 or Table 8.

Where sensor measures AC and DC current, a different accuracy class for AC and DC is permitted.

Table 7 shall be used for AC current sensors:

Table 7 – Percentage error limits – AC CMF

Accuracy class	$\pm$ Maximum percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below, AC CMF			$\pm$ Maximum phase displacement at percentage of rated current shown below, AC CMF		
	ϵ_{CMF}			AC CMF, (min) at rated frequency		
	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
0,2 R	1,0	0,4	0,2	20	15	10
0,5 R	2,5	1,0	0,5	60	45	30
0,75 R	3,8	1,5	0,75	90	68	45
1,0 R	5,0	2,0	1,0	120	90	60

Table 8 shall be used for DC current sensors:

Table 8 – Percentage error limits – DC CMF

Accuracy class	± Maximum percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below, DC CMF		
	ε_{CMF}		
	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
0,2 R	2,0	0,4	0,2
0,5 R	5,0	1,0	0,5
0,75 R	7,5	1,5	0,75
1,0 R	10,0	2,0	1,0

4.3.4.4 Effect of temperature on error limits

4.3.4.4.1 Limits of error including the effects of ambient temperature variation

The maximum percentage error, including the effects of ambient temperature variation, shall not exceed the values given in Table 9.

In order to be able to achieve compliance with the maximum error limits specified in Table 9, a CMF of a given class can have its maximum error at reference temperature constrained to a value lower than the maximum error allowed by the accuracy class as specified in Table 7 (for AC CMF) or Table 8 (for DC CMF). If this is the case, the supplier shall declare this lower maximum error limit at reference temperature and give evidence to demonstrate this lower limit will ensure the maximum limits given in Table 9 are not exceeded.

Table 9 – Maximum percentage error for a CMF including ambient temperature variation

Value of current	System type	± Maximum percentage error limits for a CMF	
		Ambient temperature variation, main range –10 °C to +60 °C	Ambient temperature variation, extended range –40 °C to –10 °C and +60 °C to +75 °C
$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	AC and DC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	AC and DC	$N^b + (0,02 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,04 \times \Delta T_1^c)$
$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	AC and DC	$N^b + (0,1 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,2 \times \Delta T_1^c)$

^a ΔT is the temperature variation in Kelvin between reference temperature 23 °C and the ambient temperature.

^b The term N is the maximum allowable percentage ratio error allowed for the CMF class as specified in Table 7 for AC CMF and Table 8 for DC CMF.

^c ΔT_1 is the difference between the ambient temperature and the boundary temperature of main range.

^d N_1 is the error limit at the boundary temperature of main range.

For example, for a class 0,5 R CMF and input signal in the range $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$, the formula for main temperature range becomes $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ and for the input signal in the range $5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$ the formula becomes $1,0 + (0,02 \times \Delta T)$.

NOTE As an example, the maximum percentage error limits with an input signal in the three input current ranges for a class 1,0 R DC CMF over the temperature range in accordance with Table 9 are shown in Figure 5.

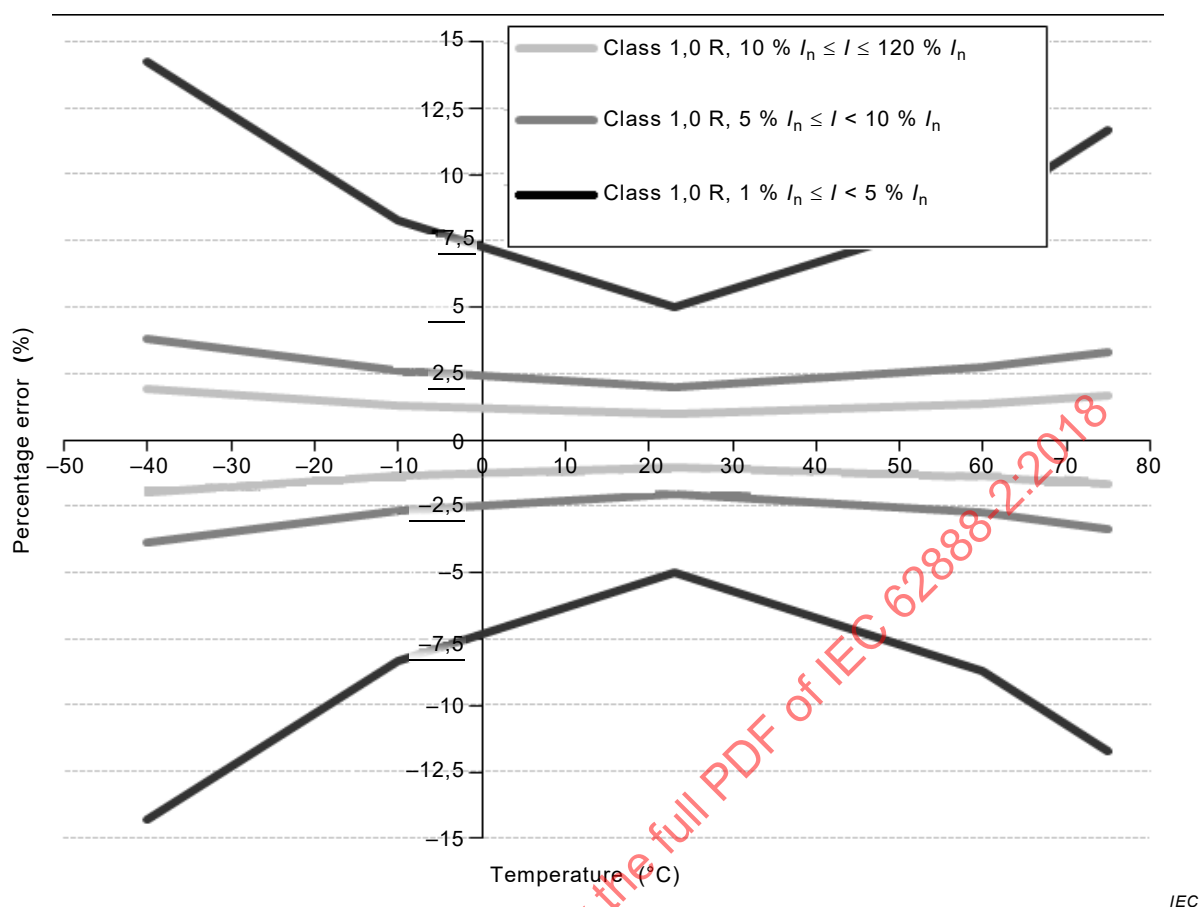


Figure 5 – Example of maximum percentage error for a CMF class 1,0 R AC with input signals in the range $10\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$, $5\% I_n \leq I < 10\% I_n$ and $1\% I_n \leq I < 5\% I_n$

4.3.4.4.2 Mean temperature coefficient of a CMF

In addition to 4.3.4.4.1, the maximum temperature coefficient of a CMF is specified in Table 10.

Table 10 – Temperature coefficient for CMF

Accuracy class	± Mean temperature coefficient		
	%/K		
	$1\% I_n \leq I < 5\% I_n$	$5\% I_n \leq I < 10\% I_n$	$10\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$
0,2 R	0,175	0,04	0,02
0,5 R	0,2	0,05	0,025
0,75 R	0,225	0,06	0,03
1,0 R	0,25	0,07	0,035

The maximum additional percentage error due to temperature variation specified in Table 9 and the temperature coefficients specified in Table 10 only apply in the range defined by the device's maximum and minimum ambient temperature limits according to the applicable temperature class requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.3.4.5 Limits of error with harmonics

The maximum percentage error of an AC current sensor in the presence of harmonics shall not exceed the values given in Table 11, measured at 10 % of the rated primary current value for harmonics from 2nd to 5th and 5 % of the nominal value for harmonics from 6th to upwards.

Table 11 – Percentage error limits with harmonics – AC current sensor

Accuracy class	± Maximum percentage current (ratio) error at harmonics shown below				± Maximum phase displacement (degrees) at harmonics shown below			
	2 nd to 4 th harmonic	5 th and 6 th harmonic	7 th to 9 th harmonic	10 th to 13 th harmonic	2 nd to 4 th harmonic	5 th and 6 th harmonic	7 th to 9 th harmonic	10 th to 13 th harmonic
0,2 R	2	4	8	16	1	2	4	8
0,5 R	5	10	20	20	2	4	8	16
0,75 R	7,5	15	20	20	5	10	20	20
1,0 R	10	20	20	20	10	20	20	20

4.3.4.6 Limits of additional error due to influence quantities

The limit of variation of error due to the change in an influence quantity with respect to reference conditions, as given in Table 1, shall not exceed the limits for the relevant accuracy class given in Table 12.

The current sensor shall be tested in accordance with 5.4.3.

Table 12 – Influence quantities for current sensors

Influence quantity	Specified measuring range / measuring points CMF	Additional percentage error limits or output offset for a sensor of accuracy N^g
	Value of current ^a	
Variations of supply voltage according to IEC 60571:2012, 5.1. ^b	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	$\pm 0,2 \times N$
Magnetic induction of external origin ^c – maximum magnetic suitable induction, as specified by the supplier	0 A, I_n	$\pm 0,004 \times I_n$ $\pm 0,5 \times N$
Fast transient bursts ^d	0 A ^f or $10 \% I_n$	$\pm 0,5 \times N/100 \times (0,1 I_n)$ $\pm 0,5 \times N$
Electromagnetic RF fields ^e	0 A ^f or $10 \% I_n$	$\pm 2,0 \times N/100 \times (0,1 I_n)$ $\pm 2,0 \times N$

^a I_n is the rated primary current of the EMF.

^b The test conditions are specified in 5.4.3.6, tests a) and b).

^c The test conditions are specified in 5.4.3.8.

^d The test conditions are specified in 5.4.3.9, test c).

^e The test conditions are specified in 5.4.3.9, tests d) and e).

^f If the sensor response is linear from 0 to maximum value, the test can be performed without any primary input. If not the test shall be performed with $10 \% I_n$.

^g N is the numeric part of the accuracy class designation.

4.4 Energy Calculation Function (ECF)

4.4.1 General

The ECF calculates energy values from the output signals of the current and voltage sensors.

The current and voltage values stated in 4.4 are primary input values of the EMF unless otherwise stated. Input signals corresponding to these primary values shall be used as inputs to the ECF.

4.4.2 General requirements

4.4.2.1 Calculation of energy data

The ECF receives outputs from the VMF and CMF and shall calculate the following values which together form the energy data:

- consumed active energy;
- regenerated active energy;
- consumed reactive energy, if the ECF is intended to handle AC;
- regenerated reactive energy, if the ECF is intended to handle AC.

The energy data shall be expressed as primary values or secondary values where a k-factor is necessary to calculate the primary values. This transformation from secondary to primary values can be done either in the EMF or in the DHS.

If an EMF is configured to use multiple VMFs and/or CMFs (see Annex B), only readings based on primary values shall be transferred to DHS.

The ECF shall produce and transfer energy data as delta values and/or index values.

Energy values shall be expressed in watt-hour / var-hour or their decimal-multiples.

4.4.2.2 k-factor

If multiplication with a k-factor is executed within the ECF, then the k-factor shall be stored in a non-volatile ECF register and shall be accessible under access control.

Any change of the k-factor used shall be logged in the ECF and flagged to the DHS.

4.4.2.3 ECF registers

Registers for the storage of energy data and flags shall be provided by the ECF.

The register shall as a minimum retain the last calculated energy data and associated flags.

Energy data shall be available for testing purposes with sufficient resolution to be able to test the accuracy of the ECF under low load levels.

Other data may be stored as long as this does not interfere with the processing of energy data or mandatory flags.

4.4.2.4 Index value overrun

Where the ECF produces energy data as index values, any register containing energy data of type energy index value shall not have an index value overrun more than once every 60 days of operation.

NOTE The 60 day period above relates to the requirements for storage of CEMD on board as defined in IEC 62888-3.

4.4.2.5 Essential information

In addition to the requirements given in IEC 62888-1:2018, 4.3.1.2, the following essential information relevant to control the operation of the ECF shall be available on an enclosed document:

- a) the accuracy class of the ECF in accordance with 4.4.4;
- b) if applicable: the auxiliary power supply voltage and form (e.g. 110 V DC), together with the tolerance, maximum power consumption and the auxiliary power supply voltage interruption class according to IEC 60571:2012, 5.1.1.2;
- c) current measurement input (e.g. 1 A AC 50 Hz or communications protocol for digital signals);
- d) voltage measurement input (e.g. 110 V AC 50 Hz or communications protocol for digital signals);
- e) the rated frequency(s) of the ECF (e.g. DC and 50 Hz);
- f) main diagrams of the ECF (e.g. overall schematics, general arrangements, etc.) and drawings including their drawing number, version identifier and title;
- g) if applicable: software version and other information necessary for configuration control;
- h) specification of interfaces;
- i) all information necessary to identify the output data and associated flags;
- j) data exchange arrangements;
- k) Integration and installation constraints.

4.4.2.6 Flags

The ECF shall be capable of producing and transmitting to the DHS the following type of flags:

- ECF operational status;
- data quality;
- configuration change;

and where applicable

- ECF index value overrun, if required by the DHS;
- ECF identification number (see Clause B.6);
- traction supply system change.

It is recommended that any data quality flags received from sensors are transmitted to the DHS by the ECF.

Data quality flags originating in an ECF need to be compatible with the flag requirements in IEC 62888-3.

NOTE Configuration change includes alterations to k-factor, software or other parts critical to metrological performance.

4.4.3 Electrical requirements

4.4.3.1 Analogue measuring input to ECF

4.4.3.1.1 General

The ECF input shall be compatible with the output of the sensors to which it is intended to be connected.

4.4.3.1.2 Voltage inputs

For an AC ECF, the power consumption of any voltage input shall not exceed 4,0 VA.

For a DC ECF, the minimum resistance of each voltage input shall be greater than or equal to 2 kΩ.

4.4.3.1.3 Current inputs

For an AC ECF, the power consumption of any current input shall not exceed 4,0 VA.

For a DC ECF, the maximum resistance of each current input $R_{\max}$ shall not be greater than:

$$R_{\max} = \frac{5 \text{ V}}{I_{n,\text{ECF}}}$$

where

$I_{n,\text{ECF}}$ is the rated current of the ECF current input (A).

4.4.3.2 Influence of input voltage

4.4.3.2.1 Voltage range on Contact Line

The variation in the ECF input voltage shall correspond to voltage range from $U_{\min 2}$ to $U_{\max 2}$ according to IEC 60850:2014.

4.4.3.2.2 Voltage variations and short interruptions of the contact line

Voltage variations and short interruptions in the voltage circuits shall not produce a change in the register greater than X.

(See IEC 60850:2014, 4.1 d) and g))

The value x is given by the following formula:

$$X = N \times U_{n,\text{EMF}} \times I_{n,\text{EMF}} \times 10^{-6}$$

where:

X is the change in the register;

N is the numeric part of the accuracy class designation;

$U_{n,\text{EMF}}$ is the rated voltage of the EMF (V). Primary voltage if the energy data is calculated with reference to primary values; secondary voltage if the energy data is calculated with reference to secondary values;

$I_{n,\text{EMF}}$ is the rated current of the EMF (A). Primary current if the energy data is calculated with reference to primary values; secondary current if the energy data is calculated with reference to secondary values.

When the voltage is restored, the ECF shall not have suffered degradation of its metrological characteristics. For testing, see 5.4.4.2.1.2.

NOTE Voltage variation and short interruption of the auxiliary power supply are in accordance with IEC 60571:2012, 5.1.1

4.4.3.3 Influence of short-time overcurrents

The ECF analogue current input shall withstand, without damage, input signals from the current sensor under the following conditions:

- sensor input is the rated short-time thermal current according to 4.3.4.1.3;
- sensor input is the rated dynamic current according to 4.3.4.1.4;
- short-time overcurrent at the sensor input.

In the case of short-time overcurrents, the ECF shall be able to sustain for 0,5 s an input signal equivalent to 20 times the rated primary current or the maximum output signal of the sensor if that is limited.

The ECF shall perform correctly when returned to initial working conditions and the variation of error shall not exceed the values shown in Table 13. For testing, see 5.4.4.2.1.3.

Table 13 – Variations due to short-time overcurrents

Value of voltage	Value of current	Power factor or $\sin \varphi$	Limits of variations in percentage error for an ECF of accuracy N^a
U_n	I_n	1	$0,1 \times N$
^a N is the numeric part of the accuracy class designation.			

4.4.3.4 Influence of self-heating

The variation of error due to self-heating shall not exceed the values given in Table 14. For testing, see 5.4.4.2.1.4.

Table 14 – Variations due to self-heating

Value of current	Power factor or $\sin \varphi$	Limits of variations in percentage error for a ECF of accuracy N^a
120 % I_n	PF = 1 or DC	$0,4 \times N$
	PF = 0,85 inductive	$0,5 \times N$
	$\sin \varphi = 1$	$0,5 \times N$
^a N is the numeric part of the accuracy class designation.		

4.4.3.5 Limit of temperature rise

ECF with electrical insulation shall be assigned a thermal class in accordance with IEC 60085. Permitted temperature limits for other components of the ECF shall be stated by the supplier.

The ECF shall not exceed these limits and shall not be damaged when operating under the following conditions:

- at input signals corresponding to the highest non-permanent voltage $U_{\max 2}$ and the rated continuous thermal current $I_{\text{CMF,cth}}$ of the current sensor;
- maximum applicable ambient temperature of the temperature class selected in accordance with environmental requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- if applicable, the auxiliary power supply which creates the greatest temperature rise in the ECF.

4.4.3.6 Digital input from VMF/CMF

An example of implementation is given in informative Annex B of IEC 62888-4:2018.

4.4.4 Accuracy requirements

4.4.4.1 General

The ECF shall be assigned an accuracy class according to Table 15.

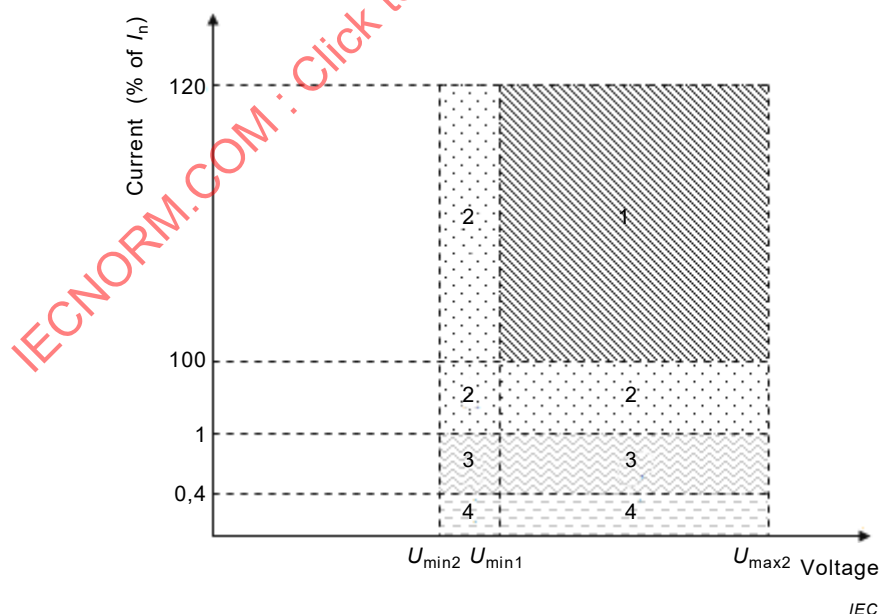
4.4.4.2 Percentage error limits for active energy measurement

Table 15 specifies the percentage error limits for active energy measurement under reference conditions as given in Table 1 in 4.2.3.3.

Table 15 – ECF percentage error limits for active energy

Accuracy class	± Maximum percentage energy (ratio) error (ϵ_{ECF}) at percentage of rated current shown below and at voltage defined in IEC 60850:2014				
	Area 1 $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$ and $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$	Area 2 $(1 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n \text{ and } U_{min2} \leq U < U_{min1})$ or $(1 \% I_n \leq I \leq 10 \% I_n \text{ and } U_{min1} \leq U < U_{max2})$	Area 3 $0,4 \% I_n \leq I < 1 \% I_n$ and $U_{min2} \leq U \leq U_{max2}$	Area 4 $0 \% I_n < I < 0,4 \% I_n$ and $U_{min2} \leq U \leq U_{max2}$	$I = 0 \% I_n$ ($I = 0 \text{ A}$)
	0,85 ≤ PF				
0,2 R	0,2	0,4	Energy measurement required: no accuracy requirements	If energy is measured, no accuracy requirements	No energy measurement required
0,5 R	0,5	1,0			
0,75 R	0,75	1,5			
1,0 R	1,0	2,0			

Areas 1, 2, 3 and 4 for primary current and primary voltage listed in Table 15 are shown in Figure 6.



NOTE 1 I_n is the rated primary current ($I_{n,EMF}$) of the EMF.

NOTE 2 The values of U_{min2} , U_{min1} and U_{max2} are as specified in IEC 60850:2014.

Figure 6 – Primary current and voltage ranges

The accuracy requirements for regenerated active energy are the same as for consumed active energy.

4.4.4.3 Percentage error limits for reactive energy measurement

The percentage error limits for the measurement of reactive energy at $\sin \varphi = 1$ are double those given in Table 15 for active energy.

The accuracy requirements for regenerated reactive energy are the same as for consumed reactive energy.

4.4.5 Effect of temperature on error limits

4.4.5.1 Limits of error including the effects of ambient temperature variation

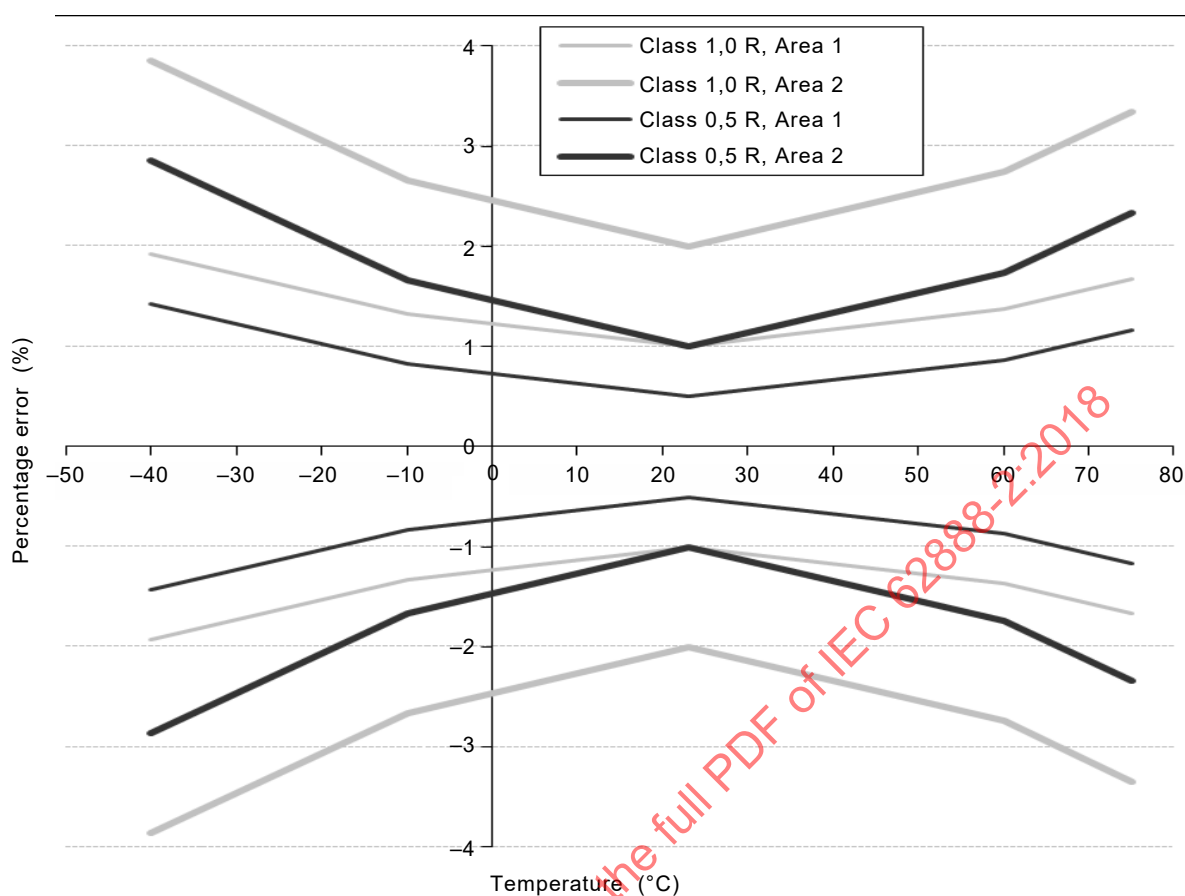
The maximum percentage error, including the effects of ambient temperature variation, shall not exceed the values given in Table 16.

In order to be able to achieve compliance with the maximum error limits specified in Table 16, an ECF of a given class can have its maximum error at reference temperature constrained to a value lower than the maximum allowed by the accuracy class as specified in Table 15. If this is the case, the supplier shall declare this lower maximum error limit at reference temperature and give evidence to demonstrate this lower limit will ensure the maximum limits given in Table 16 are not exceeded.

Table 16 – Maximum percentage error for an ECF including ambient temperature variation

Value of current Value of voltage	System type	± Maximum percentage error limits for an ECF	
		Ambient temperature variation, main range –10 °C to +60 °C	Ambient temperature variation, extended range –40 °C to –10 °C and +60 °C to +75 °C
Area 1 $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$ and $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	AC and DC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
Area 2 $(1 \% I_n \leq I < 10 \% I_n \text{ and } U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}) \text{ or } (1 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n \text{ and } U_{\min 2} \leq U < U_{\min 1})$	AC and DC	$N^b + (0,02 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,04 \times \Delta T_1^c)$
^a ΔT is the temperature variation in Kelvin between reference temperature 23 °C and the ambient temperature. ^b The term N is the maximum allowable percentage ratio error allowed for the ECF class as specified in Table 3. ^c ΔT_1 is the difference between the ambient temperature and the boundary temperature of main range. ^d N_1 is the error limit at the boundary temperature of main range allowed for the ECF class as specified in Table 3. For example, for a class 0,5 R ECF and input signals according to Area 1, the formula for the main temperature range becomes $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ and for the input signal according to Area 2 the formula becomes $1,0 + (0,02 \times \Delta T)$.			

NOTE As an example the maximum percentage error limits of a class 0,5 R and a class 1,0 R ECF over the temperature range and in dependence of the value of voltage and current in accordance with Table 16 are shown in Figure 7.



IEC

Figure 7 – Example of maximum percentage error for an ECF of class 0,5 R and an ECF of class 1,0 R with input signals in Area 1 and Area 2

4.4.5.2 Mean temperature coefficient of an ECF

In addition to the requirements in 4.4.5.1, the mean temperature coefficient of an ECF shall not exceed the limits specified in Table 17.

Table 17 – Temperature coefficient for the ECF

Accuracy class	± Mean ECF temperature coefficient	
	%/K	
	Area 2 (1 % $I_n \leq I < 10 \% I_n$ and $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$) or (1 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$ and $U_{min2} \leq U < U_{min1}$)	Area 1 10 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$ and $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$
0,2 R	0,04	0,02
0,5 R	0,05	0,025
0,75 R	0,06	0,03
1,0 R	0,07	0,035

The maximum additional percentage error due to temperature variation specified in Table 16 and the temperature coefficients specified in Table 17 only apply in the range defined by the device's maximum and minimum ambient temperature limits according to the applicable temperature class requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.4.6 Limits of additional error due to influence quantities

4.4.6.1 General

The limit of variation in errors due to changes in an influence quantity with respect to reference conditions, as given in Table 1, shall not exceed the limits for the relevant accuracy class given in Table 18.

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.4. Tests shall be carried out at rated voltage U_n .

Table 18 – Influence quantities for the ECF

Influence quantity	Specified measuring range	Phase influence function		Additional percentage error limits for a ECF of accuracy N^j	
	Value of current ^a	Power factor	$\sin \phi$ inductive or capacitive	For active energy	For reactive energy
Variations of supply voltage according to IEC 60571:2012, 5.1.	$1 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	1	1	$\pm 0,4 \times N$	$\pm 0,8 \times N$
Frequency variation 16,7 Hz: +2 %, -3 % ^{b c} 50 Hz: +2 %, -2 % ^{b c} according to in IEC 60850:2014, 4.2	$1 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	1	1	$\pm 0,4 \times N$	$\pm 0,8 \times N$
Harmonic components in the current and voltage circuits ^d	$50 \% I_n$	1	–	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Odd harmonics in the current circuit ^{b e}	$50 \% I_n$	1	1	$\pm 1,5 \times N$	$\pm 3,0 \times N$
Sub-harmonics in the current circuit ^{b e}	$50 \% I_n$	1	1	$\pm 1,5 \times N$	$\pm 3,0 \times N$
Continuous magnetic induction of external origin ^{b f i} – DC field with 0,5 mT	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Magnetic induction of external origin ^g – 2 mT for an ECF intended to be mounted in close proximity to high magnetic fields ($B > 0,5$ mT) – 0,5 mT for an ECF intended to be mounted in less harsh magnetic environment ($B \leq 0,5$ mT)	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Electromagnetic RF fields ^h	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$

^a I_n is the rated primary current of the EMF.

^b This test does not apply to ECFs when measuring DC

^c In practice, the variation of frequency is more closely controlled in Europe than the maximum frequency variations stated in IEC 60850:2014, 4.2. Traction units will operate only within the frequency tolerances for 15 kV 16,7 Hz from 16,17 Hz to 17 Hz and for 25 kV/50 Hz range from 49 Hz to 51 Hz. If the frequency is out of this range, the traction unit performance may be reduced or the traction unit drives will be disconnected.

^d The test conditions are specified in 5.4.4.4.4.

^e The test conditions are specified in 5.4.4.4.5.

^f The test conditions are specified in 5.4.4.4.6.

^g The test conditions are specified in 5.4.4.4.7.

^h The test conditions are specified in 5.4.4.5.4.

ⁱ Magnetic induction testing for the sensors and the ECF are different, because there are technological differences.

^j N is the numeric part of the accuracy class designation.

4.4.6.2 Magnetic induction

When testing for magnetic induction of external origin, the most unfavourable conditions of phase and direction shall not cause a variation in the percentage error of the ECF exceeding the value shown in Table 18. The test conditions shall be as specified in 5.4.4.4.6 and 5.4.4.4.7.

4.4.6.3 Odd harmonics and sub-harmonics in the AC current circuit

When testing for the effects of odd harmonics and sub-harmonics in the current circuit, the distortion factor of the voltage shall be less than 1 %. The variation in the percentage error shall not exceed the value shown in Table 18. Test conditions shall be as specified in 5.4.4.4.5.

Testing for the effects of DC and even harmonics in the current circuit is not required.

4.4.7 Electromagnetic compatibility

4.4.7.1 Immunity to electromagnetic disturbance

4.4.7.1.1 General

The ECF shall be designed in such a way that conducted or radiated electromagnetic disturbance as well as electrostatic discharge do not damage the ECF nor substantially influence the result of measurement.

Unless otherwise specified, tests shall be carried out at rated voltage U_n , rated current I_n and phase influence function = 1.

Applicable electromagnetic disturbances are:

- a) electrostatic discharges;
- b) electromagnetic RF fields;
- c) fast transient burst;
- d) conducted voltages induced by radio-frequency fields;
- e) surges;
- f) radio interference.

4.4.7.1.2 Immunity to electrostatic discharges

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.5.3.

Any temporary degradation or loss of function or performance during the test which ceases after the test shall be discounted. After the test, the ECF shall show no damage.

The application of the electrostatic discharge shall not produce a change in the register of more than X and any signal output shall not produce a signal equivalent to more than X where X is as specified in 4.4.3.2.2.

4.4.7.1.3 Immunity to electromagnetic RF fields

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.5.4.

When tested with a current signal corresponding to zero in the current circuits, the application of the RF field shall not produce a change in the register of more than X and any signal output shall not produce a signal equivalent to more than X where X is as specified in 4.4.3.2.2. Any temporary degradation or loss of function or performance during the test which ceases after the test shall be discounted.

When tested with a current signal corresponding to the rated current $I_{n,EMF}$ of the EMF, and a power factor = 1, the variation of error shall be within the limits given in Table 18.

4.4.7.1.4 Immunity to fast transient burst

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.5.5.

When tested under reference conditions with a current signal corresponding to the rated current $I_{n,EMF}$ of the EMF in the current circuit, and phase influence function = 1, the error of energy measurement during this test shall not vary from a test under the same load conditions but without application of the transients by more than $\pm 4 \times N$ % for a ECF of N .

When tested with a current signal corresponding to zero in the current circuits, the application of the burst fire test voltage shall not produce a change in the register of more than four times X and any signal output shall not produce a signal equivalent to more than four times X where X is as specified in 4.4.3.2.2. Any temporary degradation or loss of function or performance during the test which ceases after the test shall be discounted (performance criterion B in accordance with IEC 62236-1).

4.4.7.1.5 Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.5.6.

During the test, the ECF shall not show any temporary degradation or loss of function or performance. The error of energy measurement during this test shall not vary from a test under the same load conditions but without application of the RF fields by more than $\pm 2 \times N$ % for an ECF of class N .

4.4.7.1.6 Surge immunity

The ECF shall be tested in accordance with 5.4.4.5.7.

When tested, the application of the surge immunity test shall not produce a change in the register of more than X and any signal output shall not produce a signal equivalent to more than X where X is as specified in 4.4.3.2.2.

4.4.7.2 Radio interference suppression

When tested in accordance with 5.4.4.5.8, the test results shall comply with the requirements given in IEC 62236-3-2:2008, Clause 7.

4.4.8 Data transfer from ECF to DHS

At the end of each Time Reference Period (TRP), the energy data and flags shall be transferred to the DHS. By agreement between supplier and purchaser, energy data may be transferred in shorter time periods (e.g. 1 min), provided that the energy data for each corresponding 5 minute TRP can be derived by the DHS.

The specification of the TRP is detailed in IEC 62888-3:2018, 4.7.2.

Time periods shorter than 5 min are to be indicated in the essential data.

NOTE If the energy data is of secondary value, the k-factor will be stated in the essential data of the EMF so that it can be used in the DHS to produce primary values.

Other data such as voltage and current readings may also be transmitted, as long as this does not interfere with transmission of mandatory values.

Requirements on communication protocols stack and communication security are defined in IEC 62888-4:2018, 4.2.2, 4.2.3 and 4.2.5.

5 Conformance test

5.1 General

5.1.1 Conformance test requirements

Any EMF intended to be used in an EMS, shall be subjected to a conformance as described in Clause 5.

The conformance test in Clause 5 relates to the requirements stated in Clause 4 of this document and the applicable requirements stated in IEC 62888-1:2018, Clause 4.

The conformance test requirements in Clause 5 apply only to parts of the EMS.

In the following clauses, the numbers in square brackets, e.g. [1.2.3.4], indicate the clause number of the clause in this document or in IEC 62888-1:2018 containing requirement(s) against which conformity is being established by testing.

5.1.2 Applicability

The conformance test described in Clause 5 applies to any device performing any function covered by IEC 62888-2:2018.

5.1.3 Methodology

5.1.3.1 General

The conformance test shall be undertaken using the following methods:

- a) device design review;
- b) device type test;
- c) device routine test.

It is envisaged that a) and b) have been concluded with positive verdict before c) is undertaken.

All conformity activities of a complete EMS are contained in IEC 62888-5:2018.

5.1.3.2 Device design review

Assessment of the adequacy of the technical design of the EMF functions shall be undertaken through examination of technical documentation for the device together with any supporting evidence.

This shall also include examination of documentation detailing integration and installation constraints.

If there is any change to a device that has been previously assessed, the review shall focus on the change and its impact on other aspects.

5.1.3.3 Device type test

Type tests shall be carried out to verify that each equipment type including a function of the EMF meets the requirements contained in IEC 62888-2.

Type tests shall be performed on at least one sample of a designated equipment type.

If a previously assessed device is altered, the type test shall focus on the alteration and its impact on other aspects.

5.1.3.4 Device routine test

Routine tests shall be carried out on each device including a function of the EMF, to verify that it is in compliance with its stated equipment type.

5.2 Testing framework

5.2.1 General

Any device(s) including one or more functions of the EMF shall be tested according to the test procedures defined in IEC 62888-2.

The device shall be tested in its fully assembled state and shall be mounted and connected to simulate the least favourable arrangement for each test.

Where tests of EMF require other parts of the EMS to be present, these parts shall form part of the test assembly. Alternatively, test equipment may be used to simulate these parts of the EMS provided the former authentically replicate the latter so far as it is necessary to ensure the test is valid.

The approval is also valid for assemblies where a device/interface has been replaced with a device/interface having technically equivalent characteristics and is also compliant with the IEC 62888 series of standards.

All testing shall be undertaken under reference conditions unless otherwise stated.

5.2.2 Reporting

All tests performed on EMF functions shall be documented. The report shall include all relevant details of the devices of the complete assembly used in the testing procedure.

The report shall, as a minimum, include the following information:

- a) test environment:
 - 1) date and time;
 - 2) location;
 - 3) entity in charge of the test;
 - 4) parties present;
 - 5) device and test equipment arrangement;
 - 6) environmental conditions.
- b) device details:
 - 1) equipment marking details and essential information;
 - 2) device setting details e.g. k-factor, etc.;
 - 3) functions included in the device;
 - 4) software and firmware versions, if applicable for the tested function;
 - 5) specification of physical interfaces included.
- c) test details:
 - 1) type of test and test conditions;
 - 2) test equipment, tools and software used for the test;
 - 3) test circuit arrangement and configuration including interfaces used;
 - 4) test engineer(s);
 - 5) test results.

5.3 Design review

5.3.1 General

Assessment of the adequacy of the technical design of an EMF shall be performed through examination of technical documentation for the device and supporting evidence provided by the supplier.

The design review shall take account of the location into which the device is intended to be installed (e.g. compliance to safety requirements is in some cases only achieved once the device is installed).

The design review and its outcome shall be documented in a design review report.

5.3.2 Device design review

5.3.2.1 Interfaces

Verify that all mandatory interfaces of each device carrying a function of the EMF are included and fully specified in the accompanying documentation [IEC 62888-1:2018, 4.3.2.1].

Verify that the use of any interface will not degrade the performance of other interfaces (e.g. they do not introduce measurement or calculation error, etc.). If this can only be adequately verified by undertaking testing, the design review report shall identify the need for a special test.

Where access to the same signal can be gained via more than one interface (e.g. an operational input interface and a test input interface), verify whether identical performance is assured. If this can only be adequately verified by undertaking testing, the design review report shall identify the need for a special test.

In order to minimise costs, consideration should be given to include special tests as a supplementary task when type testing according to 5.4.

5.3.2.2 Access security

Verify that all requests for access to data, software or system parameters relevant for the production and storage of energy data pass through an authorisation procedure before access is granted and that all requests and all changes are logged [IEC 62888-1:2018, 4.3.2.2].

5.3.2.3 Software

Verify that the requirements in IEC 62888-1:2018, 4.3.4 are met.

5.3.2.4 Safety

Verify that the protective provisions at device level conform with the requirements of IEC 62888-1:2018, 4.2.5.4.

5.3.2.5 Clearance and creepage distances

Verify that the clearance and creepage distances are in accordance with IEC 62497-1 [IEC 62888-1:2018, 4.3.8.3].

5.3.2.6 RAMS

Verify that any device performing any of the EMF functions is in compliance with IEC 62888-1:2018, 4.2.5.

5.3.3 EMF design review

5.3.3.1 EMF maximum percentage error

Verify that the requirements for the maximum percentage error of the EMF according to 4.2.3.4 are met by using accuracy classes of the functions VMF, CMF and ECF (as ε_{VMF} , ε_{CMF} and ε_{ECF}) in the formula specified in 4.2.3.2 to calculate the maximum percentage error of the EMF (ε_{EMF}).

NOTE The result of the calculation is the total accuracy of the EMF (ε_{EMF}).

5.3.3.2 Device compatibility

Verify that the interfaces of any device including a function of the EMF are compatible with the devices to which they are intended to be connected.

5.3.3.3 Re-verification

Verify that all documents regarding re-verification are provided in compliance with 4.2.5.

5.4 Type testing

5.4.1 General

Any device containing one or more function of the EMF shall be subjected to type testing.

Type testing shall be performed on at least one sample of a designated equipment type.

Where a device has multiple input interfaces and/or multiple output interfaces, then the performance of all interfaces shall be tested. If identical performance of different interfaces has been verified as part of the interface design review (see 5.3.2.1), only a simple functional check is required at the additional interfaces. However, if this is not the case and the design review has identified need for testing, these special tests shall be conducted. The test procedure shall be agreed between the entity in charge of test and supplier.

If the design review (see 5.3.2.1) has identified that special tests are necessary to verify that the use of any interface will not degrade the performance of other interfaces, this shall be proven during testing. The test procedure shall be agreed between the entity in charge of test and supplier.

5.4.2 Common type testing

5.4.2.1 Visual inspection

Visual inspection shall be undertaken in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.1.

5.4.2.2 Environmental testing

The requirements in IEC 62888-1:2018, 4.3.6 apply based on the devices intended location and environmental classification.

If the device is intended to be installed in an exposed environment, then the requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.7.2 related to enclosure also apply.

5.4.2.3 Tests of protection against penetration of dust and water

The tests shall be carried out on enclosures according to IEC 60529. Any ingress allowed by the standard shall not degrade the operation or safety requirements [IEC 62888-1:2018, 4.3.7.2].

5.4.2.4 Cooling test

For electronic devices tests shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.3, otherwise in accordance with IEC 60068-2-1.

The test temperature shall correspond to the minimum value specified for the device's temperature class and shall be maintained for 16 h.

The acceptance requirements in IEC 60571:2012 apply. For devices with electronics, checks shall be included to ensure:

- a) the device power-up is successfully achieved at the minimum temperature and within the specified time limit;
- b) the device power-down is successful at minimum temperature;
- c) stored data is unaffected by the test cycle.

5.4.2.5 Dry heat test

For electronic devices tests shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.4, otherwise in accordance with IEC 60068-2-2.

The test temperature shall correspond to the maximum value specified for the device's temperature class. In addition, if the device is intended to be suitable for mounting in locations exposed to solar radiation then the additional influence shall be taken into account during testing.

The acceptance requirements in IEC 60571:2012 apply. For devices with electronics, checks shall be included to ensure:

- a) the device power-up is successfully achieved at the maximum temperature and within the specified time limit;
- b) the device power-down is successful at maximum temperature;
- c) stored data is unaffected by the test cycle.

5.4.2.6 Damp heat cycle test

For electronic devices tests shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.5, otherwise in accordance with IEC 60068-2-30.

The acceptance requirements in IEC 60571:2012 apply and shall also include checks to ensure that stored data is unaffected by the test cycle.

5.4.2.7 Test of resistance to heat and fire

The test shall be carried out according to the practice or national rules. [IEC 62888-1, 4.2.5.4].

NOTE For European countries, guideline can be found in EN 45545-2 and EN 45545-5.

5.4.2.8 Vibration test [IEC 62888-1:2018, 4.3.6.11]

Functional random vibration tests shall be carried out in accordance with IEC 61373:2010, Clause 8.

The category and class to be used shall be selected based on the device's intended mounting location on the traction unit.

The acceptance criteria in IEC 61373:2010 shall also include checks to ensure that the following functions are unaffected during the test:

- a) any stored data in the device is unaffected;
- b) vibration does not inhibit or degrade normal operation and, if powered by an auxiliary power supply, power-up and power-down is successful.

5.4.2.9 Shock test [IEC 62888-1:2018, 4.3.6.11]

Shock tests shall be carried out in accordance with IEC 61373:2010, Clause 10.

The category and class to be used shall be selected based on the device's intended mounting location on the traction unit.

The acceptance criteria in IEC 61373:2010 shall also include checks to ensure that the following functions are unaffected during the test:

- a) any stored data in the device is unaffected;
- b) shocks do not inhibit or degrade normal operation and, if powered by an auxiliary power supply, power-up and power-down is successful.

5.4.2.10 Auxiliary power supply

5.4.2.10.1 General

The following tests prove compliance with IEC 62888-1:2018, 4.2.2.

5.4.2.10.2 Auxiliary power supply variations

Tests shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.2 a).

The acceptance requirements in IEC 60571:2012 apply.

NOTE Other tests involving auxiliary power supply variation, as an influence quantity, are detailed in 5.4.3.6 (sensors) and 5.4.4.2.1.2 (ECF).

5.4.2.10.3 Interruptions of auxiliary power supply

Any device of the EMF intended for operation from a class S2 auxiliary power supply, shall be subjected to tests in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.2 b):

The acceptance requirements shall include checks to ensure that the following functions are unaffected by a supply interruption occurring:

- a) the device power-up is successfully achieved within the specified time limit;
- b) the device power-down is successful;
- c) stored data in the device is unaffected (specific requirements for the ECF are defined in 5.4.4.2.1.2);
- d) the interruptions do not inhibit or degrade normal operations.

5.4.2.10.4 Unintentional power loss

Compliance with the unintentional power loss requirements according to IEC 62888-1:2018, 4.2.2.2 shall be demonstrated by the following test:

Each device holding a function of the EMF and powered by an auxiliary power supply shall be in operational state for at least 10 min. Initiate unintentional power loss by cutting the auxiliary power supply, wait a minimum of 5 min and restart feeding of auxiliary power supply.

Check that:

- a) the device has successfully powered up;

- b) the device is not damaged;
- c) for ECF, the register as a minimum retains the last calculated energy data and associated flags in accordance with 4.4.2.3.

5.4.2.10.5 Auxiliary power supply load test

The maximum loading of the device in VA shall be determined by measurement whilst it is in its normal operating mode. The measurement shall be undertaken with the auxiliary power supply voltage at the input terminals to the device at the rated voltage [IEC 62888-1:2018, 4.2.2].

5.4.2.11 High voltage circuit insulation type tests

5.4.2.11.1 Impulse test on primary circuits

Any device with insulation containing circuits carrying traction supply system voltage shall be subjected to a lightning impulse test based on test method and arrangements given in IEC 61869.

The impulse test voltage shall be in accordance with IEC 62497-1 and based on the device's rated impulse voltage (U_{Ni}).

After the test, the device shall be un-damaged.

5.4.2.11.2 Wet test for outdoor devices

Any outdoor device with insulation containing circuits carrying traction supply system voltage shall be subjected to a short duration power frequency wet test based on test method and arrangements given in IEC 61869.

The power frequency test voltage shall be in accordance with IEC 62497-1 and based on the device's power frequency withstand voltage (U_a) and selected based on the device's rated impulse voltage (U_{Ni}).

5.4.2.12 Low voltage circuits insulation type tests

5.4.2.12.1 Insulation measurement

Low voltage circuits shall be subjected to insulation measurement in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.9.1.

5.4.2.12.2 Voltage withstand tests

Low voltage circuits other than analogue sensors shall be subjected to voltage withstand test in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.9.2.

5.4.2.13 Access control

Any device with accessible data, software or system parameters shall be tested for conformance with the requirements of IEC 62888-1:2018, 4.3.2.2.

The relevant part of the following test procedure shall be undertaken:

- a) use the correct procedure to have access to the device under test. Confirm that access is granted and logged;
- b) change an allowable parameter. Confirm if change is logged. If other requirements are agreed (e.g. creating a flag), check if these requirements are fulfilled;

- c) attempt to access the device using an invalid authorisation procedure (e.g. using an incorrect password). Check that access is prohibited, the request for access has been logged, and that access was prohibited.

If multiple access levels are implemented, additional tests shall be undertaken as follows:

- d) for each access level check that access is correctly granted and correctly denied and that the events are recorded along with details of the respective access level;
- e) try to change a parameter. Confirm that this is only executed for correct access levels and change is logged. Confirm that this is prohibited (if not permitted for access level) and log attempt.

5.4.3 Sensor type test

5.4.3.1 General

In addition to the type tests in 5.4.2, sensors shall also be subjected to the following specific type tests.

5.4.3.2 Voltage withstand tests for analogue sensors

Low voltage circuits of electronic analogue sensors shall be subjected to impulse withstand voltage and where applicable power frequency withstand voltage tests, based on test methods and arrangements given in IEC 61869.

The test voltage for low voltage circuits of passive analogue sensors shall be in accordance with 4.3.2.2.1.

The test voltage for low voltage circuits of electronic analogue sensors shall be in accordance with IEC 60571:2012 and, if the sensor has multiple low voltage circuits having galvanic insulation between them, with 4.3.2.2.2.

5.4.3.3 Test of response time ($t_{s,r}$)

5.4.3.3.1 Test of response time ($t_{s,r}$) for DC voltage sensors

To prove compliance with 4.3.3.1.6, a voltage step, intended to produce a change in output signal from 0 % to 100 % of the output range, shall be applied to the input of the sensor. The time for the output to change from 0 % to 90 % of the output range shall be not greater than the response time specified in 4.3.3.1.6.

If it is not possible to generate a voltage step where the initial part introduces an insignificant delay, the test entity can take this into account. The rise time of the step should be a maximum 1 % of the permitted response time.

5.4.3.3.2 Test of response time ($t_{s,r}$) for DC current sensors

To prove compliance with 4.3.4.1.6 a current step, intended to produce a change in output signal from 0 % to 100 % of the output range, shall be applied to the input of the sensor. The time for the output to change from 0 % to 90 % of the output range shall be no greater than the response time specified in 4.3.4.1.6.

If it is not possible to generate a current step where the initial part introduces an insignificant delay, the test entity can take this into account. The rise time of the step should be a maximum 1 % of the permitted response time.

5.4.3.4 Accuracy tests

5.4.3.4.1 Basic accuracy tests for VMF

To prove compliance with 4.3.3.4, tests shall be made at each value of voltage given in Table 3: $U_{\min 2}$, $U_{\min 1}$, $U_{\max 2}$ and at rated primary voltage ($U_{n,VMF}$).

The test shall be carried out under reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

Under reference conditions, the measured error at each measuring point shall be within the limits for the relevant accuracy class, as specified in 4.3.3.4.

5.4.3.4.2 Basic accuracy tests for CMF

To prove compliance with 4.3.4.3, tests shall be made at each value of current given in Table 7 and Table 8: 1 %, 5 %, 100 %, 120 % of rated primary current ($I_{n,CMF}$) for each polarity.

The test shall be carried out under reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

Under reference conditions the measured error of every measuring point shall be within the limits of the relevant accuracy class defined in 4.3.4.3.

5.4.3.4.3 Accuracy tests with temperature influence quantity

5.4.3.4.3.1 Limits of error including the effect of ambient temperature variation

Compliance with Table 4 in 4.3.3.5.1 for VMFs and Table 9 in 4.3.4.4.1 for CMFs shall be demonstrated by the following tests:

The lowest and highest temperatures test point for each class during testing shall be in accordance with the device's temperature class as defined in IEC 60571:2012 for electronic equipment or IEC 62498-1:2010 for other equipment.

The test shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.3 and 12.2.4 under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3 but at each of the following ambient temperatures:

- a) lowest temperature;
- b) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, if below the highest temperature;
- d) highest temperature.

For a VMF, the measured error at the primary voltages $U_{\min 2}$, $U_{\min 1}$, $U_{n,VMF}$ and $U_{\max 2}$ shall be within the error limits given in Table 4.

For a CMF, the measured error at 1 %, 5 %, 10 %, 100 % and 120 % of the rated primary current $I_{n,CMF}$ shall be within the error limits given in Table 9.

If an electronic VMF or CMF is partially indoor and partially outdoor, the tests shall be made on the indoor and outdoor parts concurrently, each one at both extremes of the relevant temperature.

If the supplier has declared a lower maximum error limit at reference temperature than allowed for the relevant accuracy class (see 4.3.3.5.1 and 4.3.4.4.1), the error due solely to ambient temperature variation shall be determined for each ambient temperature test point given in items a) to d) above.

This shall be established by calculating the difference in error measured during the two testing conditions as follows:

- e) error measured at the ambient temperature conditions as specified in this subclause, and
- f) error measured under the reference conditions in Table 1 during the tests specified in 5.4.3.4.1 and 5.4.3.4.2, and with the same signal input conditions used in this clause.

These results shall be included in the test report.

5.4.3.4.3.2 Mean temperature coefficient

Compliance with the mean temperature coefficient requirements in Table 5 in 4.3.3.5.2 for VMFs and Table 10 in 4.3.4.4.2 for CMFs shall be demonstrated by the following test:

Tests shall be carried out under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

For electronic equipment, testing to determine the temperature coefficient shall be undertaken over the temperature range stated in IEC 60571:2012 or IEC 62498-1 for other. The range shall correspond to the device's specified temperature class.

The temperature coefficient shall be determined for the entire temperature class range.

The temperature range to be tested shall be divided into bands of not more than 20 K wide. The mean temperature coefficient shall then be determined for these bands by taking measurements at the middle and extreme limits of each band (e.g. ± 10 K). During the test, the temperature shall not be outside the specified temperature range of the temperature class.

For a VMF, the error shall be measured at the primary voltages $U_{\min 2}$, $U_{n,VMF}$ and $U_{\max 2}$.

For a CMF, the error shall be measured at 1 %, 5 %, 10 %, 100 % and 120 % of the rated primary current $I_{n,CMF}$.

The mean temperature coefficient shall be calculated by linear regression for the entire temperature range.

The mean temperature coefficient shall not exceed the limits given in Table 5 for VMFs and Table 10 for CMFs.

5.4.3.5 Test of the influence of harmonics on an AC CMF

For an AC CMF, the accuracy in the presence of harmonic currents shall comply with the accuracy requirement specified in Table 11 in 4.3.4.5.

In an ideal case, tests with harmonics should be made with the rated primary current $I_{n,CMF}$ at the rated frequency plus a percentage of the rated primary current at each specified harmonic frequency. Such a primary current should provide a realistic image of the dynamic performance of the sensor and will yield a good image of some non-linear phenomena which can happen in the sensor (intermodulation, for example).

However, it can be difficult to achieve a test circuit which generates such primary current. For practical considerations, it is accepted that the accuracy tests can be made with only one single harmonic frequency applied at the primary side for each measurement.

The test circuit shall be defined by agreement between supplier and purchaser.

NOTE The preferred test circuit is described in IEC 60044-8.

For each specified harmonic frequency, a current according to Table 19 is applied.

Table 19 – Test current for harmonics

Magnitude of harmonic currents (percentage of rated primary current $I_{n,CMF}$)	
2 nd to 5 th harmonic	6 th harmonic and above
10 %	5 %

5.4.3.6 Accuracy tests with auxiliary power supply influence quantities

For electronic voltage and current sensor subjected to variations in auxiliary power supply, the accuracy shall remain within the limits specified in 4.3.3.6 for VMFs and 4.3.4.6 for CMFs.

Accuracy tests shall be made at reference conditions given in Table 2, except for auxiliary power supply.

- a) The auxiliary power supply variation during the test shall be in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.2a.
 - 1) For a voltage sensor, variation of error during the test shall not exceed the values given in Table 6.
 - 2) For a current sensor, variation of error during the test shall not exceed the values given in Table 12.
- b) Auxiliary power supply overvoltage during the test shall be in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.6.
 - 1) For a voltage sensor, variation of error during the test shall not exceed the values given in Table 6.
 - 2) For a current sensor, variation of error during the test shall not exceed the values given in Table 12.
- c) Auxiliary power supply interruptions during the test shall be in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.2.b.
 - 1) For a voltage sensor, the measured error at $U_{n,VMF}$ shall not change from the value before test by more than $0,1 \times N$, where N is the allowable error for the accuracy class in accordance with Table 3 in 4.3.3.4;
 - 2) For a current sensor, the measured error at $I_{n,CMF}$ shall not change from the value before test by more than $0,1 \times N$, where N is the allowable error for the accuracy class in accordance with Table 7 and Table 8 in 4.3.4.3.

5.4.3.7 Test on influence of input overvoltages for VMF

Compliance with 4.3.3.1.5 shall be demonstrated by the following test:

The input of the VMF shall be subjected to an overvoltage of U_{max3} in accordance with IEC 60850:2014, Table A.1. For additional voltages listed in IEC 60850:2014, Table B.1 the U_{max3} value shall be agreed between user and manufacturer.

After removal of the overvoltage the VMF shall show no visual damage.

After application of the overvoltages, the measured error at $U_{n,VMF}$ shall not change from the value before test by more than $0,1 \times N$, where N is the allowable error for the accuracy class in accordance with Table 3 in 4.3.3.4.

5.4.3.8 Accuracy test with magnetic induction of external origin

Compliance with the external magnetic induction requirements in Table 6 in 4.3.3.6 for voltage sensors and in Table 12 in 4.3.4.6 for current sensors shall be demonstrated by the following test:

The test shall be carried out under reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

NOTE The purpose of this test is to measure the influence of a current flowing through a conductor situated near the sensor.

The supplier shall specify the maximum field under which the sensor can operate without exceeding the maximum permitted error for its accuracy class, taking account of the preferred field values given below.

The external magnetic induction of an external conductor can be calculated with the formula:

$$B = \frac{\mu_0}{2 \times \pi \times R} \times I$$

where

B is the external magnetic field generated by an external conductor (T);

μ_0 is the permeability ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$);

R is the distance between external conductor and sensor (m);

I is the maximum rated current in the external conductor (A).

Both AC and DC external field tests shall be performed on a sensor.

The preferred values of external magnetic induction during the tests are:

- 0,5 mT, 2 mT, 4 mT, 6 mT, 8 mT, 10 mT for DC fields;
- 2 mT for AC fields.

The test shall be carried out according to the test procedure described in Annex A.

Sensors that require an auxiliary power supply shall be continuously energised at nominal auxiliary power supply voltage during the tests.

Depending on the traction supply system type the sensor's primary input shall be:

- voltage sensor (DC) 0 V and U_n (DC);
- current sensor (DC) 0 A and I_n (DC);
- voltage sensor (AC) 0 V and U_n (AC);
- current sensor (AC) 0 A and I_n (AC).

Following the superposition principle of error and depending on the laboratory's capabilities, the magnetic field tests can be undertaken with alternative input conditions (e.g. no primary input).

For voltage sensor the offset value of the sensor outputs with no input present shall not be higher than the value of the permitted accuracy error at $U_{\min 1}$ in 4.3.3.4.

The variation of error at $U_{n,VMF}$ during the test shall not be greater than the values given in Table 6.

For current sensor the offset value of the sensor outputs with no input present shall not be higher than the starting current specified under 4.2.3.5, and the minimum starting current of an ECF for which the sensor is intended to operate.

The variation of error at $I_{n,CMF}$ during the test shall not be greater than the values given in Table 12.

5.4.3.9 EMC tests

Compliance with the EMC requirements in IEC 62888-1:2018, 4.3.6.12 shall be demonstrated by the following tests on the voltage and current sensors:

The tests shall be carried out under reference conditions as specified in Table 1 in 4.2.3.3 and shall be made on the complete CMF or VMF function.

To verify the EMC emission level, the sensor shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 4, 5 and 6 under the following conditions:

- sensor in operating conditions;
- for voltage sensors, inputs connected to the rated primary voltage;
- for current sensors, inputs with rated primary current;
- where applicable, with auxiliary power supply.

Following the superposition principle of error and depending on the laboratory's capabilities, the EMC tests can be undertaken with alternative input conditions (e.g. no primary input).

To verify the EMC immunity level the following tests shall be performed for voltage and current sensors:

- a) surges in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 7;
- b) electrostatic discharges (ESD) in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 9;
- c) fast transient in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 7 and 8;
- d) radiated disturbances induced by radio frequencies fields in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 9;
- e) conducted disturbances induced by radio frequencies fields in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 7 and 8.

The surge test shall also be applied to the sensor's auxiliary power supply input port.

If the sensor response is linear from 0 to maximum value, the test can be performed without any primary input. If not the test shall be performed with primary input corresponding to linear response of the sensor.

Following the superposition principle of error and according to the laboratory capabilities, the EMC tests can be undertaken with alternative input conditions (e.g. no primary input).

For each EMC test, the sensor shall be checked to ensure that it is operational according to the specified performance criteria in IEC 62236-3-2.

For voltage sensor, the variation of error during the tests c) to e) shall not be greater than the values given in Table 6. For tests performed without any primary voltage, the additional measured offset shall not exceed the allowed error for U_{min1} of the relevant accuracy class.

For current sensor, the variation of error during the tests c) to e) shall not be greater than the values given in Table 12. For tests performed without any primary current, the additional measured offset shall not exceed the permitted error for 10 % of $I_{n,CMF}$ for the relevant accuracy class.

After all the tests the additional measured error shall be less than $0,1 \times N$, where N is the limit of error for the relevant accuracy class.

5.4.3.10 Temperature-rise test

Compliance with the temperature rise requirements in 4.3.3.3 for voltage sensors and 4.3.4.2 for current sensors shall be demonstrated by the following tests:

For the purpose of this test, the test-site ambient temperature shall be between 10 °C and 30 °C and the sensor shall be deemed to have attained a steady temperature when the rate of temperature rise is less than 1 K per hour.

The test shall be carried out:

- where applicable with the auxiliary power supply under conditions which will cause the largest temperature rise in the sensor;
- for voltage sensors at $U_{\max 2}$ and at the rated frequency;
- for current sensors at the rated continuous thermal current according to 4.3.4.1.2.

The sensor shall be deemed to have passed this test if:

- a) the temperature rise of the sensor conforms to the requirements in 4.3.3.3 for voltage sensors and 4.3.4.2 for current sensors taking into account the maximum allowable temperature of the selected temperature class;
- b) after cooling to ambient temperature, it satisfies the following requirements:
 - 1) It is not visibly damaged;
 - 2) The error at rated voltage and current do not differ from that recorded before the test by more than $0,1 \times N$, where N is limit of error specified for the sensor's accuracy class.

5.4.3.11 Short circuit withstand test

5.4.3.11.1 Short circuit withstand test for current sensors

Compliance with the short circuit withstand test requirements in 4.3.4.1.3 and 4.3.4.1.4 shall be demonstrated by the following tests:

For the short circuit withstand tests, the current sensor shall initially be at a temperature between 10 °C and 40 °C.

The shapes of the short circuit current waveforms are detailed in:

- IEC 61992-1:2006, Annex A: Shape of the short circuit in DC;
- IEC 60077-4:2003, Annex B: Shape of the short circuit in AC.

The rated short-time thermal current $I_{\text{CMF,th}}$ test shall be carried out:

- on current sensors with analogue output with the combination of auxiliary power supply voltage and secondary burden which causes the maximum internal power dissipation of the secondary converter;
- on current sensors with digital output with the maximum permissible auxiliary power supply voltage;
- and at a current and for a time, which gives a (I^2t) not less than the maximum values specified in 4.3.4.1.3. The maximum test duration shall not exceed 5 s.

The rated dynamic current $I_{\text{CMF,dyn}}$ test shall be carried out:

- on current sensors with analogue output with the combination of auxiliary power supply voltage and secondary burden which causes the maximum internal power dissipation of the secondary converter;

- on current sensors with digital output with the maximum permissible auxiliary power supply voltage;
- and with a primary current the peak value of which is not less than the rated dynamic current $I_{CMF,dyn}$ according to 4.3.4.1.4.

The dynamic test may be combined with the thermal test above provided the first major peak current of that test is not less than the rated dynamic current ($I_{CMF,dyn}$).

The current sensor shall be deemed to have passed these tests if, after cooling to ambient temperature (between 10 °C and 40 °C), it satisfies the following requirements:

- it is not visibly damaged;
- it withstands the dielectric tests specified in 5.5.3.1.1 but with the test voltages reduced to 90 %;
- on examination, the insulation next to the surface of the conductor does not show significant deterioration (for example, carbonisation).

The sensor error at rated voltage and current do not differ from that recorded before the test by more than $0,1 \times N$, where N is limit of error specified for the sensor's accuracy class.

Acceptance criteria b) and c) may not be relevant depending on the design.

The examination c) is not required if the current density in the primary conductor, corresponding to the rated short-time thermal current, does not exceed

- 180 A/mm² where the primary conductor is of copper of conductivity not less than 97 % of the value given in IEC 60028;
- 120 A/mm² where the primary conductor is of aluminium of conductivity not less than 97 % of the value given in IEC 60121.

5.4.3.11.2 Short circuit withstand test for analogue output voltage sensors

Compliance with the short circuit withstand test requirements in 4.3.3.2 shall be demonstrated by the following test:

Short circuit tests shall be made in accordance with the test method and arrangements in IEC 61869-2:2012, 8.2.

After testing the sensor shall be declared undamaged if it satisfies the requirements stated in IEC 61869-2:2012, 8.2, criteria a) to d).

5.4.4 ECF type test

5.4.4.1 General

In addition to the common type tests in 5.4.2, ECFs shall also be subjected to the following specific type tests.

The current and voltage values stated in this subclause are primary input values of the EMF unless otherwise stated. Input signals corresponding to these primary values shall be used as inputs to the ECF.

5.4.4.2 Tests of electrical requirements

5.4.4.2.1 Test on ECF with analogue inputs

5.4.4.2.1.1 Power consumption test of measuring inputs

Compliance with the power consumption test requirements in 4.4.3.1.2 and 4.4.3.1.3 shall be demonstrated by the following test:

The power consumption of the voltage and current circuit shall be measured at reference conditions as given in Table 1 in 4.2.3.3 by any suitable method.

5.4.4.2.1.2 Tests of the effects of power supply voltage interruptions and overvoltages

Compliance with the power supply voltage interruptions and overvoltage requirements in 4.4.3.2.2 shall be demonstrated by the following test:

The tests shall be carried out according to IEC 60571:2012, 12.2.2.b) and 12.2.6.

5.4.4.2.1.3 Test of influence of short-time input overcurrent

Compliance with the short-time input overcurrent requirements in 4.4.3.3 shall be demonstrated by the following test:

The test circuit shall be practically non-inductive.

After the application of the short-time overcurrent the device shall be allowed to return to the initial temperature with the input circuit energised (about 1 h).

5.4.4.2.1.4 Test of influence of self-heating

Compliance with the self-heating requirements in 4.4.3.4 shall be demonstrated by the following test:

After the voltage circuits have been energised at rated voltage for at least 2 h, without any current in the current circuits, 120 % of I_n shall be applied to the current circuits. The ECF error shall be measured (AC PF = 1, PF = 0,85 inductive and $\sin \varphi = 1$) immediately after the current is applied and then at intervals short enough to allow a correct drawing to be made of the curve of error variation as a function of time. The test shall be carried out for at least 1 h, and in any event until the variation in percentage error for a period of 20 min does not exceed $0,1 \times N$ where N is limit of error appropriate to its accuracy class. A stable error shall be reached within 2 h.

The maximum variation in percentage error, measured as specified, shall not exceed the values given in Table 14.

5.4.4.2.2 Temperature-rise test

Compliance with the temperature rise requirements in 4.4.3.5 shall be demonstrated by the following test:

For the purpose of this test, the device carrying the ECF shall be deemed to have attained a steady temperature when the rate of temperature rise does not exceed 1 K per hour.

The test-site ambient temperature shall be between 10 °C and 30 °C.

The ECF shall be deemed to have passed this test if:

- a) the temperature of the ECF conforms with the requirements in 4.4.3.5 taking into account the maximum allowable temperature of the selected temperature class;
- b) after cooling to ambient temperature, it satisfies the following requirements:
 - 1) it is not visibly damaged;
 - 2) the error after testing at rated voltage and rated current do not differ from that recorded before the test by more than $0,1 \times N$, where N is limit of error specified for the ECF's accuracy class.

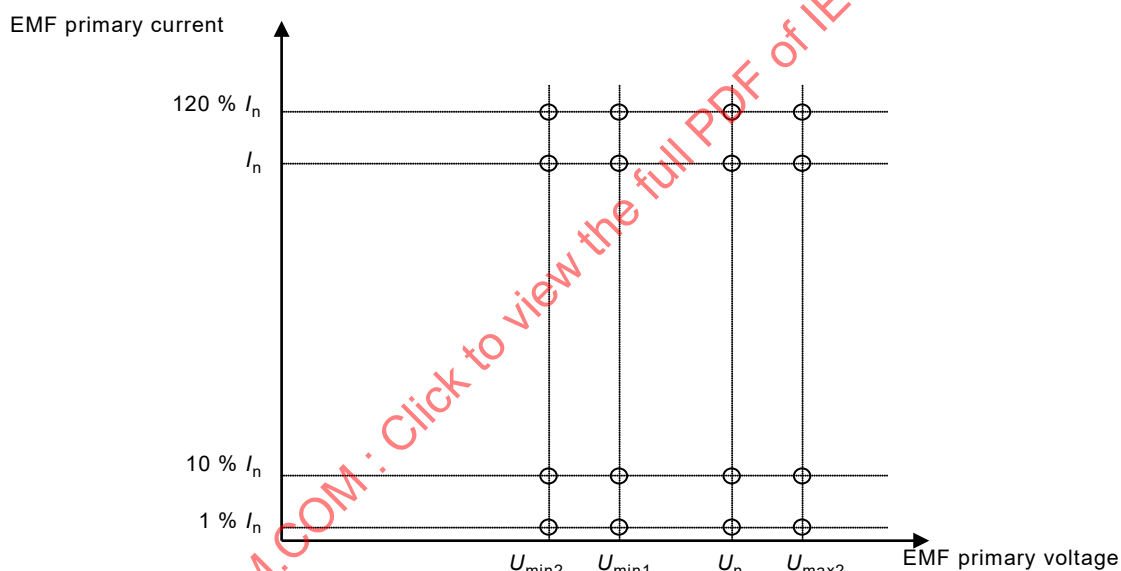
5.4.4.3 Accuracy tests

5.4.4.3.1 Type test of the accuracy requirements

To test the accuracy requirements of the ECF as specified in 4.4.4, tests shall be carried out under the reference conditions specified in 4.2.3.3.

The percentage error shall be measured at the 16 points identified in Figure 8 by inputting appropriate signals at the input test points of the ECF.

The percentage error shall not exceed the limits given in Table 15.



○ Test points for testing the accuracy requirements on the ECF

IEC

Figure 8 – Test point matrix for ECF accuracy tests (type test)

5.4.4.3.2 Accuracy tests with temperature influence quantity

5.4.4.3.2.1 Limits of error including the effect of ambient temperature variation

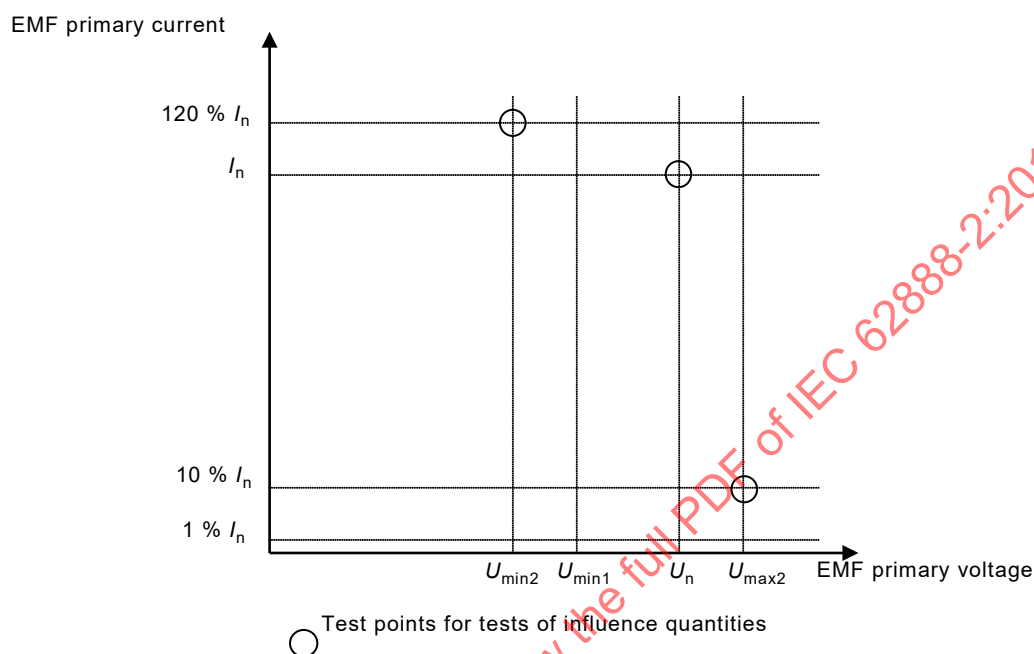
Compliance with the accuracy requirements in Table 16 in 4.4.5.1 shall be demonstrated by the following tests:

The lowest and highest temperatures test point for each class shall be in accordance with device's temperature class as defined in IEC 60571:2012.

The test shall be carried out in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.3 and 12.2.4 under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3, but with the following ambient temperature:

- a) lowest temperature;
- b) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, if below the highest temperature;
- d) highest temperature.

The error shall be measured at the 3 points identified in Figure 9 by inputting appropriate signals with a phase influence function of 1 into the input test points of the ECF.



IEC

Figure 9 – Test point matrix for tests of ambient temperature variation and influence quantities (type test)

The measured error shall be within the error limits given in Table 16. If the supplier has declared a lower maximum error limit at reference temperature than allowed for the relevant accuracy class (see 4.4.5.1), the error due solely to ambient temperature variation shall be determined for each ambient temperature test point given in list a) to d) above.

This shall be established by calculating the difference in error measured during the two testing conditions as follows:

- e) error measured at the ambient temperature conditions as specified in this subclause, and
- f) error measured under the reference conditions in Table 1 during the tests specified in 5.4.4.3.1, and with the same signal input conditions used in this subclause.

These results shall be included in the test report.

5.4.4.3.2.2 Mean temperature coefficient

Compliance with the mean temperature coefficient requirements in Table 17 in 4.4.5.2 shall be demonstrated by the following test:

Tests shall be carried out under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

Testing to determine the temperature coefficient shall be undertaken over the temperature range stated in IEC 60571:2012. The range shall correspond to the device's specified temperature class.

The temperature coefficient shall be determined for the entire temperature class range.

The temperature range to be tested shall be divided into bands of not more than 20 K wide. The mean temperature coefficient shall then be determined for these bands by taking measurements at the middle and extreme limits of each band (e.g. ± 10 K). During the test, the temperature shall not be outside the specified temperature range of the temperature class.

The error shall be measured at the 3 points identified in Figure 9 by inputting appropriate signals with a phase influence function of 1 into the input test points of the ECF.

The mean temperature coefficient shall be calculated by linear regression for the entire temperature range.

The mean temperature coefficient shall not exceed the limits given in Table 17.

5.4.4.3.3 Test of no-load condition

Compliance with the no-load requirements as specified in 4.2.3.5 shall be demonstrated by the following test:

Tests shall be carried out under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

If the ECF has analogue inputs, the following test conditions shall apply:

- current: Zero;
- voltage: $U_{\max 2}$.

If the ECF has digital inputs, the following test conditions shall apply:

- current: Signal equivalent to zero current;
- voltage: Signal equivalent to $U_{\max 2}$.

The minimum test period shall be 24 h.

During this test the ECF shall not produce a change in the register of more than X as determined in accordance with 4.4.3.2.2.

5.4.4.3.4 Test of starting condition

Compliance with the starting requirements as specified in 4.2.3.5 shall be demonstrated by the following test:

Tests shall be carried out under the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

The ECF shall produce energy values different from 0 when input signals equivalent to $0,4 \% I_n$ and $U_{\min 2}$ are injected at the input test points of the ECF.

5.4.4.4 Test of influence quantities

5.4.4.4.1 General

Compliance with the limits for additional percentage errors as specified in Table 18 in 4.4.6 shall be demonstrated by the tests in the following subclauses.

Tests for variation caused by influence quantities shall be performed independently with all other influence quantities at their reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3. If the tests are made at a temperature other than the reference temperature, including permissible tolerances, the tests shall be corrected by applying the appropriate temperature coefficient.

The variations caused by influence quantities shall be tested by injecting signals equivalent to the combinations of EMF primary rated voltage and primary currents as shown in Table 18 in 4.4.6 at the input test points of the ECF. In case of a measuring range for the primary current in Table 18 tests shall be performed by injecting signals equivalent to the limit values of the specified measuring range. Phase influence function shall be in accordance with Table 18.

5.4.4.4.2 Test of the influence of auxiliary power supply voltage variations

The auxiliary power supply voltage variations during the test shall be in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.2 a).

5.4.4.4.3 Test of the influence of frequency variations

The ECF shall be tested at the following frequencies:

- for a rated frequency of 50 Hz: 50 Hz – 2 %, 50 Hz, 50 Hz + 2 %;
- for a rated frequency of 60 Hz: 59 Hz, 60 Hz, 61 Hz;
- for a rated frequency of 16,7 Hz: 16,7 Hz – 3 %, 16,7 Hz, 16,7 Hz + 2 %.

5.4.4.4.4 Accuracy test in the presence of harmonics (ECF with AC inputs only)

ECFs shall be tested under the following test conditions:

- fundamental frequency current: $I_0 = 50 \% I_n$;
- fundamental frequency voltage: $U_0 = U_n$;
- fundamental frequency power factor: 1 (Regenerated energy);
- content of 5th harmonic voltage: $U_5 = 10 \%$ of U_n ;
- content of 5th harmonic current: $I_5 = 40 \%$ of fundamental current;
- harmonic power factor: 1;
- fundamental and harmonic voltages are in phase at positive zero crossing.

NOTE Resulting harmonic power and total power due to the 5th harmonic P_5 are determined by the following formula:

$$P_5 = 0,1 U_0 \times 0,4 I_0 = 0,04 P_0$$

and the total power is $0,96 P_0$.

5.4.4.4.5 Tests of the influence of odd harmonics and sub-harmonics (ECF with AC inputs only)

The ECF shall be tested for the influence of odd harmonics. For ECFs with an analogue input this shall be done with the circuit shown in Figure 10 or with other equipment able to generate the required waveforms, and the current waveforms as shown in Figure 11, having a harmonic content as shown in Figure 12. For ECFs with a digital input, the test signal used shall be correctly replicate the presence of the harmonics content.

The ECF shall be tested for the influence of sub-harmonics. For ECFs with an analogue input this shall be done with the circuit shown in Figure 10 or with other equipment able to generate the required waveforms, and the current waveforms as shown in Figure 13, having a harmonic content as shown in Figure 14. For ECFs with a digital input, the test signal used shall be correctly replicate the presence of the harmonics content.

This test does not apply to DC measurements.

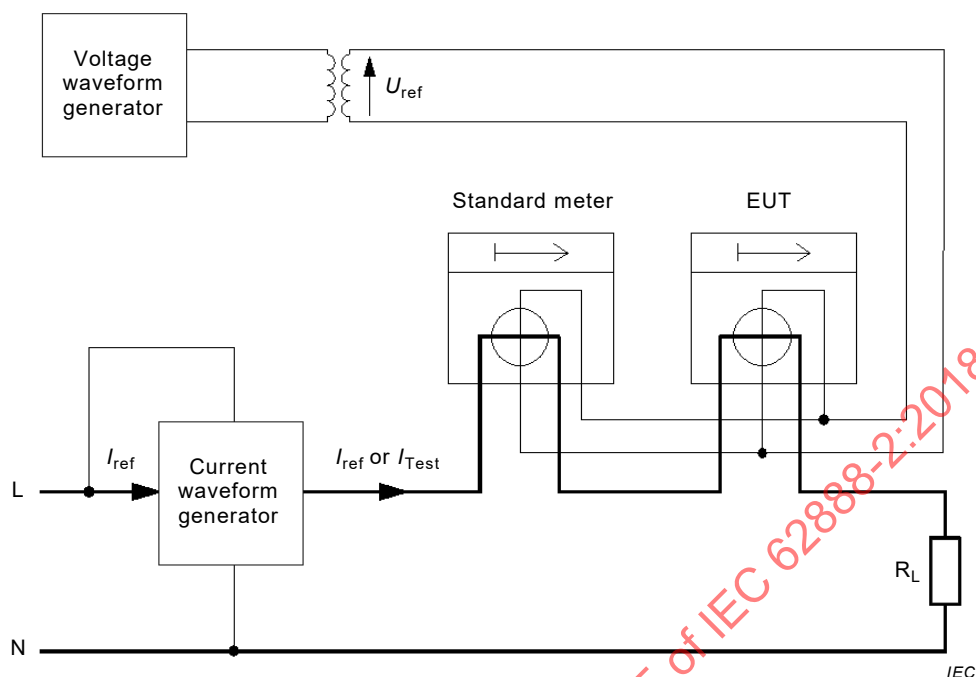


Figure 10 – Test circuit diagram for determining the influence on accuracy of odd harmonics or sub-harmonics in the current circuit

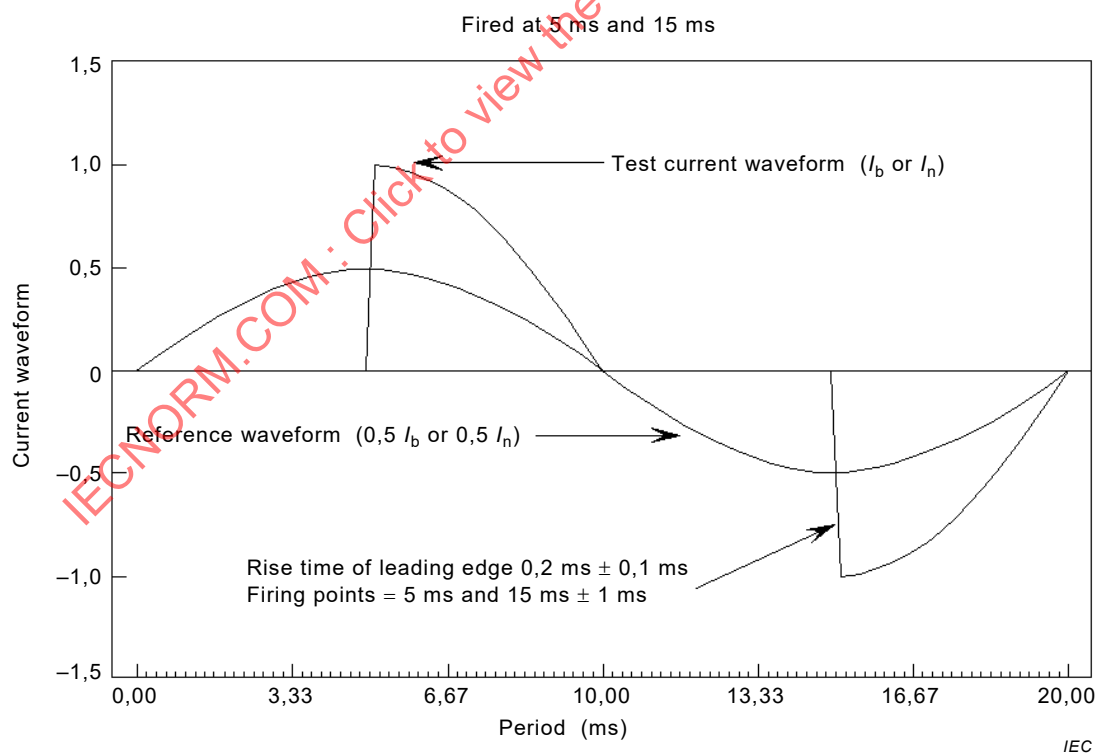


Figure 11 – Phase-fired waveform (shown for 50 Hz)

Figure 11 is shown for 50 Hz. Where the ECF is designed for alternative frequencies or frequency ranges, the above should be adjusted to match the reference frequency.

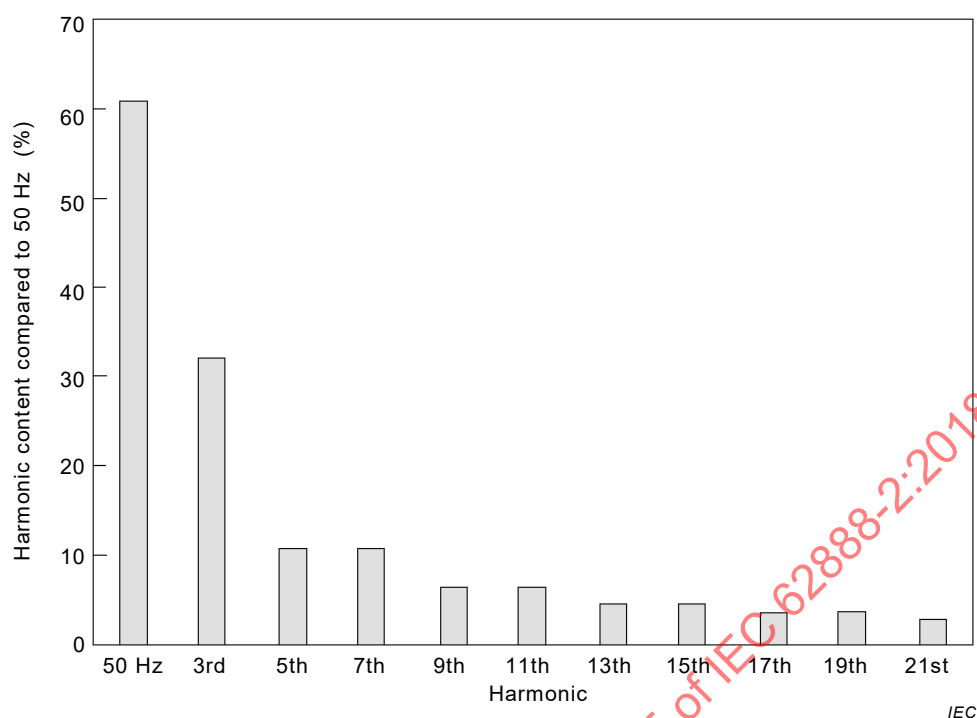


Figure 12 – Analysis of harmonic content of phase-fired waveform (shown for 50 Hz)

Figure 12 is shown for 50 Hz. Where the ECF is designed for alternative frequencies or frequency ranges, the above should be adjusted to match the reference frequency.

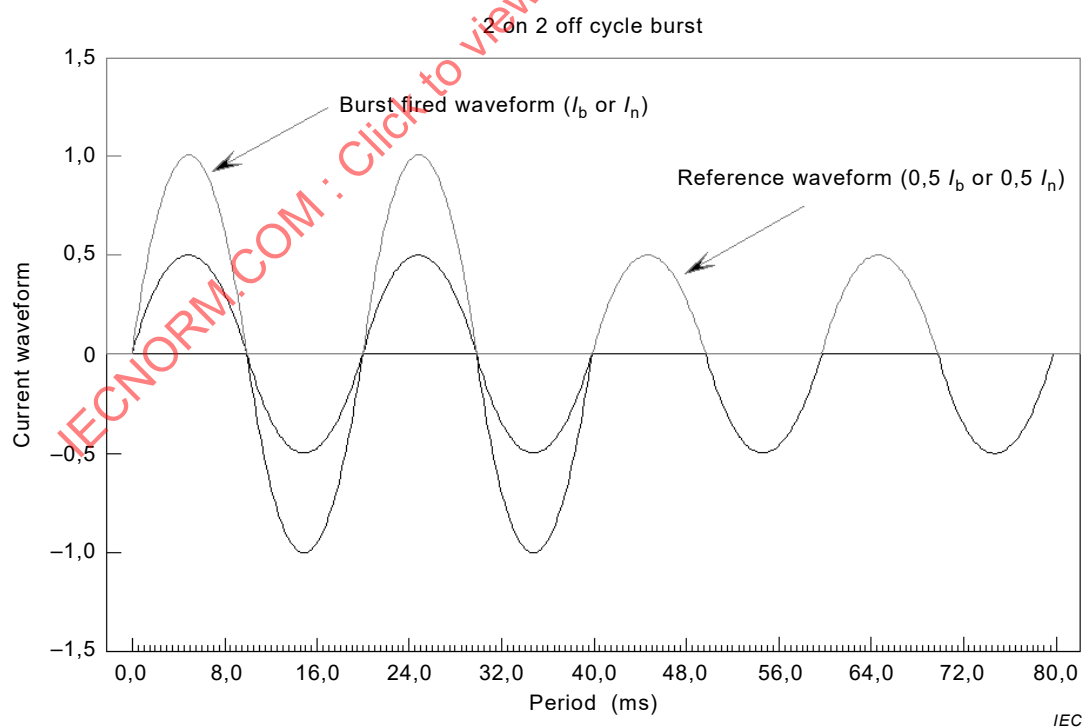


Figure 13 – Burst fire waveform (shown for 50 Hz)

Figure 13 is shown for 50 Hz. Where the ECF is designed for alternative frequencies or frequency ranges, the above should be adjusted to match the reference frequency.

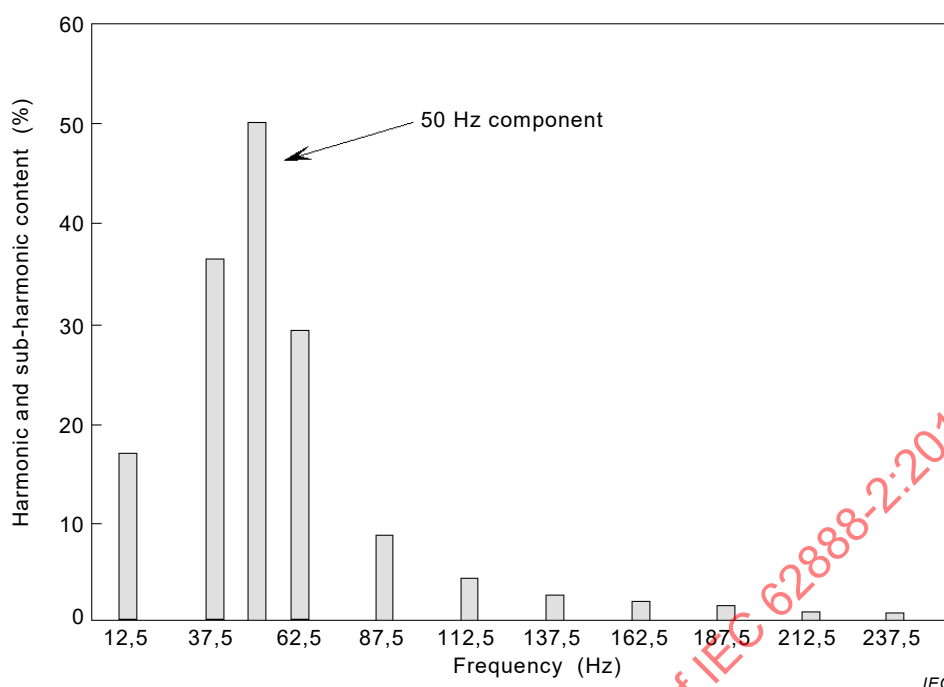


Figure 14 – Analysis of harmonics (shown for 50 Hz)

Figure 14 is shown for 50 Hz. Where the ECF is designed for alternative frequencies or frequency ranges, the above should be adjusted to match the reference frequency.

5.4.4.4.6 Continuous magnetic induction of external origin

This test does not apply to DC ECFs.

The test of the influence of external magnetic induction shall be carried out according to the test procedure described in Annex A.

During the test the magnetic induction shall have the value specified in Table 18.

5.4.4.4.7 Magnetic induction of external origin

The test of the influence of external magnetic induction shall be carried out according to the test procedure described in Annex A.

During the test the magnetic induction shall have the value specified in Table 18.

For an AC ECF the magnetic induction shall be produced by a current of the same frequency as that of each traction supply system for which the ECF is intended. For a DC ECF a magnetic induction shall be produced by a DC current.

5.4.4.5 Tests for electromagnetic compatibility

5.4.4.5.1 General

Compliance with the EMC requirements as specified in 4.4.7 shall be demonstrated by the following tests.

The tests shall be carried out according to IEC 62236-3-2:2008.

5.4.4.5.2 General test conditions

Tests for EMC shall be performed independently with all other influence quantities at their reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

Unless otherwise specified for all these tests, the ECF shall be in its normal working position with the cover and terminal covers in place. All parts intended to be earthed shall be earthed.

5.4.4.5.3 Test of immunity to electrostatic discharges

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 9, and IEC 61000-4-2 under the following conditions:

- device in operating condition;
- voltage and auxiliary circuits energised with reference voltage;
- current measuring circuits open circuited;
- contact discharge;
- number of discharges of 10 (using the most sensitive polarity).

5.4.4.5.4 Test of immunity to electromagnetic RF fields

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 9, and IEC 61000-4-3 with voltage and auxiliary circuits energised at the reference voltage.

ECFs shall be tested in their operating condition:

- a) without any current in the current circuits and with the current terminals on open circuit;
- b) with rated current I_n , power factor: 1.

5.4.4.5.5 Fast transient burst test

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 7 and 8, and IEC 61000-4-4, under the following conditions.

Equipment will be designed and manufactured in accordance with the electromagnetic environment requirements as stated in IEC 62236-3-2:2008, Tables 7 and 8. Higher values are known to exist in practice. Therefore burst amplitudes greater than 6 kV should be considered.

The test voltage shall be applied in common mode to earth to:

- the voltage measuring circuits, all inputs simultaneously;
- the auxiliary power supply voltage circuits;
- the current measuring circuits, if separated from the voltage measuring circuits in normal operation, all inputs simultaneously;
- the communications ports if fitted, all ports simultaneously;
- the pulse and other auxiliary outputs if fitted, all outputs simultaneously;
- any other auxiliary circuits if fitted and, if separated from the voltage measuring circuits in normal operation, all inputs simultaneously.

Any ports which might in normal use be connected directly to the power system shall be directly coupled to the test voltage. Ports which are not directly connected to the power system shall be tested using a capacitive coupling clamp. The ECF shall be tested under the conditions in a) and b):

- a) with rated current I_n , and phase influence function = 1:
- ECF in operating condition;
 - voltage measurement and auxiliary circuits energised with reference voltage;
 - test voltage on the current and voltage circuits: 4 kV;
 - test voltage on the auxiliary circuits with a reference voltage over 40 V: 2 kV;
 - for capacitive coupled inputs the test voltage shall be 2 kV;
 - duration of the test: 60 s at each polarity.
- b) without any current in the current measurement circuits and with these circuits in an open circuit condition:
- ECF in operating condition;
 - voltage measurement and auxiliary circuits energised with reference voltage;
 - test voltage on the current and voltage circuits: 4 kV;
 - test voltage on the auxiliary circuits with a reference voltage over 40 V: 2 kV;
 - for capacitive coupled inputs the test voltage shall be 2 kV;
 - duration of the test: 60 s for each polarity.

5.4.4.5.6 Test of immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 7 and 8, and IEC 61000-4-6, under the following conditions:

- ECF in operating condition:
 - voltage and auxiliary circuits energised with reference voltage;
 - with rated current I_n and phase influence function = 1.

5.4.4.5.7 Surge immunity test

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Table 7, and IEC 61000-4-5, under the following conditions:

- ECF in operating condition:
 - voltage and auxiliary circuits energised with reference voltage;
 - without any current in the current circuits and the current terminals open circuit;
- tested in differential mode (line to line);
- for an ECF with AC input, phase angle pulses to be applied at 60° and 240° relative to zero crossing of AC supply;
- test voltage on the current and voltage circuits (mains lines): 4 kV, generator source impedance: 2 Ω;
- test voltage on auxiliary circuits with a reference voltage over 40 V: 1 kV; generator source impedance: 42 Ω;
- number of tests: 5 positive and 5 negative;
- repetition rate: maximum 1/min.

5.4.4.5.8 Radio interference measurement

The ECF shall be tested in accordance with IEC 62236-3-2:2008, Tables 4, 5 and 6 under the following conditions:

- ECF in operating conditions;
- voltage and auxiliary circuits energised with reference voltage;
- with rated current.

5.5 Routine test

5.5.1 General

Where a device has multiple input interfaces and/or multiple output interfaces, then the performance of all interfaces shall be tested. If identical performance of different interfaces has been verified, only a simple functional check is required at the additional interfaces. If this is not the case, full tests shall be conducted on each interface.

5.5.2 Visual Inspection

Visual inspection shall be undertaken on each device in accordance with IEC 60571:2012, 12.2.1.

5.5.3 Insulation test

5.5.3.1 HV circuit insulation type tests

5.5.3.1.1 Power frequency test

Any device with insulation subject to traction supply system voltage shall be subjected to a power frequency test based on test methods, test durations and arrangements given in IEC 61869.

The power frequency test voltage shall be in accordance with IEC 62497-1 and based on the device's power frequency withstand voltage (U_a) and selected based on the device's rated impulse voltage (U_{Ni}).

After the test, the device shall be undamaged.

If applicable, voltage sensors shall be tested in accordance with 4.3.3.1.8.

5.5.3.1.2 Partial discharge test

This test is only applicable to devices with galvanic isolation where partial discharge current can be measured.

Any device containing circuits carrying traction system voltage and which are insulated shall be subjected to a partial discharge test based on test method and arrangements given in IEC 61869.

The partial discharge test voltage shall be $U_{\max3}$ in accordance with IEC 60850.

The partial discharge limits shall be in accordance with IEC 61869.

5.5.3.2 Low voltage circuits insulation tests

Insulation measurement and tests according to IEC 60571:2012, 12.2.9 shall be carried out.

5.5.4 Accuracy tests

5.5.4.1 Accuracy tests for VMF

Compliance with the accuracy requirements of 4.3.3.4 shall be demonstrated by the following tests:

Tests shall be carried out at $U_{\min1}$, U_n and $U_{\max2}$ with all other variables at the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

For single voltage sensors for traction units suitable for multiple traction supply systems, the $U_{\min 1}$ value applies to the lowest rated primary voltage and the $U_{\max 2}$ value to the highest rated primary voltage.

The errors measured at each measuring point shall be within the limits of the relevant accuracy class as defined in 4.3.3.4.

If the supplier has declared, in accordance with 4.3.3.5.1, a lower maximum error limit at reference temperature than is allowed for the relevant accuracy class as defined in 4.3.3.4, verify that:

- a) the measured error at reference temperature does not exceed this lower maximum error limit;
- b) the sum of:
 - 1) the error measured under each signal input condition above, and
 - 2) the additional error solely due to ambient temperature variation calculated during the type testing (see 5.4.3.4.3.1), does not exceed the maximum error given in Table 4.

If the supplier has declared lower maximum error limit is applicable, this limit shall be stated in the test report.

5.5.4.2 Accuracy tests for CMF

Compliance with the accuracy requirements of 4.3.4.3 shall be demonstrated by the following tests:

Tests shall be carried out at 10 %, 100 % and 120 % of rated primary current I_n for each polarity with all other variables at the reference conditions specified in Table 2 in 4.2.3.3.

For single current sensors for traction units suitable for multiple traction supply systems the 10 % value applies to the lowest rated primary current and the 120 % value only to the highest rated primary current. The errors measured at each measuring point shall be within the limits of the relevant accuracy class as defined in 4.3.4.3.

If the supplier has declared, in accordance with 4.3.4.4.1, a lower maximum error limit at reference temperature than is allowed for the relevant accuracy class as defined in 4.3.4.3, verify that:

- a) the measured error does not exceed this lower maximum error limit,
- b) the sum of:
 - 1) the error measured under each signal input conditions above, and
 - 2) the additional error solely due to ambient temperature variation calculated during the type testing (see 5.4.3.4.3.1), does not exceed the maximum error given in Table 9.

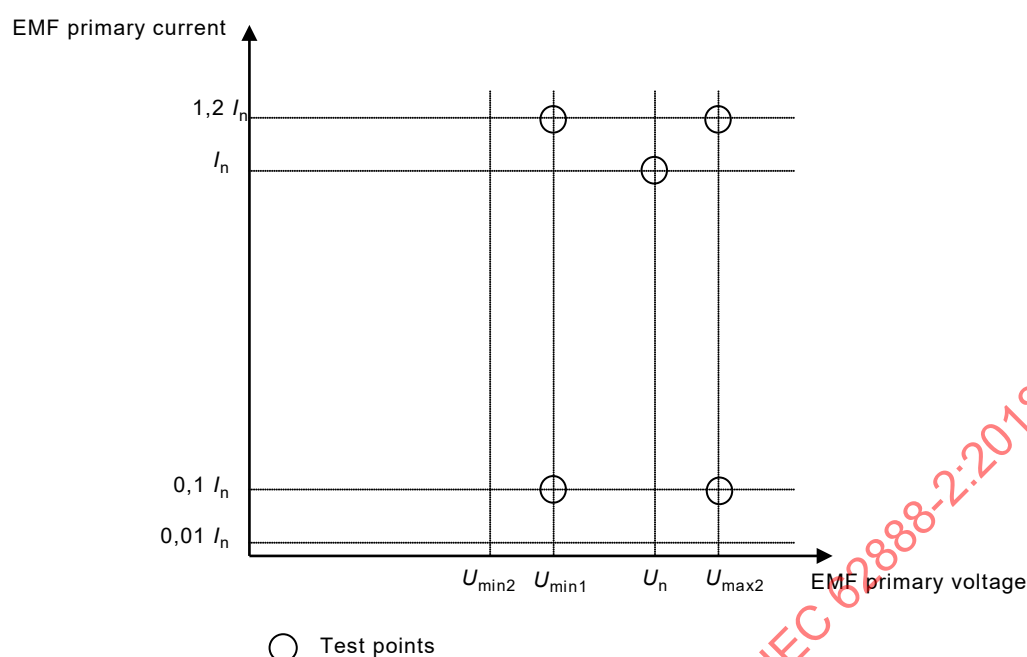
If the supplier declared lower maximum error limit is applicable, this limit shall be stated in the test report.

5.5.4.3 Accuracy tests for ECF

Compliance with the accuracy requirements of 4.4.4 shall be demonstrated by the following tests:

Tests shall be carried out at the reference conditions specified in Table 1 in 4.2.3.3.

The accuracy shall be measured at the 5 points identified in Figure 15 by inputting appropriate signals at the input test points of the ECF.



IEC

Figure 15 – Test point matrix for ECF accuracy tests (routine test)

The errors measured at each measuring point shall be within the limits of the relevant accuracy class as defined in 4.4.4.2.

- a) For an ECF for traction units suitable for multiple traction supply systems, the $U_{\min1}$ value applies to the lowest rated primary voltage and the $U_{\max2}$ value to the highest rated primary voltage.
- b) For an ECF for traction units suitable for multiple traction supply systems having single current sensor, the 10 % value applies only to the lowest rated primary current and the 120 % value only to the highest rated primary current.

If the supplier has declared, in accordance with 4.4.5.1, a lower maximum error limit at reference temperature than is allowed for the relevant accuracy class as defined in 4.4.4.2, verify that:

- c) The measured error does not exceed this lower maximum error limit,
- d) The sum of:
 - 1) the error measured under each signal input conditions above, and
 - 2) the additional error solely due to ambient temperature variation calculated during the type testing (see 5.4.4.3.1), does not exceed the maximum error given in Table 16.

If the supplier declared lower maximum error limit is applicable, this limit shall be stated in the test report.

Annex A (normative)

Test with magnetic induction of external origin

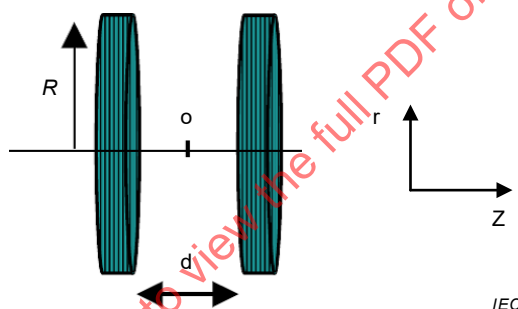
A.1 General

The magnetic induction test shall be carried out with either one of the two test setups described below.

The method to be used shall be agreed between the supplier and the entity in charge of the test.

A.2 Test method 1

The test setup in Figure A.1 consists of two circular coils of the same radius, mounted parallel and placed face to face at a distance equal to their radius. By passing a current through the coils, a magnetic field is created which has a uniform characteristic at the centre 'O' of the test setup. The EUT shall be positioned near point O.



EXAMPLE 2 coils: $R = 250$ mm, $d = 250$ mm, $N = 1\,000$ turns; permeability: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ T m A⁻¹.

Figure A.1 – Test configuration for test method 1

$B(r, z)$ near O, along z axis:

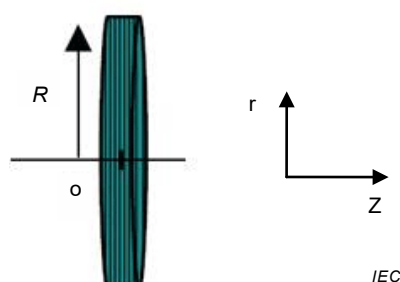
$$B_0 = \frac{\mu_0 \times N \times I \times R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right)^{3/2}}$$

For $B_0 = 4$ mT at point O, the current in the coil is equal to $I = 1,11$ A.

For $B_0 = 2$ mT at point O, the current in the coil is equal to $I = 0,555$ A.

A.3 Test method 2

The test setup in Figure A.2 consists of a single circular coil. By passing a current in the coil, a magnetic field is created which has a uniform characteristic at the centre O of the coil. The EUT shall be placed at the centre O of the coil.



EXAMPLE 1 coil: $R = 250$ mm, $N = 1\,000$ turns, permeability: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A⁻¹.

Figure A.2 – Test configuration for test method 2

$B(r, z)$ near O, along z axis:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \times N \times I}{2 \times R}$$

For $B_0 = 4$ mT at point O, the current in the coil is equal to $I = 1,59$ A.

For $B_0 = 2$ mT at point O, the current in the coil is equal to $I = 0,795$ A.

A.4 Position of EUT

The EUT shall be positioned in the continuous uniform magnetic field generated by the coil or coils. The magnetic field strength shall be measured with a suitable instrument with an accuracy better than 10 %. Tests shall be performed in all three directions of the EUT along the perpendicular axis X, Y, Z.

NOTE Depending on the size of the EUT, it is convenient to move the magnetic field test setup (by changing position of the centre O across the EUT) in order to ensure that the EUT is fully subjected to the effects of the magnetic field.

Annex B (normative)

EMF configurations

B.1 Background

Depending on how vehicles are formed into a traction unit (e.g. traction equipment may be in just one vehicle or distributed across several vehicles) and on how the measuring system is implemented, an EMF may be made up of one or multiple VMFs, CMFs and ECFs. For such configurations, it is essential that the error values (used in the r.m.s. error calculation formula in 4.2.3.2) are correctly derived. This annex defines how these error functions are to be calculated.

An example of such a complex EMF configuration is a traction unit composed of several vehicles, each equipped with a current collector. The current in each current collector is measured with a current sensor. The voltage of the Contact Line is measured with a single voltage sensor. Thus the EMF is composed of one VMF, one ECF but several CMFs.

This annex defines the requirements for different complex EMF configurations and provides formulae for calculating the overall errors.

B.2 General

Each individual VMF and CMF which form part of a complex EMF configuration shall meet the requirements as defined in 4.3.

Each individual ECF which forms part of a complex EMF configuration shall fulfil the requirements as defined in 4.4.

B.3 EMF with several CMFs in parallel

If several CMFs are used in parallel to measure the total current of a traction unit as shown in Figure B.1, the currents of all the CMFs shall be summed in the ECF.

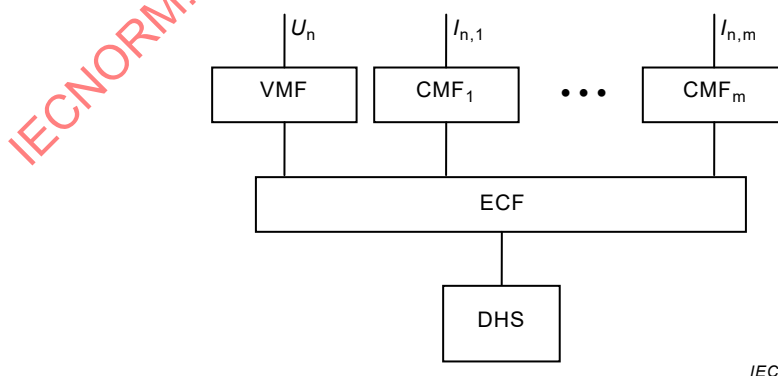


Figure B.1 – EMF with several CMFs in parallel

Each CMF can have a different rated current, a different accuracy class and a different k-factor. If the CMFs have different k-factors, the multiplication by the k-factor shall be executed in the ECF and not in the DHS.

The overall percentage error for the set of CMFs shall be determined in accordance with the following formula:

$$\varepsilon_{\text{CMF}} = \frac{\sum_{x=1}^m I_{n,x} \times \varepsilon_{\text{CMF}x}}{\sum_{x=1}^m I_{n,x}}$$

Where

x is the continuous numbering of the CMFs;

m is the quantity of CMFs that are measuring the currents in parallel;

$I_{n,x}$ is the rated current of the CMF with number x ;

ε_{CMF} is the calculated maximum percentage error of the complete set of m CMFs;

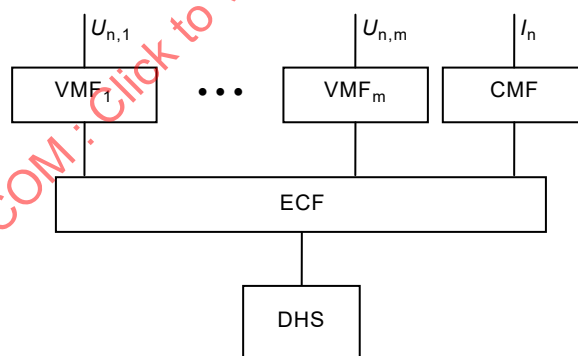
$\varepsilon_{\text{CMF}x}$ is the maximum percentage error of the CMF with number x allowed in accordance with the selected accuracy class under the reference conditions.

NOTE The formula for ε_{CMF} averages the percentage error of the CMFs measuring the currents in parallel by weighting the CMFs with higher rated current I_n more than those with lower rated current I_n .

ε_{CMF} shall be used in the formula of 4.2.3.2 to determine the error for the complete EMF.

B.4 EMF with several VMFs connected to one ECF

A configuration with several VMFs connected to one ECF (as shown in Figure B.2), is only practical if each VMF is used to measure a different traction supply system voltage. A configuration with several VMFs measuring the voltage of one traction voltage system in parallel shall be avoided.



IEC

Figure B.2 – EMF with several VMFs connected to one ECF

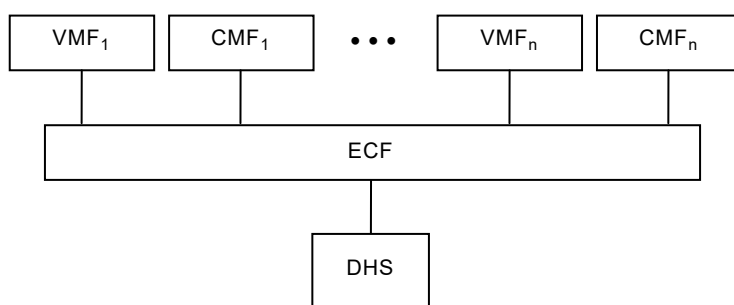
Each VMF can have a different accuracy class and a different k-factor.

Each VMF_x together with the CMF and the ECF shall fulfil the requirements for the limits of error according to 4.2.3.4 determined in accordance with the formula in 4.2.3.2.

B.5 EMF with several pairs of VMF and CMF

If the EMF consists of several pairs of VMF and CMF (as shown in Figure B.3), the energy shall be calculated by the ECF for each pair VMF_x and CMF_x .

NOTE An example of such a system is a traction unit suitable for multiple traction supply systems.



IEC

Figure B.3 – EMF with several pairs of VMF and CMF

There are two different types of configuration:

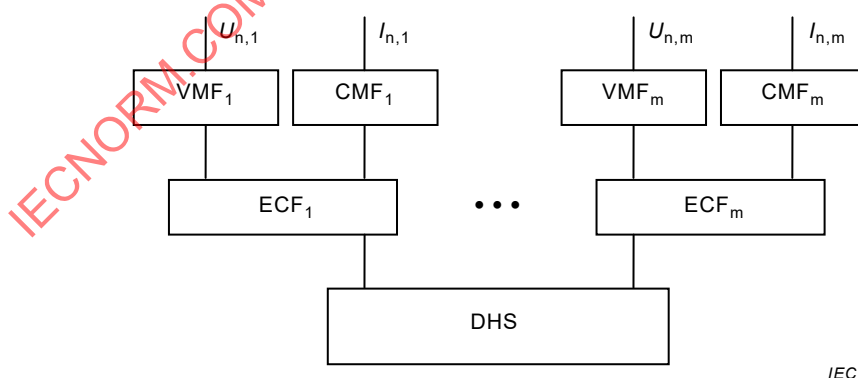
- Several pairs of VMF and CMF are measuring voltage and current in parallel on the same traction voltage system. The calculated energy of these pairs shall be summed in the ECF.
- Each pair of VMF and CMF is measuring on a different traction supply system. In this case, the energy data shall be stored either in separate registers for each traction supply system or in one register independent from the traction supply system. In the latter case, the energy data shall be flagged with the used traction supply system if this information is available.

If the k-factor changes with a change of the traction supply system, the k-factor change shall be handled either in the ECF or in the DHS.

Each pair of VMF and CMF together with the ECF shall fulfil the requirements for the limits of error according to 4.2.3.4 determined in accordance with the formula in 4.2.3.2.

B.6 Several EMFs in parallel

If several EMFs, each consisting of one VMF, one CMF and one ECF (as shown in Figure B.4), are installed on a traction unit, each EMF and its functions shall fulfil the requirements specified in Clause 4.



IEC

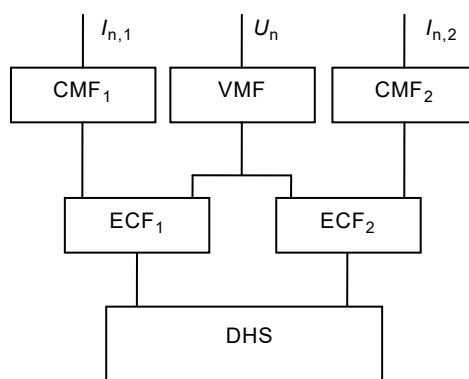
Figure B.4 – EMF with several ECFs

Each ECF shall be compatible with the intended DHS. The DHS shall handle the energy data of all ECFs.

Each ECF shall have a specific identification number. The identification number shall be transferred to the DHS with the energy data.

B.7 One VMF or CMF connected to several ECFs

One VMF or CMF may be connected to several ECFs. An example is where one voltage sensor is capable of being used on two traction voltage systems, but the energy calculation is done in different ECFs one for each traction voltage system (as shown in Figure B.5).



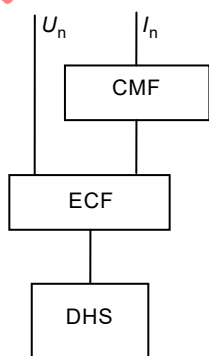
IEC

Figure B.5 – One VMF connected to two ECFs

The VMF or CMF is then part of several EMFs. Each EMF and its functions shall fulfil the requirements specified in Clause 4.

B.8 EMF without VMF

In traction units, designed for operation on traction supply system voltages of 600 V DC or 750 V DC, it is possible that the EMF has no VMF and the traction supply system voltage is directly connected to the ECF voltage input as shown in Figure B.6.



IEC

Figure B.6 – EMF without VMF

In such cases, the maximum percentage error ε_{VMF} of the VMF in the formula of 4.2.3.2 shall be considered as zero.

Annex C (informative)

Expressing EMF accuracy

C.1 Summary

The EMF consists of a maximum of 3 functional components (voltage measurement, current measurement, and energy calculation). The overall measurement error at any time is the algebraic sum of the independent errors; and for AC systems includes errors caused by phase variations.

Each functional component has its own error. Each error varies independently dependant on input signal, environmental and other conditions. For AC systems, the error of the metering element performing the energy calculation also varies according to the phase difference between the voltage and the current as presented to this element. Thus, it is affected by any phase displacements between voltage and current measurement.

In theory, by carrying out a multi-variable analysis of the errors of each component and simply summing the results, it should be possible to calculate the total error. The value of such a calculation is however doubtful. In 'real world' situations such as those associated with rail vehicle applications, errors continuously change as input signals and environmental conditions vary. A random change in errors will also occur over time, both in absolute value and in the reaction to external stimuli.

Overall, the variation of the effective total system error is a random function, namely it is not possible to meaningfully quantify the effect of variable input signals, external stimuli and time on total system error.

C.2 Error limits or uncertainty

Overall system error at any instant is the sum of the individual errors. Overall system error variation over time is effectively random.

As the overall system error is a random function, we can presume (unless we have specific knowledge to the contrary) that the accuracy of measurements will follow a Gaussian (or normal) distribution around the correct value. Thus the uncertainty of measurement (or the accuracy limits) can be given by the standard deviation.

Standard deviation is the square root of the mean squared deviation of the measurement from the true value. Therefore, the RMS of the individual error limits of the individual components is the standard deviation of the measurement, the uncertainty or expected overall error limits. This approach has been used within this standard (see 4.2.3.2) and it is considered to be an appropriate methodology which allows a simplified but realistic approach to express the overall accuracy of the EMF.

An alternative method for expressing overall system error, namely the sum of the absolute error limits of the individual components, could be valid if individual measurement errors were predictable rather than purely random. An illustration of this approach as applied to AC measurement is given below (for information only).

C.3 Presentation of error limits

At any instant, the error introduced by any system component – like the overall system error – is the result of multiple individual errors. Each affects the component error in its own way, and in a direction that is generally not determinable; effectively the component error is the sum of

a set of random contributions. This random effect is reinforced since the total system error is the sum of the errors of multiple individual components (whether internal to a device or external components of the system).

In order to simplify performance specification, and with overall error variation over time being effectively random, error limits are commonly described by an 'Accuracy Class'. This 'Accuracy Class' can be considered as a headline representation of the error and defines the maximum permitted error, both of amplitude and phase displacement, under specific standardised conditions. It also defines the maximum permissible variations in errors due to external effects such as temperature, harmonic content, etc. 'Accuracy Class' is also, in practice, the maximum % error under the standard conditions.

Since Error Limits are defined by 'Classes', in the definition of which both amplitude and phases displacements are considered and where the contribution of individual components is random, the Accuracy Class of the system – the uncertainty of measurement or the expected maximum errors – can be given by:

$$\varepsilon_{\text{EMF}} = \sqrt{(\varepsilon_{\text{VMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{CMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{ECF}})^2}$$

where

- ε_{EMF} is the calculated maximum percentage error of the EMF;
- ε_{VMF} is the maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the VMF under the reference conditions;
- ε_{CMF} is the maximum percentage (ratio) error allowed in accordance with the selected accuracy class for the CMF under the reference conditions;
- ε_{ECF} is the maximum percentage error allowed in accordance with the selected accuracy class for the ECF under the reference conditions.

NOTE 1 The term "root mean square" is often used as a synonym for 'Standard Deviation' when referring to the square root of the mean squared deviation of a signal from a given value. Thus, in the above formula, ε_{EMF} gives the standard deviation of the actual measurements provided by the EMF in comparison with the (unknown) correct measurement.

NOTE 2 In addition to expressing the variability of a population, standard deviation is commonly used to measure confidence in statistical conclusions. For example, the margin of error in polling data is determined by calculating the expected standard deviation in the results if the same poll were to be conducted multiple times. (Typically the reported margin of error is about twice the standard deviation, the radius of a 95 % confidence interval.) In science, researchers commonly report the standard deviation of experimental data, and only effects that fall far outside the range of standard deviation are considered statistically significant – normal random error or variation in the measurements is in this way distinguished from causal variation.

C.4 Uncertainty calculations

C.4.1 AC active power

Active power is a function of the voltage, current and phase angle between the voltage and current waveforms. Sinusoidal current and voltage are presumed (all harmonics are ignored).

$$P = f(U, I, \varphi) = U \times I \times \cos \varphi$$

Where U and I are given by:

$$U = U_{\text{pk}} / \sqrt{2}$$

Where

U_{pk} is the peak value of voltage;

$$I = I_{pk} / \sqrt{2}$$

Where

I_{pk} is the peak value of current.

C.4.2 Primary values

Measurements of the primary values (voltage or current) include measurement uncertainties, both in amplitude and phase (for AC).

For voltage: $U_{\text{measured}} = U_{\text{real}} + \varepsilon U$ and $\varphi U_{\text{measured}} = \varphi U_{\text{real}} + \varepsilon \varphi U$

For current: $I_{\text{measured}} = I_{\text{real}} + \varepsilon I$ and $\varphi I_{\text{measured}} = \varphi I_{\text{real}} + \varepsilon \varphi I$

Where:

ε is uncertainty in amplitude measurement (Volt or Ampere);

$\varepsilon \varphi$ is uncertainty in phase measurement (radians).

C.4.3 Uncertainty in the measurement of active power (Watts)

The uncertainty when calculating power depends on the measurement uncertainties of the primary values (namely voltage and current):

$$\begin{aligned} P_{\text{measured}} &= U_{\text{measured}} \times I_{\text{measured}} \times \cos(\varphi I_{\text{measured}} - \varphi U_{\text{measured}}) \\ &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times \cos[(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) + (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)] \\ &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times [\cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \cos(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \\ &\quad - \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \sin(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)] \end{aligned}$$

Since both φU and φI are small, the following approximations can be made:

$$\cos(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \rightarrow 1$$

$$\sin(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \rightarrow (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)$$

Thus:

$$\begin{aligned} P_{\text{measured}} &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times [\cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) - (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})] \\ &= U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) - U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \\ &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) - (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \\ &\quad + \varepsilon U \times \varepsilon I \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) - \varepsilon U \times \varepsilon I \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \end{aligned}$$

Now:

$$U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) = P_{\text{real}}$$

With uncertainties being small (say $\varepsilon I \approx 0,001 \times I_{\text{real}}$ and $\varepsilon U \approx 0,001 \times U_{\text{real}}$ – namely 0,1%)

$$\varepsilon U \times \varepsilon I \rightarrow 0$$

And with the power factor being better than 0,85, namely:

$$\varphi \leq 32^\circ (\leq 0,56 \text{ radians}), \cos \varphi \geq 0,85 \text{ and } \sin \varphi \leq 0,53$$

With small phase uncertainties, namely:

$$\varepsilon \varphi I \approx \varepsilon \varphi U \approx \pm 0,1^\circ \approx \pm 0,0017 \text{ radian}$$

$$\varepsilon I \approx \pm 0,1\% I_{\text{real}}$$

$$\varepsilon U \approx \pm 0,1\% U_{\text{real}}$$

Then at 50 % load:

$$U_{\text{real}} \times \varepsilon I \approx I_{\text{real}} \times \varepsilon U \approx 0,0005 I_{\text{real}} \times U_{\text{real}}$$

NOTE Uncertainties are small at precision devices.

Then:

$$(U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})$$

also tends to 0¹⁾ even if worst case polarities are presumed.

Thus:

$$P_{\text{measured}} = \frac{P_{\text{real}} - U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})}{+ (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \cos (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})} \quad (\text{C.1})$$

C.4.4 Relative uncertainty

Relative uncertainty of the measurement of active power is given by:

$$\varepsilon P_R = (P_{\text{measured}} - P_{\text{real}}) / P_{\text{real}}$$

Thus substituting from (C.1) above:

$$\begin{aligned} \varepsilon P_R &= \frac{\{ [P_{\text{real}} - U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \\ &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \cos (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})] - P_{\text{real}} \}}{P_{\text{real}}} \\ &= \frac{[-U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \sin (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \\ &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \cos (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})]}{(U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \cos (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}))} \end{aligned}$$

i.e.:

$$\varepsilon P_R = (\varepsilon I / I_{\text{real}}) + (\varepsilon U / U_{\text{real}}) - \tan (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \cdot (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)$$

Thus the maximum relative uncertainty in measuring power ($\varepsilon P_{R \text{ max}}$ or AP_{EMAX}) is given by:

$$\varepsilon P_{R \text{ max}} = |\varepsilon I / I_{\text{real}}| + |\varepsilon U / U_{\text{real}}| + |\tan (\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})| \times (|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|)$$

(Phase uncertainties are summed to ensure worst case conditions)

¹⁾ At the values given, the function resolves to: $(0,0005 I_{\text{real}} \times U_{\text{real}} + 0,0005 I_{\text{real}} \times U_{\text{real}}) \times (0,001 + 0,001) \times (0,53) = 1,06 \times 10^{-6} I_{\text{real}} \times U_{\text{real}}$

If:

$$\begin{aligned} AP_{\text{EMax}} &= \varepsilon P_{\text{R max}} \text{ (Active power maximum relative uncertainty)} \\ A_{\text{CSmax}} &= (\varepsilon I / I_{\text{real}}) \text{ (Current sensor maximum relative uncertainty)} \\ A_{\text{VSmax}} &= (\varepsilon U / U_{\text{real}}) \text{ (Voltage sensor maximum relative uncertainty)} \end{aligned}$$

And since:

- $(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})$ will be small (maximum of $\sim 30^\circ$, or 0,52 radian), $\tan(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \leq 0,62$ ²⁾;
- $\varepsilon \varphi I$ and $\varepsilon \varphi U$ are both small³⁾ (also normally similar in value and in sign).
A $\varepsilon \varphi$ of $0,1^\circ \approx 0,00175$ radians. Thus $(|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|) \approx 0,0035$;
- $|\tan(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})| \times (|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|) \leq 0,62 \times 0,0035 \approx 0,002$ (namely 0,2 %).

$$\text{Thus:} \quad \varepsilon P_{\text{R max}} \approx |\varepsilon I / I_{\text{real}}| + |\varepsilon U / U_{\text{real}}| + 0,002$$

$$\text{Namely:} \quad AP_{\text{EMax}} \approx A_{\text{CSmax}} + A_{\text{VSmax}} + 0,002 \quad (\text{C.2})$$

C.4.5 Uncertainty in the measurement of reactive power (var)⁴⁾

The uncertainty when calculating reactive power also depends on the measurement uncertainties of the primary values (namely voltage and current):

$$\begin{aligned} \varepsilon Q_{\text{R}} &= (Q_{\text{measured}} - Q_{\text{real}}) / Q_{\text{real}} \\ Q_{\text{measured}} &= U_{\text{measured}} \times I_{\text{measured}} \times \sin(\varphi I_{\text{measured}} - \varphi U_{\text{measured}}) \\ &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times \sin[(\varphi I_{\text{real}} + \varepsilon \varphi I) - (\varphi U_{\text{real}} + \varepsilon \varphi U)] \\ &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times \sin[(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) + (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)] \\ &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times [\sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \times \cos(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) + \\ &\quad \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \times \sin(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)] \end{aligned}$$

Since both φU and φI are small, the following approximations can be made:

$$\cos(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \rightarrow 1$$

$$\sin(\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \rightarrow (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)$$

2) At PF = 0,85, $\varphi \approx 32^\circ$ and $\tan 32^\circ \approx 0,62$.

3) Since current and voltage sensors will be class 0,5 or better, phase errors will be less than $0,5^\circ$, thus the uncertainty will be much less than this; say $0,05^\circ$ or possibly $0,1^\circ$.

4) Reactive power measurement accuracy is specified at values around a power factor of zero ($\sin \varphi = 1$) as is normal in all metering standards. Specification of reactive power accuracy where the power factor is in the order of unity is not possible as the errors will tend to infinity.

Thus:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{measured}} &= (U_{\text{real}} + \varepsilon U) \times (I_{\text{real}} + \varepsilon I) \times [\sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) + \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)] \\
 &= U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) + U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \\
 &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \\
 &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \\
 &\quad + \varepsilon U \times \varepsilon I \times \sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) + \varepsilon U \times \varepsilon I \times \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)
 \end{aligned}$$

Now:

$$U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) = Q_{\text{real}}$$

With uncertainties being small (say $\varepsilon I \approx \varepsilon U \approx 0,001$ – namely 0,1 %))

$$\varepsilon U \times \varepsilon I \rightarrow 0$$

And with $\sin \varphi$ being better than 0,85, namely:

$$\varphi \leq 32^\circ (\leq 0,56 \text{ radians}), \sin \varphi \leq 0,53 \text{ and } \cos \varphi \geq 0,85$$

With small phase uncertainties, namely:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon \varphi I &\approx \varepsilon \varphi U \approx \pm 0,1^\circ \approx \pm 0,0017 \text{ radian} \\
 \varepsilon I &\approx \varepsilon U \approx \pm 0,1 \% \approx \pm 0,001
 \end{aligned}$$

Then at 50 % load: $U_{\text{real}} \times \varepsilon I \approx I_{\text{real}} \times \varepsilon U \approx 0,0005$

NOTE Uncertainties are small since we are dealing with precision devices.

Then:

$$(U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}})$$

also tends to 0 ⁵⁾ even if worst case polarities are presumed.

Thus:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{measured}} &= Q_{\text{real}} + U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \cos(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}}) \\
 &\quad + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \sin(\varphi_{I_{\text{real}}} - \varphi_{U_{\text{real}}})
 \end{aligned} \tag{C.3}$$

⁵⁾ At the values given, the function resolves to: $(0,0005 I_{\text{real}} \times U_{\text{real}} + 0,0005 I_{\text{real}} \times U_{\text{real}}) \times (0,001 + 0,001) \times (0,53) = 1,06 \times 10^{-6} I_{\text{real}} \times U_{\text{real}}$.

C.4.6 Relative uncertainty

Relative uncertainty of the measurement of reactive power is given by:

$$\varepsilon Q_R = (Q_{\text{measured}} - Q_{\text{real}}) / Q_{\text{real}}$$

Thus substituting from (C.3) above:

$$\begin{aligned} \varepsilon Q_R &= \{ [Q_{\text{real}} + U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})] - Q_{\text{real}} \} / Q_{\text{real}} \\ &= [U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U) \times \cos(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) + (U_{\text{real}} \times \varepsilon I + I_{\text{real}} \times \varepsilon U) \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})] / (U_{\text{real}} \times I_{\text{real}} \times \sin(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})) \end{aligned}$$

i.e.:

$$\varepsilon Q_R = \varepsilon I / I_{\text{real}} + \varepsilon U / U_{\text{real}} + \cot(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \times (\varepsilon \varphi I - \varepsilon \varphi U)$$

Thus the maximum relative uncertainty in measuring reactive power ($\varepsilon Q_{R\text{max}}$ or AQ_{EMAx}) is given by:

$$\varepsilon Q_{R\text{max}} = |\varepsilon I / I_{\text{real}}| + |\varepsilon U / U_{\text{real}}| + |\cot(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})| \times (|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|)$$

(Phase uncertainties are summed to ensure worst case conditions)

If:

$$\begin{aligned} AQ_{\text{EMAx}} &= \varepsilon Q_{\text{max}} \text{ (Reactive power maximum relative uncertainty)} \\ A_{\text{CSmax}} &= \varepsilon I / I_{\text{real}} \text{ (Current sensor maximum relative uncertainty)} \\ A_{\text{VSmax}} &= \varepsilon U / U_{\text{real}} \text{ (Voltage sensor maximum relative uncertainty)} \end{aligned}$$

And since:

- $(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})$ will be small (maximum of $\sim 58^\circ$, or 0,91 radian), $\cot(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}}) \leq 0,62$ ⁶⁾
- $\varepsilon \varphi I$ and $\varepsilon \varphi U$ are both small⁷⁾ (also normally similar in value and in sign).
A $\varepsilon \varphi$ of $0,1^\circ \approx 0,00175$ radians. Thus $(|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|) \approx 0,0035$;
- $|\cot(\varphi I_{\text{real}} - \varphi U_{\text{real}})| \times (|\varepsilon \varphi I| + |\varepsilon \varphi U|) \leq 0,62 \times 0,0035 \approx 0,002$ (namely $\sim 0,2\%$)

Thus:
$$\varepsilon Q_{R\text{max}} \approx |\varepsilon I / I_{\text{real}}| + |\varepsilon U / U_{\text{real}}| + 0,002$$

Namely:
$$AQ_{\text{EMAx}} \approx A_{\text{CSmax}} + A_{\text{VSmax}} + 0,002 \quad (\text{C.4})$$

6) At $\sin \varphi = 0,85$, $\varphi \approx 58^\circ$ and $\cot 58^\circ \approx 0,62$.

7) Since current and voltage sensors will be Class 0,5 or better, phase errors will be less than $0,5^\circ$, thus the uncertainty will be much less than this, i.e. $0,05^\circ$ or possibly $0,1^\circ$.

Annex D

(informative)

Re-verification and defining of its regime recommendations

D.1 Re-verification

D.1.1 Background

Because the device (or devices) forming the EMF may be subject to legal metrological control (see IEC 62888-1) and the measured data produced is used as the basis of fiscal transactions, the performance of the metrological aspects during the device design life is important. The re-verification regimes adopted historically use a number of different approaches. In most cases, the regime and arrangements adopted are subject to oversight by a responsible national body. It is also worth noting that where metering equipment for energy measurement is covered by other Norms (for example the EN 50470 series in Europe and IEC 62053 series in general) re-verification activity falls outside the scope of such standards.

This annex seeks to set out informative information relating to re-verification in the context of the rail sector environment.

D.1.2 Approaches to re-verification

Most existing re-verification regimes are based around the concept that once a device (which is subject to metrological control) has been placed into service it can remain in use for a designated period, beyond which it cannot remain in service unless:

- a) specified re-verification activities are undertaken to ensure that it is suitable for ongoing use, or
- b) it is replaced by a new device.

In some cases, where the longer term metrological performance of a device is not in doubt, no planned re-verification is undertaken during the design life of the device. For example, it is not uncommon for technology such as inductive measurement transformers to be operated for their entire design life without re-verification testing.

Where re-verification is considered necessary, one possible regime is to undertake re-verification on each device after 'n' years in service and test 100 % of devices on a relatively frequent basis (e.g. every few years). Alternatively, the period before re-verification of each device can be considerably longer when an accompanying surveillance regime is also employed. In such a case a statistical approach is employed whereby sample surveillance tests are undertaken, at much shorter period, on a small percentage of the total population each year. If the outcome of the surveillance sample tests is positive then the population can continue in service up to planned re-verification. However, if the results of the surveillance sample tests indicate a possible problem then the surveillance regime is escalated, additional surveillance testing is undertaken, and if problems are confirmed, the time before re-verification can be shortened. In very extreme cases the population may be removed from service.

In making recommendations about re-verification activity to the purchaser the supplier should consider the following constraints which are typical of the rail sector environment:

- traction units have high availability, spend only short periods out of service for maintenance; and the interval between major maintenance activities can be several years;
- traction units are operated and maintained under a strict safety regime so any on board re-verification testing and disturbance of cabling is to be strictly controlled;

- devices mounted on traction units can be difficult to access, for example sensors can be roof mounted in a high voltage environment and special arrangements can be required to access them;
- implementing safety procedures and safeguards to allow testing on board, particularly when high voltage supplies are involved, can be onerous;
- the environmental conditions on a traction unit are typically different from those used during type testing and routine testing, consequently any comparisons with tests made under reference condition needs to take account of these factors.

When re-verification testing is necessary a number of methodologies are conceptually possible, including:

- testing on board the traction unit during maintenance (for example by injection testing);
- device removal or exchange during maintenance and device testing off the traction unit;
- on board comparison testing by testing the installed device against reference device;

When making recommendations to the purchaser, the supplier should consider:

- device technology and likelihood of change in metrological performance change during the design life;
- likely constraints imposed when undertaking re-verification in a railway sector environment.

D.2 Defining re-verification regime recommendations

D.2.1 General approach

D.2.1.1 General

The following aspects should be considered when defining and describing the recommended re-verification regime for a device.

D.2.1.2 Documents review

To be able to perform the re-verification procedure, the original conformance test file (see IEC 62888-5) and documentation covering any subsequent re-verification activity should be available:

- to allow comparison of the results from any results from previous tests;
- for checking of device against previous configuration records.

D.2.1.3 Recommended re-verification regime and periodicity

The recommended re-verification regime should include a definition of the design life of the device, the maximum periodicity before undertaking the re-verification and the proposed re-verification procedure.

Aspects to consider when defining the periodicity:

- it is envisaged that some devices may not be susceptible to change in their metrological properties due to aging. The supporting rational for this could be based, for example, on technical justifications and/or service experience that demonstrates that the device is not expected to have any significant change in metrological performance resulting in the maximum error limit being exceeded during a specified time period or for the complete design life of the device. Such devices could then be partially or completely removed from the re-verification testing regime;
- if in addition to re-verification testing, surveillance testing is also to be employed, the re-verification periodicity should take account of the following item;

- the re-verification periodicity should state the maximum period considered appropriate based on technical justifications only. However, the supplier should note that, for other non-technical reasons (e.g. traction unit maintenance cycles) the maximum period adopted when in commercial service might be shorter than the recommended technical maximum.

NOTE Highly Accelerated Life Time Test (HALT) methods can be used to simulate the possible change introduced over a given period of time by one or more influence factor(s) on a device or function. Test results are often the basis for contractual guarantees of endurance from supplier and may be helpful in demonstrating product life. Results from this type of testing may help provide evidence to demonstrate the durability of a device. For further information on testing see Annex E.

D.2.2 Testing regime

D.2.2.1 General

The supplier should provide a list of device characteristics and define which are vulnerable to change in metrological performance due to aging. For these characteristics, the supplier should provide a set of re-verification test procedures and, if applicable, procedures for surveillance tests. The results from these tests should be comparable to those from the original test procedures when the device was new. In some cases the supplier may wish to undertake a special test (in addition to the mandatory type and routine accuracy tests) when new, in order to act as a reference point against which re-verification test results can be compared. Test reports of these additional tests should be part of the conformance test file (see IEC 62888-5).

D.2.2.2 Testing approach

For any testing associated with the re-verification regime where a statistical approach is to be adopted it should include an escalation system, where the number of devices tested is increased at each level together with pass / fail criteria for each level.

Example of escalation:

Level 1:	test 5 devices of a given type:	Pass criteria: 100 %.
Level 2:	test 20 more devices of a given type:	Pass criteria: 95 %.
Level 3:	test all devices of a given type:	Pass criteria: 98 %.

The test is initiated using the quantities defined in level 1. If the test is not passed successfully, then the test is escalated using the quantity of devices defined in level 2. If this test also fails, then the test is escalated using the quantity of devices defined in level 3. If the test still fails the device design may be withdrawn from use and its conformance test withdrawn or more stringent re-verification and surveillance arrangements put in place.

Annex E (informative)

Durability test

E.1 Durability test

To determine durability, the stability of metrological characteristics may be tested by applying stresses to the complete EMF or to individual components. Such tests can be derived from the IEC 62059-32-1 and/or other relevant supplier standards. In either case, the supplier should demonstrate the relationship between the standards used and the stresses applied to determine stability of metrological characteristics.

Whichever standard used, a relationship should be established between durability test, stability of metrological characteristics and design life.

The test should be carried out on a complete EMF or individual components, e.g. sensors and meter submitted for type testing (EUT).

Unless otherwise specified in the test schedule all tests should be carried out on a complete EMF or individual components fully assembled according to the supplier's instructions.

As an example, the test procedures in Annex E are based on an IEC 62059-32-1 test procedure and can be applied to the complete EMF or to individual components. The test procedure consists of initial measurements on the equipment under test (EUT), operational conditioning at the maximum temperature, voltage and current of the specified operating range – during which intermediate measurements are taken – followed by recovery and final measurements.

E.2 Initial measurements

Initial measurements errors should be made according to the applicable clauses of this International Standard at the corresponding following point:

- value of voltage: $U_{\max 2}$;
- value of current for direct connected meters: 120 % of rated primary current I_n ;
- value of power factor for AC meters for active energy: PF = 0,85 inductive;
- value of power factor for AC meters for reactive energy: PF = 0,5 inductive.

For EUT consist of complete EMF, the actual percentage error should be measured as the formula given in 4.2.3.2 does not provide a real value suitable for this test.

E.3 Conditioning

The EUT should be pre-conditioned at an elevated temperature according to IEC 60068-2-2:2007 as follows:

- test Be according to IEC 60068-2-2:2007, 5.4: dry heat for heat-dissipating specimens with gradual change of temperature that are required to be powered throughout the test;
- air velocity: low preferred (see IEC 60068-2-2:2007, 4.2);
- temperature: the upper limit of the operating temperature range specified by the supplier;
- duration of the test: 1 000 h (with the exception indicated below);
- EUT in operating conditions, with test load:

- value of voltage: $U_{\max 2}$. If the equipment is intended for several reference voltages, then the highest reference voltage should be taken into account;
- value of current: 120 % of rated primary current I_n (with the exception indicated below);
- value of power factor:
- for AC meters for active energy PF = 0,85;
- for AC meters for reactive energy PF = 0,5;

To facilitate testing, the rated primary current I_n may be used, with the duration of the test increased accordingly to 1 250 h.

The EUT should be mounted as for normal operation.

The EUT should be connected as specified by the supplier.

The EUT is placed in the test chamber, which is at laboratory temperature. The voltages and currents specified above are then applied, and the EUT is checked to ascertain that it is functioning correctly.

If necessary, a test will be performed to check if the test chamber meets the requirements of a low air velocity chamber. See IEC 60068-2-2:2007, 4.2.

The temperature is then raised to the test temperature. The rate of change of the temperature within the test chamber does not exceed 1 K per minute, averaged over a period of not more than 5 min.

The test period as defined above does not commence until the EUT has reached a stable temperature.

NOTE The temperature is considered to be stable when the variation of percentage error at 120 % of rated primary current I_n over 20 min does not exceed 1/5th of the limit of percentage error at reference conditions as specified in the relevant standard. This may be determined using the test output and a reference standard equipment, or by applying a stable load and measuring the test output.

E.4 Intermediate measurements

During the pre-conditioning process, the EUT should be monitored to ensure that it does not exhibit any unusual behaviour in energy measurement and registration.

NOTE 1 Examples of irregular behaviour are significant negative or positive measurement errors.

To verify correct performance, the error should be measured at regular intervals.

For a EUT consisting of an ECF or a complete EMF, the value measured is energy. The energy registered by the ECF during a given interval is read from the register of the EUT.

The true value is determined by using reference equipment of the same type of the EUT with known errors and the same reference values.

NOTE 2 It is assumed that the effect of influence quantities and disturbances is the same for the EUT and the reference.

Special care should be taken to ensure that the load on the reference equipment and the EUT is the same.

Before the test, the percentage error of the reference equipment under the test conditions (voltage, current and phase influence function) should be measured. The absolute value of this percentage error of the reference equipment is denoted e_r .

The maximum percentage error is:

$$e_{\max} = 2\sqrt{e_0^2 + e_r^2}$$

where

e_0 is the maximum permissible percentage error at the test conditions (voltage, current and phase influence function) and at the test temperature as defined by the applicable standard;

e_r is the absolute value of the percentage error of the reference equipment at the test conditions as measured above.

Where the EUT is an AC ECF or complete EMF, the test should be performed at $PF = 0,85$ and $PF = 0,5$ inductive.

The values of e_0 should be the value applicable at $PF = 0,5$.

If the percentage error during the test exceeds $e_{\max}$ then the EUT is considered to have failed and the test can be terminated.

EXAMPLE:

The EUT is a meter of accuracy class 1 R. The reference temperature is +23 °C. The upper limit of the operating temperature range is +55 °C.

According to Table 16, at the test load:

- the limit of percentage error at I_n and U_n is $(+1 \% + (0,01 \%/K \times 32 K)) = 1,32 \%$;
- the absolute value of the percentage error of the reference meter is, for example 0,3 %.

Thus, if the percentage error exceeds $2\sqrt{1,32^2 + 0,3^2} = \pm 2,70 \%$, the EUT failed.

E.5 Final temperature ramp

At the end of the test, the EUT should remain in the test chamber – with the voltage and/or current still applied – while the temperature is gradually lowered to reference temperature ± 2 °C.

The rate of change of the temperature within the test chamber should not exceed 1 K per minute, averaged over a period of not more than 5 min.

The EUT should remain for 2 h in the test chamber at the final temperature, with voltage and/or current still applied.

E.6 Final measurements and acceptance criteria

The percentage error of the EUT should be measured again in the same way as the initial measurements (see E.1.1).

The EUT should preferably remain connected in the test chamber. It is recommended that the same test equipment as used for the initial measurements is used.

The measured error at each test point should not change from the value before test by more than $0,1 \times N$, where N is the allowable error for the accuracy.

EXAMPLE:

The EUT is a current sensor of accuracy class 0,5 R, the change limit of percentage error at each point should not exceed 0,25.

The EUT is considered to have passed, if no unusual behaviour in measurement and registration was noted and if the change in percentage error does not exceed the values specified above.

E.7 Information to be given in the test report

As a minimum, the test report should show the information specified in IEC 60068-2-2:2007, Clause 8, in particular:

- reference to this document and to the type test standards relevant for the EUT;
- identification of the EUT, including all elements necessary to identify the device type;
- reference input value (voltage and/or current);
- power factor for meter or complete EMF;
- results of ascertaining high or low air velocity in the test chamber (see IEC 60068-2-2:2007, 4.2);
- specified operating temperature range;
- results of the change of the percentage error after conditioning at each test point;
- result of a visual inspection. Any damage that may affect the proper functioning of the meter should be reported;
- final conclusion if the test is passed or not.

Bibliography

IEC 62053 series, *Electricity metering equipment (AC) – Particular requirements*

IEC 62059-32-1:2011, *Electricity metering equipment – Dependability – Part 32-1: Durability – Testing of the stability of metrological characteristics by applying elevated temperature*

IEC 62888-6:2018, *Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 6: Requirements for purposes other than billing*

ISO/IEC 17000:2004, *Conformity assessment – Vocabulary and general principles*

EN 45545-2:2013, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*

EN 45545-5:2013, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 5: Fire safety requirements for electrical equipment including that of trolley buses, track guided buses and magnetic levitation vehicles*

EN 50470-1:2006, *Electricity metering equipment (a.c.) – General requirements, tests and test conditions. Metering equipment (class indexes A, B and C)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	98
INTRODUCTION.....	100
1 Domaine d'application	103
2 Références normatives	104
3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles	106
3.1 Termes et définitions	106
3.2 Termes abrégés	110
3.3 Symboles	110
4 Exigences.....	111
4.1 Généralités	111
4.2 Fonction de mesure d'énergie (EMF)	111
4.2.1 Généralités	111
4.2.2 Exigences électriques	112
4.2.3 Exigences de précision	112
4.2.4 Modification du réseau d'alimentation de traction	115
4.2.5 Revérification	115
4.3 Capteurs	115
4.3.1 Généralités	115
4.3.2 Exigences générales	115
4.3.3 Capteurs de tension	117
4.3.4 Capteurs de courant	122
4.4 Fonction de calcul d'énergie (ECF)	129
4.4.1 Généralités	129
4.4.2 Exigences générales	129
4.4.3 Exigences électriques	131
4.4.4 Exigences de précision	133
4.4.5 Effet de la température sur les limites d'erreur	135
4.4.6 Limites d'erreur supplémentaire due aux grandeurs d'influence	137
4.4.7 Compatibilité électromagnétique	139
4.4.8 Transfert de données de l'ECF au DHS	140
5 Essai de conformité	141
5.1 Généralités	141
5.1.1 Exigences d'essais de conformité	141
5.1.2 Applicabilité	141
5.1.3 Méthodologie	141
5.2 Cadre des essais	142
5.2.1 Généralités	142
5.2.2 Rapport	142
5.3 Revue de conception	143
5.3.1 Généralités	143
5.3.2 Revue de conception du dispositif	143
5.3.3 Revue de conception de l'EMF	144
5.4 Essai de type	144
5.4.1 Généralités	144
5.4.2 Essais de type courants	145
5.4.3 Essai de type pour les capteurs	148

5.4.4	Essai de type de l'ECF	156
5.5	Essai individuel de série	169
5.5.1	Généralités	169
5.5.2	Inspection visuelle	169
5.5.3	Essai d'isolement	169
5.5.4	Essais de précision	170
Annexe A (normative)	Essai avec induction magnétique d'origine externe	174
A.1	Généralités	174
A.2	Méthode d'essai 1	174
A.3	Méthode d'essai 2	174
A.4	Position de l'EEE	175
Annexe B (normative)	Configurations relatives à la CEM	176
B.1	Contexte	176
B.2	Généralités	176
B.3	EMF avec plusieurs CMF en parallèle	176
B.4	EMF avec plusieurs VMF connectées à une ECF	177
B.5	EMF avec plusieurs paires de VMF et CMF	178
B.6	Plusieurs EMF en parallèle	178
B.7	Une VMF ou CMF connectée à plusieurs ECF	179
B.8	EMF sans VMF	179
Annexe C (informative)	Expression de la précision de l'EMF	181
C.1	Résumé	181
C.2	Limites d'erreur ou incertitude	181
C.3	Présentation des limites d'erreur	182
C.4	Calculs de l'incertitude	182
C.4.1	puissance active en CA	182
C.4.2	Valeur primaires	183
C.4.3	Incertitude dans la mesure de la puissance active (Watts)	183
C.4.4	Incertitude relative	184
C.4.5	Incertitude dans la mesure de la puissance réactive (var)	185
C.4.6	Incertitude relative	186
Annexe D (informative)	Revérification et définition des recommandations du régime	188
D.1	Revérification	188
D.1.1	Contexte	188
D.1.2	Approches relatives à la revérification	188
D.2	Définition des recommandations relatives au régime de revérification	189
D.2.1	Approche générale	189
D.2.2	Régime d'essai	190
Annexe E (informative)	Essai de durabilité	192
E.1	Essai de durabilité	192
E.2	Mesures initiales	192
E.3	Conditionnement	192
E.4	Mesures intermédiaires	193
E.5	Rampe de température finale	194
E.6	Mesures finales et critères d'acceptation	195
E.7	Informations à inclure dans le rapport d'essai	195
Bibliographie		196

Figure 1 – Structure fonctionnelle et schéma de flux de données de l'EMS	102
Figure 2 – Diagramme de block fonctionnel EMF	104
Figure 3 – Exemple de valeur indice d'énergie	107
Figure 4 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une VMF de classe 0,5 R et une VMF de classe 1,0 R avec un signal d'entrée compris dans la gamme $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	121
Figure 5 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une CMF de classe 1,0 R en CA avec des signaux d'entrée compris dans la gamme $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$, $5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$ et $1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	127
Figure 6 – Courant primaire et gammes de tension	134
Figure 7 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une ECF de classe 0,5 R et une ECF de classe 1,0 R avec des signaux d'entrée compris dans la Zone 1 et la Zone 2	136
Figure 8 – Matrice de points d'essai pour les essais de précision de l'ECF (essai de type)	158
Figure 9 – Matrice de points d'essai pour les essais de variation de température ambiante et de grandeurs d'influence	159
Figure 10 – Schéma du circuit d'essai pour déterminer l'influence sur la précision des harmoniques impairs ou des sous-harmoniques dans le circuit de courant	162
Figure 11 – Forme d'onde en onde coupée (exemple pour 50 Hz)	163
Figure 12 – Analyse d'harmonique de l'onde en onde coupée (exemple pour 50 Hz)	164
Figure 13 – Définition du train d'onde (exemple pour 50 Hz)	165
Figure 14 – Analyse des harmoniques (exemple pour 50 Hz)	166
Figure 15 – Matrice de points d'essai pour les essais de précision de l'ECF (essai de routine)	172
Figure A.1 – Configuration d'essai pour la méthode d'essai 1	174
Figure A.2 – Configuration d'essai pour la méthode d'essai 2	175
Figure B.1 – EMF avec plusieurs CMF en parallèle	176
Figure B.2 – EMF avec plusieurs VMF connectées à une ECF	177
Figure B.3 – EMF avec plusieurs paires de VMF et CMF	178
Figure B.4 – EMF avec plusieurs ECF	179
Figure B.5 – Une VMF connectée à deux ECF	179
Figure B.6 – EMF sans VMF	180
Tableau 1 – Conditions de référence	114
Tableau 2 – Limites de pourcentage d'erreur de l'EMF aux conditions de référence	114
Tableau 3 – Limites de pourcentage d'erreur – VMF	119
Tableau 4 – Pourcentage d'erreur maximal pour une VMF en tenant compte de la variation de la température ambiante	120
Tableau 5 – Coefficient de température de la VMF	121
Tableau 6 – Grandeurs d'influence pour les capteurs de tension	122
Tableau 7 – Limites du pourcentage d'erreur – CMF courant alternatif	125
Tableau 8 – Limites de pourcentage d'erreur – CMF courant continu	125
Tableau 9 – Pourcentage d'erreur maximal pour une CMF en tenant compte de la variation de la température ambiante	126
Tableau 10 – Coefficient de température d'une CMF	127

Tableau 11 – Limites du pourcentage d'erreur en présence d'harmoniques – capteur de courant alternatif	128
Tableau 12 – Grandeurs d'influence pour les capteurs de courant	129
Tableau 13 – Variations dues à des surintensités de courte durée	133
Tableau 14 – Variations dues à l'échauffement propre	133
Tableau 15 – Limites du pourcentage d'erreur de l'ECF pour l'énergie active	134
Tableau 16 – Pourcentage d'erreur maximal pour une ECF en tenant compte de la variation de la température ambiante	135
Tableau 17 – Coefficient de température pour l'ECF	137
Tableau 18 – Grandeurs d'influence pour l'ECF	138
Tableau 19 – Courant d'essai pour les harmoniques	151

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MESURE D'ÉNERGIE À BORD DES TRAINS –

Partie 2: Mesure d'énergie

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62888-2 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette norme est basée sur l'EN 50463.

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

FDIS	Rapport de vote
9/2321/FDIS	9/2332/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62888, publiées sous le titre général *Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62888-2:2018

INTRODUCTION

Trois niveaux de performance sont introduits pour catégoriser le système de mesure d'énergie (EMS) comme décrit en dans l'IEC 62888-1:2018, 4.1.

La présente partie correspond à la Partie 2 de la série IEC 62888 qui comporte les parties suivantes, publiées sous le titre général Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains:

Partie 1: Généralités

Partie 2: Mesure d'énergie

Partie 3: Traitement des données

Partie 4: Communications

Partie 5: Essai de conformité

Partie 6: Exigences à des fins autres que la facturation

Cette série de Normes internationales respecte les lignes directrices fonctionnelles décrites dans l'Annexe A "Principes de l'évaluation de la conformité" de l'ISO/IEC 17000:2004, adaptées au système de mesure d'énergie (EMS).

Le système de mesure d'énergie (EMS) fournit des mesures et données adaptés pour des applications telles que la gestion de l'énergie, les économies d'énergie, la facturation, etc.

Cette série de Normes internationales utilise l'approche fonctionnelle pour décrire l'EMS. Ces fonctions sont mises en œuvre dans un ou plusieurs dispositifs physiques. L'utilisateur de cette série de normes est libre de choisir les dispositions de mise en œuvre physique.

Structure et contenu de la série IEC 62888

Cette série de normes internationales est divisée en six parties. Les titres et brèves descriptions de chaque partie sont indiqués ci-après:

IEC 62888-1 – Généralités

Le domaine d'application de l'IEC 62888-1 est le système de mesure d'énergie (EMS).

L'IEC 62888-1 définit les exigences de niveau système pour l'EMS complet et les exigences communes pour tous les dispositifs mettant en œuvre une ou plusieurs fonctions de l'EMS.

IEC 62888-2 – Mesure d'énergie

Le domaine d'application de l'IEC 62888-2 est la fonction de mesure d'énergie (EMF).

La fonction de mesure d'énergie (EMF) assure la mesure de l'énergie active consommée et régénérée d'une unité de traction. Si l'unité de traction est conçue pour l'utilisation sur des systèmes de traction en courant alternatif, l'EMF effectue également la mesure de l'énergie réactive. L'EMF fournit les grandeurs mesurées via une interface avec le système de traitement des données.

La fonction de mesure d'énergie (EMF) est constituée de trois fonctions: la fonction de mesure de tension, la fonction de mesure de courant et la fonction de calcul d'énergie. Pour chacune de ces fonctions, des classes d'exactitude sont spécifiées et les conditions de référence associées sont définies. Cette partie définit également toutes les exigences spécifiques pour toutes les fonctionnalités de l'EMF.

La fonction de mesure de tension permet de mesurer la tension du système de ligne de contact (CL). La fonction de mesure de courant permet de mesurer le courant prélevé au niveau du système de ligne de contact et renvoyé à ce dernier. Ces fonctions envoient des signaux d'entrée à la fonction de calcul d'énergie.

La fonction de calcul d'énergie reçoit les signaux des fonctions de mesure de courant et de tension et calcule un ensemble de valeurs qui représentent les énergies consommées et régénérées. Ces valeurs sont transférées vers le système de traitement des données et utilisées pour la création de données d'énergie mesurées compilées.

Toutes les caractéristiques métrologiques associées sont traitées dans cette partie de l'IEC 62888.

L'IEC 62888-2 définit également l'essai de conformité de l'EMF.

IEC 62888-3 – Traitement des données

Le domaine d'application de l'IEC 62888-3 est le système de traitement des données (DHS).

Le DHS embarqué reçoit, génère et stocke des données, prêtes à être transmises à un récepteur de données autorisé embarqué ou au sol. L'objectif principal du DHS est de générer des données d'énergie mesurées compilées et de les transférer à un service de collecte de données (DCS) au sol. Le DHS peut prendre en charge une autre fonctionnalité embarquée ou au sol avec des données, dans la mesure où celle-ci n'entre pas en conflit avec l'objectif principal.

L'IEC 62888-3 définit également l'essai de conformité du DHS.

IEC 62888-4 – Communications

Le domaine d'application de l'IEC 62888-4 comprend les services de communication.

Cette partie de l'IEC 62888 définit les exigences et lignes directrices relatives aux données entre les fonctions mises en œuvre dans l'EMS et entre ces fonctions et les autres unités embarquées lorsque des données sont échangées en utilisant une pile de protocoles de communications sur une interface physique dédiée ou un réseau partagé.

Elle inclut le service de communication des données embarquées et au sol et couvre les exigences nécessaires pour prendre en charge le transfert de données entre le DHS et le DCS.

L'IEC 62888-4 définit également l'essai de conformité des services de communication.

IEC 62888-5 – Essai de conformité

Le domaine d'application de l'IEC 62888-5 comprend les procédures de l'essai de conformité pour l'EMS.

L'IEC 62888-5 couvre en outre les procédures de revérification et l'essai de conformité en cas de remplacement d'un dispositif de l'EMS.

IEC 62888-6 – Exigences à des fins autres que la facturation

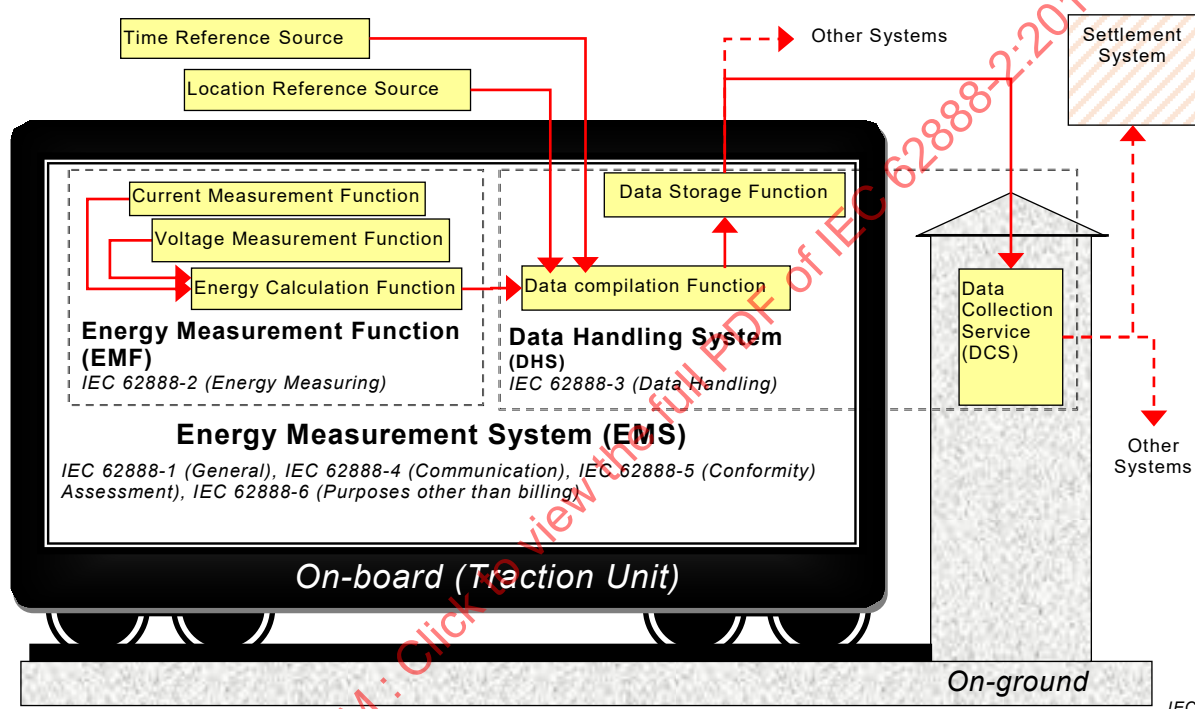
Le domaine d'application de l'IEC 62888-6 est la spécification des exigences de l'EMS qui sont utilisables pour la référencement, la surveillance de la consommation journalière d'énergie, la recherche et le développement techniques.

Cette partie spécifie les exigences permettant de faciliter la surveillance de l'énergie consommée à bord par les services journaliers. Les données mesurées sont applicables à des fins générales dans le secteur telles que la gestion d'énergie, les économies d'énergie, etc. Cependant, cette partie n'est pas applicable à des fins de facturation.

Structure fonctionnelle et flux de données de l'EMS

La Figure 1 représente la structure fonctionnelle de l'EMS, les principales fonctions secondaires et la structure du flux de données. Elle n'est fournie qu'à titre informatif. Seules les interfaces principales exigées par la présente norme sont affichées au moyen de flèches.

Étant donné que la fonction de communication est répartie dans l'ensemble de l'EMS, celle-ci a été omise par souci de clarté. Toutes les interfaces ne sont pas affichées.



Anglais	Français
Time Reference Source	Source de référence temporelle
Location Reference Source	Source de référence géographique
Current Measurement Function	Fonction de mesure du courant
Voltage Measurement Function	Fonction de mesure de la tension
Energy Calculation Function	Fonction de calcul de l'énergie
Energy Measurement Function (EMF)	Fonction de mesure d'énergie (EMF)
IEC 62888-2 (Energy Measuring)	IEC 62888-2 (Mesure d'énergie)
Data Handling System	Système de traitement des données
Data Handling System (DHS)	Système de traitement des données (DHS)
IEC 62888-3 (Data Handling)	IEC 62888-3 (Traitement des données)
Energy Measurement System (EMS)	Système de mesure d'énergie (EMS)
IEC 62888-1 (General), IEC 62888-4 (Communication), IEC 62888-5 (Conformance test), IEC 62888-6 (Requirements for purpose other than billing)	IEC 62888-1 (Généralités), IEC 62888-4 (Communications), IEC 62888-5 (Essai de conformité), IEC 62888-6 (Exigences à des fins autres que la facturation)
Traction Unit	Unité de traction
Data Collection Service (DCS)	Service de collecte de données (DCS)
On-ground	Au sol

Figure 1 – Structure fonctionnelle et schéma de flux de données de l'EMS

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MESURE D'ÉNERGIE À BORD DES TRAINS –

Partie 2: Mesure d'énergie

1 Domaine d'application

Cette partie de l'IEC 62888 définit les exigences applicables à la fonction de mesure d'énergie (EMF) d'un système de mesure d'énergie (EMS) utilisé à bord d'unités de tractions pour la mesure de l'énergie fournie directement depuis/vers le système de ligne de contact.

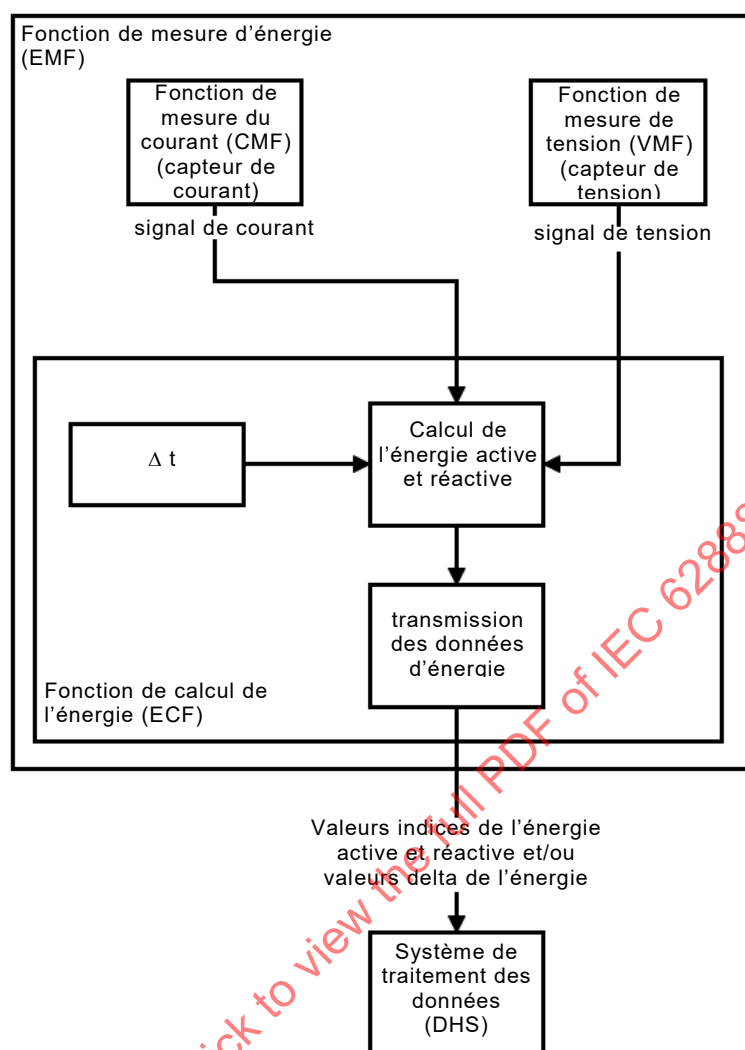
Le présent document donne également les exigences pour la fonction de mesure de courant (ex: capteur de courant), la fonction de mesure de tension (ex: capteur de tension) et la fonction de calcul d'énergie (ex: compteur d'énergie).

L'organisation d'essais de conformité pour la fonction de mesure de tension, la fonction de mesure de courant, la fonction de calcul d'énergie et une fonction de mesure d'énergie complète est aussi spécifiée dans le présent document.

Le présent document a été développé en prenant en compte que dans certaines applications, l'EMF peut être sujette à une évaluation métrologique. Tous les aspects métrologiques pertinents sont couverts dans cette partie et ils sont applicables à l'EMS de niveau 1.

Les exigences spécifiques pour l'EMS de niveau 2 et de niveau 3 sont spécifiées dans l'IEC 62888-6.

La Figure 2 montre le flot entre les blocks fonctionnels de l'EMF. Seules les connexions entre les blocks fonctionnels requis pour la présente norme sont présentées.



IEC

Figure 2 – Diagramme de block fonctionnel EMF

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60028:1925, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

IEC 60044-8:2002, *Transformateurs de mesure – Partie 8: transformateurs de courant électroniques*

IEC 60068-2-1:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-1: essais – Essais A: froid*

IEC 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-20: essais – Essai T: méthodes d'essai de la brasabilité et de la résistance à la chaleur de brasage des dispositifs à broches*

IEC 60068-2-30:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-30: essais – Essai Db: essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60077-4:2003, *Applications ferroviaires – Équipements électriques pour le matériel roulant – Partie 4: composants électrotechniques – Règles pour disjoncteurs à courant monophasé*

IEC 60085:2007, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

IEC 60121:1960, *Recommandation concernant les fils en aluminium recuit industriel pour conducteurs électriques*

IEC 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60571:2012, *Applications ferroviaires – Équipements électroniques utilisés sur le matériel roulant*

IEC 60850:2014, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

IEC 61000-4-2:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

IEC 61000-4-3:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

IEC 61000-4-3:2006/AMD1:2007

IEC 61000-4-3:2006/AMD2:2010

IEC 61000-4-4:2012, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*

IEC 61000-4-5:2014, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

IEC 61000-4-6:2013, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

IEC 61373:2010, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

IEC 61869 (all parts), *Transformateurs de mesure*

IEC 61869-1, *Transformateurs de mesure – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61869-2:2012, *Transformateurs de mesure – Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant*

IEC 61992-1:2006, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Appareillage à courant continu – Partie 1: Généralités*

IEC 62236-1:2008, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 1: Généralités*

IEC 62236-3-2:2008, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils*

IEC 62497-1, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

IEC 62498-1:2010, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Équipement embarqué du matériel roulant*

IEC 62313:2009, *Applications ferroviaires – Alimentation électrique et matériel roulant – Critères techniques pour la coordination entre le système d'alimentation (sous-station) et le matériel roulant*

IEC 62888-1:2018, *Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains – Partie 1: Généralités*

IEC 62888-3:2018, *Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains – Partie 3: Traitement des données*

IEC 62888-4:2018, *Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains – Partie 4: Communications*

IEC 62888-5:2018, *Applications ferroviaires – Mesure d'énergie à bord des trains – Partie 5: Essai de conformité*

3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 62888-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

classe de précision

désignation qui identifie un ensemble de limites d'erreur pour des grandeurs mesurées dans des conditions de référence et le pourcentage d'erreur supplémentaire dû aux grandeurs d'influence

Note 1 à l'article: Une classe de précision individuelle est associée à chaque fonction métrologique de l'EMF.

Note 2 à l'article: Le suffixe "R" est utilisé pour différencier les classes conformément à cette norme des autres normes techniques.

3.1.2

énergie active consommée

énergie active prélevée au niveau de la ligne de contact par l'unité de traction sur laquelle l'EMF est installée

3.1.3

énergie réactive consommée

énergie réactive prélevée au niveau de la ligne de contact par l'unité de traction sur laquelle l'EMF est installée

3.1.4**capteur électronique**

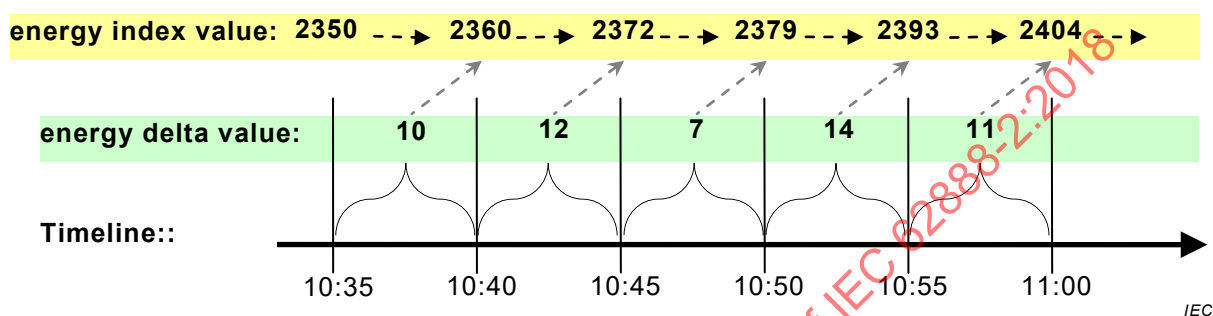
appareil dont les circuits électroniques sont utilisés pour traiter un signal mesuré

Note 1 à l'article: Les circuits électroniques dédiés au traitement du signal de mesure comprennent des éléments tels que des convertisseurs analogique-numérique, des amplificateurs de signaux, etc.

3.1.5**valeur delta d'énergie**

énergie consommée et/ou régénérée pendant une période donnée

Note 1 à l'article: Voir la Figure 3 pour un exemple



Anglais	Français
energy index value	valeur d'indice d'énergie
energy delta value	valeur delta d'énergie
Timeline	Chronologie

Figure 3 – Exemple de valeur indice d'énergie

3.1.6**valeur d'indice d'énergie**

consommation d'énergie cumulée totale et/ou régénération d'énergie à la fin de la période

Note 1 à l'article: Voir la Figure 3 pour un exemple.

3.1.7**drapeau**

code indiquant des informations relatives au fonctionnement de l'EMS

Note 1 à l'article: Des exemples incluent la qualité des données, le statut opérationnel, etc.

3.1.8**dépassement de valeur indice**

retour à zéro de la valeur indice après avoir atteint la valeur maximale admise par le registre

3.1.9**valeur d'influence**

condition externe qui affecte les performances métrologiques

3.1.10**facteur k**

multiplicande nécessaire pour convertir une valeur secondaire en valeur primaire

Note 1 à l'article: Chaque fonction de mesure de tension et/ou de courant peut être associée à un facteur k spécifique. Si le facteur k est appliqué aux données énergétiques, ce facteur est le produit des facteurs k de la fonction de mesure de tension et/ou de la fonction de mesure de courant utilisées.

3.1.11 pourcentage d'erreur

$$\varepsilon = \left| \frac{Q_M - Q_T}{Q_T} \right| \times 100$$

où

Q_M est la quantité mesurée;

Q_T est la quantité réelle

Note 1 à l'article: Étant donné que la véritable grandeur ne peut pas être déterminée, cette dernière est représentée par une grandeur évaluée avec une incertitude mentionnée qui peut être liée aux normes convenues par le fabricant et l'utilisateur ou aux normes nationales.

3.1.12 fonction d'influence de phase

fonction de déphasage réel ou apparent entre une tension mesurée et un courant mesuré

Note 1 à l'article: La fonction d'influence de phase exprimée en tant que facteur de puissance fait référence aux mesures de puissance et d'énergie réelles et apparentes, alors que $\sin \phi$ fait référence aux puissances et énergies réactives.

Note 2 à l'article: Pour les mesures en courant continu, il est nécessaire que les exigences pour une fonction d'influence de phase de 1 soient utilisées.

3.1.13 facteur de puissance PF

en régime périodique, rapport entre la valeur absolue de la puissance active P et de la puissance apparente S

Note 1 à l'article: En régime sinusoïdal, le facteur de puissance est la valeur absolue du facteur de puissance active.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46]

3.1.14 valeur primaire

valeur qui fait référence aux points de mesure d'une EMF

3.1.15 courant thermique continu assigné

$I_{CMF,cth}$

valeur du courant qui peut être autorisé à circuler en continu dans l'entrée primaire d'un capteur de courant

3.1.16 courant dynamique assigné

$I_{CMF,dyn}$

valeur de crête du courant primaire qu'un capteur de courant est capable de supporter sans être détérioré

3.1.17 courant primaire assigné de l'EMF

$I_{n,EMF}$

valeur de courant utilisée pour déterminer les performances de l'EMF

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, le terme courant fait référence à une valeur efficace pour un courant alternatif.

3.1.18**tension primaire assignée de l'EMF** $U_{n,EMF}$

valeur de tension utilisée pour déterminer les performances de l'EMF

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, le terme tension fait référence à une valeur efficace pour un courant alternatif.

3.1.19**courant thermique assigné de courte durée** $I_{CMF,th}$

valeur du courant primaire qu'un capteur de courant est capable de supporter pendant une période donnée sans être détérioré

3.1.20**conditions de référence**

ensemble de grandeurs d'influence, avec des valeurs de référence et des tolérances, par rapport auquel les limites d'erreur sont spécifiées pour une gamme de grandeurs d'entrée

3.1.21**énergie active régénérée**

énergie active retournée au niveau de la ligne de contact par l'unité de traction sur laquelle l'EMF est installée

3.1.22**énergie réactive régénérée**

énergie réactive retournée au niveau de la ligne de contact par l'unité de traction sur laquelle l'EMF est installée

3.1.23**registre**

appareil électronique qui stocke les informations représentant l'énergie mesurée et les drapeaux associés

Note 1 à l'article: Les registres sont également accessibles et peuvent être affichés localement via un outil de service et, le cas échéant, via un affichage local.

3.1.24**temps de réponse** $t_{s,r}$

durée entre l'instant où un changement d'échelon se produit dans la grandeur mesurée et l'instant où le signal de sortie atteint 90 % de la valeur prévue

3.1.25**valeur secondaire**valeur de courant, de tension, de puissance ou d'énergie qu'il est nécessaire de multiplier par un facteur k pour obtenir une valeur primaire**3.1.26****capteur**

appareil exécutant la VMF et/ou la CMF

Note 1 à l'article: Capteur est utilisé comme un terme général et couvre une grande variété de technologies / appareils à des fins de mesure, par exemple, des transformateurs inductifs, appareils à effet hall, des répartiteurs capacitifs et résistifs, des shunts résistifs, etc.

Note 2 à l'article: Un capteur peut remplir des fonctions multiples.

3.1.27

coefficient de température

rapport entre le changement de température et le changement d'erreur de mesure qui s'en suit

3.1.28

période

période de temps pour laquelle les données énergétiques sont produites

3.1.29

période de référence

TRP

période de temps pour laquelle les CEMD sont produites

Note 1 à l'article: L'abréviation «TRP» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Time Reference Period».

3.2 Termes abrégés

CEMD	Compiled Energy Measured Data (Données de mesures d'énergie compilées)
CL	Contact Line (Ligne de contact)
CMF	Current Measurement Function (Fonction de mesure de courant)
DHS	Data Handling System (Système de traitement des données)
ECF	Energy Calculation Function (Fonction de calcul d'énergie)
EMF	Energy Measurement Function (Fonction de mesure d'énergie)
EMS	Energy Measurement System (Système de mesure d'énergie)
EEE	Équipement en essai
PF	Power Factor (Facteur de puissance)
RAMS	Reliability, Availability, Maintenance and Safety (Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité)
TRP	Time Reference Period (Période de référence)
VMF	Voltage Measurement Function (Fonction de mesure de tension)

3.3 Symboles

f_a	fréquence maximale sans repliement spectral
f_n	fréquence assignée
$I_{CMF,cth}$	courant thermique continu assigné
$I_{CMF,dyn}$	courant dynamique assigné
$I_{CMF,th}$	courant thermique assigné de courte durée
$I_{n,CMF}$	courant primaire assigné de la CMF
$I_{n,ECF}$	courant primaire assigné de l'ECF
$I_{n,EMF}$	courant primaire assigné de l'EMF
$t_{s,r}$	temps de réponse
U_{max1}	tension permanente la plus élevée selon l'IEC 60850:2014
U_{max2}	tension non-permanente la plus élevée selon l'IEC 60850:2014
U_{max3}	surtension la plus élevée de longue durée selon l'IEC 60850:2014
U_{min1}	tension permanente la plus basse selon l'IEC 60850:2014
U_{min2}	tension non-permanente la plus basse selon l'IEC 60850:2014
$U_{n,EMF}$	tension primaire assignée de l'EMF
$U_{n,VMF}$	tension primaire assignée de la VMF

ϵ_{CMF}	pourcentage d'erreur (rapport) maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour la CMF
ϵ_{ECF}	pourcentage d'erreur maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour l'ECF
ϵ_{EMF}	pourcentage d'erreur maximal calculé de l'EMF
ϵ_{VMF}	pourcentage d'erreur (rapport) maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour la VMF

4 Exigences

4.1 Généralités

Les exigences de l'IEC 62888-1:2018, Article 4 s'appliquent à tout dispositif comportant une ou plusieurs fonctions de la fonction de mesure d'énergie (EMF), si applicable. L'IEC 62888-2:2018 définit les exigences supplémentaires pour une EMF complète et s'applique à tout dispositif intégrant une ou plusieurs fonction(s) de l'EMF.

4.2 Fonction de mesure d'énergie (EMF)

4.2.1 Généralités

4.2.1.1 Vue d'ensemble

La fonction de mesure d'énergie (EMF) comprend les fonctions suivantes, qui peuvent être intégrées dans un ou plusieurs dispositif(s):

- Fonction de mesure de tension (VMF);
- Fonction de mesure de courant (CMF);
- Fonction de calcul d'énergie (ECF).

NOTE 1 Dans le présent document, les capteurs de tension et de courant désignent les dispositifs qui remplissent les fonctions de mesure. Il est possible qu'un ou plusieurs dispositif(s) puisse(nt) être utilisé(s) pour remplir le rôle d'une fonction. Il est également possible que différentes fonctions soient combinées dans un seul dispositif.

NOTE 2 Plusieurs CMF et VMF peuvent être utilisées avec une ECF unique (voir Annexe B).

L'objectif de l'EMF consiste à mesurer la tension et le courant, à calculer l'énergie et à produire des données énergétiques.

L'EMF fournit des données énergétiques par le biais d'une interface vers le système de traitement des données (DHS).

4.2.1.2 Exigences générales

Si des fonctions sont combinées dans un seul dispositif, une telle combinaison ne doit pas détériorer la performance (y compris la précision) du système.

4.2.1.3 Identification et marquage de l'EMF

La fonction EMF doit être clairement identifiée.

Les dispositifs qui contiennent l'EMF sont marqués comme spécifié dans l'IEC 62888-1:2018, 4.3.1.1. De plus, tous les dispositifs qui incluent des fonctions qui font l'objet d'évaluations métrologiques doivent inclure une marque métrologique.

Si des fonctions différentes sont incluses dans un dispositif, il n'est pas nécessaire de dupliquer le marquage.

Dans le cas d'EMF comme fonction incluse dans la fonction d'équipement de traction ou d'équipement auxiliaire, le marquage du type d'équipement n'est pas nécessaire.

4.2.1.4 Informations essentielles

Pour tous les dispositifs comprenant l'EMF, les informations essentielles telles qu'elles sont spécifiées dans l'IEC 62888-1:2018, 4.3.1.2 doivent être rendues disponibles dans un format (par exemple, papier ou électronique) convenu entre le fournisseur et l'acheteur.

Le facteur k de l'EMF doit également être mentionné.

4.2.2 Exigences électriques

4.2.2.1 Tensions assignées

Les caractéristiques des circuits de tension auxquels l'EMF peut être connectée sont spécifiées dans l'IEC 60850:2014.

La tension primaire assignée de l'EMF ($U_{n,EMF}$) doit être égale à la tension nominale du réseau d'alimentation de traction comme énuméré dans l'IEC 60850:2014 et dans le Tableau B.1 de l'IEC 60850:2014, Annexe B.

D'autres tensions peuvent être convenues entre les parties impliquées.

Si l'EMF a été conçue pour être utilisée sur plusieurs réseaux d'alimentation de traction, une tension primaire assignée doit être affectée à chaque réseau d'alimentation de traction.

4.2.2.2 Courant assigné

Les valeurs normatives de courant primaire assigné de l'EMF ($I_{n,EMF}$) sont:

10 A – 12,5 A – 15 A – 20 A – 25 A – 30 A – 40 A – 50 A – 60 A – 75 A et leurs multiples décimaux.

NOTE Par exemple, les multiples décimaux de 10 A sont 100 A, 1 000 A, 10 000 A.

Le courant primaire assigné ($I_{n,EMF}$) de l'EMF doit être compris entre 80 % et 120 % du courant d'unité de traction assigné.

Si une EMF a été conçue pour être utilisée sur plusieurs réseaux d'alimentation de traction, plusieurs valeurs de courant primaire assigné peuvent lui être affectées.

4.2.2.3 Fréquence assignée (f_n)

La fréquence assignée de l'EMF doit être égale à la fréquence du réseau d'alimentation de traction avec lequel elle a été conçue pour fonctionner, sélectionnée selon l'IEC 60850:2014. D'autres fréquences peuvent être acceptées sur accord entre les parties concernées.

Si une EMF a été conçue pour être utilisée sur plusieurs réseaux d'alimentation de traction, plusieurs valeurs de fréquence assignée peuvent lui être affectées.

4.2.3 Exigences de précision

4.2.3.1 Généralités

La précision de l'EMF est déterminée par la précision des fonctions intégrées à l'EMF.

Pour tout dispositif qui intègre une ou plusieurs fonctions de l'EMF, toutes les contraintes relatives à l'interface (par exemple, type de câble, charge maximale / minimale, etc.), qui sont nécessaires pour garantir la précision, doivent être mentionnées clairement.

Les paragraphes suivants détaillent les exigences et la procédure pour déterminer la précision de l'ensemble de l'EMF.

4.2.3.2 Limites d'erreur de l'EMF

Le pourcentage d'erreur pour l'ensemble de l'EMF doit être déterminé conformément à la formule suivante:

$$\varepsilon_{\text{EMF}} = \sqrt{(\varepsilon_{\text{VMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{CMF}})^2 + (\varepsilon_{\text{ECF}})^2}$$

où

- ε_{EMF} représente le pourcentage d'erreur maximal calculé de l'EMF;
- ε_{VMF} représente le pourcentage d'erreur (rapport) maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour la VMF dans les conditions de référence;
- ε_{CMF} représente le pourcentage d'erreur (rapport) maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour la CMF dans les conditions de référence;
- ε_{ECF} représente le pourcentage d'erreur maximal admis conformément à la classe de précision sélectionnée pour l'ECF dans les conditions de référence.

NOTE L'Annexe C informative explicite davantage la méthode ci-dessus.

Pour les EMF présentant plusieurs VMF, CMF ou ECF, la formule ci-dessus doit être utilisée, mais les erreurs relatives aux termes placés sous la racine carrée sont déterminées conformément aux règles appropriées de l'Annexe B.

Les erreurs causées par le nombre de chiffres, la quantification, les périodes d'échantillonnage, sont l'affaire de l'interface.

L'allocation des erreurs à la fonction associée (CMF, CMF, ECF) doit être indiquée dans la documentation.

4.2.3.3 Conditions de référence

Le Tableau 1 détaille les conditions de référence à utiliser pour toute partie de l'EMF et pour l'ensemble de l'EMF.

Si les essais doivent être effectués à une température différente de la température de référence, en considérant les tolérances admissibles, les résultats doivent être corrigés en appliquant le coefficient de température approprié de l'équipement en essai.

Tableau 1 – Conditions de référence

Paramètre d'influence	Valeur de référence	Tolérances admissibles
Température ambiante	23 °C ^a	± 2 °C
Fréquence	Fréquence assignée	± 0,3 %
Forme d'onde CA	Tensions et courants sinusoïdaux	Facteur de distorsion inférieur à : 2 %
Forme d'onde CC	Tensions et courants CC purs	Ondulation inférieure à 1 %
Tension d'alimentation auxiliaire	Tension d'alimentation auxiliaire assignée	± 5 %
Induction magnétique continue d'origine externe	Égale à zéro	La valeur d'induction doit être inférieure à 0,05 mT
Champs électromagnétiques RF, 30 kHz à 2 GHz	Égale à zéro	< 1 V/m
Perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques, 150 kHz à 80 MHz	Égale à zéro	-
Induction magnétique d'origine externe, à la fréquence de référence	Induction magnétique égale à zéro	La valeur d'induction doit être inférieure à 0,05 mT
^a Si les essais doivent être effectués à une température différente de la température de référence, en considérant les tolérances admissibles, les résultats doivent être corrigés en appliquant le coefficient de température approprié de l'objet.		

4.2.3.4 Limites d'erreur due aux variations des grandeurs d'entrée

Lorsque toutes les fonctions de l'EMF passent les essais de précision tels qu'ils sont détaillés dans l'Article 5, et que les grandeurs d'entrée et le facteur de puissance sont compris dans la gamme donnée dans le Tableau 2, le pourcentage d'erreur ne doit pas excéder les limites données dans le Tableau 2 lorsqu'il est calculé en accord avec 4.2.3.2. Ces limites doivent s'appliquer à la mesure d'énergie dans chaque direction.

Tableau 2 – Limites de pourcentage d'erreur de l'EMF aux conditions de référence

Type de système	Gamme de valeurs d'entrée		PF = Facteur de puissance ou $\sin \varphi^c$	Limite de pourcentage d'erreur, énergie active	Limite de pourcentage d'erreur, énergie réactive
	Valeur de courant ^a	Valeur de tension ^b			
CA	10 % $I_n \leq I \leq$ 120 % I_n	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	0,85 ≤ PF ou $\sin \varphi = 1$ Inductif	1,5	3,0
CC	10 % $I_0 \leq I \leq$ 120 % I_n	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	N/A	2,0	N/A
^a In représente le courant primaire assigné de l'EMF. ^b Les valeurs de $U_{\min 2}$ et $U_{\max 2}$ sont telles qu'elles sont spécifiées dans l'IEC 60850:2014. ^c Le facteur de puissance provient de l'IEC 62313:2009, Tableau 1. L'énergie réactive ne peut pas être mesurée correctement pour un facteur de puissance proche de 1. Par conséquent l'énergie réactive est soumise à essai à $\sin \varphi = 1$.					

Les classes de précision de la VMF, la CMF et l'ECF (qui composent ensemble une EMF) doivent être sélectionnées afin de garantir le respect des exigences de précision de l'EMF détaillées ci-dessus.

4.2.3.5 Conditions de départ

L'EMF doit mesurer l'énergie si le courant primaire est supérieur ou égal à 0,4 % I_n , et si la tension est supérieure ou égale à $U_{\min 2}$.

Si le courant primaire est égal à zéro, aucune énergie ne doit être ajoutée aux registres d'énergie.

4.2.4 Modification du réseau d'alimentation de traction

Lorsqu'il y a un changement de réseaux d'alimentation de traction, l'EMF doit garantir que toutes les consommations sont mesurées.

4.2.5 Revérification

Le fournisseur doit fournir des recommandations à l'acheteur en ce qui concerne toute activité de revérification (essais et surveillance) considérée nécessaire pour s'assurer que l'on puisse s'attendre à ce que les performances métrologiques des fonctions qui composent l'EMF se maintiennent dans la gamme de précision spécifiée pour la durée de vie prévue du dispositif qui intègre ces fonctions.

Les recommandations doivent être accompagnées de documents justificatifs basés sur une justification technique afin d'expliquer les raisons pour lesquelles on peut s'attendre à ce que les performances métrologiques restent dans les limites de précision pendant la durée de vie théorique. Les documents justificatifs doivent également indiquer quels aspects des dispositifs (qui composent l'EMF) sont pertinents dans l'optique de garantir les performances métrologiques pérennes. Le fournisseur doit clairement identifier tous les aspects qui requièrent une intervention planifiée (à savoir des essais de revérification et une surveillance). Le fournisseur doit clairement décrire comment il convient que cette intervention planifiée soit réalisée.

Pour plus d'informations sur la revérification, consulter l'Annexe D.

4.3 Capteurs

4.3.1 Généralités

Les capteurs mesurent la tension primaire et le courant primaire d'entrée au niveau de l'EMF et fournissent une grandeur de sortie (numérique ou analogique) utilisée par la fonction de calcul d'énergie (ECF).

Les capteurs peuvent être autoalimentés (c'est-à-dire qu'ils puisent toute la puissance dont ils ont besoin au niveau de l'entrée du capteur) ou peuvent être alimentés séparément à partir d'une alimentation auxiliaire externe au capteur.

4.3.2 Exigences générales

4.3.2.1 Généralités

Les exigences relatives aux capteurs de tension et de courant peuvent être satisfaites par des dispositifs individuels ou par un dispositif combiné.

Si la technologie des capteurs figure dans l'IEC 61869, ces normes peuvent être appliquées aux capteurs, le cas échéant. Dans l'éventualité où les exigences de l'IEC 61869 seraient en contradiction avec les exigences de l'IEC 62888, cette dernière doit prévaloir.

4.3.2.2 Exigences relatives à l'isolement

4.3.2.2.1 Tenue d'isolement pour les capteurs analogiques passifs

Pour les capteurs analogiques passifs dotés d'un isolement entre l'entrée et la sortie, la tenue d'isolement du côté primaire doit suivre l'IEC 62497-1 et la tension de tenue à fréquence industrielle assignée du signal de sortie vers la terre doit être de 3 kV (valeur efficace), conformément à l'IEC 61869-1 et à l'IEC 61869-2.

Pour les capteurs analogiques passifs dotés d'au moins deux sorties séparées par un isolement, la tension de tenue à fréquence industrielle assignée entre les sections doit être de 3 kV (valeur efficace), conformément à l'IEC 61869-1 et à l'IEC 61869-2.

Si les capteurs analogiques passifs ne sont dotés d'aucun isolement galvanique entre l'entrée et la sortie, la tension de tenue assignée du signal de sortie vers la terre doit être égale à celle appliquée à l'entrée.

4.3.2.2.2 Tenue d'isolement pour les capteurs analogiques électroniques

Pour les capteurs analogiques électroniques dotés de plusieurs circuits basse tension séparés par un isolement galvanique, la tension de tenue à fréquence industrielle assignée entre ces circuits doit être conforme à l'IEC 62497-1, en tenant compte de la tension d'isolement assignée et de la catégorie de surtension.

4.3.2.3 Exigences relatives aux sorties

4.3.2.3.1 Généralités

Les capteurs peuvent avoir trois types de sorties différents: sorties analogiques dédiées, numériques dédiées ou numériques partagées. La sortie doit être compatible avec le dispositif qui prend en charge la fonction de calcul d'énergie. Les exigences relatives à la sécurité du flux de données sont spécifiées dans l'IEC 62888-1:2018, 4.3.5 et doivent être appliquées conformément au type de sortie.

4.3.2.3.2 Exigences relatives aux sorties analogiques dédiées

Un capteur peut avoir plusieurs sorties tant que ces sorties n'influencent pas les sorties utilisées dans le cadre de la fonction de mesure d'énergie.

Si cela a été convenu entre le fournisseur et l'acheteur, l'équipement peut être temporairement connecté à n'importe laquelle des sorties de l'EMF, par exemple pour un contrôle de courte durée, un essai périodique et à des fins d'étalonnage. La conception de ces sorties doit prendre en compte l'effet de telles connexions temporaires afin de s'assurer qu'aucune erreur supplémentaire n'est introduite, par exemple l'effet d'une charge supplémentaire.

4.3.2.3.3 Exigences relatives aux sorties numériques dédiées ou aux sorties numériques partagées

Les exigences relatives aux piles de protocoles de communication et à la sécurité des communications peuvent être consultées dans l'IEC 62888-4:2018, 4.3.4.2, 4.3.4.3 et 4.3.4.4.

4.3.2.3.4 Informations essentielles

En plus des exigences spécifiées dans l'IEC 62888-1:2018, 4.3.1, les informations essentielles suivantes concernant le fonctionnement des capteurs doivent être disponibles dans un document associé:

- a) la classe de précision des capteurs;

- b) le cas échéant: la tension d'alimentation auxiliaire et la forme (par exemple, 230 V, 50 Hz, 110 V, CC), ainsi que la tolérance, la consommation d'énergie maximale et la classe d'interruption de la tension d'alimentation conformément à l'IEC 60571:2012, 5.1.1.2;
- c) schémas principaux (par exemple, schémas globaux, arrangements généraux, etc.) et dessins y compris le numéro de dessin, l'identification de la version et le titre;
- d) les informations d'identification de marquage de borne pour:
 - les connexions primaires et secondaires;
 - le cas échéant, d'autres bornes accessibles, par exemple les points d'essai et de service;
 - le cas échéant, les connexions de tension d'alimentation auxiliaire;
 - le cas échéant, les polarités relatives des connexions et les détails des connecteurs.
- e) l'entrée primaire assignée;
- f) la/les fréquence(s) assignée(s) de l'entrée primaire (par exemple, CC, 16,7 Hz, 50 Hz, 60 Hz);
- g) le cas échéant, la fréquence maximale qui peut être mesurée sans repliement spectral (voir 4.3.3.1.7 et 4.3.4.1.7);
- h) dans le cas de sorties analogiques, les informations relatives au signal de sortie secondaire assigné;
- i) le cas échéant, le facteur k du capteur incluant les unités de mesure;
- j) dans le cas de sorties numériques, le protocole de communication et, le cas échéant, la façon dont la sécurité de la communication est assurée;
- k) toutes les autres valeurs assignées du capteur et les informations de classification (par exemple, valeurs caractéristiques et classifications électriques, mécaniques, relatives à la CEM et environnementales);
- l) le cas échéant, la version de logiciel et les autres informations nécessaires pour le contrôle de la configuration;
- m) les contraintes d'intégration et d'installation.

4.3.3 Capteurs de tension

4.3.3.1 Exigences électriques

4.3.3.1.1 Tension primaire assignée ($U_{n,VMF}$)

La tension primaire assignée de l'entrée du capteur doit être égale à la tension nominale la plus élevée du réseau d'alimentation de traction utilisé avec lequel le capteur est conçu pour fonctionner, sélectionnée d'après les valeurs données en 4.2.2.1.

4.3.3.1.2 Valeurs secondaires assignées pour les capteurs analogiques

Les valeurs secondaires assignées de la sortie du capteur doivent être compatibles avec l'entrée de l'ECF à laquelle la sortie est conçue pour être connectée.

Les valeurs assignées doivent être convenues entre le fournisseur et l'acheteur.

4.3.3.1.3 Signal de sortie secondaire assigné pour les capteurs analogiques

Le signal de sortie assigné, exprimé en tant que tension ou courant, doit être défini, les valeurs préférentielles sont les suivantes:

- a) pour les transformateurs de tension: 100 V, 110 V ou 150 V (CA);
- b) pour les capteurs électroniques avec sortie en tension: 2 V, 4 V ou 10 V (CA ou CC);
- c) pour les capteurs électroniques avec sortie en courant: 20 mA, 50 mA ou 100 mA (CA ou CC).

4.3.3.1.4 Charge de sortie assignée pour les capteurs analogiques

La charge de sortie assignée doit être définie pour être en correspondance avec le circuit d'entrée de l'ECF, les valeurs préférentielles sont les suivantes:

- a) pour une tension secondaire assignée $> 10 \text{ V}$; 1 VA, 2 VA, 4 VA ou 5 VA;
- b) pour une tension secondaire assignée $\leq 10 \text{ V}$; 0,001 VA, 0,01 VA, 0,1 VA ou 0,5 VA;
- c) pour les sorties en courant, la charge est telle que la tension à travers la charge avec une tension d'entrée maximale ne doit pas dépasser 45 V (valeur efficace en CA, ou CC).

4.3.3.1.5 Influence de la surtension d'entrée

Les capteurs ne doivent pas être endommagés par une surtension de $U_{\text{max}3}$ conformément à l'IEC 60850:2014, Tableau A.1. D'autres tensions de $U_{\text{max}3}$ listés dans le tableau A.1 doivent être définies par un accord entre les parties impliquées.

Les capteurs doivent fonctionner correctement lorsqu'ils repassent aux conditions de fonctionnement initiales.

4.3.3.1.6 Temps de réponse ($t_{s,r}$)

Les capteurs pour la mesure en CC doivent présenter un temps de réponse maximal de 10 ms.

Si le capteur de courant continu doit être utilisé dans un système où le contenu énergétique associé à des harmoniques est important, un temps de réponse plus court peut être approprié.

4.3.3.1.7 Exigences relatives à la bande passante pour les capteurs électroniques

Le fournisseur doit fournir une courbe indiquant la variation de performance du capteur en fonction de la variation de fréquence.

Pour un capteur équipé d'une sortie numérique, le fournisseur doit spécifier la fréquence maximale (f_a) qui peut être mesurée sans repliement spectral.

Pour les capteurs équipés d'une sortie numérique, f_a correspond généralement à la moitié de la fréquence d'échantillonnage utilisée.

NOTE Ceci donnera une vue globale des performances en fréquence du capteur.

4.3.3.1.8 Tension de tenue à fréquence industrielle pour les bornes mises à la terre

Toute borne du circuit de mesure du capteur de tension qui est conçue pour être connectée à la terre (de l'unité de traction) et qui est isolée du boîtier métallique ou des autres parties conductrices accessibles, doit résister à une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle selon l'IEC 60571.

4.3.3.2 Tenue aux courts-circuits et protection en cas de défaut pour les capteurs analogiques

L'application d'un court-circuit à la ou les sortie(s) analogique(s) d'un capteur ne doit pas endommager le capteur. La durée du court-circuit doit être la suivante:

- 1 s (pour les capteurs passifs), ou
- 60 s (pour les capteurs électroniques).

Pour les capteurs électroniques, le fournisseur doit indiquer le type de mesure utilisé pour limiter le courant (le cas échéant).

Pour les capteurs électroniques, le fournisseur doit spécifier tout retard temporel entre la suppression du court-circuit et le retour des sorties dans les limites de précision spécifiées. Le retard temporel mesuré ne doit pas dépasser 5 s.

La protection en cas de défaut pour les capteurs électroniques doit être conforme à l'IEC 60571:2012, 7.2.2.

4.3.3.3 Limite d'échauffement

Une classe thermique doit être affectée aux capteurs équipés d'un isolement électrique conformément à l'IEC 60085. Les limites de température admises pour les autres composants doivent être mentionnées par le fournisseur.

Le capteur ne doit pas dépasser ces limites et ne doit pas être endommagé lorsqu'il fonctionne dans les conditions suivantes:

- fonctionnement continu à $U_{\max 2}$ et à la fréquence assignée;
- température ambiante applicable maximale de la classe de température sélectionnée conformément aux exigences environnementales de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- conditions de sortie qui engendrent les températures les plus élevées au niveau du capteur;
- le cas échéant, l'alimentation auxiliaire qui engendre les températures les plus élevées au niveau du capteur;

4.3.3.4 Exigences de précision

Une classe de précision sélectionnée dans le Tableau 3 doit être affectée à la VMF.

Tableau 3 – Limites de pourcentage d'erreur – VMF

Classe de précision	$\pm$ Pourcentage d'erreur (rapport) maximal pour la tension définie dans l'IEC 60850:2014		$\pm$ Déphasage maximal pour la tension définie dans l'IEC 60850:2014	
	ε_{VMF}		VMH CA (min) pour la fréquence assignée	
	$U_{\min 2} \leq U < U_{\min 1}$	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	$U_{\min 2} \leq U < U_{\min 1}$	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$
0,2 R	0,4	0,2	15	10
0,5 R	1,0	0,5	30	20
0,75 R	1,5	0,75	45	30
1,0 R	2,0	1,0	60	40

Pour une unité de traction conçue pour plusieurs réseaux d'alimentation de traction, un capteur de tension unique peut être utilisé s'il satisfait aux exigences de précision définies dans le Tableau 4 pour chaque tension assignée.

Sauf indication contraire, les exigences les exigences de la classe 0,2 R s'appliquent.

4.3.3.5 Effet de la température sur les limites d'erreur

4.3.3.5.1 Limites d'erreur incluant les effets de la variation de la température ambiante

Le pourcentage d'erreur maximal, en tenant compte des effets de la variation de la température, ne doit pas dépasser les valeurs fournies dans le Tableau 4.

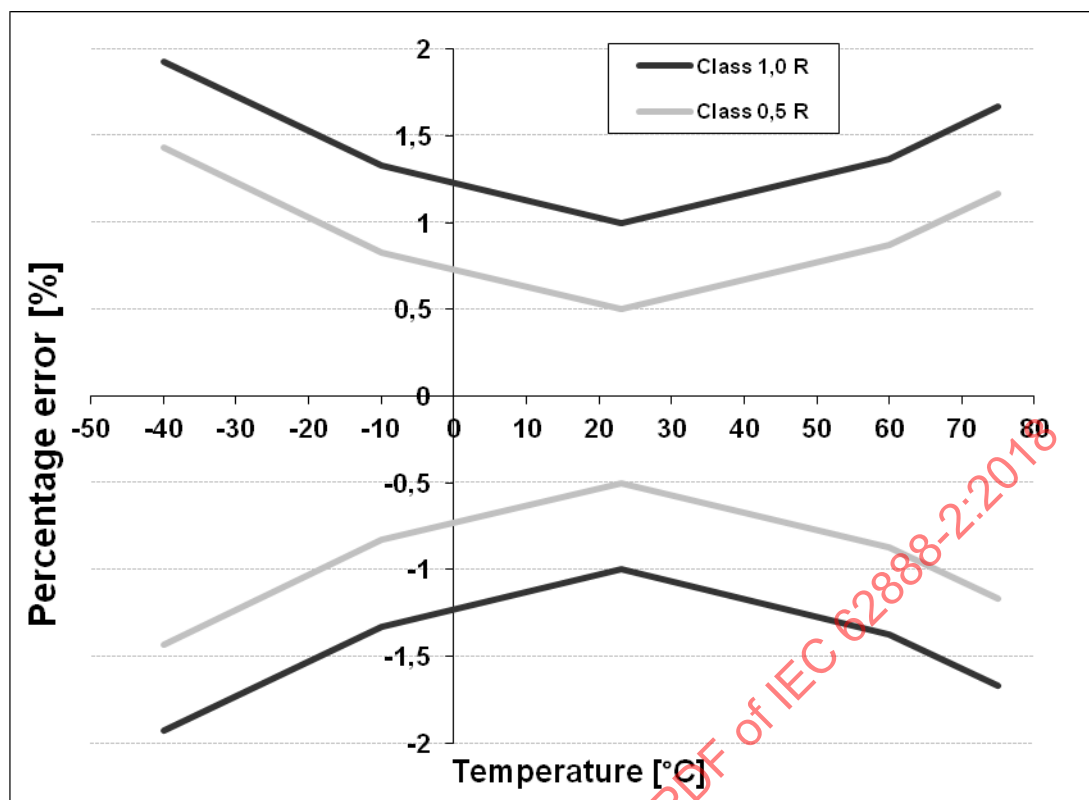
Afin de pouvoir respecter les limites d'erreur maximales spécifiées dans le Tableau 4, l'erreur maximale pour la température de référence d'une VMF associée à une classe donnée peut

être réduite à une valeur inférieure au maximum admis par la classe de précision spécifiée dans le Tableau 3. Si c'est le cas, le fournisseur doit déclarer cette limite d'erreur maximale inférieure pour la température de référence et fournir des preuves afin de démontrer que cette limite inférieure garantit que les limites maximales définies dans le Tableau 4 ne sont pas dépassées.

Tableau 4 – Pourcentage d'erreur maximal pour une VMF en tenant compte de la variation de la température ambiante

Valeur de tension	Type de système	± Limites de pourcentage d'erreur maximal pour une VMF	
		Variation de la température ambiante, gamme principale –10 °C à +60 °C	Variation de la température ambiante, gamme étendue –40 °C à –10 °C et +60 °C à +75 °C
$U_{\min 2} \leq U \leq U_{\max 2}$	CA et CC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
^a ΔT représente la variation de la température en Kelvin entre la température de référence de 23 °C et la température ambiante. ^b Le terme N est le rapport de pourcentage d'erreur admissible maximal permis pour la classe de la VMF comme spécifié dans le Tableau 3. Par exemple, pour une VMF de classe 0,5 R et un signal d'entrée compris dans la gamme $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$, la formule pour la gamme de température principale devient $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ et pour un signal d'entrée compris dans la gamme $U_{\min 2} \leq U \leq U_{\min 1}$, la formule devient $1,0 + (0,01 \times \Delta T)$. ^c ΔT_1 est la différence entre la température ambiante et la température limite de la gamme principale. ^d N_1 est l'erreur limite à la température limite de la gamme principale.			

NOTE Par exemple, les limites de pourcentage d'erreur maximal avec un signal d'entrée compris dans la gamme $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$ pour une VMF de classe 0,5 R et de classe 1,0 R dans la gamme de température conformément au Tableau 4 sont indiquées dans la Figure 4.



Anglais	Français
Percentage error [%]	Pourcentage d'erreur [%]
Class 1,0 R	Classe 1,0 R
Class 0,5 R	Classe 0,5 R
Temperature [°C]	Température [°C]

Figure 4 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une VMF de classe 0,5 R et une VMF de classe 1,0 R avec un signal d'entrée compris dans la gamme $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$

4.3.3.5.2 Coefficient moyen de température d'une VMF

En plus des exigences mentionnées en 4.3.3.5.1, le coefficient moyen de température d'une VMF ne doit pas dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Coefficient de température de la VMF

Classe de précision	± Coefficient moyen de température %/K
	$U_{\min 2} \leq U \leq U_{\max 2}$
0,2 R	0,02
0,5 R	0,025
0,75 R	0,03
1,0 R	0,035

Le pourcentage d'erreur supplémentaire maximal dû à la variation de température spécifiée dans le Tableau 4 et les coefficients de température spécifiés dans le Tableau 5 ne s'appliquent que dans la gamme définie par les limites de température ambiante maximale et minimale du dispositif conformément aux exigences de la classe de température applicable de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.3.3.6 Limites d'erreur supplémentaire due aux grandeurs d'influence

La limite de variation des erreurs dues aux modifications d'une grandeur d'influence par rapport aux conditions de référence, telle qu'indiquée dans le Tableau 1, ne doit pas dépasser les limites de la classe de précision pertinente mentionnées dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Grandeurs d'influence pour les capteurs de tension

Grandeur d'influence	Gamme de mesure spécifiée/points de mesure VMF	Limites du pourcentage d'erreur supplémentaire ou compensation de sortie = N^g
	Valeur de tension ^a	
Variation de la tension d'alimentation conformément à l'IEC 60571:2012, 5.1 ^b	$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	$\pm 0,2 \times N$
Induction magnétique d'origine externe ^c - induction magnétique maximale, telle que spécifiée par le fournisseur	0 V U_n	$\pm N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 0,5 \times N$
Transitoires rapides en salves ^d	0 V ^f ou $U_{\min 1}$	$\pm 0,5 \times N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 0,5 \times N$
Champs électromagnétiques RF ^e	0 V ^f ou $U_{\min 1}$	$\pm 2,0 \times N/100 \times U_{\min 1}$ $\pm 2,0 \times N$
^a U_n représente la tension primaire assignée de l'EMF. ^b Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.6, essais a) et b). ^c Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.8. ^d Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.9, essai c). ^e Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.9, essais d) et e). ^f Si la réaction du capteur est linéaire de 0 à la valeur maximale, l'essai peut être exécuté sans entrée primaire. Si ce n'est pas le cas, l'essai doit être effectué avec $U_{\min 1}$. ^g N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision.		

4.3.4 Capteurs de courant

4.3.4.1 Exigences électriques

4.3.4.1.1 Courant primaire assigné ($I_{n,CMF}$)

L'entrée du courant primaire assigné du capteur doit être égale au courant primaire assigné ($I_{n,EMF}$) de l'EMF.

Il est admis de soumettre à un essai la même CMF pour différents courants primaires assignés ($I_{n,EMF}$), afin de réduire le nombre de types différents de CMF.

4.3.4.1.2 Courant thermique continu assigné ($I_{CMF,cth}$)

Le courant thermique continu assigné doit être égal à au moins 1,2 fois la valeur du courant primaire assigné, sauf accord spécifique entre l'acheteur et le fournisseur.

4.3.4.1.3 Courant thermique assigné de courte durée ($I_{CMF,th}$)

Le courant assigné de courte durée doit être égal au courant maximal en cas de défaut pour le réseau d'alimentation de traction sur lequel le capteur est conçu pour être utilisé comme spécifié dans l'IEC 62313:2009. La durée du courant de courte durée doit être de 0,3 s pour un courant alternatif et de 0,1 s pour un courant continu.

NOTE 1 Les durées se fondent sur l'IEC 62313:2009.

Le capteur de courant doit supporter ce courant sans subir de dommages.

NOTE 2 Ce paragraphe s'applique uniquement aux capteurs de courant à travers lesquels passe le courant de courte durée.

4.3.4.1.4 Courant dynamique assigné ($I_{CMF,dyn}$)

Le courant dynamique assigné doit être au moins égal à 2,5 fois la valeur du courant thermique assigné de courte durée pour les systèmes en CA et à 1,0 fois la valeur du courant thermique assigné de courte durée pour les systèmes en CC, sauf accord spécifique entre l'acheteur et le fournisseur. Le capteur de courant doit supporter ce courant sans subir de dommages.

NOTE Ce paragraphe s'applique uniquement aux capteurs de courant à travers lesquels passe le courant de courte durée.

4.3.4.1.5 Valeurs secondaires assignées

4.3.4.1.5.1 Généralités

Les valeurs secondaires assignées de la sortie du capteur doivent être égales à l'entrée assignée de l'ECF à laquelle la sortie est conçue pour être connectée.

La valeur du signal de sortie secondaire doit être convenue entre l'acheteur et le fournisseur.

4.3.4.1.5.2 Signal de sortie secondaire assigné pour les capteurs analogiques

Le signal de sortie assigné, exprimé en tant que courant ou tension, doit être défini.

Les valeurs préférentielles sont les suivantes:

- a) pour les capteurs avec sortie en courant: 50 mA, 100 mA, 200 mA, 250 mA, 400 mA, 500 mA, 800 mA, 1 A, 2 A ou 5 A.
- b) pour les capteurs avec sortie en tension: 22,5 mV, 150 mV, 200 mV, 225 mV, 4 V ou 10 V.

4.3.4.1.5.3 Puissance de sortie assignée

La puissance de sortie assignée doit être définie.

Pour les capteurs avec sortie en courant analogique, les valeurs préférentielles de sortie assignée sont les suivantes:

0,5 VA, 1 VA, 2 VA, 4 VA ou 5 VA.

4.3.4.1.5.4 Charge assignée

La charge assignée doit être définie.

Pour les capteurs électroniques avec une sortie en tension analogique, les valeurs préférentielles de charge assignée sont les suivantes:

2 k Ω , 10 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω ou 2 M Ω .

4.3.4.1.5.5 Caractéristiques des sorties numériques

Pour les capteurs dotés d'une sortie numérique, les valeurs indiquées dans l'IEC 60044-8:2002, 5.3 peuvent être utilisées.

4.3.4.1.6 Temps de réponse ($t_{s,r}$)

Les capteurs pour la mesure en courant continu doivent présenter un temps de réponse maximal de 10 ms.

Si le capteur de courant continu doit être utilisé dans un système où le contenu énergétique associé à des harmoniques est important, un temps de réponse plus court est défini par un accord entre les parties impliquées.

4.3.4.1.7 Exigences relatives à la bande passante pour les capteurs électroniques

Le fournisseur doit fournir une courbe indiquant la variation de performance du capteur en fonction de la variation de fréquence.

NOTE Cela apporte une vue d'ensemble des performances en termes de fréquence du capteur.

Pour un capteur équipé d'une sortie numérique, le fournisseur doit spécifier la fréquence maximale (f_a) qui peut être mesurée sans repliement spectral.

Pour les capteurs équipés d'une sortie numérique, f_a correspond généralement à la moitié de la fréquence d'échantillonnage utilisée.

4.3.4.2 Limite d'échauffement

Une classe thermique doit être affectée aux capteurs équipés d'un isolement électrique conformément à l'IEC 60085. Les limites de température admises pour les autres composants du capteur doivent être mentionnées par le fournisseur.

Le capteur ne doit pas dépasser ces limites et ne doit pas être endommagé lorsqu'il fonctionne dans les conditions suivantes:

- fonctionnement continu avec le courant thermique assigné et la fréquence assignée;
- température ambiante applicable maximale de la classe de température sélectionnée conformément aux exigences environnementales de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- connexions du circuit de sortie qui engendrent les températures les plus élevées au niveau du capteur;
- le cas échéant, l'alimentation auxiliaire qui engendre les températures les plus élevées au niveau du capteur.

4.3.4.3 Exigences de précision

Une classe de précision sélectionnée dans le Tableau 7 ou le Tableau 8 doit être affectée à la CMF.

Lorsque le capteur mesure un courant en CA et en CC, une classe de précision différente pour le CA et le CC est permise.

Le Tableau 7 doit être utilisé pour les capteurs de courant alternatif:

**Tableau 7 – Limites du pourcentage d'erreur –
CMF courant alternatif**

Classe de précision	$\pm$ Pourcentage d'erreur (rapport) de courant maximal pour le pourcentage de courant assigné indiqué ci-après, CMF CA			$\pm$ Déphasage maximal pour le pourcentage de courant assigné indiqué ci-après, CMF CA		
	ϵ_{CMF}			CMF CA (min) pour la fréquence assignée		
	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
0,2 R	1,0	0,4	0,2	20	15	10
0,5 R	2,5	1,0	0,5	60	45	30
0,75 R	3,8	1,5	0,75	90	68	45
1,0 R	5,0	2,0	1,0	120	90	60

Le Tableau 8 doit être utilisé pour les capteurs de courant continu:

**Tableau 8 – Limites de pourcentage d'erreur –
CMF courant continu**

Classe de précision	$\pm$ Pourcentage d'erreur (rapport) de courant maximal pour le pourcentage de courant assigné indiqué ci-après, CMF CC		
	ϵ_{CMF}		
	$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
0,2 R	2,0	0,4	0,2
0,5 R	5,0	1,0	0,5
0,75 R	7,5	1,5	0,75
1,0 R	10,0	2,0	1,0

4.3.4.4 Effet de la température sur les limites d'erreur

4.3.4.4.1 Limites d'erreur incluant les effets de la variation de la température ambiante

Le pourcentage d'erreur maximal, en tenant compte des effets de la variation de la température ambiante, ne doit pas dépasser les valeurs fournies dans le Tableau 9.

Afin de pouvoir respecter les limites d'erreur maximales spécifiées dans le Tableau 9, l'erreur maximale pour la température de référence d'une CMF associée à une classe donnée peut être réduite à une valeur inférieure à l'erreur maximale admise par la classe de précision spécifiée dans le Tableau 7 (pour une CMF en CA ou dans le Tableau 8 (pour une CMF en CC). Si c'est le cas, le fournisseur doit déclarer cette limite d'erreur maximale inférieure pour la température de référence et fournir des preuves afin de démontrer que cette limite inférieure garantit que les limites maximales définies dans le Tableau 9 ne sont pas dépassées.

Tableau 9 – Pourcentage d'erreur maximal pour une CMF en tenant compte de la variation de la température ambiante

Valeur de courant	Type de système	± Limites de pourcentage d'erreur maximal pour une CMF	
		Variation de la température ambiante, gamme principale -10 °C à +60 °C	Variation de la température ambiante, gamme étendue -40 °C à -10 °C et +60 °C à +75 °C
$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	CA et CC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
$5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$	CA et CC	$N^b + (0,02 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,04 \times \Delta T_1^c)$
$1 \% I_n \leq I < 5 \% I_n$	CA et CC	$N^b + (0,1 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,2 \times \Delta T_1^c)$

^a ΔT représente la variation de la température en Kelvin entre la température de référence de 23 °C et la température ambiante.

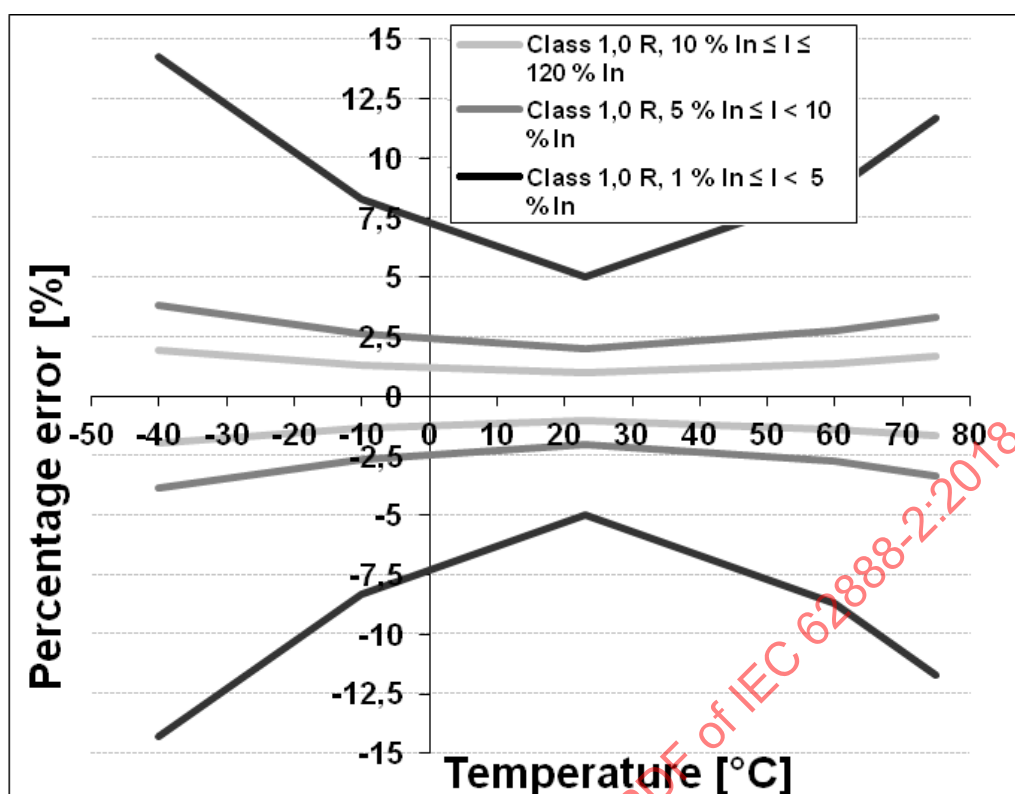
^b Le terme N est le rapport de pourcentage d'erreur admissible maximal permis pour la classe de la CMF comme spécifié dans le Tableau 7 pour une CMF en CA et dans le Tableau 8 pour une CMF en CC .

^c ΔT_1 est la différence entre la température ambiante et la température limite de la gamme principale.

^d N_1 est l'erreur limite à la température limite de la gamme principale.

Par exemple, pour une CMF de classe 0,5 R et un signal d'entrée compris dans la gamme $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$, la formule pour la gamme de température principale devient $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ et pour un signal d'entrée compris dans la gamme $5 \% I_n \leq I < 10 \% I_n$, la formule devient $1,0 + (0,02 \times \Delta T)$.

NOTE Par exemple, les limites de pourcentage d'erreur maximal avec un signal d'entrée compris dans les trois gammes de courant d'entrée pour une CMF de classe 1,0 R en CC dans la gamme de température conformément au Tableau 9 sont indiquées dans la Figure 5.



Anglais	Français
Percentage error [%]	Pourcentage d'erreur [%]
Class 1,0 R 10 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	Classe 1,0 R 10 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
Class 1,0 R 5 % $I_n \leq I < 10 \% I_n$	Classe 1,0 R 5 % $I_n \leq I < 10 \% I_n$
Temperature [°C]	Température [°C]

Figure 5 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une CMF de classe 1,0 R en CA avec des signaux d'entrée compris dans la gamme 10 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$, 5 % $I_n \leq I < 10 \% I_n$ et 1 % $I_n \leq I < 5 \% I_n$

4.3.4.4.2 Coefficient moyen de température d'une CMF

En plus de 4.3.4.4.1, le coefficient de température maximale d'une CMF est spécifié dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Coefficient de température d'une CMF

Classe de précision	± Coefficient moyen de température		
	% / K		
	1 % $I_n \leq I < 5 \% I_n$	5 % $I_n \leq I < 10 \% I_n$	10 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$
0,2 R	0,175	0,04	0,02
0,5 R	0,2	0,05	0,025
0,75 R	0,225	0,06	0,03
1,0 R	0,25	0,07	0,035

Le pourcentage d'erreur supplémentaire maximal dû à la variation de température spécifiée dans le Tableau 9 et les coefficients de température spécifiés dans le Tableau 10 ne s'appliquent que dans la gamme définie par les limites de température ambiante maximale et minimale du dispositif conformément aux exigences de la classe de température applicable de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.3.4.5 Limites d'erreur en présence d'harmoniques

Le pourcentage d'erreur maximal d'un capteur de courant alternatif en présence d'harmoniques ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées dans le Tableau 11, mesurées à 10 % de la valeur du courant primaire assigné pour des harmoniques de la deuxième à la cinquième et 5 % de la valeur nominale pour des harmoniques de la sixième et supérieures.

Tableau 11 – Limites du pourcentage d'erreur en présence d'harmoniques – capteur de courant alternatif

Classe de précision	± Pourcentage d'erreur (rapport) de courant maximal au niveau des harmoniques indiqués ci-après				± Déphasage maximal (degrés) au niveau des harmoniques indiqués ci-après			
	2 ^{ème} à 4 ^{ème} harmonique	5 ^{ème} à 6 ^{ème} harmonique	7 ^{ème} à 9 ^{ème} harmonique	10 ^{ème} à 13 ^{ème} harmonique	2 ^{ème} à 4 ^{ème} harmonique	5 ^{ème} à 6 ^{ème} harmonique	7 ^{ème} à 9 ^{ème} harmonique	10 ^{ème} à 13 ^{ème} harmonique
0,2 R	2	4	8	16	1	2	4	8
0,5 R	5	10	20	20	2	4	8	16
0,75 R	7,5	15	20	20	5	10	20	20
1,0 R	10	20	20	20	10	20	20	20

4.3.4.6 Limites d'erreur supplémentaire due aux grandeurs d'influence

La limite de variation d'erreur due à la modification d'une grandeur d'influence par rapport aux conditions de référence, telle qu'indiquée dans le Tableau 1, ne doit pas dépasser les limites de la classe de précision pertinente mentionnées dans le Tableau 12.

Le capteur de courant doit être soumis à un essai conformément à 5.4.3.

Tableau 12 – Grandeurs d'influence pour les capteurs de courant

Grandeur d'influence	Gamme de mesure spécifiée/points de mesure CMF	Limites du pourcentage d'erreur supplémentaire ou compensation de sortie pour un capteur de précision N^g
	Valeur de courant ^a	
Variations de la tension d'alimentation conformément à l'IEC 60571:2012, 5.1. ^b	$10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	$\pm 0,2 \times N$
Induction magnétique d'origine externe ^c – induction magnétique maximale appropriée, telle que spécifiée par le fournisseur	0 A, I_n	$\pm 0,004 \times I_n$ $\pm 0,5 \times N$
Transitoires rapides en salves ^d	0 A ^f ou $10 \% I_n$	$\pm 0,5 \times N/100 \times (0,1 I_n)$ $\pm 0,5 \times N$
Champs électromagnétiques RF ^e	0 A ^f ou $10 \% I_n$	$\pm 2,0 \times N/100 \times (0,1 I_n)$ $\pm 2,0 \times N$
^a I_n représente le courant primaire assigné de l'EMF. ^b Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.6, essais a) et b). ^c Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.8. ^d Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.9, essai c). ^e Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.3.9, essais d) et e). ^f Si la réaction du capteur est linéaire de 0 à la valeur maximale, l'essai peut être exécuté sans entrée primaire. Si ce n'est pas le cas, l'essai doit être effectué avec $10 \% I_n$. ^g N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision.		

4.4 Fonction de calcul d'énergie (ECF)

4.4.1 Généralités

L'ECF calcule des valeurs d'énergie à partir des signaux de sortie des capteurs de courant et de tension.

Sauf mention contraire, les valeurs de courant et de tension mentionnées en 4.4 sont les valeurs d'entrée primaires de l'EMF. Les signaux d'entrée correspondant à ces valeurs primaires doivent être utilisés comme entrées de l'ECF.

4.4.2 Exigences générales

4.4.2.1 Calcul des données énergétiques

L'ECF reçoit les sorties provenant de la VMF et de la CMF et doit calculer les valeurs suivantes qui combinées constituent les données énergétiques:

- énergie active consommée;
- énergie active régénérée;
- énergie réactive consommée, si l'ECF est prévue pour traiter un courant alternatif;
- énergie réactive régénérée, si l'ECF est prévue pour traiter un courant alternatif;

Les données énergétiques doivent être exprimées sous la forme de valeurs primaires ou secondaires si un facteur k est nécessaire pour calculer les valeurs primaires. Cette transformation des valeurs secondaires en valeurs primaires peut être effectuée dans l'EMF ou le DHS.

Si une EMF est configurée pour utiliser plusieurs VMF et/ou CMF (voir Annexe B), seules les lectures basées sur des valeurs primaires doivent être transférées au DHS.

L'ECF doit produire et transférer des données énergétiques sous forme de valeurs delta et/ou valeurs indice.

Les valeurs énergétiques doivent être exprimées en watt-heure / var-heure ou leurs multiples décimaux.

4.4.2.2 Facteur k

Si une multiplication par un facteur k est exécutée dans l'ECF, alors le facteur k doit être consigné dans un registre ECF non volatil et doit être accessible sous accès contrôlé.

Toute modification du facteur k utilisé doit être consignée dans l'ECF et signalée au DHS.

4.4.2.3 Registres de l'ECF

Les registres pour le stockage des données énergétiques et des drapeaux doivent être fournis par l'ECF.

Le registre doit retenir les dernières données énergétiques calculées et les drapeaux associés, au minimum.

Les données énergétiques doivent être disponibles à des fins d'essais. Il est nécessaire de prévoir une résolution suffisante pour pouvoir soumettre à des essais la précision de l'ECF avec des niveaux de charge faibles.

D'autres données peuvent être enregistrées tant qu'elles n'interfèrent pas avec le traitement des données énergétiques ou des drapeaux obligatoires.

4.4.2.4 Dépassement de valeur indice

Lorsque l'ECF produit des données énergétiques sous forme de valeurs indice, aucun registre contenant des données énergétiques de type valeur indice d'énergie ne doit présenter un dépassement de valeur indice plus d'une fois tous les 60 jours de fonctionnement.

NOTE La période de 60 jours mentionnée ci-avant est associée aux exigences de stockage des données de mesure d'énergie complètes (CEMD) à bord, comme défini dans l'IEC 62888-3.

4.4.2.5 Informations essentielles

En plus des exigences fournies dans l'IEC 62888-1:2018, 4.3.1, les informations essentielles suivantes concernant le fonctionnement de l'ECF doivent être disponibles dans un document joint:

- a) la classe de précision de l'ECF conformément à 4.4.4;
- b) le cas échéant: la tension d'alimentation auxiliaire et la forme (par exemple, 110 V, CC), ainsi que la tolérance, la consommation d'énergie maximale et la classe d'interruption de la tension d'alimentation auxiliaire conformément à l'IEC 60571:2012, 5.1.1.2;
- c) entrée de mesure de courant (par exemple, 1 A CA 50 Hz ou protocole de communication pour les signaux numériques);
- d) entrée de mesure de tension (par exemple, 110 V CA 50 Hz ou protocole de communication pour les signaux numériques);
- e) la/les fréquence(s) assignée(s) de l'ECF (par exemple, CC et 50 Hz);
- f) schémas principaux de l'ECF (par exemple, schémas globaux, arrangements généraux, etc.) et dessins y compris le numéro de dessin, l'identification de la version et le titre;

- g) si applicable: la version de logiciel et les autres informations nécessaires pour le contrôle de la configuration;
- h) les spécifications des interfaces;
- i) toutes les informations nécessaires pour identifier les données de sortie et les drapeaux associés;
- j) les arrangements d'échange des données;
- k) les contraintes d'intégration et d'installation.

4.4.2.6 Drapeaux

L'ECF doit être capable de produire et de transmettre au DHS les types de drapeaux suivants:

- le statut opérationnel de l'ECF;
- la qualité des données;
- la modification de la configuration;

et le cas échéant

- dépassement de valeur indice de l'ECF, si requis par le DHS;
- le numéro d'identification de l'ECF (voir Article B.6);
- modification du réseau d'alimentation de traction.

Il convient que tous les drapeaux de qualité des données reçus des capteurs soient transmis au DHS par l'ECF.

Il est nécessaire que les drapeaux de qualité des données générés dans une ECF soient compatibles avec les exigences relatives aux drapeaux de l'IEC 62888-3.

NOTE Le changement de configuration inclut les modifications du facteur k , du logiciel ou d'autres parties essentielles aux performances métrologiques.

4.4.3 Exigences électriques

4.4.3.1 Entrée de mesure analogique vers l'ECF

4.4.3.1.1 Généralités

L'entrée de l'ECF doit être compatible avec la sortie des capteurs à laquelle elle est prévue être connectée.

4.4.3.1.2 Entrées de tension

Pour une ECF en CA, la consommation d'énergie de chaque entrée de tension ne doit pas dépasser 4,0 VA.

Pour une ECF en CC, la résistance minimale de chaque entrée de tension doit être supérieure à ou égale à 2 k Ω .

4.4.3.1.3 Entrées de courant

Pour une ECF en CA, la consommation d'énergie de chaque entrée de courant ne doit pas dépasser 4,0 VA.

Pour une ECF en CC la résistance maximale de chaque entrée de courant $R_{\max}$ ne doit pas être supérieure à:

$$R_{\max} = \frac{5 V}{I_{n,ECF}}$$

où

$I_{n,ECF}$ représente le courant assigné de l'entrée de courant (A).

4.4.3.2 Influence de la tension d'entrée

4.4.3.2.1 Gamme de tension sur la ligne de contact

La variation de la tension d'entrée de l'ECF doit correspondre à la gamme de tension comprise entre $U_{\min 2}$ et $U_{\max 2}$ conformément à l'IEC 60850:2014.

4.4.3.2.2 Variations de tension et interruptions brèves de la ligne de contact

Les variations de tension et les interruptions brèves dans les circuits de tension ne doivent pas produire de modification supérieure à x dans le registre.

(Voir l'IEC 60850:2014, 4.1 d) et g))

La valeur x est déterminée par la formule suivante:

$$X = N \times U_{n,EMF} \times I_{n,EMF} \times 10^{-6}$$

où

X est le changement dans le registre

N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision;

$U_{n,EMF}$ représente la tension assignée de l'EMF (V). Tension primaire si les données énergétiques sont calculées par rapport à des valeurs primaires; tension secondaire si les données énergétiques sont calculées par rapport à des valeurs secondaires;

$I_{n,EMF}$ représente le courant assigné de l'EMF (A). Courant primaire si les données énergétiques sont calculées par rapport à des valeurs primaires; courant secondaire si les données énergétiques sont calculées par rapport à des valeurs secondaires;

Une fois la tension rétablie, l'ECF ne doit pas avoir subi de dégradation de ses caractéristiques métrologiques. Pour les essais, voir 5.4.4.2.1.2.

NOTE La variation de tension et l'interruption brève de l'alimentation auxiliaire sont définies selon l'IEC 60571:2012, 5.1.1.

4.4.3.3 Influence des surintensités de courte durée

L'entrée de courant analogique de l'ECF doit supporter, sans être détériorée, des signaux d'entrée provenant du capteur de courant dans les conditions suivantes:

- l'entrée du capteur est le courant thermique assigné de courte durée conformément à 4.3.4.1.3;
- l'entrée du capteur est le courant dynamique assigné conformément à 4.3.4.1.4;
- surintensité de courte durée à l'entrée du capteur.

Dans le cas des surintensités de courte durée, l'ECF doit pouvoir supporter pendant 0,5 s un signal d'entrée équivalent à 20 fois le courant primaire assigné ou le signal de sortie maximal du capteur s'il est limité.

L'ECF doit fonctionner correctement quand elle retrouve ses conditions de fonctionnement initiales et la variation d'erreur ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 13. Pour les essais, voir 5.4.4.2.1.3.

Tableau 13 – Variations dues à des surintensités de courte durée

Valeur de tension	Valeur de courant	Facteur de puissance ou $\sin \varphi$	Limites de variations en pourcentage d'erreur pour une ECF de précision N^a
U_n	I_n	1	$0,1 \times N$

^a N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision.

4.4.3.4 Influence de l'échauffement propre

La variation de l'erreur due à l'échauffement propre ne doit pas dépasser les valeurs figurant dans le Tableau 14. Pour les essais, voir 5.4.4.2.1.4.

Tableau 14 – Variations dues à l'échauffement propre

Valeur de courant	Facteur de puissance ou $\sin \varphi$	Limites de variations en pourcentage d'erreur pour une ECF de précision N^a
$120 \% I_n$	PF = 1 ou CC	$0,4 \times N$
	PF = 0,85 inductif	$0,5 \times N$
	$\sin \varphi = 1$	$0,5 \times N$

^a N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision.

4.4.3.5 Limite d'échauffement

Une classe thermique doit être affectée à une ECF équipée d'un isolement électrique conformément à l'IEC 60085. Les limites de température admises pour les autres composants de l'ECF doivent être mentionnées par le fournisseur.

L'ECF ne doit pas dépasser ces limites et ne doit pas être endommagée lorsqu'elle fonctionne dans les conditions suivantes:

- lorsque les signaux d'entrée correspondent à la tension non-permanente la plus élevée $U_{\max 2}$ et au courant thermique continu assigné $I_{\text{CMF,cth}}$ du capteur de courant;
- température ambiante applicable maximale de la classe de température sélectionnée conformément aux exigences environnementales de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2;
- le cas échéant, la source d'alimentation auxiliaire qui engendre l'échauffement le plus élevé au niveau de l'ECF.

4.4.3.6 Entrée numérique d'une VMF/CMF

Un exemple de mise en œuvre est donné en Annexe B (informative) de l'IEC 62888-4:2018.

4.4.4 Exigences de précision**4.4.4.1 Généralités**

Une classe de précision doit être affectée à l'ECF conformément au Tableau 15.

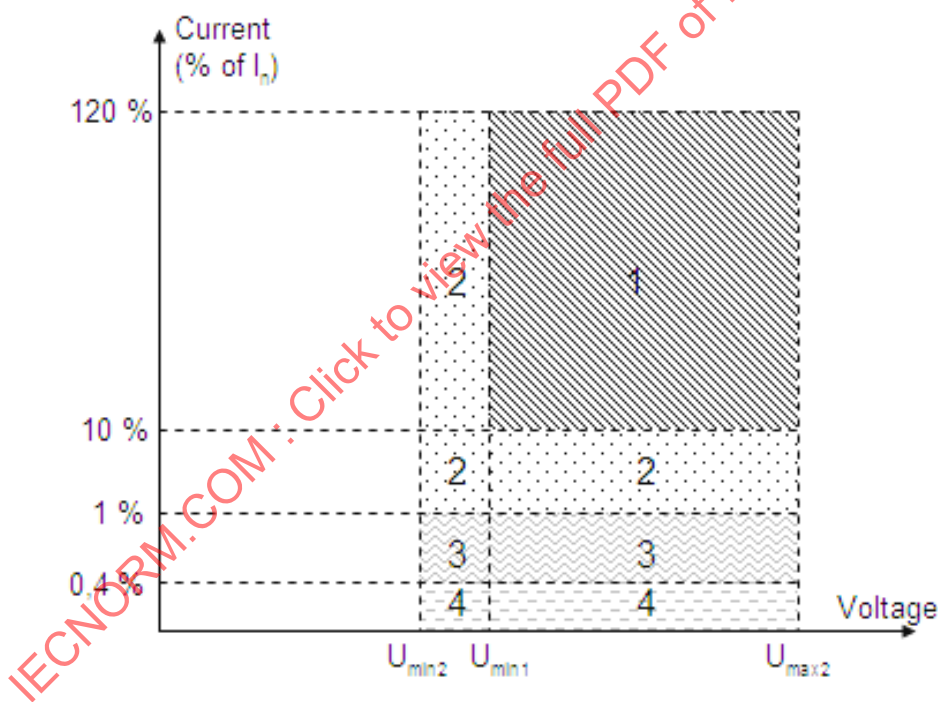
4.4.4.2 Limites du pourcentage d'erreur pour la mesure d'énergie active

Le Tableau 15 spécifie les limites du pourcentage d'erreur pour la mesure d'énergie active dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

Tableau 15 – Limites du pourcentage d'erreur de l'ECF pour l'énergie active

Classe de précision	± Pourcentage d'erreur (rapport) maximal (ε_{ECF}) pour le pourcentage de courant assigné indiqué ci-après et pour la tension définie dans l'IEC 60850:2014				
	Zone 1 $10\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$ et $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$	Zone 2 $(1\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$ et $U_{min2} \leq U < U_{min1}$) ou $(1\% I_n \leq I \leq 10\% I_n$ et $U_{min1} \leq U < U_{max2})$	Zone 3 $0,4\% I_n \leq I < 1\% I_n$ et $U_{min2} \leq U \leq U_{max2}$	Area 4 $0\% I_n < I < 0,4\% I_n$ et $U_{min2} \leq U \leq U_{max2}$	$I = 0\% I_n$ ($I = 0 A$)
	0,85 ≤ PF				
0,2 R	0,2	0,4	Mesure d'énergie requise; pas d'exigences de précision	Si l'énergie est mesurée, pas d'exigences de précision	Pas de mesure d'énergie requise
0,5 R	0,5	1,0			
0,75 R	0,75	1,5			
1,0 R	1,0	2,0			

Les zones 1, 2, 3 et 4 pour le courant primaire et la tension primaire énumérées dans le Tableau 15 sont indiquées sur la Figure 6.



Anglais	Français
Current (% of I_n)	Courant (% de I_n)
U_{min2}	U_{min2}
U_{min1}	U_{min1}
U_{max2}	U_{max2}
Voltage	Tension

NOTE 1 I_n représente le courant primaire assigné (I_n , EMF) de l'EMF.

NOTE 2 Les valeurs de U_{min2} , U_{min1} et U_{max2} sont telles qu'elles sont spécifiées dans l'IEC 60850:2014.

Figure 6 – Courant primaire et gammes de tension

Les exigences de précision relatives à l'énergie active régénérée sont identiques à celles de l'énergie active consommée.

4.4.4.3 Limites de pourcentage d'erreur pour la mesure d'énergie réactive

Les limites du pourcentage d'erreur pour la mesure de l'énergie réactive pour $\sin \varphi = 1$ sont équivalentes au double de celles indiquées dans le Tableau 15 pour l'énergie active.

Les exigences de précision relatives à l'énergie réactive régénérée sont identiques à celles de l'énergie réactive consommée.

4.4.5 Effet de la température sur les limites d'erreur

4.4.5.1 Limites d'erreur incluant les effets de la variation de la température ambiante

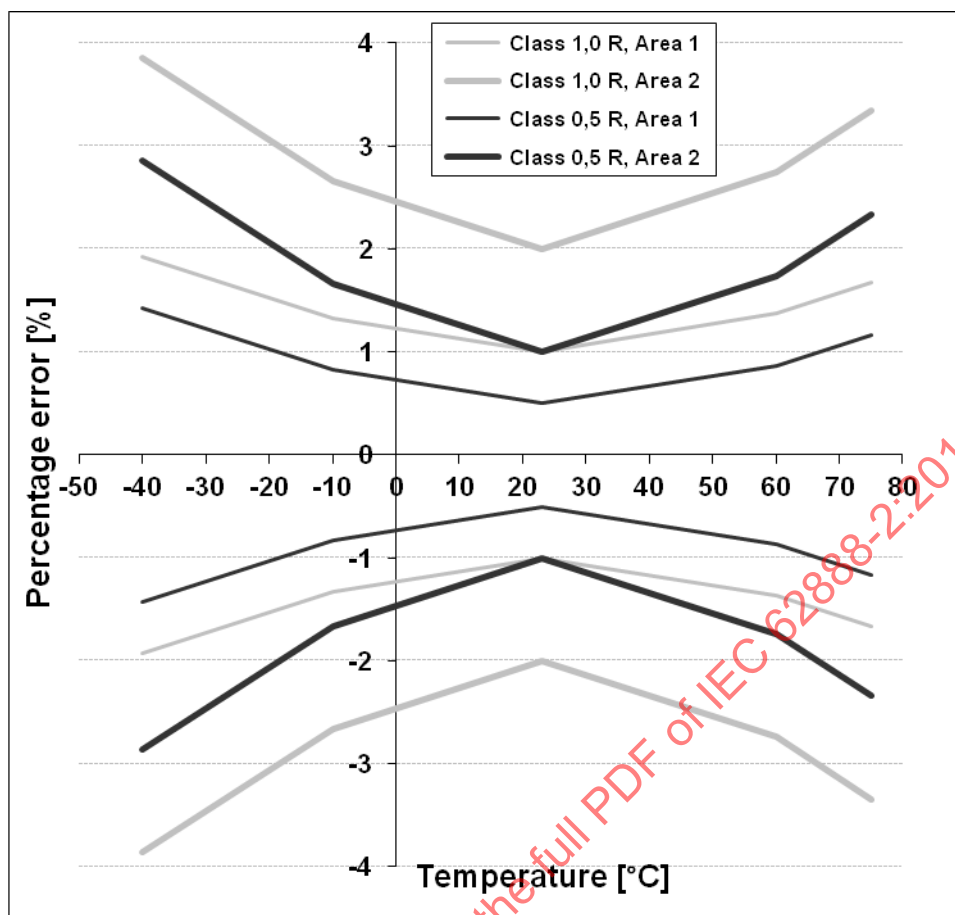
Le pourcentage d'erreur maximal, en tenant compte des effets de la variation de la température ambiante, ne doit pas dépasser les valeurs fournies dans le Tableau 16.

Afin de pouvoir respecter les limites d'erreur maximales spécifiées dans le Tableau 16, l'erreur maximale pour la température de référence d'une ECF associée à une classe donnée peut être réduite à une valeur inférieure au maximum admis par la classe de précision spécifiée dans le Tableau 15. Si c'est le cas, le fournisseur doit déclarer cette limite d'erreur maximale inférieure pour la température de référence et fournir des preuves afin de démontrer que cette limite inférieure garantit que les limites maximales définies dans le Tableau 16 ne sont pas dépassées.

Tableau 16 – Pourcentage d'erreur maximal pour une ECF en tenant compte de la variation de la température ambiante

Valeur de courant Valeur de tension	Type de système	± Limites de pourcentage d'erreur maximal pour une ECF	
		Variation de la température ambiante, gamme principale –10 °C à +60 °C	Variation de la température ambiante, gamme étendue –40 °C à –10 °C et +60 °C à +75 °C
Zone 1 $10 \% I_n \leq I \leq 120 \% I_n$ et $U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2}$	CA et CC	$N^b + (0,01 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,02 \times \Delta T_1^c)$
Zone 2 $(1\% I_n \leq I < 10\% I_n \text{ and } U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 2})$ or $(1\% I_n \leq I \leq 120\% I_n \text{ et } U_{\min 2} \leq U < U_{\min 1})$	CA et CC	$N^b + (0,02 \times \Delta T^a)$	$N_1^d + (0,04 \times \Delta T_1^c)$
^a ΔT représente la variation de la température en Kelvin entre la température de référence de 23 °C et la température ambiante. ^b Le terme N est le rapport de pourcentage d'erreur admissible maximal permis pour la classe de la ECF comme spécifié dans le Tableau 3. ^c ΔT_1 est la différence entre la température ambiante et la température limite de la gamme principale. ^d N_1 est l'erreur limite à la température limite de la gamme principale permise pour la classe ECF comme spécifié dans le Tableau 3. Par exemple, pour une ECF de classe 0,5 R et des signaux d'entrée conformes à la Zone 1, la formule pour la gamme de température principale devient $0,5 + (0,01 \times \Delta T)$ et pour un signal d'entrée conforme à la Zone 2, la formule devient $1,0 + (0,02 \times \Delta T)$			

NOTE Par exemple, les limites de pourcentage d'erreur maximal d'une ECF de classe 0,5 R et de classe 1,0 R dans la gamme de température en en fonction de la valeur de tension et de courant conformément au Tableau 16 sont indiquées dans la Figure 7.



Anglais	Français
Percentage error [%]	Pourcentage d'erreur [%]
Class 1,0 R Area 1	Classe 1,0 R Zone 1
Class 1,0 R Area 2	Classe 1,0 R Zone 2
Class 0,5 R Area 1	Classe 0,5 R Zone 1
Class 0,5 R Area 2	Classe 0,5 R Zone 2
Temperature [°C]	Température [°C]

Figure 7 – Exemple de pourcentage d'erreur maximal pour une ECF de classe 0,5 R et une ECF de classe 1,0 R avec des signaux d'entrée compris dans la Zone 1 et la Zone 2

4.4.5.2 Coefficient moyen de température d'une ECF

En plus des exigences mentionnées en 4.4.5.1, le coefficient moyen de température d'une ECF ne doit pas dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 17.

Tableau 17 – Coefficient de température pour l'ECF

Classe de précision	± Coefficient moyen de température de l'ECF	
	%/K	
	Zone 2 $(1\% I_n \leq I < 10\% I_n \text{ and } U_{\min1} \leq U \leq U_{\max2})$ ou $(1\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$ et $U_{\min2} \leq U < U_{\min1})$	Zone 1 $10\% I_n \leq I \leq 120\% I_n$ et $U_{\min1} \leq U \leq U_{\max2}$
0,2 R	0,04	0,02
0,5 R	0,05	0,025
0,75 R	0,06	0,03
1,0 R	0,07	0,035

Le pourcentage d'erreur supplémentaire maximal dû à la variation de température spécifiée dans le Tableau 16 et les coefficients de température spécifiés dans le Tableau 17 ne s'appliquent que dans la gamme définie par les limites de température ambiante maximale et minimale du dispositif conformément aux exigences de la classe de température applicable de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.2.

4.4.6 Limites d'erreur supplémentaire due aux grandeurs d'influence

4.4.6.1 Généralités

La limite de variation des erreurs dues aux modifications d'une grandeur d'influence par rapport aux conditions de référence, telle qu'indiquée dans le Tableau 1, ne doit pas dépasser les limites de la classe de précision pertinente mentionnées dans le Tableau 18.

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.4. Les essais doivent être exécutés à la tension assignée U_n .

Tableau 18 – Grandeurs d'influence pour l'ECF

Grandeur d'influence	Gamme de mesure spécifiée	Fonction d'influence de phase		Limites de pourcentage d'erreur supplémentaire pour une ECF de précision N ^j	
	Valeur de courant ^a	Facteur de puissance	sin φ inductif ou capacitif	Pour énergie active	Pour énergie réactive
Variations de la tension d'alimentation conformément à l'IEC 60571:2012, 5.1.	1 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	1	1	$\pm 0,4 \times N$	$\pm 0,8 \times N$
Variation de fréquence 16,7 Hz: +2 %, -3 % ^{b c} 50 Hz: +2 %, -2 % ^{b c} conformément à l'IEC 60850:2014, 4.2	1 % $I_n \leq I \leq 120 \% I_n$	1	1	$\pm 0,4 \times N$	$\pm 0,8 \times N$
Composants harmoniques dans les circuits de courant et de tension ^d	50 % I_n	1	–	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Harmoniques impairs dans le circuit de courant ^{b e}	50 % I_n	1	1	$\pm 1,5 \times N$	$\pm 3,0 \times N$
Sous-harmoniques dans le circuit de courant ^{b e}	50 % I_n	1	1	$\pm 1,5 \times N$	$\pm 3,0 \times N$
Induction magnétique continue d'origine externe ^{b f i} – champ CC avec 0,5 mT	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Induction magnétique d'origine externe ^{g i} – 2 mT pour une ECF à monter très près de champs magnétiques élevés (B > 0,5 mT) – 0,5 mT pour une ECF à monter dans un environnement magnétique moins sévère (B ≤ 0,5 mT)	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$
Champs électromagnétiques RF ^h	I_n	1	1	$\pm 1,0 \times N$	$\pm 2,0 \times N$

^a I_n représente le courant primaire assigné de l'EMF.

^b Cet essai ne s'applique pas aux ECF en cas de mesure de CC

^c Dans la pratique, la variation de la fréquence est contrôlée plus précisément en Europe que les variations de fréquence maximales mentionnées dans l'IEC 60850:2014, 4.2. Les unités de traction fonctionnent uniquement dans les tolérances de fréquence pour la gamme 15 kV/16,7 Hz de 16,17 Hz à 17 Hz et pour la gamme 25 kV/50 Hz de 49 Hz à 51 Hz. Si la fréquence ne s'inscrit pas dans cet intervalle, les performances de l'unité de traction peuvent être réduites ou les chaînes de traction sont déconnectées.

^d Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.4.4.4.

^e Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.4.4.5.

^f Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.4.4.6.

^g Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.4.4.7.

^h Les conditions d'essai sont spécifiées en 5.4.4.5.4.

ⁱ Les essais d'induction magnétique pour les capteurs et l'ECF sont différents, en raison de différences technologiques.

^j N représente la partie numérique de la désignation de la classe de précision.

4.4.6.2 Induction magnétique

Lors des essais relatifs à l'induction magnétique d'origine externe, les conditions les moins favorables de phase et de direction ne doivent pas causer une variation du pourcentage d'erreur de l'ECF dépassant les valeurs indiquées dans le Tableau 18. Les conditions d'essai doivent être comme spécifiées en 5.4.4.4.6 et 5.4.4.4.7.

4.4.6.3 Harmoniques impairs et sous-harmoniques dans le circuit de courant alternatif

Lors des essais relatifs aux effets des harmoniques impairs et des sous-harmoniques dans le circuit de courant, le facteur de distorsion de la tension doit être inférieur à 1 %. La variation du pourcentage d'erreur ne doit pas être supérieure à la valeur indiquée dans le Tableau 18. Les conditions d'essai doivent être telles qu'elles sont spécifiées en 5.4.4.4.5.

Il n'est pas nécessaire de soumettre à des essais les effets du CC et des harmoniques pairs dans le circuit de courant.

4.4.7 Compatibilité électromagnétique

4.4.7.1 Immunité aux perturbations électromagnétiques

4.4.7.1.1 Généralités

L'ECF doit être conçue de sorte que les perturbations électromagnétiques conduites ou rayonnées ainsi que les décharges électrostatiques ne détériorent pas l'ECF ni n'influencent de manière significative le résultat de la mesure.

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués pour une tension assignée U_n , un courant assigné I_n et une fonction de phase d'influence = 1.

Les perturbations électromagnétiques applicables sont:

- a) décharges électrostatiques;
- b) champs électromagnétiques RF;
- c) transitoires en salves rapides;
- d) tensions conduites induites par des champs radioélectriques;
- e) chocs;
- f) interférences radioélectriques.

4.4.7.1.2 Immunité aux décharges électrostatiques

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.5.3.

Toute dégradation temporaire ou perte de fonction ou de performance pendant l'essai qui cesse après l'essai ne doit pas être prise en compte. Après l'essai, l'ECF ne doit pas présenter de dommages.

L'application de la décharge électrostatique ne doit pas produire de modification du registre supérieure à X et aucun signal soumis à essai ne doit produire de signal équivalent à plus de X où X est tel qu'il est spécifié en 4.4.3.2.2.

4.4.7.1.3 Immunité aux champs électromagnétiques RF

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.5.4.

Lors des essais avec un signal de courant correspondant à zéro dans les circuits de courant, l'application du champ RF ne doit pas produire de modification du registre supérieure à X et aucune sortie de signal soumise à l'essai ne doit produire de signal équivalent à plus de X où X est tel qu'il est spécifié en 4.4.3.2.2. Toute dégradation temporaire ou perte de fonction ou de performance pendant l'essai qui cesse après l'essai ne doit pas être prise en compte.

Lors des essais avec un signal de courant correspondant au courant assigné $I_{n,EMF}$ et un facteur de puissance = 1, la variation de l'erreur doit être comprise dans les limites indiquées dans le Tableau 18.

4.4.7.1.4 Immunité aux transitoires en salves rapides

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.5.5.

Lors des essais dans les conditions de référence avec un signal de courant correspondant au courant assigné $I_{n,EMF}$ de l'EMF dans le circuit de courant, et une fonction d'influence de phase = 1, l'erreur de mesure d'énergie durant cet essai ne doit pas différer par rapport à un essai dans les mêmes conditions de charge mais sans application des transitoires de plus de $\pm 4 \times N \%$ pour une ECF de N .

Lors des essais avec un signal de courant correspondant à zéro dans les circuits de courant, l'application de la tension d'essai de déclenchement de salve ne doit pas produire de modification du registre supérieure à quatre fois X et aucune sortie de signal soumis à essais ne doit produire de signal équivalent à plus de quatre fois X où X est tel qu'il est spécifié en 4.4.3.2.2. Toute dégradation temporaire ou perte de fonction ou de performance pendant l'essai qui cesse après l'essai ne doit pas être prise en compte (critère de performance B, conformément à l'IEC 62236-1).

4.4.7.1.5 Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.5.6.

Au cours de l'essai, l'ECF ne doit présenter aucune dégradation temporaire ou perte de fonction ou de performance. L'erreur de mesure d'énergie au cours de cet essai ne doit pas différer par rapport à un essai dans les mêmes conditions de charge mais sans application des champs RF de plus de $\pm 2 \times N \%$ pour une ECF de classe N .

4.4.7.1.6 Immunité aux ondes de choc

L'ECF doit être soumise à un essai conformément à 5.4.4.5.7.

Lors des essais, l'application de l'essai d'immunité aux ondes de chocs ne doit pas produire de modification du registre supérieure à X et aucune sortie de signal ne doit produire de signal équivalent à plus de X où X est tel que spécifiée en 4.4.3.2.2.

4.4.7.2 Suppression des interférences radioélectriques

Lors d'un essai effectué conformément à 5.4.4.5.8, les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 62236-3-2:2008, Article 7.

4.4.8 Transfert de données de l'ECF au DHS

A la fin de chaque période de référence (TRP), les données énergétiques et les drapeaux doivent être transférés vers le DHS. Suite à un accord entre le fournisseur et l'acheteur, les données énergétiques peuvent être transférées plus souvent (par exemple toutes les minutes), à condition que les données énergétiques pour chaque période de référence de 5 min correspondante puissent être dérivées par le DHS.

Les spécifications de la période de référence sont détaillées dans l'IEC 62888-3:2018, 4.7.2.

Les périodes de moins de 5 min doivent être indiquées dans les données essentielles.

NOTE Si les données énergétiques sont des valeurs secondaires, le facteur k est indiqué dans les données essentielles de l'EMF de sorte qu'il puisse être utilisé dans le DHS afin de produire des valeurs primaires.

D'autres données telles que les lectures de tension et de courant peuvent également être transmises, tant que cela n'interfère pas avec la transmission des valeurs obligatoires.

Les exigences relatives aux piles de protocoles de communication et à la sécurité des communications sont définies dans l'IEC 62888-4:2018, 4.2.2, 4.2.3 et 4.2.5.

5 Essai de conformité

5.1 Généralités

5.1.1 Exigences d'essais de conformité

Toute EMF prévue pour être utilisée dans un EMS doit être soumise à un essai de conformité, tel que décrit dans l'Article 5.

L'essai de conformité dans l'Article 5 est lié aux exigences spécifiées dans l'Article 4 du présent document et aux exigences applicables spécifiées dans l'IEC 62888-1:2018, Article 4.

Les exigences d'essai de la conformité contenues dans l'Article 5 ne s'appliquent qu'à certaines parties de l'EMS.

Dans les articles suivants, les numéros mentionnés entre crochets, par exemple [1.2.3.4], indiquent le numéro de l'article du présent document ou de l'IEC 62888-1:2018 qui contient la/les exigence(s) par rapport à laquelle/auxquelles la conformité est établie grâce aux essais.

5.1.2 Applicabilité

L'essai de conformité décrit dans l'Article 5 est applicable à tout dispositif effectuant n'importe laquelle des fonctions couvertes par l'IEC 62888-2:2018.

5.1.3 Méthodologie

5.1.3.1 Généralités

L'essai de conformité doit être effectué en utilisant les méthodes suivantes:

- a) revue de conception du dispositif;
- b) essai de type du dispositif;
- c) essai individuel de série du dispositif.

Il est envisagé que a) et b) ont été réalisés avec un jugement positif avant que c) ne soit entrepris.

Toutes les activités relatives à la conformité d'une EMS complète sont contenues dans l'IEC 62888-5:2018.

5.1.3.2 Revue de conception du dispositif

L'évaluation de l'adéquation de la conception technique des fonctions de l'EMF doit être effectuée à travers l'examen de la documentation technique du dispositif et de tout document justificatif.

Cela doit également inclure l'examen de la documentation détaillant les contraintes d'intégration et d'installation.

En cas de modification d'un dispositif précédemment évalué, la revue doit se focaliser sur la modification et ses conséquences sur les autres aspects.

5.1.3.3 Essai de type du dispositif

Des essais de type doivent être effectués afin de vérifier que chaque type d'équipement comprenant une fonction de l'EMF satisfait aux exigences contenues dans l'IEC 62888-2.

Les essais de type doivent être effectués sur au moins un échantillon d'un type d'équipement désigné.

En cas d'altération d'un dispositif précédemment évalué, l'essai de type doit se focaliser sur l'altération et son impact sur les autres aspects.

5.1.3.4 Essai individuel de série du dispositif

Les essais individuels de série doivent être effectués sur chaque dispositif qui inclue une fonction de l'EMF, afin de vérifier sa conformité avec le type d'équipement indiqué.

5.2 Cadre des essais

5.2.1 Généralités

Tout dispositif qui inclut une ou plusieurs fonction(s) de l'EMF doit être soumis à l'essai conformément aux procédures d'essai définies dans l'IEC 62888-2.

Le dispositif doit être soumis à essai totalement assemblé et doit être monté et raccordé pour simuler la configuration la moins favorable pour chaque essai.

Si les essais de l'EMF nécessitent que d'autres parties de l'EMS soient présentes, ces parties doivent être intégrées au montage d'essai. En variante, des équipements d'essai peuvent être utilisés pour simuler ces parties de l'EMS à condition que ces équipements soient des répliques authentiques desdites parties, dans la mesure où la validité de l'essai doit être garantie.

Les montages dans lesquels un dispositif/une interface a été remplacé(e) par un dispositif/une interface présentant des caractéristiques techniques équivalentes et conforme à la série de normes IEC 62888 sont également valides.

Tous les essais doivent être effectués dans des conditions de référence, sauf mention contraire.

5.2.2 Rapport

Tous les essais effectués sur les fonctions de l'EMF doivent être documentés. Le rapport doit inclure tous les détails pertinents des dispositifs de l'ensemble du montage utilisé dans le cadre de la procédure d'essai.

Le rapport doit, au moins, inclure les informations suivantes:

a) environnement d'essai:

- 1) date et heure;
- 2) lieu;
- 3) organisme d'essai;
- 4) parties présentes;
- 5) configuration du dispositif et de l'équipement d'essai;
- 6) conditions d'environnement.

b) détails du dispositif:

- 1) détails sur le marquage de l'équipement et informations essentielles;

- 2) détails sur le réglage du dispositif, par exemple facteur k, etc.;
 - 3) fonctions incluses dans le dispositif;
 - 4) versions des logiciels et micrologiciels, le cas échéant, pour la fonction soumise à l'essai;
 - 5) spécifications des interfaces physiques incluses.
- c) détails sur les essais:
- 1) type et conditions d'essai;
 - 2) équipements d'essai, outils et logiciels utilisés pour les essais;
 - 3) disposition et configuration du circuit d'essai, y compris des interfaces utilisées;
 - 4) ingénieur(s) d'essais;
 - 5) résultats des essais.

5.3 Revue de conception

5.3.1 Généralités

Une évaluation de l'adéquation de la conception technique d'une EMF doit être effectuée à travers l'examen de la documentation technique du dispositif et des documents justificatifs fournis par le fournisseur.

La revue de conception doit prendre en compte le lieu où le dispositif est à installer (par exemple la conformité aux exigences de sécurité est dans certains cas réalisée seulement une fois que le dispositif est installé).

La revue de conception et son résultat doivent être documentés dans un rapport de revue de conception.

5.3.2 Revue de conception du dispositif

5.3.2.1 Interfaces

Vérifier que toutes les interfaces obligatoires de chaque dispositif assurant une fonction de l'EMF sont incluses et complètement spécifiées dans la documentation d'accompagnement [IEC 62888-1:2018, 4.3.2.1].

Vérifier que l'utilisation d'une interface ne détériore pas la performance d'autres interfaces (par exemple, qu'elles n'introduisent pas d'erreur de mesure ou de calcul, etc.). Si cela ne peut être vérifié de façon adéquate que par une soumission à essai, le rapport de revue de conception doit identifier le besoin d'un essai spécifique.

Lorsque l'accès au même signal peut être obtenu via plusieurs interfaces (par exemple, une interface d'entrée opérationnelle et une interface d'entrée d'essai), vérifier qu'une performance identique est réalisée. Si cela ne peut être vérifié de façon adéquate que par une soumission à essai, le rapport de revue de conception doit identifier le besoin d'un essai spécifique.

Afin de minimiser les coûts, il convient de prendre en considération l'inclusion d'essais spécifiques en tant que tâche supplémentaire lors de l'essai de type conformément à 5.4.

5.3.2.2 Sécurité d'accès

Vérifier non seulement que toutes les demandes d'accès aux données, logiciels ou paramètres système pertinents pour la production et le stockage des données énergétiques sont soumises à une procédure d'autorisation avant que l'accès ne soit accordé, mais également que toutes les requêtes et toutes les modifications sont consignées [IEC 62888-1:2018, 4.3.2.2].

5.3.2.3 Logiciels

Vérifier que les exigences de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.4 sont respectées.

5.3.2.4 Sécurité

Vérifier que les dispositions de protection au niveau du dispositif sont conformes aux exigences de l'IEC 62888-1:2018, 4.2.5.4.

5.3.2.5 Distances d'isolement et lignes de fuite

Vérifier que les distances d'isolement et les lignes de fuite sont conformes à l'IEC 62497-1 [IEC 62888-1:2018, 4.3.8.3].

5.3.2.6 RAMS

Vérifier que tout dispositif réalisant une des fonctions de l'EMF est conforme au l'IEC 62888-1:2018, 4.2.5.

5.3.3 Revue de conception de l'EMF

5.3.3.1 Pourcentage d'erreur maximal de l'EMF

Vérifier que les exigences relatives au pourcentage d'erreur maximal de l'EMF conformément à 4.2.3.4 sont respectées en utilisant les classes de précision des fonctions VMF, CMF et ECF (soit ϵ_{VMF} , ϵ_{CMF} et ϵ_{ECF}) dans la formule spécifiée en 4.2.3.2 afin de calculer le pourcentage d'erreur maximal de l'EMF (ϵ_{EMF}).

NOTE Le résultat du calcul représente la précision totale de l'EMF (ϵ_{EMF}).

5.3.3.2 Compatibilité du dispositif

Vérifier que les interfaces de tout dispositif incluant une fonction de l'EMF sont compatibles avec les dispositifs auxquels ils sont prévus pour être connectés.

5.3.3.3 Revérification

Vérifier que tous les documents relatifs à la revérification sont fournis conformément à 4.2.5.

5.4 Essai de type

5.4.1 Généralités

Tout dispositif intégrant une ou plusieurs fonction(s) de l'EMF doit être soumis à des essais de type.

Les essais de type doivent être effectués sur au moins un échantillon d'un type d'équipement désigné.

Lorsqu'un dispositif a plusieurs interfaces d'entrée et/ou plusieurs interfaces de sortie, alors la performance de toutes les interfaces doit être soumise à essai. Si des performances identiques pour des interfaces différentes ont été vérifiées dans le cadre de la revue de conception de l'interface (voir 5.3.2.1), seule une vérification fonctionnelle simple est requise pour toutes les interfaces supplémentaires. Cependant, si ce n'est pas le cas et que la revue de conception a identifié le besoin d'essais, ces essais spécifiques doivent être effectués. La procédure d'essai doit être convenue entre l'organisme d'essai et le fournisseur.

Si la revue de conception (voir 5.3.2.1) a identifié la nécessité d'essais spéciaux afin de vérifier que l'utilisation de n'importe quelle interface ne détériore pas la performance des

autres interfaces, cela doit être prouvé au cours de l'essai. La procédure d'essai doit être convenue entre l'organisme d'essai et le fournisseur.

5.4.2 Essais de type courants

5.4.2.1 Inspection visuelle

L'inspection visuelle doit être réalisée conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.1.

5.4.2.2 Essais d'environnement

Les exigences de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6 s'appliquent en fonction du lieu d'installation et de la classification environnementale prévue pour les dispositifs.

Si le dispositif est prévu pour être installé dans un environnement exposé, alors les exigences de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.7.2 relatives à l'enveloppe s'appliquent également.

5.4.2.3 Essais de protection contre la pénétration de poussière et d'eau

Les essais doivent être effectués sur des enveloppes conformément à l'IEC 60529. Toute pénétration admise par la norme ne doit pas détériorer le fonctionnement ou les exigences de sécurité [IEC 62888-1:2018, 4.3.7.2].

5.4.2.4 Essai de refroidissement

Pour des dispositifs électroniques, des essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.3, sinon conformément à l'IEC 60068-2-1.

La température d'essai doit correspondre à la valeur minimale spécifiée pour la classe de températures du dispositif et doit être maintenue pendant 16 h.

Les exigences d'acceptation de l'IEC 60571:2012 s'appliquent. Pour les dispositifs intégrant de l'électronique, des vérifications doivent être incluses afin de s'assurer que:

- a) la mise sous tension du dispositif est effectuée avec succès à la température minimale et dans le délai spécifié;
- b) la mise hors tension du dispositif est effectuée avec succès à la température minimale;
- c) les données enregistrées ne sont pas affectées par le cycle d'essais.

5.4.2.5 Essai de chaleur sèche

Pour les dispositifs électroniques, des essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.4, sinon conformément à l'IEC 60068-2-2.

La température d'essai doit correspondre à la valeur maximale spécifiée pour la classe de températures du dispositif. De plus, si le dispositif a été conçu pour être montable dans des lieux exposés aux rayonnements solaires, alors l'influence supplémentaire doit être prise en compte pendant les essais.

Les exigences d'acceptation de l'IEC 60571:2012 s'appliquent. Pour les dispositifs intégrant de l'électronique, des vérifications doivent être incluses afin de s'assurer que:

- a) la mise sous tension du dispositif est accomplie avec succès avec la température maximale et dans la limite de temps spécifiée;
- b) la mise hors tension du dispositif est réussie à la température maximale;
- c) les données enregistrées ne sont pas affectées par le cycle d'essais.

5.4.2.6 Essai de cycle de chaleur humide

Pour des dispositifs électroniques, des essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.5, sinon conformément à l'IEC 60068-2-30.

Les exigences d'acceptation de l'IEC 60571:2012 s'appliquent et doivent également inclure des vérifications visant à s'assurer que les données enregistrées ne sont pas affectées par le cycle d'essais.

5.4.2.7 Essais de tenue à la chaleur et au feu

Les essais doivent être effectués conformément aux pratiques ou aux règles nationales [IEC 62888-1:2018, 4.2.5.4].

NOTE Pour les pays européens, des recommandations peuvent être trouvées dans les normes EN 45545-2 et EN 45545-5.

5.4.2.8 Essai de vibration [IEC 62888-1:2018, 4.3.6.11]

Des essais de vibration aléatoires fonctionnels doivent être effectués conformément à l'IEC 61373:2010, Article 8.

La catégorie et la classe à utiliser doivent être sélectionnées en fonction du lieu d'installation prévu du dispositif sur l'unité de traction.

Les critères d'acceptation de l'IEC 61373:2010 doivent également inclure des vérifications afin de s'assurer que les fonctions suivantes ne sont pas affectées au cours de l'essai.

- a) aucune des données enregistrées dans le dispositif n'est affectée;
- b) la vibration n'entrave ni ne dégrade le fonctionnement normal et, en cas d'alimentation par une alimentation auxiliaire, la mise sous tension et la mise hors tension sont réussies.

5.4.2.9 Essai de choc [IEC 62888-1:2018, 4.3.6.11]

Des essais de choc doivent être effectués conformément à l'IEC 61373:2010, Article 10.

La catégorie et la classe à utiliser doivent être sélectionnées en fonction du lieu d'installation prévu du dispositif sur l'unité de traction.

Les critères d'acceptation de l'IEC 61373:2010 doivent également inclure des vérifications afin de s'assurer que les fonctions suivantes ne sont pas affectées au cours de l'essai.

- a) aucune des données enregistrées dans le dispositif n'est affectée;
- b) les chocs n'entravent ni ne dégradent le fonctionnement normal et, en cas d'alimentation par une alimentation auxiliaire, la mise sous tension et la mise hors tension sont réussies.

5.4.2.10 Alimentation auxiliaire

5.4.2.10.1 Généralités

Les essais suivants démontrent la conformité avec l'IEC 62888-1:2018, 4.2.2.

5.4.2.10.2 Variations d'alimentation auxiliaire

Des essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.2. a).

Les exigences d'acceptation de l'IEC 60571:2012 s'appliquent.

NOTE D'autres essais impliquant une variation d'alimentation auxiliaire, comme grandeur d'influence, sont détaillés en 5.4.3.6 (capteurs) et 5.4.4.2.1.2 (ECF).

5.4.2.10.3 Interruptions d'alimentation auxiliaire

Tout dispositif composant l'EMF prévu pour fonctionner à l'aide d'une alimentation auxiliaire de classe S2, doit être soumis à des essais conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.2 b):

Les exigences d'acceptation doivent inclure les vérifications suivantes visant à s'assurer que les fonctions suivantes ne sont pas affectées par une interruption d'alimentation:

- a) la mise sous tension du dispositif est réussie dans la période spécifiée;
- b) la mise hors tension du dispositif est réussie;
- c) les données stockées dans le dispositif ne sont pas affectées (exigences spécifiques pour l'ECF sont définies en 5.4.4.2.1.2);
- d) les interruptions n'entravent ni ne dégradent le fonctionnement normal.

5.4.2.10.4 Perte de puissance non intentionnelle

La conformité avec les exigences de perte de puissance non intentionnelle conformément à l'IEC 62888-1:2018, 4.2.2.2 doit être démontrée par l'essai suivant:

Chaque dispositif possédant une fonction de l'EMF et alimenté par une alimentation auxiliaire doit être opérationnel pendant au moins 10 min. Initier la perte de puissance non intentionnelle en coupant l'alimentation auxiliaire, attendre au minimum 5 min et redémarrer l'alimentation de la source d'alimentation auxiliaire.

Vérifier que:

- a) le dispositif a été mis sous tension avec succès;
- b) le dispositif n'est pas endommagé;
- c) pour l'ECF, le registre retient au minimum les dernières données énergétiques calculées ainsi que les drapeaux associés conformément à 4.4.2.3.

5.4.2.10.5 Essai de charge d'alimentation auxiliaire

La charge maximale du dispositif en VA doit être déterminée par le biais d'une mesure en mode de fonctionnement normal. La mesure doit être effectuée avec la tension d'alimentation auxiliaire au niveau des bornes d'entrée du dispositif à la tension assignée [IEC 62888-2:2018, 4.2.2].

5.4.2.11 Essais de type d'isolement du circuit haute tension

5.4.2.11.1 Essais d'impulsion sur les circuits primaires

Tout dispositif dont l'isolement contient des circuits où la tension du réseau d'alimentation de traction circule doit être soumis à des essais de tension aux chocs de foudre d'après la méthode d'essai et les configurations indiquées dans l'IEC 61869.

La tension des essais d'impulsion doit être conforme à l'IEC 62497-1 et se fonder sur la tension de choc assignée du dispositif (U_{Ni}).

Après l'essai, le dispositif ne doit pas être endommagé.

5.4.2.11.2 Essais sous pluie des dispositifs extérieurs

Tout dispositif extérieur avec isolement contenant des circuits où la tension du réseau d'alimentation de traction circule doit être soumis à un essai sous pluie de courte durée à fréquence industrielle d'après la méthode d'essai et les configurations indiquées dans l'IEC 61869.

La tension d'essai à fréquence industrielle doit être conforme à l'IEC 62497-1, et se fonder sur la tension de tenue à fréquence industrielle (U_a) et être sélectionnée sur la base de la tension de choc assignée (U_{Ni}).

5.4.2.12 Essais de type d'isolement des circuits basse tension

5.4.2.12.1 Mesure de l'isolement

Les circuits basse tension doivent être soumis à une mesure de l'isolement conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.9.1.

5.4.2.12.2 Essais de tenue de tension

Les circuits basse tension autres que les capteurs analogiques doivent être soumis à un essai de tenue de tension, conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.9.2.

5.4.2.13 Contrôle d'accès

Tout dispositif contenant des données accessibles ou des paramètres logiciels ou système doit être soumis à des essais de conformité aux exigences de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.2.2.

La partie pertinente de la procédure d'essai suivante doit être appliquée:

- a) utiliser la procédure correcte pour accéder au dispositif soumis à essai. Vérifier que l'accès est accordé et consigné;
- b) modifier un paramètre admissible. Vérifier que la modification est consignée. Si d'autres exigences ont été convenues (par exemple la création d'un drapeau), vérifier que ces exigences sont satisfaites;
- c) essayer d'accéder au dispositif à l'aide d'une procédure d'autorisation invalide (par exemple avec un mot de passe incorrect). Vérifier que l'accès est interdit, que la demande d'accès a été consignée et que l'accès a été refusé.

Si des niveaux d'accès multiples sont mis en œuvre, des essais additionnels doivent être effectués comme suit:

- d) pour chaque niveau d'accès, vérifier que l'accès est correctement autorisé et correctement refusé et que les événements sont enregistrés avec les détails du niveau d'accès correspondant;
- e) essayer de modifier un paramètre. Vérifier que cette modification n'est appliquée que pour les niveaux d'accès corrects et qu'elle est consignée. Vérifier que cette modification est refusée (si elle n'est pas autorisée pour le niveau d'accès), et consigner la tentative.

5.4.3 Essai de type pour les capteurs

5.4.3.1 Généralités

En plus des essais de type décrits en 5.4.2, les capteurs doivent être soumis aux essais de type spécifiques suivants.

5.4.3.2 Essais de tenue de tension pour les capteurs analogiques

Les circuits basse tension des capteurs analogiques électroniques doivent être soumis à des essais de tension de tenue aux chocs et, le cas échéant à des essais de tension de tenue à fréquence industrielle, d'après les méthodes et les configurations d'essai mentionnées dans l'IEC 61869.

La tension d'essai pour les circuits basse tension des capteurs analogiques passifs doit être conforme au 4.3.2.2.1.

La tension d'essai des circuits basse tension des capteurs analogiques électroniques doit être conforme à l'IEC 60571:2012 et, si le capteur possède plusieurs circuits basse tension séparés par un isolement galvanique, conformément au 4.3.2.2.2.

5.4.3.3 Essai de temps de réponse ($t_{s,r}$)

5.4.3.3.1 Essai de temps de réponse ($t_{s,r}$) pour les capteurs de tension en courant continu

Afin de prouver le respect du 4.3.3.1.6 un échelon de tension, visant à produire une modification du signal de sortie de 0 % à 100 % de la gamme de sortie, doit être appliqué à l'entrée du capteur. Le temps nécessaire pour que la sortie passe de 0 % à 90 % de la gamme de sortie ne doit pas être supérieur au temps de réponse spécifié en 4.3.3.1.6.

Si un échelon de tension où la partie initiale introduit un délai non significatif ne peut pas être généré, l'organisme d'essai peut le prendre en compte. Il convient que le temps de montée de l'échelon représente au maximum 1 % du temps de réponse admis.

5.4.3.3.2 Essai de temps de réponse ($t_{s,r}$) pour les capteurs de courant en courant continu

Afin de prouver le respect du 4.3.4.1.6 un échelon de courant, visant à produire une modification du signal de sortie de 0 % à 100 % de la gamme de sortie, doit être appliqué à l'entrée du capteur. Le temps nécessaire pour que la sortie passe de 0 % à 90 % de la gamme de sortie ne doit pas être supérieur au temps de réponse spécifié en 4.3.4.1.6.

Si un échelon de courant où la partie initiale introduit un délai non significatif ne peut pas être généré, l'organisme d'essai peut le prendre en compte. Il convient que le temps de montée de l'échelon représente au maximum 1 % du temps de réponse admis.

5.4.3.4 Essais de précision

5.4.3.4.1 Essais de précision principaux pour la VMF

Afin de prouver la conformité à 4.3.3.4, des essais doivent être effectués pour chaque valeur de tension indiquée dans le Tableau 3: $U_{\min 2}$, $U_{\min 1}$, $U_{\max 2}$ et pour la tension primaire assignée ($U_{n,VMF}$).

L'essai doit être effectué dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

Dans des conditions de référence, l'erreur mesurée au niveau de chaque point de mesure doit être comprise dans les limites pour la classe de précision pertinente telle que spécifiée en 4.3.3.4.

5.4.3.4.2 Essais de précision principaux pour la CMF

Afin de prouver la conformité à 4.3.4.3, des essais doivent être effectués pour chaque valeur de courant indiquée dans le Tableau 7 et le Tableau 8: 1 %, 5 %, 100 %, 120 % du courant primaire assigné ($I_{n,CMF}$) pour chaque polarité.

L'essai doit être effectué dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

Dans des conditions de référence, l'erreur mesurée au niveau de chaque point de mesure doit être comprise dans les limites de la classe de précision pertinente définie en 4.3.4.3.

5.4.3.4.3 Essais de précision incluant la grandeur d'influence de la température

5.4.3.4.3.1 Limites d'erreur incluant l'effet de la variation de la température ambiante

La conformité avec le Tableau 4 en 4.3.3.5.1 pour les VMF et le Tableau 9 en 4.3.4.4.1 pour les CMF doit être démontrée par les essais suivants:

Les points d'essai ayant les températures les plus basses et les plus élevées pour chaque classe au cours des essais doivent être conformes avec la classe de température du dispositif telle qu'elle est définie dans l'IEC 60571:2012 pour l'équipement électronique ou dans l'IEC 62498-1:2010 pour les autres équipements.

L'essai doit être effectué conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.3 et 12.2.4 dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3 mais avec chacune des températures ambiantes suivantes:

- a) température la plus basse;
- b) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, si en dessous de la température la plus élevée;
- d) température la plus élevée.

Pour une VMF, l'erreur mesurée pour les tensions primaires $U_{\min 2}$, $U_{\min 1}$, $U_{n,VMF}$ et $U_{\max 2}$ doit être comprise dans les limites d'erreur indiquées dans le Tableau 4.

Pour une CMF, l'erreur mesurée pour 1 %, 5 %, 10 %, 100 % et 120 % du courant primaire assigné $I_{n,CMF}$ doit être comprise dans les limites d'erreur indiquées dans le Tableau 9.

Si une VMF ou CMF électronique est partiellement en intérieur et partiellement en extérieur, les essais doivent être effectués sur les parties intérieures et extérieures simultanément, chacun aux deux extrêmes de la température pertinente.

Si le fournisseur a déclaré une limite d'erreur maximale inférieure pour la température de référence par rapport à celle de la classe de précision pertinente (voir 4.3.3.5.1 et 4.3.4.4.1), l'erreur due uniquement à la variation de la température ambiante doit être déterminée pour chaque point d'essai de température ambiante indiqué dans les entrées a) à d) ci-dessus.

Cela doit être déterminé en calculant la différence de mesure d'erreur au cours des essais effectués dans les conditions suivantes:

- e) erreur mesurée dans les conditions à température ambiante comme spécifié dans ce paragraphe, et
- f) erreur mesurée dans les conditions de référence du Tableau 1 au cours des essais spécifiés en 5.4.3.4.1 et 5.4.3.4.2, et avec les mêmes conditions d'entrée de signal que celles utilisées dans cet article.

Ces résultats doivent être inclus dans le rapport d'essai.

5.4.3.4.3.2 Coefficient moyen de température

La conformité avec les exigences relatives au coefficient moyen de température du Tableau 5 en 4.3.3.5.2 pour les VMF et le Tableau 10 en 4.3.4.4.2 pour les CMF doit être démontrée par l'essai suivant:

Les essais doivent être effectués dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

Pour l'équipement électronique, des essais doivent être effectués afin de déterminer le coefficient de température dans la gamme de température indiquée dans l'IEC 60571:2012 ou dans l'IEC 62498-1 pour les autres. La gamme doit correspondre à la classe de température spécifiée pour le dispositif.

Le coefficient de température doit être déterminé pour toute la gamme de la classe de température.

La gamme de température soumise à essai doit être divisée en bandes d'au maximum 20 K de largeur. Le coefficient moyen de température doit ensuite être déterminé pour ces bandes en effectuant des mesures au milieu et aux limites extrêmes de chaque bande (par exemple ± 10 K). Au cours de cet essai, la température ne doit pas sortir de la gamme de température spécifiée de la classe de température.

Pour une VMF, l'erreur doit être mesurée pour les tensions primaires $U_{\min 2}$, $U_{n,VMF}$ et $U_{\max 2}$.

Pour une CMF, l'erreur doit être mesurée à 1 %, 5 %, 10 %, 100 % et 120 % du courant primaire assigné $I_{n,CMF}$.

Le coefficient moyen de température doit être calculé par régression linéaire pour toute la gamme de température.

Le coefficient moyen de température ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau 5 pour les VMF et dans le Tableau 10 pour les CMF.

5.4.3.5 Essais de l'influence des harmoniques sur une CMF en CA

Pour une CMF en CA, la précision en présence de courants harmoniques doit satisfaire aux exigences de précision spécifiées dans le Tableau 11 en 4.3.4.5.

Idéalement, il convient que les essais en présence d'harmoniques soient effectués avec le courant primaire assigné $I_{n,CMF}$ à la fréquence assignée plus un pourcentage du courant primaire assigné à chaque fréquence harmonique spécifiée. Il convient qu'un tel courant primaire fournisse une image réaliste des performances dynamiques du capteur et donne un bon aperçu des phénomènes non linéaires qui peuvent survenir dans le capteur (intermodulation, par exemple).

Cependant, il peut être difficile de parvenir à obtenir un circuit d'essai qui génère ce courant primaire. Pour des raisons pratiques, il est admis que les essais de précision puissent être effectués avec une seule fréquence harmonique appliquée du côté primaire pour chaque mesure.

Le circuit d'essai doit être défini par accord entre le fournisseur et l'acheteur.

NOTE Le circuit d'essai préférentiel est décrit dans l'IEC 60044-8.

Pour chaque fréquence harmonique spécifiée, un courant conforme au Tableau 19 est appliqué.

Tableau 19 – Courant d'essai pour les harmoniques

Amplitude des courants harmoniques (pourcentage du courant primaire assigné $I_{n,CMF}$)	
2 ^{ème} à 5 ^{ème} harmonique	6 ^{ème} harmonique et au-delà
10 %	5 %

5.4.3.6 Essais de précision avec une source d'alimentation auxiliaire comme grandeur d'influence

Pour un capteur de tension et de courant électronique soumis aux variations d'une source d'alimentation auxiliaire, la précision doit rester dans les limites spécifiées en 4.3.3.6 pour les VMF et en 4.3.4.6 pour les CMF.

Des essais de précision doivent être effectués dans les conditions de référence indiquées dans le Tableau 2, à l'exception de la source d'alimentation auxiliaire.

- a) La variation de la source d'alimentation auxiliaire au cours de l'essai doit être conforme avec l'IEC 60571:2012, 12.2.2a.
 - 1) Pour un capteur de tension, la variation de l'erreur au cours de l'essai ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 6.
 - 2) Pour un capteur de courant, la variation de l'erreur au cours de l'essai ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 12.
- b) La surtension de la source d'alimentation auxiliaire au cours de l'essai doit être conforme avec l'IEC 60571:2012, 12.2.6.
 - 1) Transfer un capteur de tension, la variation de l'erreur au cours de l'essai ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 6.
 - 2) Pour un capteur de courant, la variation de l'erreur au cours de l'essai ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 12.
- c) Les interruptions de la source d'alimentation auxiliaire au cours de l'essai doivent être conformes avec l'IEC 60571:2012, 12.2.2.b.
 - 1) Pour un capteur de tension, l'erreur mesurée à $U_{n,VMF}$ ne doit pas différer de la valeur précédant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est l'erreur admise pour la classe de précision conformément au Tableau 3 en 4.3.3.4;
 - 2) Pour un capteur de courant, l'erreur mesurée à $I_{n,CMF}$ ne doit pas différer de la valeur précédant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est l'erreur admise pour la classe de précision conformément aux Tableau 7 et au Tableau 8 en 4.3.4.3.

5.4.3.7 Essai sur l'influence des surtensions d'entrée pour la VMF

La conformité avec 4.3.3.1.5 doit être démontrée par l'essai suivant:

L'entrée de la VMF doit être soumise à une surtension de U_{max3} conformément à l'IEC 60850 ed.4:2014, Tableau A.1. Pour des tensions supplémentaires listées dans l'IEC 60850:2014, Tableau B.1, la valeur U_{max3} doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur.

Après élimination de la surtension, la VMF ne doit présenter aucune détérioration visuelle.

Après application des surtensions, l'erreur mesurée à $U_{n,VMF}$ ne doit pas différer de la valeur précédant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est l'erreur admise pour la classe de précision conformément au Tableau 3 en 4.3.3.4;

5.4.3.8 Essai de précision avec induction magnétique d'origine externe

La conformité avec les exigences relatives à l'induction magnétique d'origine externe du Tableau 6 en 4.3.3.6 pour les capteurs de tension et du Tableau 12 en 4.3.4.6 pour les capteurs de courant doit être démontrée par l'essai suivant:

L'essai doit être effectué dans les conditions de référence spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

NOTE L'objectif de cet essai est de mesurer l'influence d'un courant passant à travers un conducteur situé à proximité du capteur.

Le fournisseur doit spécifier le champ maximal en dessous duquel le capteur peut fonctionner sans dépasser l'erreur admise maximale pour sa classe de précision, en tenant compte des valeurs de champ préférentielles indiquées ci-après.

L'induction magnétique externe d'un conducteur externe peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$B = \frac{\mu_0}{2 \times \pi \times R} \times I$$

où

B est le champ magnétique externe généré par un conducteur externe (T);

μ_0 est la perméabilité ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$);

R est la distance entre le conducteur externe et le capteur (m);

I est le courant assigné maximal dans le conducteur externe (A).

Les essais de champ externe doivent être effectués sur le capteur à la fois en CA et en CC

Les valeurs préférentielles de l'induction magnétique externe pendant les essais sont les suivantes:

- 0,5 mT, 2 mT, 4 mT, 6 mT, 8 mT, 10 mT pour les champs en CC;
- 2 mT pour les champs en CA

Les essais doivent être effectués conformément à la procédure d'essai décrite dans l'Annexe A.

Les capteurs qui nécessitent une source d'alimentation auxiliaire doivent être continuellement soumis à une tension d'alimentation auxiliaire nominale durant les essais.

En fonction du type de réseau d'alimentation de traction, l'entrée primaire du capteur doit être un:

- capteur de tension (CC) 0 V et U_n (CC);
- capteur de courant (CC) 0 A et I_n (CC);
- capteur de tension (CA) 0 V et U_n (CA);
- capteur de courant (CA) 0 A et I_n (CA).

En suivant le principe de superposition d'erreur et en fonction des capacités du laboratoire, les essais de champ magnétique peuvent être effectués avec des conditions d'entrée alternatives (par exemple, pas d'entrée primaire).

Pour un capteur de tension, la valeur de compensation des sorties du capteur en l'absence d'entrée ne doit pas être supérieure à la valeur de l'erreur de précision admise pour $U_{\min 1}$ à 4.3.3.4.

La variation de l'erreur pour $U_{n,VMF}$ durant l'essai ne doit pas être supérieure aux valeurs indiquées dans le Tableau 6.

Pour un capteur de courant, la valeur de compensation des sorties du capteur en l'absence d'entrée ne doit pas être supérieure au courant de démarrage spécifié en 4.2.3.5, et au courant de démarrage minimal d'une ECF pour laquelle le capteur est prévu.

La variation de l'erreur pour $I_{n,CMF}$ durant l'essai ne doit pas être supérieure aux valeurs indiquées dans le Tableau 12.

5.4.3.9 Essais relatifs à la CEM

La conformité avec les exigences relatives à la CEM de l'IEC 62888-1:2018, 4.3.6.12 doit être démontrée par les essais suivants sur les capteurs de tension et de courant:

Les essais doivent être effectués dans les conditions de référence telles qu'elles sont spécifiées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3 et doivent être réalisés sur l'ensemble de la fonction CMF ou VMF.

Pour vérifier le niveau d'émission CEM, le capteur doit être soumis à essai conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableaux 4, 5 et 6 dans les conditions suivantes:

- capteur en conditions de fonctionnement;
- pour les capteurs de tension, entrées connectées à la tension primaire assignée;
- pour les capteurs de courant, entrées connectées au courant primaire assigné;
- le cas échéant, avec source d'alimentation auxiliaire.

En suivant le principe de superposition d'erreur et en fonction des capacités du laboratoire, les essais de CEM peuvent être effectués avec des conditions d'entrée alternatives (par exemple, pas d'entrée primaire).

Afin de vérifier le niveau d'immunité de la CEM, les essais suivants doivent être réalisés pour les capteurs de tension et de courant:

- a) chocs conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableau 7;
- b) décharges électrostatiques (ESD) conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableau 9;
- c) transitoires rapides conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableaux 7 et 8;
- d) perturbations rayonnées induites par les champs de radio fréquence conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableau 9;
- e) perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques conformément à l'IEC 62236-3-2:2008, Tableaux 7 et 8.

L'essai de surtension doit également être appliqué au port d'entrée de la source d'alimentation auxiliaire du capteur.

Si la réaction du capteur est linéaire de 0 à la valeur maximale, l'essai peut être exécuté sans entrée primaire. Dans le cas contraire, l'essai doit être effectué avec une entrée primaire correspondant à une réaction linéaire du capteur.

En suivant le principe de superposition d'erreur et en fonction des capacités du laboratoire, les essais de CEM peuvent être effectués avec des conditions d'entrée alternatives (par exemple, pas d'entrée primaire).

Pour chaque essai relatif à la CEM, le capteur doit être contrôlé pour s'assurer qu'il fonctionne conformément aux critères de performance spécifiés dans l'IEC 62236-3-2.

Pour un capteur de tension, la variation d'erreur durant les essais c) à e) ne doit pas être supérieure aux valeurs indiquées dans le Tableau 6. Pour les essais effectués sans tension primaire, la compensation mesurée supplémentaire ne doit pas dépasser l'erreur admise pour U_{min1} de la classe de précision pertinente.

Pour un capteur de courant, la variation d'erreur durant les essais c) à e) ne doit pas être supérieure aux valeurs indiquées dans le Tableau 12. Pour les essais effectués sans courant primaire, la compensation mesurée supplémentaire ne doit pas dépasser l'erreur permise pour 10 % de $I_{n,CMF}$ pour la classe de précision pertinente.

Après tous les essais, l'erreur mesurée supplémentaire doit être inférieure à $0,1 \times N$, où N est la limite d'erreur pour la classe de précision pertinente.

5.4.3.10 Essai d'échauffement

La conformité avec les exigences relatives à l'échauffement décrites en 4.3.3.3 pour les capteurs de tension et en 4.3.4.2 pour les capteurs de courant doit être démontrée par les essais suivants:

Pour les besoins de cet essai, la température ambiante du site de l'essai doit être comprise entre 10 °C et 30 °C et il doit être jugé que le capteur a atteint une température stable quand le taux d'échauffement est inférieur ou égal à 1 K/h.

L'essai doit être effectué:

- le cas échéant, avec la source d'alimentation auxiliaire dans des conditions susceptibles d'engendrer l'échauffement le plus important au niveau du capteur;
- pour les capteurs de tension, à $U_{\max 2}$ et à la fréquence assignée;
- pour les capteurs de courant avec le courant thermique continu assigné conformément à 4.3.4.1.2.

On doit considérer que le capteur a réussi cet essai si:

- a) l'échauffement du capteur est conforme aux exigences décrites en 4.3.3.3 pour les capteurs de tension et en 4.3.4.2 pour les capteurs de courant en tenant compte de la température admissible maximale de la classe de température sélectionnée;
- b) après refroidissement jusqu'à température ambiante, il satisfait aux exigences suivantes:
 - 1) Il n'est pas visiblement détérioré;
 - 2) L'erreur pour la tension et le courant assignés ne diffère pas de celle enregistrée avant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est la limite d'erreur spécifiée pour la classe de précision du capteur.

5.4.3.11 Essais de tenue aux courts-circuits

5.4.3.11.1 Essais de tenue aux courts-circuits pour les capteurs de courant

La conformité avec les exigences relatives aux essais de tenue aux courts-circuits décrites en 4.3.4.1.3 et 4.3.4.1.4 doit être démontrée par les essais suivants:

Pour les essais de tenue aux courts-circuits, le capteur de courant doit initialement être à une température comprise entre 10 °C et 40 °C.

Les formes d'ondes du courant de court-circuit sont détaillées dans:

- IEC 61992-1:2006, Annexe A: Forme du court-circuit en CC;
- IEC 60077-4:2003, Annexe B: Forme du court-circuit en CA.

L'essai pour le courant thermique assigné de courte durée $I_{CMF,th}$ doit être effectué:

- sur les capteurs de courant dotés d'une sortie analogique avec la combinaison d'une tension d'alimentation auxiliaire et d'une charge secondaire qui provoque la dissipation de puissance interne maximale du convertisseur secondaire;
- sur les capteurs de courant dotés d'une sortie numérique avec la tension d'alimentation auxiliaire admissible maximale;
- et à un courant et pour une durée qui génère une valeur (I^2t) qui n'est pas inférieure aux valeurs maximales spécifiées en 4.3.4.1.3. La durée d'essai maximale ne doit pas dépasser 5 s.

L'essai pour le courant dynamique assigné $I_{CMF,dyn}$ doit être effectué:

- sur les capteurs de courant dotés d'une sortie analogique avec la combinaison d'une tension d'alimentation auxiliaire et d'une charge secondaire qui provoque la dissipation de puissance interne maximale du convertisseur secondaire;
- sur les capteurs de courant dotés d'une sortie numérique avec la tension d'alimentation auxiliaire admissible maximale;
- et avec un courant primaire dont la valeur de crête n'est pas inférieure au courant dynamique assigné $I_{CMF,dyn}$ conformément à 4.3.4.1.4.

L'essai dynamique peut être combiné avec l'essai thermique ci-dessus si le premier courant de crête majeur de cet essai n'est pas inférieur au courant dynamique assigné ($I_{CMF,dyn}$).

Il doit être considéré que le capteur de courant a réussi ces essais si, après refroidissement à température ambiante (entre 10 °C et 40 °C), il satisfait aux exigences suivantes:

- a) il n'est pas visiblement détérioré;
- b) il supporte les essais diélectriques spécifiés en 5.5.3.1.1 mais avec des tensions d'essai réduites à 90 %;
- c) lors de l'examen, l'isolement proche de la surface du conducteur ne présente aucune détérioration significative (par exemple carbonisation).

L'erreur du capteur pour la tension et le courant assignés ne diffère pas de celle enregistrée avant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est la limite d'erreur spécifiée pour la classe de précision du capteur.

Les critères d'acceptation b) et c) peuvent ne pas être pertinents en fonction de la conception.

L'examen c) n'est pas nécessaire si la densité du courant dans le conducteur primaire, correspondant au courant thermique assigné de courte durée, ne dépasse pas

- 180 A/mm² si le conducteur primaire est constitué de cuivre bénéficiant d'une conductivité égale ou supérieure à 97 % de la valeur indiquée dans la norme IEC 60028;
- 120 A/mm² si le conducteur primaire est constitué d'aluminium bénéficiant d'une conductivité égale ou supérieure à 97 % de la valeur indiquée dans la norme IEC 60121.

5.4.3.11.2 Essais de tenue aux courts-circuits pour les capteurs de tension de sortie analogiques

La conformité avec les exigences relatives aux essais de tenue aux courts-circuits décrites en 4.3.3.2 doit être démontrée par les essais suivants:

Les essais relatifs aux courts-circuits doivent être effectués conformément à la méthode et aux configurations d'essai mentionnées dans l'IEC 61869-2:2012, 8.2.

Une fois les essais terminés, le capteur doit être déclaré non détérioré s'il satisfait aux exigences mentionnées dans l'IEC 61869-2:2012, 8.2, critères a) à d).

5.4.4 Essai de type de l'ECF

5.4.4.1 Généralités

En plus des essais de type communs décrits en 5.4.2, l'ECF doit être soumise aux essais de type spécifiques suivants.

Sauf mention contraire, les valeurs de courant et de tension mentionnées dans ce paragraphe sont les valeurs d'entrée primaires de l'EMF. Les signaux d'entrée correspondant à ces valeurs primaires doivent être utilisés comme entrées de l'ECF.

5.4.4.2 Essais portant sur les exigences électriques

5.4.4.2.1 Essais sur les ECF avec entrées analogiques

5.4.4.2.1.1 Essais de consommation d'électricité des entrées de mesure

La conformité avec les exigences relatives aux essais de consommation décrites en 4.4.3.1.2 et 4.4.3.1.3 doit être démontrée par les essais suivants:

La consommation d'énergie dans les circuits de tension et de courant doit être mesurée, par toute méthode adaptée, dans les conditions de référence indiquées dans le Tableau 1 en 4.2.3.3.

5.4.4.2.1.2 Essais sur les effets des interruptions de tension d'alimentation et des surtensions

La conformité avec les exigences relatives aux interruptions de la tension d'alimentation et à la surtension décrites en 4.4.3.2.2 doit être démontrée par l'essai suivant:

Les essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60571:2012, 12.2.2.b) et 12.2.6.

5.4.4.2.1.3 Essai d'influence des surintensités d'entrée de courte durée

La conformité avec les exigences relatives à la surintensité d'entrée de courte durée décrites en 4.4.3.3 doit être démontrée par les essais suivants:

Le circuit d'essai doit être pratiquement non inductif.

Après application de la surintensité de courte durée, le dispositif doit pouvoir retrouver sa température initiale avec le circuit d'entrée sous tension (environ 1 h).

5.4.4.2.1.4 Essai d'influence d'échauffement propre

La conformité avec les exigences relatives à l'échauffement propre décrites en 4.4.3.4 doit être démontrée par l'essai suivant:

Après avoir alimenté les circuits de tension avec la tension assignée pendant deux heures au moins, sans aucun courant dans les circuits de courant, 120 % de I_n doivent être appliqués aux circuits de courant. L'erreur de l'ECF doit être mesurée (CA PF = 1, PF = 0,85 inductif et $\sin \varphi = 1$) immédiatement après application du courant, puis à des intervalles assez brefs pour qu'on puisse faire une représentation correcte de la courbe de variation d'erreur en fonction du temps. L'essai doit être effectué pendant au moins une heure, et dans tous les cas jusqu'à ce que le pourcentage de variation pendant une période de vingt minutes n'excède pas $0,1 \times N$ où N est la limite d'erreur appropriée pour la classe de précision. Une erreur stable doit être atteinte en moins de 2 h.

La variation maximale du pourcentage d'erreur, mesurée comme spécifié, ne doit pas dépasser les valeurs figurant dans le Tableau 14.

5.4.4.2.2 Essai d'échauffement

La conformité avec les exigences relatives à l'échauffement décrites en 4.4.3.5 doit être démontrée par l'essai suivant:

Pour les besoins de cet essai, il doit être jugé que le dispositif qui intègre l'ECF a atteint une température stable quand le taux d'échauffement est inférieur ou égal à 1 K/h.

La température ambiante du site des essais doit être comprise entre 10 °C et 30 °C.

Il doit être jugé que l'ECF a réussi cet essai si:

- a) la température de l'ECF est conforme aux exigences décrites en 4.4.3.5 en tenant compte de la température admissible maximale de la classe de température sélectionnée;
- b) après refroidissement jusqu'à température ambiante, elle satisfait aux exigences suivantes:
 - 1) elle n'est pas visiblement détériorée;
 - 2) l'erreur après l'essai pour la tension assignée et le courant assigné ne diffère pas de celle enregistrée avant l'essai de plus de $0,1 \times N$, où N est la limite d'erreur spécifiée pour la classe de précision de l'ECF.

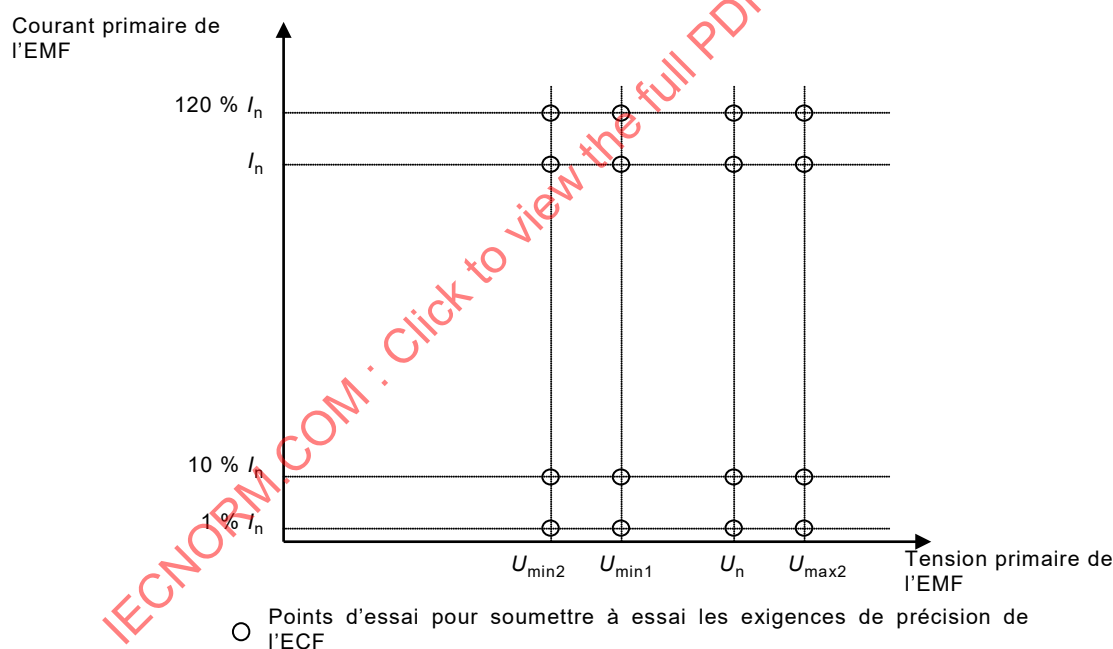
5.4.4.3 Essais de précision

5.4.4.3.1 Essai de type des exigences de précision

Afin de soumettre à essai les exigences de précision de l'ECF telles que spécifiées en 4.4.4, des essais doivent être effectués dans les conditions de référence spécifiées en 4.2.3.3.

Le pourcentage d'erreur doit être mesuré aux 16 points identifiés dans la Figure 8 en faisant entrer les signaux appropriés aux points d'essai d'entrée de l'ECF.

Le pourcentage d'erreur ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau 15.



IEC

Figure 8 – Matrice de points d'essai pour les essais de précision de l'ECF (essai de type)

5.4.4.3.2 Essais de précision incluant la grandeur d'influence de la température

5.4.4.3.2.1 Limites d'erreur incluant l'effet de la variation de la température ambiante

La conformité avec les exigences de précision décrites dans le Tableau 16 en 4.4.5.1 doit être démontrée par les essais suivants: