

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Instrument transformers –
Part 1: General requirements**

**Transformateurs de mesure –
Partie 1: Exigences générales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Instrument transformers –
Part 1: General requirements**

**Transformateurs de mesure –
Partie 1: Exigences générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8322-6940-4

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.....	9
INTRODUCTION.....	12
1 Scope.....	14
2 Normative references	15
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms.....	18
3.1 Terms and definitions.....	18
3.2 Symbols and abbreviated terms	18
4 Normal and special environmental conditions	19
4.1 General.....	19
4.2 Normal environmental conditions	20
4.2.1 Ambient air temperature	20
4.2.2 Altitude	20
4.2.3 Vibrations or earth tremors	20
4.2.4 Exposure to pollution	20
4.2.5 Other environmental conditions for indoor instrument transformers.....	20
4.2.6 Other environmental conditions for outdoor instrument transformers.....	21
4.2.7 IT with outdoor parts.....	21
4.3 Special environmental conditions	21
4.3.1 General	21
4.3.2 Altitude	21
4.3.3 Ambient temperature	21
4.3.4 Vibrations or earth tremors	22
4.3.5 Earthquakes	22
5 Ratings.....	22
5.1 General.....	22
5.2 Voltage ratings.....	22
5.2.1 Highest voltage for equipment (U_m).....	22
5.2.2 Power system earthing	25
5.2.3 Standard values for rated primary voltage (U_{pr}).....	25
5.2.4 Standard values for rated secondary voltage (U_{sr})	25
5.2.5 Rated auxiliary power supply voltage (U_{ar}).....	25
5.3 Current ratings.....	26
5.3.1 Standard values for rated primary current (I_{pr})	26
5.3.2 Standard values for rated secondary current (I_{sr})	26
5.3.3 Standard values for rated continuous thermal current (I_{cth}).....	26
5.3.4 Short-time current ratings	26
5.4 Dielectric ratings	27
5.4.1 General	27
5.4.2 Rated primary terminal insulation level	27
5.4.3 Other requirements for primary terminal insulation.....	27
5.4.4 Between-section insulation requirements	29
5.4.5 Insulation requirements for secondary terminals and low-voltage components	29
5.5 Rated frequency (f_r).....	30
5.6 Output ratings	30

5.6.1	Rated output for inductive instrument transformers and CVTs	30
5.6.2	Rated burden for LPITs	30
5.6.3	Standard values for the rated delay time for EITs (t_{dr})	30
5.7	Accuracy requirements	30
5.7.1	General	30
5.7.2	Rated accuracy classes	31
5.7.3	Accuracy class extension for harmonics	31
5.7.4	Accuracy requirements for harmonics	31
5.7.5	Harmonic requirements for LPIT protection accuracy classes	34
5.7.6	Anti-aliasing filter for EIT using digital data processing	34
6	Design and construction	36
6.1	Requirements for liquids used in equipment	36
6.1.1	General	36
6.1.2	Liquid quality	36
6.1.3	Liquid level indicator	37
6.1.4	Liquid tightness	37
6.2	Requirements for gases used in equipment	37
6.2.1	General	37
6.2.2	Gas quality	37
6.2.3	Gas monitoring device	37
6.2.4	Gas tightness	37
6.2.5	Pressure-relief device	38
6.3	Requirements for solid materials used in equipment	38
6.4	Requirements for temperature rise of parts and components	38
6.4.1	General	38
6.4.2	Influence of altitude on temperature rise	40
6.5	Requirements for earthing of equipment	41
6.5.1	General	41
6.5.2	Earthing of the enclosure	41
6.5.3	Electrical continuity	41
6.6	Requirements for the external insulation	41
6.6.1	Pollution	41
6.6.2	Altitude	42
6.7	Mechanical requirements	43
6.8	Multiple chopped impulses on primary terminals	44
6.9	Internal arc fault protection requirements	45
6.10	Degrees of protection by enclosures	45
6.10.1	General	45
6.10.2	Protection against access to hazardous parts and protection of the equipment against ingress of solid foreign objects and water	45
6.10.3	Protection of enclosure against mechanical impact under normal operating conditions	46
6.11	Electromagnetic compatibility (EMC)	46
6.11.1	General	46
6.11.2	Requirements for immunity	46
6.11.3	Requirements for emission	50
6.11.4	Requirements for transmitted overvoltage (TOV)	50
6.11.5	Requirements for radio interference voltage (RIV)	50
6.12	Corrosion	50

6.13	Markings	50
6.13.1	General	50
6.13.2	Terminal markings	51
6.13.3	Rating plate markings	51
6.14	Requirements for LPIT secondary terminal connection	52
6.14.1	Requirements for digital output connection	52
6.14.2	Requirements for analogue output connections	53
6.15	EIT secondary signal noise	54
6.16	Fire hazard	55
6.17	Pressure withstand of gas-filled enclosures	55
6.18	Failure detection of EIT	55
6.19	Operability	55
6.20	Reliability and dependability of electronic part of EIT	55
6.21	Vibration requirements	56
6.22	Storage climatic conditions withstand capability	56
7	Tests	56
7.1	General	56
7.1.1	Classification of tests	56
7.1.2	List of tests	57
7.1.3	Sequence of tests	58
7.1.4	Testing conditions	60
7.2	Type tests	60
7.2.1	General	60
7.2.2	Temperature rise test	61
7.2.3	Impulse voltage withstand test on primary terminals	62
7.2.4	Wet test for outdoor type instrument transformers	65
7.2.5	Electromagnetic compatibility (EMC) tests	66
7.2.6	Tests for accuracy	71
7.2.7	Verification of the degree of protection by enclosures	74
7.2.8	Enclosure tightness test at ambient temperature	74
7.2.9	Proof test for the gas-filled enclosure	74
7.2.10	Mechanical tests	75
7.2.11	Voltage withstand test of low-voltage components and secondary terminals	76
7.2.12	Storage climatic environmental tests	77
7.2.13	Vibration test	79
7.2.14	Durability of markings	80
7.2.15	Tests for accuracy for harmonics	80
7.2.16	Test for anti-aliasing	81
7.3	Routine tests	81
7.3.1	Power-frequency voltage withstand test on primary terminals	81
7.3.2	Partial discharge measurement	82
7.3.3	Power-frequency voltage withstand tests between sections	84
7.3.4	Power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals	85
7.3.5	Power-frequency voltage withstand test for low-voltage components	85
7.3.6	Test for accuracy	85
7.3.7	Verification of markings	86
7.3.8	Enclosure tightness test at ambient temperature	86
7.3.9	Pressure test for the gas-filled enclosure	86

7.3.10	Measurement of capacitance and dielectric dissipation factor	87
7.4	Special tests	87
7.4.1	Multiple chopped impulse test on primary terminals	87
7.4.2	Transmitted overvoltage test.....	88
7.4.3	Internal arc fault test.....	92
7.4.4	Enclosure tightness test at low and high temperatures.....	93
7.4.5	Insulation resistance measurement on secondary terminals.....	94
7.4.6	Corrosion test.....	94
7.4.7	Fire hazard test	94
7.4.8	Thermo-mechanical endurance test	95
7.4.9	Vibration and shock tests.....	95
7.4.10	Tests for accuracy versus harmonics	98
7.4.11	Seismic qualification	98
7.5	Commissioning tests	98
7.5.1	General	98
7.5.2	Final installation inspection and tests	98
7.5.3	Gas dew point test.....	99
7.6	Sample tests	99
8	Rules for transport, storage, erection, operation and maintenance.....	99
8.1	General.....	99
8.2	Conditions during transport, storage and installation	99
8.3	Installation	99
8.3.1	General	99
8.3.2	Unpacking and lifting	99
8.3.3	Assembly.....	100
8.3.4	Mounting	100
8.3.5	Connections	100
8.3.6	Final installation inspection and tests	100
8.4	Operation.....	101
8.5	Maintenance	101
8.5.1	General	101
8.5.2	Responsibilities for the manufacturer	101
8.5.3	Responsibilities for the user.....	101
8.6	Failure report	102
9	Safety.....	102
10	Influence of products on the natural environment.....	102
Annex A (normative)	Identification of test specimen	103
A.1	General.....	103
A.2	Data.....	103
A.3	Drawings.....	103
Annex B (informative)	Recommendation for contents of failure reports.....	104
B.1	General.....	104
B.2	Content.....	104
Annex C (informative)	Fire hazard	106
C.1	Fire hazard	106
C.2	Fire hazard test.....	106
Annex D (informative)	Sample test.....	107
D.1	Sample test definition	107

D.2	Sample tests	107
Annex E (informative)	Technique used in temperature rise test of transformers to determine the thermal time constant by an experimental estimation	108
Annex F (informative)	Guidance for the extension of validity of type tests or special tests of instrument transformers	111
F.1	General	111
F.2	Information needed for extension of type test validity	111
F.3	Application of extension criteria	112
F.3.1	Dielectric tests	112
F.3.2	Temperature rise tests	112
F.3.3	Short-time and dynamic withstand current tests (current transformers)	113
F.3.4	Internal arc fault tests	114
F.3.5	Multiple chopped impulse test	114
Annex G (informative)	Guidance for the calculation of equivalent diameter in case of irregular shape of insulating part	116
G.1	General	116
G.2	Current transformers and earthed voltage transformers	116
G.3	Unearthed voltage transformers	117
Annex H (informative)	Test circuits	119
H.1	Test circuits for accuracy measurements in steady state for current transformers with analogue secondary signal	119
H.2	Test circuits for accuracy measurements in steady state for voltage transformers with analogue secondary signal	123
Annex I (normative)	Seismic qualification of instrument transformers	127
I.1	Scope	127
I.2	Seismic conditions	127
I.2.1	Time-history	127
I.2.2	Seismic severity of application	127
I.2.3	Superelevation factor (k_{se})	129
I.3	Seismic qualification information	129
I.3.1	Qualification options	129
I.3.2	General information provided by purchaser	129
I.4	Qualification procedure	129
I.4.1	General	129
I.4.2	Qualification by static calculation or dynamic analysis	130
I.4.3	Qualification by test	137
I.5	Validity of qualification	139
Bibliography		140
Figure 1	– General block diagram of single-phase LPITs	14
Figure 2	– Example of digital data acquisition system	34
Figure 3	– Example of frequency response mask for EIT with digital output	36
Figure 4	– Altitude correction factor for the temperature rise	40
Figure 5	– Factor m for the switching impulse voltage (U_{SIL}) withstand test	43
Figure 6	– Example structure used in HV AIS applications subjected to EMC tests	48
Figure 7	– Example of structure used in HV GIS applications subjected to EMC tests	49
Figure 8	– Duplex LC connector	53
Figure 9	– RIV measuring circuit	66

Figure 10 – Temperature cycle accuracy test	73
Figure 11 – Test circuit for partial discharge measurement	82
Figure 12 – Alternative circuit for partial discharge measurement	83
Figure 13 – Example of balanced test circuit for partial discharge measurement	83
Figure 14 – Voltage profile for partial discharge measurement	84
Figure 15 – Transmitted overvoltage measurement: test impulse waveforms	89
Figure 16 – Transmitted overvoltage measurement: primary test configuration for AIS equipment	90
Figure 17 – Transmitted overvoltage measurement: primary test configuration for GISs (CTs and VTs)	90
Figure 18 – Transmitted overvoltage measurement: example of correct secondary test connection for CT and VT	91
Figure 19 – Typical configuration for internal arc fault test	92
Figure E.1 – Graphical extrapolation to ultimate temperature rise	110
Figure G.1 – Shed dimensions	116
Figure G.2 – Examples of MV CTs and earthed VTs	117
Figure G.3 – Example of a CT with multiple insulator areas	117
Figure G.4 – Examples of unearthed VTs	118
Figure G.5 – Example of a VT with multiple insulator areas	118
Figure H.1 – Test circuit for accuracy measurements of inductive CTs	119
Figure H.2 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPCTs	120
Figure H.3 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPCTs (alternative solution)	121
Figure H.4 – Test circuit for digital accuracy measurements of LPCTs	122
Figure H.5 – Test circuit for accuracy measurements of inductive VTs or CVTs	123
Figure H.6 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPVTs	124
Figure H.7 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPVTs (alternative solution)	125
Figure H.8 – Test circuit for digital accuracy measurements of LPVTs	126
Figure I.1 – Record of time-history in real (3 dimensional)	127
Figure I.2 – Required response spectrum	128
Figure I.3 – Flowchart of qualification procedure	130
Figure I.4 – Measured deflection in free oscillation	132
Figure I.5 – Sketch of the parameters in static calculation	134
Table 1 – Operating ambient temperature categories	20
Table 2 – Rated primary terminal insulation levels for instrument transformers for AC applications	24
Table 3 – Insulation requirements for power supply terminals	26
Table 4 – Partial discharge test voltages and permissible levels for AC applications	28
Table 5 – Maximum values of $\tan\delta$	29
Table 6 – LPIT secondary terminal and low-voltage component terminal withstand capability	29
Table 7 – WB0 extension for harmonics	32
Table 8 – Accuracy class extensions for wide bandwidth applications	33

Table 9 – Harmonic requirements for protection accuracy classes	34
Table 10 – Anti-aliasing filter requirements	35
Table 11 – Permissible temporary leakage rates for gas systems	38
Table 12 – Limits of temperature and temperature rise for various parts, materials and dielectrics of instrument transformers	39
Table 13 – Specific creepage distances by site pollution severity class, as defined in the former publication	42
Table 14 – Maximum static withstand loads	44
Table 15 – Maximum gas-in-oil level in instrument transformers	44
Table 16 – Arc fault duration and performance criteria	45
Table 17 – Immunity requirements and test levels	47
Table 18 – Acceptance criteria for EMC immunity tests	49
Table 19 – Connectors	54
Table 20 – List of tests	57
Table 21 – Gas type and pressure during tests	58
Table 22 – Required routine tests	59
Table 23 – Modalities of application of the test loads to be applied to the primary terminals	76
Table 24 – Dry heat test, storage temperature	78
Table 25 – Cold test, storage temperature	78
Table 26 – Damp heat steady state test	79
Table 27 – Transmitted overvoltage limits	89
Table 28 – Shock severity levels	97
Table A.1 – Example of drawing to be submitted	103
Table C.1 – Fire hazard of electrotechnical products	106
Table F.1 – Extension criteria for dielectric withstand performance	112
Table F.2 – Extension criteria for temperature rise performance	113
Table F.3 – Extension criteria for short-time and dynamic withstand current performance	113
Table F.4 – Extension criteria for internal arc fault tests	114
Table F.5 – Extension criteria for multiple chopped impulse test	115
Table I.1 – Seismic severity levels	128
Table I.2 – External mass to simulate external forces	137
Table I.3 – Comparable seismic levels	139

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSTRUMENT TRANSFORMERS –**Part 1: General requirements****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.

IEC 61869-1 has been prepared by IEC technical committee 38: Instrument transformers. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007 and IEC 61869-6:2016. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) merger with IEC 61869-6:2016;
- b) new scope: equipment for HV applications with a nominal voltage > 1 kV AC or 1,5 kV DC;
- c) new classification of some special tests as type tests or routine test;
- d) additional type tests, additional special tests and new clause for commissioning tests;
- e) new annexes E, F, G and I.

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

Draft	Report on voting
38/718/FDIS	38/722/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 61869 series, published under the general title *Instrument transformers*, can be found on the IEC website. An overview of the planned or existing set of standards at the date of publication of this document is given below.

The updated list of standards issued by IEC TC 38 is available at the website: <https://www.iec.ch>

Product family standard	Product standard	Title
61869-1 General requirements	61869-2	Additional requirements for current transformers
	61869-3	Additional requirements for inductive voltage transformers
	61869-4	Additional requirements for combined transformers
	61869-5	Additional requirements for capacitor voltage transformers
	61869-7	Additional requirements for low-power voltage transformers
	61869-8	Additional requirements for low-power current transformers
	61869-9	Digital interface for instrument transformers
	61869-10	Additional requirements for current sensors
	61869-11	Additional requirements for voltage sensors
	61869-12	Additional requirements for combined low-power instrument transformers
	61869-13	Stand-alone merging unit (SAMU)
	61869-14	Additional requirements for current transformers for DC applications
	61869-15	Additional requirements for voltage transformers for DC applications
	61869-16	TEDS (transducer electronic data sheet) for instrument transformers
	61869-99	Glossary

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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 document 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 61869-1:2023

INTRODUCTION

This document is the first revision of IEC 61869-1, defining common requirements for instrument transformers, applicable to all types or technologies.

Furthermore, the document is the result of a merger of IEC 61869-1:2007 (*General requirements*) and IEC 61869-6:2016 (*Additional general requirements for low-power instrument transformers*) with the aim of having one single document and simplify the comprehension for the reader of LPIT product-specific standards.

The main modifications of this revision are listed below:

- new scope: equipment for HV applications with a nominal voltage > 1 kV AC or 1,5 kV DC;
- transfer of the definitions to the TC 38 Glossary IEC 61869-99;
- ratings:
 - addition of HV insulation levels above 800 kV;
 - new DC insulation resistance requirements for secondary terminals;
 - additional accuracy class extensions for harmonics;
- design and construction:
 - additional mechanical requirements for EHV applications;
 - clarification of the altitude correction for external insulation and dielectric tests;
 - multiple chopped impulse test: definition of maximum gas-in-oil level before test;
 - internal arc fault protection: simplification of the acceptance criteria;
 - new requirements for storage climatic conditions withstand capability for LPIT;
- type tests:
 - temperature rise test: more accurate definition of the test duration;
 - lightning impulse test: new test procedure (15 impulses) for gas-insulated and resin-insulated instrument transformers, for $U_m \geq 300$ kV;
 - switching impulse test: to be performed in both polarities in case of gas-insulated instrument transformers;
 - chopped wave impulse test: moved from special test to type test;
 - test for accuracy: to be performed with regard to the temperature range and frequency;
 - mechanical test: moved from special test to type test;
 - new specification for storage climatic environmental tests;
- routine tests:
 - partial discharge measurement: addition of record of PD inception voltage and extinction voltage;
 - measurement of capacitance and $\tan\delta$: moved from special test to routine test;
- special tests:
 - transmitted overvoltage test: improved test procedure;
 - internal arc fault test: clarified test procedure;
 - new insulation resistance measurement on secondary terminals;
 - new test for resin insulated instrument transformers operating at low temperature;
 - vibration test: improvement and addition of a shock test for parts mechanically coupled to a circuit-breaker;
 - optional tests for accuracy versus harmonics and for anti-aliasing;

- commissioning tests (new clause):
 - new installation inspection;
 - gas dew point test moved from special test to commissioning tests;
 - new recommended insulation test on LV connection up to the LV cubicle;
- rules for transport, storage, erection, operation and maintenance:
 - new mandatory rules for user and manufacturer;
 - new conditions for transportation and storage;
- new annexes:
 - Annex E (informative): technique used in temperature rise test of transformers to determine the thermal time constant by an experimental estimation;
 - Annex F (informative): guidance for the extension of validity of type tests and special tests;
 - Annex G (informative): guidance for the calculation of equivalent diameter in case of irregular shape of insulating part;
 - Annex I (normative): seismic qualification of instrument transformers.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023

INSTRUMENT TRANSFORMERS –

Part 1: General requirements

1 Scope

This part of IEC 61869 is applicable to newly manufactured instrument transformers intended for applications where the nominal voltage is higher than 1 kV AC or 1,5 kV DC, with an analogue or a digital secondary signal for measuring, protection and control purposes, with rated frequencies from 15 Hz to 400 Hz, or for DC applications.

NOTE 1 A bushing type current transformer, although having no primary insulation level for itself is often placed on a system with a nominal voltage > 1 kV AC or > 1,5 kV DC and therefore falls within the scope of this document. Example: CT placed around an HV bushing or a cable.

The general requirements for instrument transformers for applications in LV systems (nominal voltage ≤ 1 kV AC or $\leq 1,5$ kV DC) are covered by IEC 61869-201.

This part of IEC 61869 is a product family standard and covers general requirements only. For each type of instrument transformer, the product standard is composed of this document and the relevant specific product standard.

This part of IEC 61869 contains the requirements for the limits of the errors both for analogue and digital secondary signals. The other characteristics of a digital interface for instrument transformer are standardised in IEC 61869-9 as an application of the IEC 61850 horizontal standard series, covering communication networks and systems for power utility automation.

This part of IEC 61869 considers bandwidth requirements. The accuracy requirements on harmonics and requirements for the anti-aliasing filter are specified in 5.7.

In the case of an LPIT, the general block diagram of single-phase devices is given in Figure 1.

According to the technology, it is not always necessary that all parts described in Figure 1 be included in the instrument transformer.

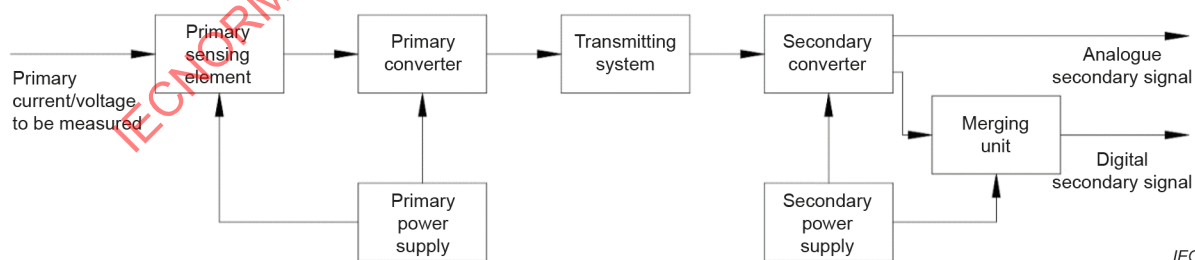


Figure 1 – General block diagram of single-phase LPITs

NOTE 2 A secondary power supply can be combined with a primary power supply or with a power supply of other instrument transformers.

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 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60068-2-1, *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 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-11, *Environmental testing – Part 2-11: Tests – Test Ka: Salt mist*

IEC 60068-2-17, *Basic environmental testing procedures – Part 2-17: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-27:2008, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-47, *Environmental testing – Part 2-47: Tests – Mounting of specimens for vibration impact and similar dynamic tests*

IEC 60068-2-57:2013, *Environmental testing – Part 2-57: Tests – Test Ff: Vibration – Time-history and sine-beat method*

IEC 60068-2-75, *Environmental testing – Part 2-75: Tests – Test Eh: Hammer tests*

IEC 60068-2-78:2012, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60068-3-3:2019, *Environmental testing – Part 3-3: Supporting documentation and guidance – Seismic test methods for equipment*

IEC 60071-1:2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:2018, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*

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

IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60270:2000/AMD1:2015

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment*

IEC 60455 (all parts), *Resin based reactive compounds used for electrical insulation*

IEC 60475, *Method of sampling insulating liquids*

IEC 60480, *Specifications for the re-use of sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures in electrical equipment*

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

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60603-7-1, *Connectors for electronic equipment – Part 7-1: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors*

IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*

IEC 60794-2:2017, *Optical fibre cables – Part 2: Indoor cables – Sectional specification*

IEC 60794-3, *Optical fibre cables – Part 3: Outdoor cables – Sectional specification*

IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

IEC 60867, *Insulating liquids – Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons*

IEC TR 61000-4-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-1: Testing and measurement techniques – Overview of IEC 61000-4 series*

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

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

IEC 61000-4-4, *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 61000-4-5:2014/AMD1:2017

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

IEC 61000-4-8, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase*

IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at AC power port, low frequency immunity tests*

IEC 61000-4-16, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-16: Testing and measurement techniques – Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz*

IEC 61000-4-17, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-17: Testing and measurement techniques – Ripple on DC input power port immunity test*

IEC 61000-4-18:2019, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave immunity test*

IEC 61000-4-29, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-29: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations on DC input power port immunity tests*

IEC 61000-6-4:2018, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*

IEC 61076-2-101, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2-101: Circular connectors – Detail specification for M12 connectors with screw-locking*

IEC 61083-1, *Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests – Part 1: Requirements for instruments for impulse tests*

IEC 61099, *Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*

IEC 61181, *Mineral oil-filled electrical equipment – Application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment*

IEC 61462, *Composite hollow insulators – Pressurized and unpressurized insulators for use in electrical equipment with rated voltage greater than 1 000 V – Definitions, test methods and acceptance criteria and design recommendations*

IEC 61850-7-4, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes*

IEC 61869-9:2016, *Instrument transformers – Part 9: Digital interface for instrument transformers*

IEC 61869-99, *Instrument transformers: Glossary*

IEC 62155, *Hollow pressurized and unpressurized ceramic and glass insulators for use in electrical equipment with rated voltages greater than 1 000 V*

IEC 62217:2012, *Polymeric HV insulators for indoor and outdoor use – General definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 62271-4:2022, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for gases for insulation and/or switching*

IEC 62271-100, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

IEC 62271-203:2022, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IEC 62770, *Fluids for electrotechnical applications – Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment*

IEC 63012, *Insulating liquids – Unused modified or blended esters for electrotechnical applications*

CISPR TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits*

ISO/IEC/IEEE 21451-4, *Information technology – Smart transducer interface for sensors and actuators – Part 4: Mixed-mode communication protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) formats*

ISO 4628-3, *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 3: Assessment of degree of rusting*

ISO 22479, *Corrosion of metals and alloys – Sulfur dioxide test in a humid atmosphere (fixed gas method)*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of IEC 61869-99 apply.

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

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

3.2 Symbols and abbreviated terms

ADC	analogue-to-digital converter
AIS	air-insulated switchgear
CT	current transformer
CVT	capacitor voltage transformer
EIT	electronic IT
EMC	electromagnetic compatibility
F	mechanical load
f_r	rated frequency
F_{rel}	relative leakage rate

F_V	rated voltage factor
GIS	gas-insulated switchgear
I_{arc}	rated internal arc fault current
I_{cth}	rated continuous thermal current
I_{dyn}	rated dynamic current
I_{pr}	rated primary current
I_{psc}	rated short-circuit current
I_{sr}	rated secondary current
I_{th}	rated short-time thermal current
IED	intelligent electronic device
IT	instrument transformer
K_r	rated transformation ratio
k_{se}	superelevation factor
LPCT	low-power current transformer
LPIT	low-power instrument transformer
LPVT	low-power voltage transformer
MU	merging unit
PD	partial discharge
RMS	root-mean-square
SAMU	stand-alone merging unit
S_r	rated output – rated output power
t_{dr}	rated delay time
U_m	highest voltage for equipment
U_{pr}	rated primary voltage
U_{sr}	rated secondary voltage
U_{sys}	highest voltage of the system
VT	voltage transformer
Z_{br}	rated burden
ZPA	zero period acceleration
$\Delta\phi$	phase displacement
ε	ratio error
ε_c	composite error
φ_e	phase error

4 Normal and special environmental conditions

4.1 General

Unless otherwise specified, instrument transformers are intended to be used at their rated characteristics under the normal environmental conditions listed in 4.2.

If the actual environmental conditions differ from these normal environmental conditions, instrument transformers shall be designed to comply with special environmental conditions as required by the purchaser.

4.2 Normal environmental conditions

4.2.1 Ambient air temperature

Instrument transformers are classified in three operating temperature categories, as given in Table 1.

Table 1 – Operating ambient temperature categories

Category	Minimum temperature °C	Maximum temperature °C
–5/40	–5	40
–25/40	–25	40
–40/40	–40	40

In the case of instrument transformers integrated within other equipment (e.g. GIS, circuit-breaker), the instrument transformer should be specified for the temperature conditions for the respective equipment.

The lower limit for storage temperature shall be selected from the following values:

–5 °C, –25 °C or –40 °C.

The upper limit for storage temperature shall be selected from the following values:

+40 °C, +55 °C or +70 °C.

4.2.2 Altitude

The altitude does not exceed 1 000 m.

4.2.3 Vibrations or earth tremors

Vibrations occurring after switching operations of circuit-breakers shall be regarded as normal environmental conditions. Vibrations due to earth tremors are considered as special environmental conditions.

4.2.4 Exposure to pollution

For degrees of severity of environmental conditions under condensation and pollution, refer to IEC TS 60815-1:2008, Clause 8:

- for instrument transformers to be used in an enclosed switchgear, minimum site pollution severity (SPS) class is "Very Light";
- for AIS indoor instrument transformers, minimum SPS class is "Light";
- for AIS outdoor instrument transformers, minimum SPS class is "Heavy".

For GIS applications, no pollution severity is defined.

4.2.5 Other environmental conditions for indoor instrument transformers

Other considered environmental conditions applicable to indoor ITs are as follows:

- a) the influence of solar radiation can be neglected;
- b) the conditions of humidity are as follows:

- the average value of the relative humidity measured for a period of 24 h does not exceed 95 %;
- the average value of the relative humidity for a period of one month does not exceed 90 %.

For these conditions, condensation can occasionally occur.

NOTE 1 Condensation can be expected when sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 2 Condensation can be prevented by special design of the housing, by suitable ventilation and heating, or using a dehumidifying device.

4.2.6 Other environmental conditions for outdoor instrument transformers

Other considered environmental conditions applicable to outdoor IT are as follows:

- a) the average value of the ambient air temperature, measured over a period of 24 h, does not exceed 35 °C;
- b) solar radiation up to a level of 1 000 W/m² (on a clear day at noon) shall be considered;
- c) the wind pressure does not exceed 700 Pa (corresponding to a 34 m/s wind speed);
- d) the presence of condensation or precipitation should be considered;
- e) the ice coating does not exceed 20 mm.

4.2.7 IT with outdoor parts

In the case of an IT with indoor and outdoor parts, the manufacturer shall indicate which parts of the equipment are located indoors and which parts are located outdoors.

4.3 Special environmental conditions

4.3.1 General

When instrument transformers are intended to be used under conditions different from the normal environmental conditions given in 4.2, the purchaser's requirements should refer to standardised criteria given in 4.3.2 to 4.3.5.

4.3.2 Altitude

4.3.2.1 Influence of altitude on external insulation

At an altitude >1 000 m, the disruptive discharge voltage for external insulation is affected by the reduction of air density. Considering the reduced withstand capability of the air, the required insulation withstand level of the external insulation is specified in 6.6.2.

4.3.2.2 Influence of altitude on temperature rise

At an altitude >1 000 m, the thermal behaviour of an instrument transformer is affected by the reduction of air density. The reduction of the temperature rise limits is specified in 6.4.2.

4.3.3 Ambient temperature

For installations located in a place where the ambient temperature can be significantly outside the normal environmental condition range stated in 4.2.1, the preferred ranges of minimum and maximum temperature to be specified should be:

- a) –50 °C and +40 °C for very cold climates;
- b) –5 °C and +50 °C for very hot climates.

NOTE 1 In certain regions with a frequent occurrence of warm humid atmosphere, sudden changes of temperature can occur, resulting in condensation, even indoors.

For the electronic part of an instrument transformer mounted inside an indoor or outdoor cabinet, the preferred maximum temperature for very hot climates is increased to +55 °C. Temperatures up to +70 °C may also be specified.

NOTE 2 +55 °C is consistent with IEC 62271-1 and +70 °C is consistent with IEC 60255-1.

NOTE 3 Under certain conditions of solar radiation, appropriate measures (e.g. roofing, forced ventilation) are sometimes necessary in order not to exceed the specified temperature rises. Alternatively, derating can be used.

For storage located in a place where the minimum ambient temperature can be significantly outside the normal environmental condition range stated in 4.2.1, the lower limit for storage temperature can be –50 °C.

4.3.4 Vibrations or earth tremors

Vibration levels that are likely to occur shall be specified by the purchaser.

NOTE Earth tremors are not to be confused with earthquakes.

4.3.5 Earthquakes

For installations at locations where earthquakes are likely to occur, the relevant severity level shall be specified by the purchaser in accordance with I.2.2.

5 Ratings

5.1 General

The ratings of instrument transformers, including their auxiliary equipment if existing, shall be selected from the following ones (when applicable):

- a) highest voltage for equipment (U_m);
- b) rated insulation level;
- c) rated primary current (I_{pr}) or rated primary voltage (U_{pr});
- d) rated secondary current (I_{sr}) or rated secondary voltage (U_{sr}) or rated transformation ratio (K_r);
- e) rated extended primary current (I_{epr}) and rated extended primary current factor (K_{epr});
- f) rated short-time thermal current (for CT) (I_{th});
- g) rated dynamic current (for CT) (I_{dyn});
- h) rated continuous thermal current (for CT) (I_{cth});
- i) rated short-circuit current (for CT) (I_{psc});
- j) rated voltage factor (for VT) (F_v);
- k) rated frequency (f_r);
- l) rated output (S_r) or rated burden (Z_{br});
- m) accuracy class.

5.2 Voltage ratings

5.2.1 Highest voltage for equipment (U_m)

Table 2 contains a list of standard values for the highest voltage for equipment.

For exposed installations (which are subject to overvoltage of atmospheric origin), it is recommended to choose the highest coordinated insulation level.

The highest voltage for equipment (U_m) shall be higher or equal to the highest voltage of the system (U_{sys}).

For bushing types CT, no primary insulation level is applicable.

NOTE A bushing type CT has no primary insulation for itself. The insulation is part of the HV equipment on which it is mounted.

Guidance for the selection of the rated AC insulation level, is given in IEC 60071-1:2019, 5.5. This should also take into account the overvoltage during the disconnector operations. For DC applications, refer to product-specific standards.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023

Table 2 – Rated primary terminal insulation levels for instrument transformers for AC applications

Highest voltage for equipment U_m (RMS)	Rated power-frequency withstand voltage (RMS)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated switching impulse withstand voltage (peak)
kV	kV	kV	kV
3,6	10	20 40	
7,2	20	40 60	
12	28	60 75	
17,5	38	75 95	
24	50	95 125	
36	70	145 170	
52	95	250	
72,5	140	325	
100	185	450	
123	185 230	450 550	
145	230 275	550 650	
170	275 325	650 750	
245	395 460	950 1 050	
300	395 460	950 1 050	750 850
362	460 510	1 050 1 175	850 950
420	570 630	1 300 1 425	950 1 050
550	630 680	1 425 1 550	1 050 1 175
800	880 975	1 950 2 100	1 425 1 550
1 100	1 100	2 250 2 400 2 550	1 550 1 675 1 800
1 200	1 200	2 250 2 400 2 700	1 675 1 800 1 950

5.2.2 Power system earthing

The considered power system earthing can be:

- a) isolated neutral system;
- b) earthed neutral system:
 - 1) solidly earthed neutral system;
 - 2) impedance earthed neutral system:
 - effectively earthed neutral characterized by an earth fault factor $\leq 1,4$;
 - non-effectively earthed neutral characterized by an earth fault factor $> 1,4$;
 - 3) resonant earthed neutral system.

NOTE The condition to be effectively earthed is obtained approximately when, for all system configurations, the ratio of zero-sequence reactance to the positive sequence reactance is less than 3 and the ratio of zero-sequence resistance to positive sequence reactance is less than 1.

5.2.3 Standard values for rated primary voltage (U_{pr})

See product-specific standards.

5.2.4 Standard values for rated secondary voltage (U_{sr})

See product-specific standards.

5.2.5 Rated auxiliary power supply voltage (U_{ar})

5.2.5.1 General

The rated auxiliary power supply voltage is the voltage value on which the requirements of a specification are based. It is measured at the power supply terminals.

The manufacturer may specify an auxiliary power supply voltage range.

5.2.5.2 Rated AC auxiliary voltage

The standard values of AC voltages are given below:

110 V – 120 V – 220 V – 230 V

Preferential values are those underlined.

The preferred operating range is 80 % to 110 % of the rated voltage.

The preferred values of the AC power supply frequency are:

50 Hz or 60 Hz

The manufacturer may specify an auxiliary power supply frequency range.

5.2.5.3 Rated DC auxiliary voltage

Standard values for the rated DC voltages are given below:

24 V – 48 V – 110 V – 125 V – 220 V – 250 V

The preferred operating range is 80 % to 110 % of the rated voltage.

In the case of a long distance between the control room and the instrument transformer electronics, a lower minimum supply voltage may be specified.

For LPITs with a DC power supply provided by the associated IED, the maximum power consumption shall be limited to 0,5 W. This includes the primary converter and the secondary converter. If the LPIT has phase-segregated components, this limitation applies to each phase. The standard value of the rated power supply voltage for this application is 24 V DC.

5.2.5.4 Insulation requirements for power supply terminals

Insulation requirements for the power supply terminals are given in Table 3. Requirements apply from the input terminals to any grounded part, and/or neighbouring circuit terminals (if present).

Table 3 – Insulation requirements for power supply terminals

Overvoltage category	Insulation type	Rated insulation voltage (RMS or DC)	Power-frequency voltage withstand capability (1 min)	Impulse voltage withstand capability (1,2/50 µs)
III	Basic insulation	300 V	2,2 kV	4 kV
III	Basic insulation	600 V	3,25 kV	6 kV

NOTE The overvoltage category III and the basic insulation concept are described in IEC 60664-1. Table 3 requirements assume that the protection from electrical shock is implemented using basic insulation plus grounding.

5.3 Current ratings

5.3.1 Standard values for rated primary current (I_{pr})

See product-specific standards.

5.3.2 Standard values for rated secondary current (I_{sr})

See product-specific standards.

5.3.3 Standard values for rated continuous thermal current (I_{cth})

See product-specific standards.

5.3.4 Short-time current ratings

5.3.4.1 Rated short-time thermal current (I_{th})

See product-specific standards.

5.3.4.2 Rated dynamic current (I_{dyn})

See product-specific standards.

5.3.4.3 Rated internal arc fault current (I_{arc})

If optionally specified, the value of the rated internal arc fault current (I_{arc}) shall be declared by the manufacturer.

If not otherwise specified, an internal arc fault current equal to 60 % of the switchgear rated short-time withstand current is suitable for most of applications.

NOTE 1 Experience has shown that selection of internal arc fault currents equal to 100 % system fault current statistically requires a degree of over-design of the transformer, since local phase-to-earth fault levels are significantly lower.

NOTE 2 Values higher than 60 % of the system fault current could be required based on the phase-to-earth fault current calculation at a given location where the transformer will be installed.

5.4 Dielectric ratings

5.4.1 General

For most of the values of highest voltage for equipment (U_m), several rated insulation levels exist to allow application of different performance criteria or overvoltage patterns. The choice should be made considering the degree of exposure to fast-front and slow-front overvoltage, the type of neutral earthing of the system, and the type of overvoltage limiting devices.

For the bushing type CT, the primary insulation is not provided by the CT of its own, but through the HV device on which it is mounted (e.g. GIS, HV cable, HV bushing). No primary insulation level is applicable for these devices.

5.4.2 Rated primary terminal insulation level

The rated primary terminal insulation level of an instrument transformer shall be based on its highest voltage for equipment U_m in accordance with Table 2.

The VT primary terminal intended to be earthed in operation shall have a power-frequency withstand voltage of 3 kV.

For instrument transformers mounted on GIS, the rated insulation levels shall be in accordance with IEC 62271-203:2022, Table 2 and Table 3, phase-to-earth insulation.

5.4.3 Other requirements for primary terminal insulation

5.4.3.1 Partial discharges

The partial discharge level for AC application shall not exceed the limits specified in Table 4. The test procedure is specified in 7.3.2.2.

The partial discharge level for DC application is defined in the product-specific standards.

Table 4 – Partial discharge test voltages and permissible levels for AC applications

Type of earthing of the neutral system ^a	Instrument transformer type	PD test voltage (RMS) kV	Maximum permissible PD level ^b pC	
			insulated in liquid or gas	solid
Earthed neutral system (earth fault factor ≤ 1,4)	CT and earthed VT	U_m	10	50
		$1,2 U_m/\sqrt{3}$	5	20
	Unearthed VT	$1,2 U_m$	5	20
Isolated or non-effectively earthed neutral system (earth fault factor > 1,4)	CT and earthed VT	$1,2 U_m$	10	50
		$1,2 U_m/\sqrt{3}$	5	20
	Unearthed VT	$1,2 U_m$	5	20

^a If the neutral system is not defined, the values given for isolated or non-effectively earthed neutral systems are applicable.

^b The maximum permissible PD level is also applicable for test frequencies different from rated frequency.

5.4.3.2 Chopped lightning impulse

Instrument transformers with $U_m \geq 72,5$ kV, other than GIS devices, shall be capable to withstand a chopped lightning impulse voltage of negative polarity applied to its primary terminals with a peak value of 115 % of the rated lightning impulse withstand voltage.

5.4.3.3 Capacitance and dielectric dissipation factor ($\tan\delta$)

This requirement applies only to the following instrument transformers with $U_m \geq 72,5$ kV:

- with liquid-insulated primary insulation;
- with solid insulation;
- free-standing gas-insulated with capacitance grading insulation system.

NOTE The main purpose of this measurement is to check the water content and the purity of the insulating material.

Capacitance and $\tan\delta$ measurement can be not applicable for certain types of voltage transformers. For the measuring procedure, refer to the relevant product standard.

The dielectric dissipation factor ($\tan\delta$) is dependent on the type of insulation, and on both voltage and temperature. Its value at ambient temperature shall not exceed the values indicated in Table 5.

Table 5 – Maximum values of $\tan\delta$

Type of insulation	Maximum value of $\tan\delta$ measured at $U_m / \sqrt{3}$
Oil-impregnated paper	0,005
Oil-impregnated film	0,001
Oil-impregnated mixed film-paper	0,002
Gas-impregnated paper	0,003
Gas-impregnated film	0,001
Solid insulation	a
Other (e.g.: new technologies)	a
a To be indicated and justified by the manufacturer	

5.4.4 Between-section insulation requirements

For terminals of each section, the rated power-frequency withstand voltage of the insulation between sections shall be 3 kV.

The insulation requirement between sections of secondary windings is covered by 5.4.5.

5.4.5 Insulation requirements for secondary terminals and low-voltage components

5.4.5.1 General requirements

For inductive instrument transformers and CVT, the rated power-frequency withstand voltage between secondary terminals and earth shall be 3 kV.

5.4.5.2 Special requirements for LPITs

In the case of LPITs, insulation requirements for secondary terminals and low-voltage component terminals are given in Table 6.

Table 6 – LPIT secondary terminal and low-voltage component terminal withstand capability

Transmitting system of the LPIT	Power-frequency voltage withstand capability	Impulse voltage withstand capability
Electrical cable length ≤ 10 m	820 V	1,5 kV - 1,2/50 μ s
Electrical cable length > 10 m	3 kV	5 kV - 1,2/50 μ s
Optical connectors	NA	NA
NOTE In cases where the total electrical cable length of the transmitting system up to the secondary equipment does not exceed 10 m, and the associated earthing impedance is sufficiently low, the common mode voltage is not supposed to exceed a safe value. The levels indicated in the first row are reduced to a value consistent with the requirements defined in IEC 60255-27:2013, Table C.3. The insulation level meets PEB (protection by equipotential bonding) system requirements for 150 V working voltage.		

5.4.5.3 DC insulation resistance requirement

If requested, the insulation resistance between the short-circuited terminals of each secondary winding and earth shall be higher or equal to 200 M Ω when measured at a voltage of 1 kV DC. If the power-frequency voltage withstand capability is below 1 kV according to Table 6, the insulation measurement voltage shall be reduced to 500 V DC.

NOTE The on-site measurement of insulation resistance can present a lower value owing to ambient humidity.

5.5 Rated frequency (f_r)

The standard values of the rated frequency for AC applications are

16,7 Hz – 50 Hz – 60 Hz – 400 Hz.

5.6 Output ratings

5.6.1 Rated output for inductive instrument transformers and CVTs

5.6.1.1 General

For inductive instrument transformers and CVTs, the rated output (S_r) is expressed in volt-amperes absorbed in the secondary circuit connected with the rated burden (Z_{br}), at a specified power factor and at the rated secondary voltage or current.

5.6.1.2 Rated output values

See specific product standards.

5.6.2 Rated burden for LPITs

For LPITs, the standard value of rated burden is defined by a resistance of 2 M Ω in parallel with a capacitance of 50 pF. This specification assumes that the transmitting cable is part of the LPIT. The rated burden represented by the measuring and/or protection device is connected at the end of the transmitting cable.

For use on devices backward compatible with IEC 60044-8 or applications which require increased electromagnetic immunity, 2 k Ω /5 000 pF and 20 k Ω /500 pF are acceptable.

NOTE When necessary, an impedance converter can be integrated into the LPIT to adapt it to the standard rated burden.

5.6.3 Standard values for the rated delay time for EITs (t_{dr})

The standard values for rated delay time are:

0 μ s – 50 μ s – 100 μ s – 500 μ s

In the case of a digital signal in accordance with IEC 61869-9, the rated delay time is zero, because the merging unit provides an absolute time reference for signal measurement.

5.7 Accuracy requirements

5.7.1 General

The limits of error for steady-state and transient performance related to each accuracy class as well as the related tests are defined in the product-specific standards.

For very low current or very low voltage, the maximum absolute error is defined in the product-specific standard.

For measuring accuracy classes, the limits of error shall be granted from 99 % to 101 % of the rated frequency (f_r). For protection accuracy classes, the limits of error shall be granted from 96 % to 102 % of the rated frequency (f_r). For the majority of the instrument transformers, no additional tests are needed. In the case of specific technologies having known issues, this will be covered by the product-specific standard.

5.7.2 Rated accuracy classes

See specific product standards.

5.7.3 Accuracy class extension for harmonics

Owing to the use of specific devices (e.g. non-linear loads, railways), harmonics can be generated on the network. The amount of harmonics depends on the network and the voltage level. Harmonics are of interest for measuring applications, power quality measurements and protection purposes. Specific accuracy requirements for each class are given in 5.7.4, 5.7.5 and 5.7.6.

To give a brief indication of the performance of a piece of equipment in terms of harmonics response, an accuracy class extension identifier may be used for each accuracy class.

Accuracy class extensions for harmonics are:

- WB0 extension for harmonic frequencies up to the 13th harmonic;
- WB1 extension for harmonic frequencies up to 3 kHz;
- WB2 extension for harmonic frequencies up to 20 kHz;
- WB3 extension for harmonic frequencies up to 150 kHz;
- WB4 extension for wide bandwidth applications up to 500 kHz.

Requirements for accuracy on harmonics are defined in 5.7.4.

This accuracy class extension identifier may be appended to the rated accuracy class, separated by a dash.

EXAMPLE 1 Accuracy class 0,5-WB1.

Extensions can be freely combined with all accuracy classes to indicate better performances at high frequencies.

For all LPITs and SAMU, the accuracy class extension shall be at least WB0, while the extensions WB1, WB2, WB3 and WB4 are optional.

For other instrument transformers, all extensions are optional.

Some extensions may be not applicable to a specific instrument transformer.

Where applicable, multiple extensions may be claimed for the same IT.

EXAMPLE 2 Class 0,2-WB1 and class 0,5-WB2.

The extensions apply to both voltage transformers and current transformers.

5.7.4 Accuracy requirements for harmonics

5.7.4.1 Accuracy class extension for measuring applications

Table 7 provides the limit of errors for the accuracy class extension WB0.

Table 7 – WB0 extension for harmonics

Accuracy class	Ratio error at low frequency		Ratio error at harmonics based on f_r				Phase error at low frequency	Phase error at harmonics based on f_r			
	%		%				Degrees	Degrees			
	DC ^a	1 Hz	2 nd to 4 th	5 th and 6 th	7 th to 9 th	10 th to 13 th	1 Hz	2 nd to 4 th	5 th and 6 th	7 th to 9 th	10 th to 13 th
0,1	+1 –100	+1 –30	±1	±2	±4	±8	±45	±1	±2	±4	±8
0,2 – 0,2 S ^b	+2 –100	+2 –30	±2	±4	±8	±16	±45	±2	±4	±8	±16
0,5 – 0,5 S ^b	+5 –100	+5 –30	±5	±10	±20	±20	±45	±5	±10	±20	±20
1 – 3 – 5	+10 –100	+10 –30	±10	±20	±20	±20	±45	±10	±20	±20	±20
^a DC coupling is allowed but not required.											
^b The accuracy classes 0,2 S and 0,5 S apply only for current transformers.											

The transition between points defined in Table 7 shall be a straight line when shown in a diagram with logarithmic scales on both axes.

5.7.4.2 Accuracy class extensions for wide bandwidth applications

According to EN 50160 and IEC 61000-4-7, for such purposes, harmonics up to the 40th order are measured (in some cases even to the 50th order). IEC 61000-4-7 specifies a limit for quality measuring applications. The limits of accuracy for wide bandwidth application are given in Table 8.

Table 8 – Accuracy class extensions for wide bandwidth applications

Accuracy class	Ratio error at frequencies shown below			Phase error at frequencies shown below		
	%			Degrees		
WB1	$f_r < f \leq 1 \text{ kHz}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ kHz}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 1 \text{ kHz}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ kHz}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ kHz}$
WB2	$f_r < f \leq 5 \text{ kHz}$	$5 < f \leq 10 \text{ kHz}$	$10 < f \leq 20 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 5 \text{ kHz}$	$5 < f \leq 10 \text{ kHz}$	$10 < f \leq 20 \text{ kHz}$
WB3	$f_r < f \leq 20 \text{ kHz}$	$20 < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 20 \text{ kHz}$	$20 < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$
WB4	$f_r < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$150 < f \leq 500 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$150 < f \leq 500 \text{ kHz}$
0,1	±1	±2	±5	±1	±2	±5
0,2 – 0,2 S	±2	±4	±5	±2	±4	±5
0,5 – 0,5 S	±5	±10	±10	±5	±10	±20
1	±10	±20	±20	±10	±20	±20
Protection	±10	±20	±30	-	-	-
The accuracy classes 0,2 S and 0,5 S apply only for current transformers.						
NOTE 1 Accuracy class extension WB4 is intended for very wide bandwidth applications like travelling-wave protections and fault locators where signal frequencies reach as high as 500 kHz. The use of relays based on travelling-wave analysis is a promising solution offering very accurate fault location. For instance, new devices based on such principles claim to be much more accurate than conventional reactance-based fault locators. This field is still evolving, but CTs and VTs suitable for these relays need a very large frequency range, hence the "extended" range up to 500 kHz. No consensus for general requirements for this kind of application is available at the date of the publication. NOTE 2 Travelling wave relays are designed especially for this purpose and are very special (very large bandwidth, etc.). Although WB4 compliant ITs are very desirable, inductive CTs and CVTs often have not a sufficient bandwidth allowing relays and fault locators to accurately measure the traveling wave arrival times. NOTE 3 Owing to the high bandwidth, the classes WB3 and WB4 are not compatible with digital signals in accordance with IEC 61869-9 and its standardized sampling rates.						

IEC 61850-7-4 introduces a mechanism which allows the IT frequency response compensation factors to be exposed to the IED by using the frequency correction setting "CorCrv" contained within the logical nodes for current and voltage transformers (TCTR and TVTR). Correction factors are provided in the form of "curve shape setting" (CSG).

It is recommended that manufacturers of SAMUs and LPITs with digital interfaces provide device-specific frequency correction factors supporting the IEC 61850-7-4 "CorCrv" correction mechanism.

When the frequency correction factors are provided, the manufacturer shall specify the accuracy at harmonics after correction according to Table 8.

5.7.5 Harmonic requirements for LPIT protection accuracy classes

For all protective accuracy classes, the harmonic requirements of Table 9 are mandatory, and harmonic requirements of Table 8 are optional. Frequencies of 16,7 Hz or 20 Hz are relevant to cover possible influences coming from railway power frequencies (for electrical networks with rated frequencies of 50 Hz or 60 Hz).

Table 9 – Harmonic requirements for protection accuracy classes

Ratio error at low frequency		Ratio error at frequencies and harmonics shown below, based on f_r		Phase error at low frequency	Phase error at frequencies and harmonics shown below, based on f_r	
%				Degrees		
DC	1 Hz	1/3 rd component (16,7 Hz or 20 Hz)	2 nd to 5 th harmonic	1 Hz	1/3 rd component (16,7 Hz or 20 Hz)	2 nd to 5 th harmonic
+10	+10	±10	±10	-	±10	±10
-100	-30					

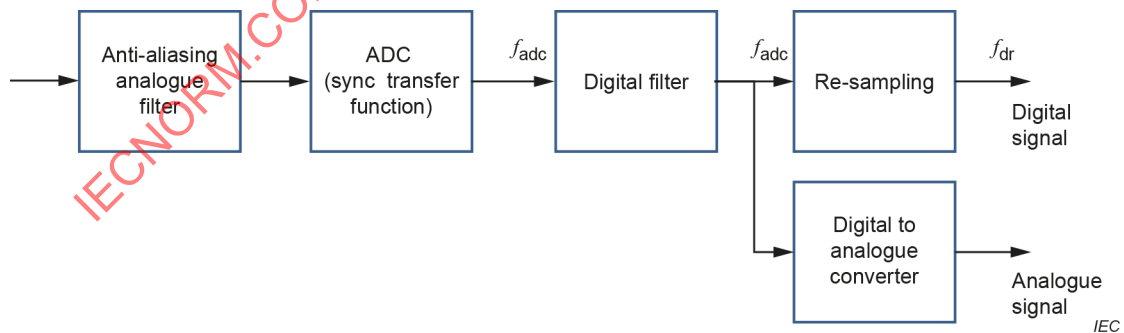
The above limits apply equally to both low-power voltage and low-power current transformers.

5.7.6 Anti-aliasing filter for EIT using digital data processing

Digital and discrete time data processing limits the bandwidth to less than one half the digital sampling rate f_s (Nyquist criterion). If different sampling rates along the signal processing path are used, the lowest rate is the limiting factor. For instrument transformers with digital signal, the lowest rate is usually the output sampling rate. Frequencies above $f_s / 2$ are mirrored to frequencies below $f_s / 2$. From the point of view of accuracy, the most critical frequencies are those mapped onto the power system frequency f_r . The first frequency mapped on f_r is

$$f_s - f_r$$

An example of data acquisition system is illustrated in Figure 2 which shows that a single system can use multiple sampling frequencies f_s marked in this case as f_{adc} and f_{dr} .



Key

- f_{adc} ADC sampling rate
 f_{dr} output sampling rate

Figure 2 – Example of digital data acquisition system

If f_{adc} is larger than f_{dr} , the useable signal bandwidth is less than $f_{dr} / 2$, otherwise the signal bandwidth is less than $f_{adc} / 2$.

Hence, a so-called anti-aliasing filter shall be used. Minimum anti-aliasing filter attenuation requirements are specified as a function of the instrument transformer accuracy class and given in Table 10.

Table 10 – Anti-aliasing filter requirements

Accuracy class	Anti-aliasing filter attenuation guarding frequencies up to 13 th harmonic $(f_s - 13 \times f_r \leq f < f_s - f_r)$	Anti-aliasing filter attenuation guarding the fundamental $(f_s - f_r \leq f)$
0,1	≥ 17 dB	≥ 34 dB
0,2	≥ 14 dB	≥ 28 dB
0,5	≥ 10 dB	≥ 20 dB
1	≥ 10 dB	≥ 20 dB
Protection classes	≥ 10 dB	≥ 20 dB

The attenuation, expressed in decibels (dB), is calculated in accordance with the following formula in the case of current transformers with an analogue secondary signal:

$$\alpha = 20 \lg \left(\frac{I_p}{I_{pr}} \times \frac{U_{sr}}{U_s} \right)$$

where

α is the attenuation;

I_p is the RMS value of the primary current at frequency f , with $f \geq f_s - f_r$;

U_s is the RMS value of the secondary voltage at the mirrored frequency $(f_s - f_r)$;

I_{pr} is the rated primary current;

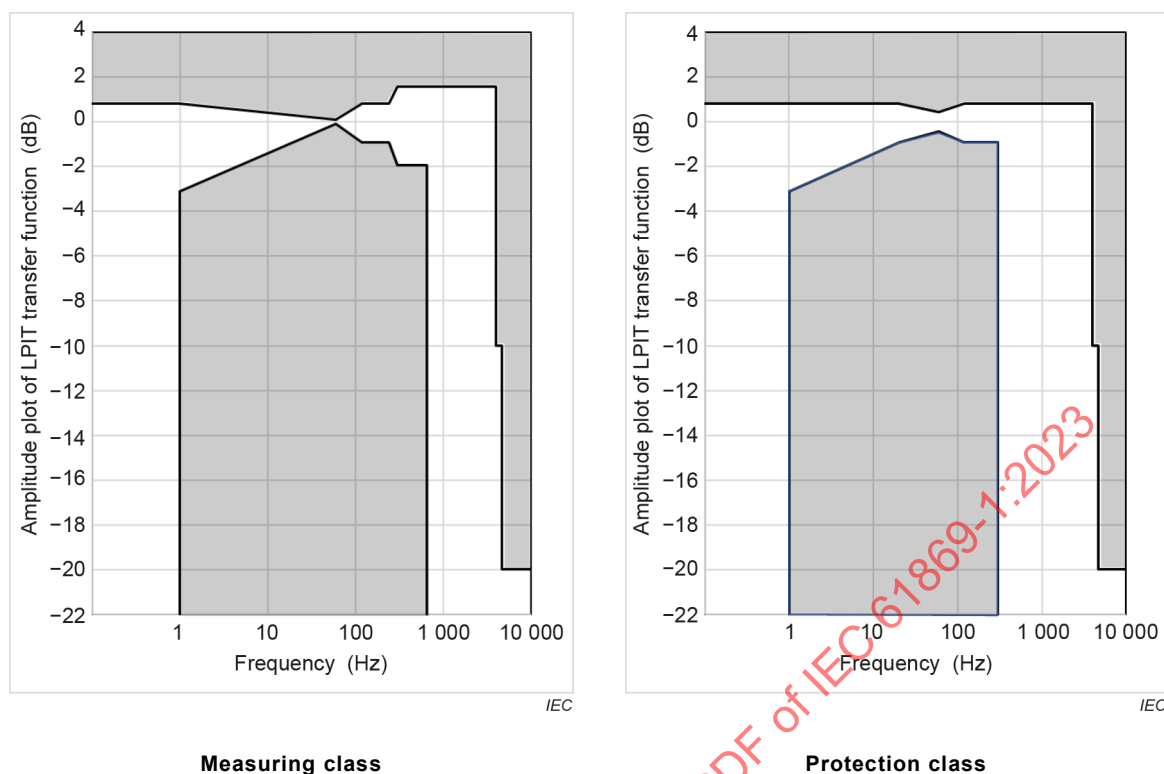
U_{sr} is the rated secondary voltage.

For a digital secondary signal, the attenuation is defined by

$$\alpha = 20 \lg \frac{I_p}{I_s}$$

For low-power voltage transformers, replace current I_p by voltage U_p and current I_s by voltage U_s .

Figure 3 illustrates the combined harmonic and anti-aliasing frequency response magnitude requirements for measuring accuracy class 1, WB0 and protection accuracy class 5P where $f_r = 60$ Hz and $f_s = 4\,800$ Hz.



Key Grey zone: prohibited region for response

Figure 3 – Example of frequency response mask for EIT with digital output

It is recommended that a typical frequency response plot (phase and magnitude) be provided with the documentation. The frequency response plot may be obtained by simulation.

6 Design and construction

6.1 Requirements for liquids used in equipment

6.1.1 General

The manufacturer shall specify the type and the required quantity and quality of the liquid to be used in equipment.

6.1.2 Liquid quality

For mineral oil-filled equipment, new insulating oil shall comply with IEC 60296.

For synthetic liquid-filled equipment, new insulating liquid shall comply with IEC 60867.

For natural ester liquid-filled equipment, new insulating liquid shall comply with IEC 62770.

For synthetic ester liquid-filled equipment, new insulating liquid shall comply with IEC 61099.

For modified or blended ester liquid-filled equipment, new insulating liquid shall comply with IEC 63012.

6.1.3 Liquid level indicator

If supplied, the device for checking the liquid level shall indicate whether the liquid level is within the permissible range during operation.

6.1.4 Liquid tightness

No liquid leakage is permitted. Any liquid leakage represents a danger for insulation dielectric performance and can be harmful for the environment.

6.2 Requirements for gases used in equipment

6.2.1 General

The manufacturer shall specify the type and the required quantity and quality of the gas to be used in equipment.

6.2.2 Gas quality

New SF₆ (sulphur hexafluoride) shall comply with IEC 60376. Used SF₆ shall comply with IEC 60480.

SF₆ handling shall be in accordance with IEC 62271-4:2022, Clauses 4 and 5.

The maximum allowed moisture content within instrument transformers filled with gas at rated filling pressure shall be such that the dew point is not higher than -5 °C^1 for a measurement at 20 °C. Adequate correction shall be applied for measurement at other temperatures. For the measurement and determination of the dew point, refer to IEC 60376 for new SF₆ and IEC 60480 for used SF₆. This is applicable at any time in the life of the instrument transformer.

NOTE New insulating gases are being introduced and used today. The standardization is under consideration, but the maturity is not yet sufficient to be considered.

6.2.3 Gas monitoring device

Gas-insulated instrument transformers with a minimum functional pressure above 0,2 MPa shall be provided with a pressure or density monitoring device. Gas monitoring devices can be provided alone or together with the associated equipment.

6.2.4 Gas tightness

6.2.4.1 General

The specifications of 6.2.4.2 apply to all instrument transformers that use gas as an insulating medium, other than air at atmospheric pressure.

6.2.4.2 Closed pressure systems for gas

The tightness characteristic of a closed pressure system and the time between replenishments under normal environmental conditions shall be stated by the manufacturer. This time shall be at least 10 years for maintenance planning purposes.

The tightness of closed pressure systems for gas is specified by the relative leakage rate F_{rel} of each compartment.

¹ This value is consistent with other high-voltage equipment standards.

Standardized values of the relative leakage rate are:

- 0,5 % per year for SF₆ and SF₆ mixtures;
- 1 % per year for other gases.

An increased leakage rate at extreme temperatures (if such tests are required in the relevant standards) is acceptable, provided that this rate resets to a value not higher than the maximum permissible value at normal ambient air temperature (F_p). The permissible temporary leakage rate shall not exceed the values given in Table 11.

Table 11 – Permissible temporary leakage rates for gas systems

Temperature class °C	Permissible temporary leakage rate
+40 and +50	$3 F_p$
ambient temperature	F_p
–5 / –10 / –15 / –25 / –40	$3 F_p$
–50	$6 F_p$

6.2.5 Pressure-relief device

For safety reasons, each compartment of instrument transformers shall be equipped with a pressure-relief device.

The pressure-relief device shall be equipped with a deflector in order to control the direction of emission in such a way to minimize the danger to an operator working in accessible places or normal operation.

In order to avoid any pressure-relief operation under normal conditions, a sufficient difference is necessary between the operation pressure of the pressure relief device and the design pressure.

NOTE The requirement is consistent with IEC 62271-203.

6.3 Requirements for solid materials used in equipment

Specifications for organic material used for instrument transformers (i.e. epoxy resin, polyurethane resin, epoxy-cycloaliphatic resin, composite material, etc.) either for indoor or outdoor installations, are given in the IEC 60455 series.

NOTE Tests on complete instrument transformers considering phenomena such as flammability and ageing are not yet standardized. IEC 62217 can be used as guidance for polymeric HV insulators.

6.4 Requirements for temperature rise of parts and components

6.4.1 General

The temperature rise of windings, magnetic circuits and any other parts of instrument transformers shall not exceed the appropriate value given in Table 12, when operating under the specified rated conditions. These values are based on the environmental conditions given in 4.2.1.

The temperature rise of the windings is limited by the lowest thermal class either of the winding itself or of the surrounding medium in which it is embedded.

If the instrument transformers are used within enclosures, attention shall be paid to the temperature reached by the surrounding cooling media within the enclosure.

If ambient temperatures exceeding the values given in 4.2.1 are specified, the permissible temperature rise given in Table 12 shall be reduced by an amount equal to the excess ambient temperature.

Table 12 – Limits of temperature and temperature rise for various parts, materials and dielectrics of instrument transformers

Part of instrument transformers	Maximum value	
	Temperature T °C	Temperature rise ΔT at ambient air temperature not exceeding 40 °C K
1) Liquid-insulated instrument transformers		
– top oil	90	50
– top oil, hermetically sealed	95	55
– winding average	100	60
– winding average, hermetically sealed	105	65
– other metallic parts in contact with oil	as for windings	as for windings
2) Solid-insulated or gas-insulated instrument transformers		
– winding (average) in contact with insulating materials of the following thermal classes (°C) ^a		
• 90 (Y)	85	45
• 105 (A)	100	60
• 120 (E)	115	75
• 130 (B)	125	85
• 155 (F)	150	110
• 180 (H)	175	135
– other metallic parts in contact with insulation materials of the above thermal classes	as for windings	as for windings
3) Connection (including terminals), bolted or the equivalent		
Bare-copper, bare-copper alloy or bare-aluminium alloy		
– in OG ^b	100	60
– in NOG ^c	115	75
– in oil	100	60
Silver-coated or nickel-coated		
– in OG ^b	115	75
– in NOG ^c	115	75
– in oil	100	60
Tin-coated		
– in OG ^b	105	65
– in NOG ^c	105	65
– in oil	100	60

NOTE Compared to IEC 60085, the maximum temperature of windings has been reduced by 5 K to consider the difference between the average temperature given by the method of resistance increase and the hot spot temperature.

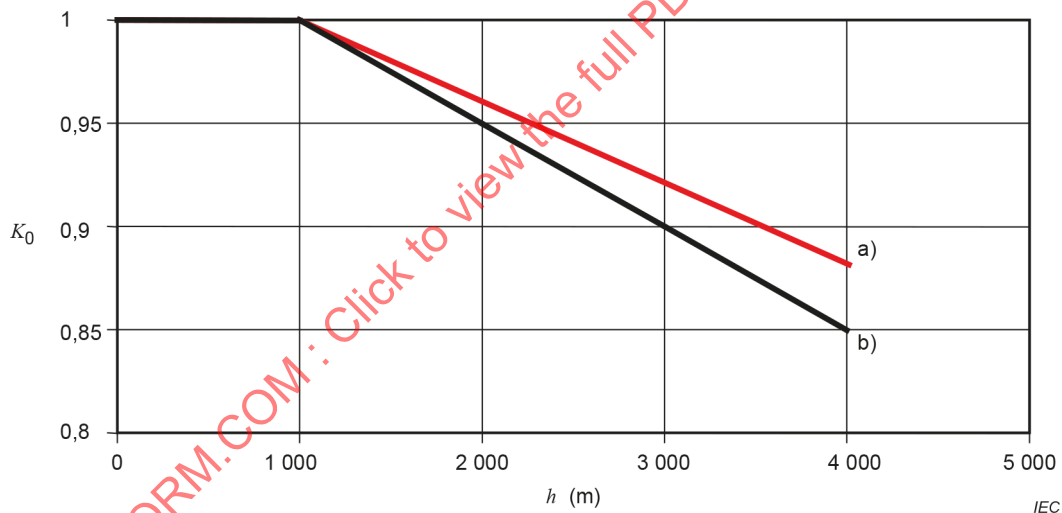
- ^a Thermal class definitions are in accordance with IEC 60085.
- ^b OG (oxidizing gas): reactive gas that can accelerate ageing of contacts either by corrosion phenomena (presence of humidity) or by oxidation phenomena (mostly due to an ambient air medium like oxygen). Typical insulating OG gases are ambient air and dry air.
- ^c NOG (not oxidizing gas): non-reactive gas that does not accelerate ageing of contacts by corrosion or oxidation, as purity of these gases is controlled. Typical NOG gases used today are SF₆, N₂, CO₂, CF₄. They can be used pure or as a mixture of various NOGs.

When connections have different coatings or one connection part is of bare material, the permissible temperatures and temperature rises shall be those of the surface material having the highest value permitted in item 3 of Table 12.

NOTE This is in accordance with IEC TR 60943.

6.4.2 Influence of altitude on temperature rise

If an instrument transformer is specified for operation at an altitude higher than 1 000 m and tested at an altitude below 1 000 m, the limits of temperature rise ΔT given in Table 12 shall be reduced by the altitude correction factor K_0 indicated in Figure 4.



Key:

- a) liquid-insulated instrument transformers: $K_0 = 1 - (h - 1000) \times 0,000\ 04$
- b) solid-insulated and gas-insulated instrument transformers: $K_0 = 1 - (h - 1000) \times 0,000\ 05$

Figure 4 – Altitude correction factor for the temperature rise

The altitude correction for the temperature rise is $\Delta T_h = K_0 \Delta T_{h0}$ with

- ΔT_h is the temperature rise at altitude h ;
- ΔT_{h0} is the limit of temperature rise ΔT specified in Table 12 for altitudes $h_0 \leq 1\ 000$ m.

6.5 Requirements for earthing of equipment

6.5.1 General

The frame of each equipment, if intended to be earthed, shall be provided with a reliable earthing terminal for connection to an earthing conductor suitable for phase-to-earth fault conditions. The point of connection shall be marked with the "earth" symbol, as indicated by symbol IEC 60417-5019 .

6.5.2 Earthing of the enclosure

6.5.2.1 GIS enclosure

The enclosure of instrument transformers for gas-insulated switchgear (GIS) shall be connected to earth. All metal parts which do not belong to a main or an auxiliary circuit shall be earthed.

6.5.2.2 Enclosure of low-voltage components

All LPIT low-voltage components (e.g. converters) installed at ground potential shall be provided with a reliable earthing connection.

6.5.3 Electrical continuity

The continuity of the earthing circuits shall be ensured considering the thermal and electrical stresses caused by the maximum expected fault current.

For the interconnection of enclosures, frames, etc., fastening (e.g. bolting or welding) is acceptable for providing electrical continuity.

6.6 Requirements for the external insulation

6.6.1 Pollution

For AIS instrument transformers, the reference unified specific creepage distance (RUSCD) shall be selected according to the site pollution severity class (SPS); see Table 13.

The necessary creepage distances are determined by multiplying the RUSCD by a value as follows:

$$\frac{U_m}{\sqrt{3}} \times K_{ad} \text{ (for CT and phase-to-earth VT)}$$

$$U_m \times K_{ad} \text{ (for phase-to-phase VT)}$$

where K_{ad} is the correction factor depending on the average diameter of the insulator (refer to IEC TS 60815-2:2008, 10.3 for ceramic insulators, or IEC TS 60815-3:2008, 10.2 for polymeric insulators).

In the case of an irregular shape of the insulating part, an equivalent average diameter shall be considered to determine K_{ad} . For the calculation of this equivalent average diameter, refer to Annex G.

Table 13 – Specific creepage distances by site pollution severity class, as defined in the former publication

SPS class	RUSCD based on $U_m/\sqrt{3}$ mm/kV	Pollution level	Minimum SCD based on U_m mm/kV
IEC TS 60815-1	IEC TS 60815-2 IEC TS 60815-3	IEC TR 60815:1986 Table II	IEC TR 60815:1986 Table II
a – Very light	22,0	-	12,7
b – Light	27,8	I	16
c – Medium	34,7	II	20
d – Heavy	43,3	III	25
e – Very heavy	53,7	IV	31

6.6.2 Altitude

The coordination withstand voltages are considered valid up to an altitude of 1 000 m. To consider the reduced withstand capability of the air at an installation site with an altitude above 1 000 m, the required type test insulation withstand level of external insulation at standard reference atmospheric conditions shall be determined by multiplying the withstand voltage required on site by an altitude correction factor K_a . The correction factor shall not be applied for routine tests, because a routine test validates the quality of the internal insulation only.

For AC applications, the altitude correction factor shall be determined in accordance with IEC 60071-2:2018, 6.2.2, using Formula H.13 from IEC 60071-2:2018, Annex H, as follows:

$$K_a = e^{m \frac{(H-1000)}{8150}}$$

where

H is the altitude above sea level (in metres);

m is as follows:

$m = 1,0$ for co-ordination lightning impulse withstand voltages;

$m = 1,0$ for power-frequency withstand voltages in case of wet tests;

m is in accordance with Figure 5 for co-ordination switching impulse withstand voltages.

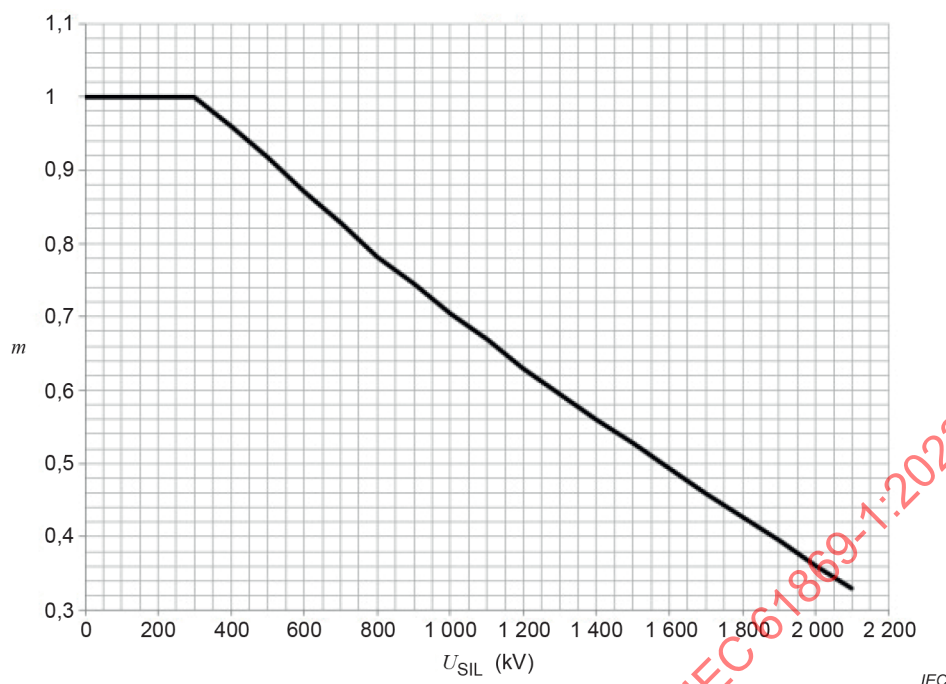


Figure 5 – Factor m for the switching impulse voltage (U_{SIL}) withstand test

For DC applications, refer to product-specific standards.

To verify the withstand voltages corrected for altitude, the arcing distance of the instrument transformer needs to be increased. If increasing the arcing distance is based on a verified arcing distance of a similar product, it can be considered valid without further testing.

If the withstand voltages corrected for altitude cannot be validated by an increased arcing distance of a similar product, external insulation shall be tested in accordance with IEC 60071-2:2018, 7.3.7.

NOTE It is considered that the altitude does not affect the internal insulation.

6.7 Mechanical requirements

These requirements apply to free-standing instrument transformers with $U_m \geq 72,5$ kV.

In the case of instrument transformers mounted on GIS, no external force is considered to be applied to the HV terminals. These devices are not subject to these mechanical requirements.

Instrument transformers shall be capable of withstanding the static withstand loads indicated in Table 14.

The test values defined in Table 14 include a safety margin with respect to static forces due to line connections. This safety margin is intended to cover other non-permanent external loads of various nature (e.g. wind, ice, short-circuits) that can occur in operation, taking into account that a combination of the extreme values of all electrical and environmental loads would lead to unnecessarily high margins.

Table 14 – Maximum static withstand loads

Highest voltage for equipment U_m kV	Static withstand load F		
	N		
	voltage terminals	Instrument transformers with:	
		current terminals	
		Load class I	Load class II
72,5 to 100	500	1 250	2 500
123 to 170	1 000	2 000	3 000
245 to 362	1 250	2 500	4 000
420 to 800	1 500	4 000	5 000
> 800	2 000	5 000	6 000

The terminal load due to line connections, acting in normal operating conditions, should not exceed 50 % of the static withstand load given in Table 14.

For instrument transformers with through-current terminals, the combination of line connection's load and dynamic load due to short circuits should not exceed 70 % of the static withstand load given in Table 14.

For some applications, it can be necessary to establish the resistance to rotation of the primary terminals. In this case, the moment to be applied during the test shall be agreed between the manufacturer and the purchaser.

In the case of transformers integrated within other equipment (e.g. switchgear assemblies), the static withstand loads of the respective equipment should not be reduced by the integration process.

6.8 Multiple chopped impulses on primary terminals

If specified by the purchaser, the primary terminals of liquid-insulated instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV shall withstand multiple chopped impulses in accordance with 7.4.1.

NOTE 1 Requirements and tests relate to the behaviour of the internal shields and connections carrying high-frequency transient currents, mainly due to disconnector operations.

Before and after the test, the dissolved gas analysis for mineral oil shall comply with Table 15.

NOTE 2 Maximum gas-in-oil levels for other kinds of oils were not available at the time of publication.

Table 15 – Maximum gas-in-oil level in instrument transformers

Gas	Concentration		
	$\mu\text{l/l}$		
	Before test	Maximum acceptable increase after test	Minimum detectable level
Hydrogen	30	15	3
Methane	5	5	0,1
Acetylene	Not detectable	1	0,1

The oil sampling procedure shall be in accordance with IEC 60475.

The oil analysis procedure shall be in accordance with IEC 61181.

6.9 Internal arc fault protection requirements

Instrument transformers with $U_m \geq 72,5$ kV, for which internal arc fault protection class is specified by the purchaser shall be able to withstand an internal arc test in accordance with 7.4.3.

NOTE The internal arc test is a destructive test intended to verify that an instrument transformer satisfies the internal arc protection class of Table 16. An internal arc test is not a guarantee against containment under all short-circuit conditions, but a test to demonstrate conformance to an agreed level of safety. Furthermore, internal arc testing neither covers nor guarantees performance if the location of the arc is in a different location than the one used during the test.

It shall be considered that compliance with these requirements is achieved if the instrument transformer passes the test described in 7.4.3 where the arc fault duration and performance criteria comply with Table 16.

Table 16 – Arc fault duration and performance criteria

Arc fault duration s	Class 1A1	Class 1A2
0,3	Fracture of the housing and fire permitted, but all projected parts to be confined within the prescribed reference area. Insulating paper or film and non-burning fluids are not considered.	No fracture of the insulator or housings, except operation of suitable pressure relief device. No lateral projection of harmful objects or fluids. No emission of burning liquids.

6.10 Degrees of protection by enclosures

6.10.1 General

Degrees of protection in accordance with IEC 60529 shall be specified for all enclosures of instrument transformers containing live parts, as well as for enclosures for appropriate low-voltage control and/or auxiliary circuits.

The following parts are considered to be an enclosure, if existing:

- low-voltage terminal box(es);
- housing or cabinet for primary or secondary converter or for merging unit;
- compensation equipment for thermal dilatation of liquid.

NOTE Other parts could be considered as enclosures according to the definition.

6.10.2 Protection against access to hazardous parts and protection of the equipment against ingress of solid foreign objects and water

The degree of protection provided by the enclosure of the control and/or auxiliary circuits shall be indicated by means of a designation specified in IEC 60529.

The first characteristic numeral indicates the degree of protection provided by the enclosure with respect to persons, as well as the degree of protection of the instrument transformers inside the enclosure against ingress of solid foreign objects.

IEC 60529 gives details of objects which will be "excluded" from the enclosure for each of the degrees of protection. The term "excluded" implies that solid foreign objects will not fully enter the enclosure and that a part of the body or an object held by a person, either will not enter the enclosure or, if entering, that adequate clearance will be maintained, and no hazardous part will be touched.

This requirement is not applicable to installations where personnel cannot gain access to the instrument transformer or parts without prior de-energising the transformer and making it safe through some controlled means (e.g. interlocking, documented operating instructions). In this case, the need for such external safety measures to the instrument transformer shall be clearly stated in the product documentation.

NOTE Generally, the protection of persons against access to hazardous parts of live circuit, or control or auxiliary circuit of instrument transformers, and the protection of the instrument transformers against foreign objects, can be provided by the immediate surroundings of the instrument transformers, such as substation fence, building, module enclosure, and so on.

The second characteristic numeral indicates the degree of protection provided by the enclosure with respect to the dangerous effects of water, either of atmospheric origin or other.

For instrument transformers for indoor installation, no degree of protection against harmful ingress of water is specified.

The recommended minimum degree of protection for low-voltage control and/or auxiliary enclosures for indoor instrument transformers is IP20 in accordance with IEC 60529.

The recommended minimum degree of protection for low-voltage control and/or auxiliary enclosures for outdoor instrument transformers is IP44 in accordance with IEC 60529.

6.10.3 Protection of enclosure against mechanical impact under normal operating conditions

The recommended level of protection against effects of mechanical impacts is IK07, in accordance with IEC 62262. For outdoor installation, purchasers may specify higher impact levels. Insulators are not concerned by this requirement.

Corresponding tests are specified in 7.2.7.2.

6.11 Electromagnetic compatibility (EMC)

6.11.1 General

For instrument transformers, the following EMC requirements are specified:

- requirements for immunity (6.11.2);
- requirements for emission (6.11.3);
- requirements for transmitted overvoltage (6.11.4);
- requirements for radio interference voltage (RIV), applicable to high-voltage parts of the equipment (6.11.5).

Refer to product-specific standards for individual test applicability.

6.11.2 Requirements for immunity

When applicable (according to the specific product standards), the IT shall respect requirements and associated test levels and assessment criteria defined in Table 17.

Acceptance criteria for the tests are defined in Table 18.

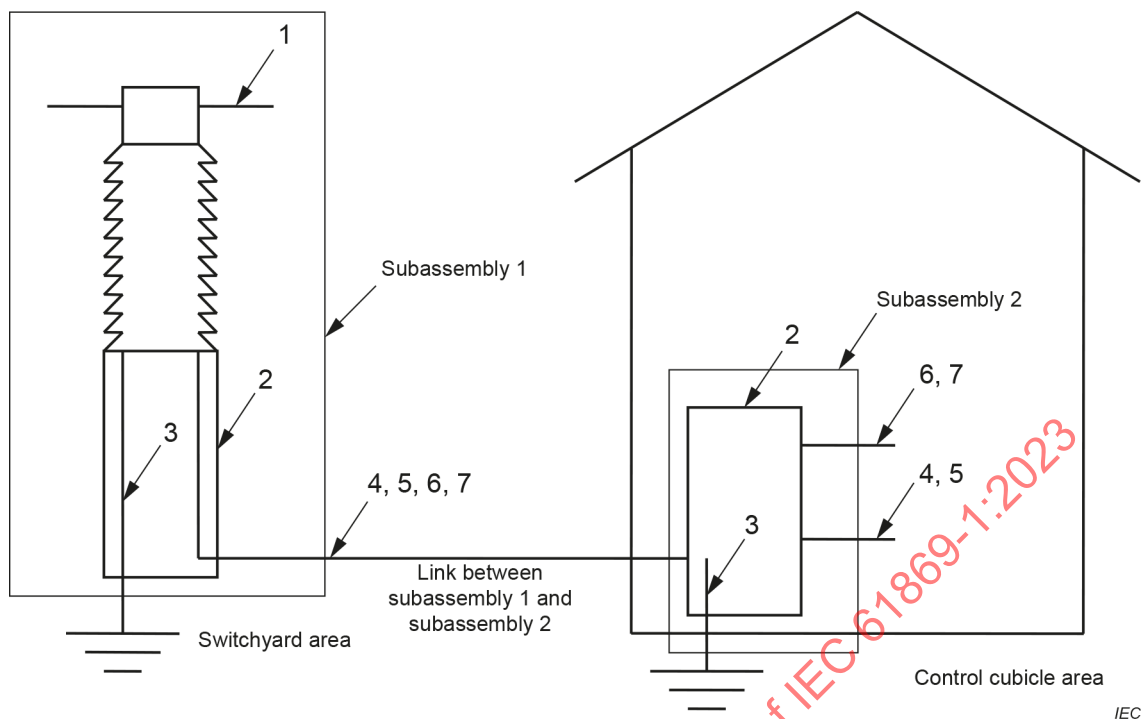
EMC tests on the TEDS (transducer electronic data sheet) terminals are covered by IEC 61869-16².

² Under development at the time of publication.

Table 17 – Immunity requirements and test levels

Test	Reference standard	Test level	Test port ^c	Assessment criteria
Harmonic and interharmonic test	IEC 61000-4-13	Class 2	6	A
Slow voltage variation test	IEC 61000-4-11	From –20 % to +10 %	6	A
Slow voltage variation test	IEC 61000-4-29	From –20 % to +10 %	7	A
Voltage dips and short interruption test	IEC 61000-4-11	100 % dip 0,5 to 25 cycles. ^a 30 % dip for 0,5 s 60 % dip for 0,2 s Interruption for 5 s	6	A C C C
Voltage dips and short interruption test	IEC 61000-4-29	100 % dip 10 ms to 1000 ms. ^b 30 % dip for 0,5 s 60 % dip for 0,2 s Interruption for 5 s	7	A C C C
Surge immunity test	IEC 61000-4-5	Line-to-earth: 4 kV Line-to-line: 2 kV	4,5,6,7	B
Conducted immunity test (150 kHz to 80 MHz)	IEC 61000-4-6	Level 3	3,4,5,6,7	A
Conducted immunity test (0 Hz to 150 kHz)	IEC 61000-4-16	Level 4	Binary input ports only	A
Electrical fast transient/burst test	IEC 61000-4-4	Level 4	3,4,5,6,7	B
Damped oscillatory waves immunity test	IEC 61000-4-18	Level 3	4,5,6,7	B
Electrostatic discharge test	IEC 61000-4-2	Level 3	2	B
Power-frequency magnetic field immunity test	IEC 61000-4-8	Level 4 Switchgear or yard mounted equipment shall meet Level 5	2	A
Impulse magnetic field immunity test	IEC 61000-4-9	Level 4 Switchgear or yard mounted equipment shall meet Level 5	2	B
Damped oscillatory magnetic field immunity test	IEC 61000-4-10	Level 5	2	B
Radiated, radiofrequency, electromagnetic field immunity test	IEC 61000-4-3	Level 3	2	A
Voltage ripple on DC power supply immunity test	IEC 61000-4-17	15 % of rated DC value	7	A
Gradual shutdown and start-up test		60 s ramp	7	C
^a The manufacturer shall declare the longest duration that meets the acceptance criteria from among the following values: 0,5 cycles, 1 cycle, 2,5 cycles, 5 cycles, 10 cycles or 25 cycles. ^b The manufacturer shall declare the longest duration that meets the acceptance criteria from among the following values: 10 ms, 20 ms, 30 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 500 ms or 1 000 ms. ^c For port description, refer to Figure 6 and Figure 7.				

If a more severe EMC environment is expected (e.g. gas-insulated substations), higher immunity requirements should be considered.



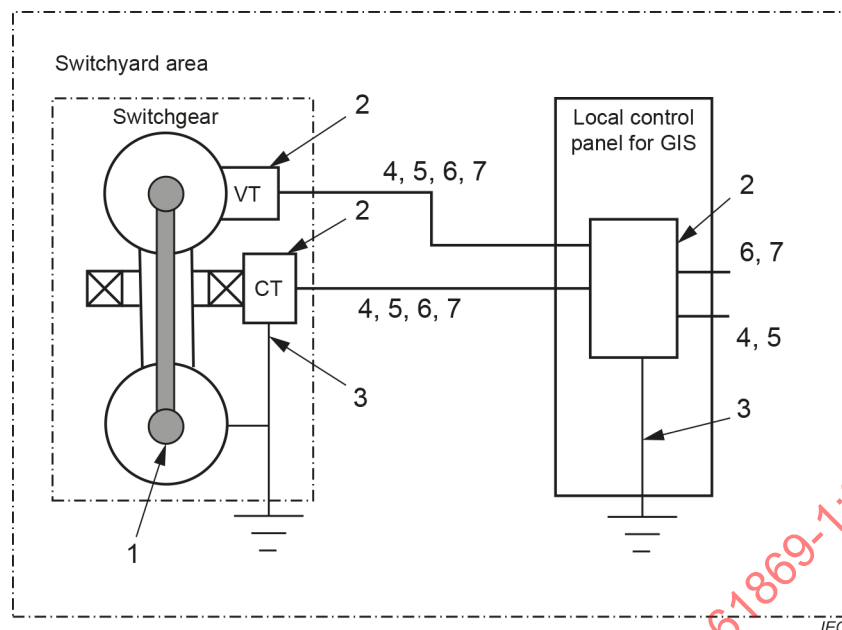
Key

- 1 HV line terminal
- 2 enclosure port
- 3 earth port
- 4 input /output port
- 5 communication port
- 6 AC power supply port
- 7 DC power supply port

Subassembly 1: "outdoor part" in switchgear area

Subassembly 2: "indoor part" in control cubicle area

Figure 6 – Example structure used in HV AIS applications subjected to EMC tests

**Key**

- 1 HV line
- 2 enclosure port
- 3 earth port
- 4 input/output port
- 5 communication port
- 6 AC power supply port
- 7 DC power supply port

Figure 7 – Example of structure used in HV GIS applications subjected to EMC tests**Table 18 – Acceptance criteria for EMC immunity tests**

Assessment criteria	Conditions for acceptance
A	Normal performance within the accuracy specification limits during and after the test, for protection and measuring ITs. For EITs with digital secondary signal, normal performance within the accuracy specification limits including the state of quality and sync bits. Additionally, no individual sampled value error shall exceed 10 % of the input quantity RMS level.
B	Normal performance within the accuracy specification limits for protection IT (as for criteria A). Temporary degradation of measuring IT accuracy is acceptable, with self-recovery at the end of the test. A reset or restart is not allowed. For EITs with digital secondary signal, normal performance within the accuracy specification limits for protection channels including the state of quality and sync bits. Additionally, no individual sampled value error shall exceed 200 % of the input quantity RMS level.
C	Temporary loss of function is permitted, provided the function is self-recoverable. A reset or restart is allowed. For EITs with digital secondary signals, streaming can be interrupted, but when the stream is present, quality bits within the stream shall represent the MU operating state and meet the requirements of IEC 61869-9:2016, 6.903.9. The current state of the MU synchronization shall be correctly represented.

If the normal performance within the accuracy specification limits cannot be verified on the instrument transformer, other possible methods are defined in the product-specific standard.

6.11.3 Requirements for emission

When applicable (according to the product-specific standards), in addition to the emission requirements considered to be covered with a radio interference voltage test and transmitted overvoltage test, instrument transformers shall comply with the emission requirements specified in IEC 61000-6-4:2018, with the following clarifications:

- IEC 61000-6-4:2018, Table 4 applies to AC auxiliary power supply terminals (if any) only. It does not apply to primary or secondary terminals of AC IT;
- IEC 61000-6-4:2018, Table 5 applies to secondary terminals and other signal and control terminals (e.g. TEDS);
- IEC 61000-6-4:2018, Table A.1 applies to DC auxiliary power supply terminals (if any) only. It does not apply to primary or secondary terminals of DC IT.

6.11.4 Requirements for transmitted overvoltage (TOV)

If specified by the purchaser, the requirements apply to instrument transformers with $U_m \geq 52$ kV, with analogue secondary signals.

When applying a steep front wave to the primary terminals, the peak value of the overvoltage transmitted to the secondary terminals shall not exceed 1,6 kV, under the test and measuring conditions described in 7.4.2.

NOTE The transmitted overvoltage peak limits are set to ensure sufficient protection of electronic equipment connected to the secondary winding.

6.11.5 Requirements for radio interference voltage (RIV)

The RIV requirement applies to instrument transformers with $U_m \geq 123$ kV to be installed in air-insulated substations.

The radio interference voltage shall not exceed $2\,500\ \mu\text{V}$ at $1,1 \times U_m / \sqrt{3}$.

NOTE This requirement is included to meet electromagnetic compatibility regulations.

6.12 Corrosion

The minimum requirement for instrument transformers regarding corrosion is that the function of the equipment should not be affected during the operation life by corrosion under the conditions specified by the purchaser. All bolted or screwed parts should remain easy to disassemble, as far as applicable. Particularly, galvanic corrosion of materials in contact should be considered in the design of these parts because, for example, it can lead to the loss of tightness or increased contact resistance.

NOTE 1 When a surface becomes and remains wet, the two main actors involved in atmospheric corrosion are sodium chloride, mainly in marine environments, and sulphur dioxide, mainly in industrial environments. Occasionally, both factors apply at the same time.

NOTE 2 Additional information about the topic of corrosion can be found in CIGRE Brochure 765 "Understanding and mitigating corrosion".

6.13 Markings

6.13.1 General

All information shall be marked in an indelible manner on the instrument transformer itself or on a rating plate securely attached to the transformer.

Required markings shall remain clear and legible under normal conditions of use and shall withstand the effects of the cleaning agents specified in the user manual or cleaning agents defined in 7.2.14 (if nothing is specified in the user manual).

6.13.2 Terminal markings

6.13.2.1 General rules

The terminal markings shall identify:

- a) the primary and secondary windings or terminals;
- b) the winding sections, if any;
- c) the relative polarities of terminals;
- d) the intermediate taps, if any.

6.13.2.2 Method of marking

The primary terminals shall be marked clearly, either on their surface or in their immediate vicinity. If possible, the secondary terminals shall be identified clearly, either on the surface of the transformer, or in case of an integrated cable with connector, in the immediate vicinity of the connector. If this is not possible, the manufacturer shall provide relevant information in the product's documentation.

The marking shall consist of letters followed or preceded, where necessary, by numbers.

6.13.2.3 Markings to be used

See product-specific standards.

6.13.2.4 Indication of relative polarities

For current transformers, terminals with corresponding numbers shall both have the same polarity.

NOTE 1 Example of CT terminals with the same polarity: P1 and 2S1.

For voltage transformers, terminals with corresponding capital and lowercase letters shall have the same polarity at the same time.

NOTE 2 Example of VT terminals with the same polarity: A and 1a.

Refer to product-specific standards for more detailed specifications.

6.13.3 Rating plate markings

All instrument transformers shall be equipped with a rating plate carrying at least the markings indicated below:

- a) manufacturer's name or other mark by which it can be readily identified;
- b) type designation, year of manufacture and serial number;
- c) product-specific standard;
- d) rated frequency;
- e) highest voltage for equipment;

For bushing-type CTs, this marking is not applicable. However, for historical reasons, a value of 0,72 kV may be indicated.

- f) rated primary insulation level (not applicable to bushing-type CTs);
- g) insulation level of secondary terminals;

NOTE The three items e), f) and g) can be combined into one marking (e.g. 72,5/140/325/3 kV).

- h) rated transformation ratio (K_r) or primary and secondary rated values;

- i) rated burden and accuracy class (see product-specific standard);
On transformers with more than one secondary winding or more than one secondary output, the use of each one and its corresponding terminals shall be indicated.
- j) temperature category;
- k) altitude (if > 1 000 m);
- l) mass in kilograms (when ≥ 25 kg).

In addition, the following information shall be marked if applicable:

- m) load class of mechanical requirements (for $U_m \geq 72,5$ kV);
- n) thermal class if different from class 105 °C (A);
If several classes of insulating material are used, the one which limits the temperature rise of the windings shall be indicated.
- o) type of the insulating fluid;
- p) rated filling pressure (for pressurized insulated system);
- q) minimum functional pressure (for pressurized insulated system);
- r) insulating fluid volume (or mass) contained in the instrument transformer;
- s) internal arc fault protection class with the rated internal arc current (I_{arc}), if applicable.

EXAMPLE 1 $I_{arc} = 40$ kA / Class IA1.

If necessary, the rating plate may be split into several parts.

EXAMPLE 2 One rating plate on the HV part and one rating plate on the secondary converter.

6.14 Requirements for LPIT secondary terminal connection

6.14.1 Requirements for digital output connection

6.14.1.1 General

For digital output connections, optical interfaces are recommended.

The optical fibre cables shall comply with IEC 60794-2 for indoor applications and IEC 60794-3 for outdoor applications. The optical cables shall be protected against rodent attacks.

If optical fibre cables are protected by conductive material, such material shall be grounded.

6.14.1.2 Optical connectors for digital transmitting interface

A fibre optic digital transmission system 100BASE-FX (1 300 nm, multi-mode, full duplex, two strand fibre optic cable) in accordance with ISO/IEC 8802-3 and a fibre optic digital transmission system 1000BASE-LX (1 300 nm, single-mode, full duplex, two strand fibre optic cable) in accordance with ISO/IEC/IEEE 8802-3 are common.

Future technologies in accordance with ISO/IEC/IEEE 8802-3 may also be used.

The duplex LC³ connector shown in Figure 8 is a preferred solution as it eliminates the Rx/Tx cross connection cabling issues.

³ As specified in IEC 61754-20, *Fibre optic connector interfaces – Part 20: Type LC connector family*.

For legacy applications, individual optical cable strands with BFOC/2,5⁴ (also known as ST type) connectors are acceptable, calling for individual fibre labelling (Rx, Tx fibres).

When required (backward compatible installations) conversion between the ST, FC and LC connector types can be accomplished with widely available fibre-optic patch cord cables.



IEC

Figure 8 – Duplex LC connector

6.14.1.3 Fibre optic terminal box

Where a fibre optic terminal box is used, it shall be directly accessible for inspection from ground level.

6.14.1.4 Total fibre optic cable length

The maximum operating length of the optical cable shall be specified by the instrument transformer manufacturer. It shall not be lower than 500 m.

6.14.2 Requirements for analogue output connections

6.14.2.1 Connectors

The description of connectors for LPIT short secondary connection (≤ 10 m) is given in Table 19.

⁴ As specified in IEC 61754-2, *Fibre optic connector interfaces – Part 2: Type BFOC/2,5 connector family*.

Table 19 – Connectors

8-way, shielded, free connector (RJ45)
IEC 60603-7-1

IEC

Pin:	1	2	3	4	5	6	7	8
	S1	S2	T2+	V+	V-	T1-	a	n

S1, S2: current transformer secondary terminals

a, n: voltage transformer secondary terminals

T1-, T2+: used for TEDS connection (Transducer Electronic Data Sheet, ISO/IEC/IEEE 21451-4).

The voltage level shall not exceed 5 V DC

V+, V-: power supply

8-way, shielded M12 free connector,
female contacts, with locking nut
IEC 61076-2-101

IEC

Pin:	1	2	3	4	5	6	7	8
	S1	S2	a	n	T1-	T2+	V+	V-

S1, S2: current transformer secondary terminals

a, n: voltage transformer secondary terminals

T1-, T2+: used for TEDS connection (Transducer Electronic Data Sheet, ISO/IEC/IEEE 21451-4).

The voltage level shall not exceed 5 V DC

V+, V-: power supply

Screw terminals may also be used instead of connectors and are recommended for LPIT long secondary connections (> 10 m).

6.14.2.2 Shielding of the secondary circuit

Cable used for secondary circuits shall be shielded, and the shield earthed to fulfil safety and EMC requirements.

In heavily perturbed environments, double shielding can be required.

If double-shielded cable (electrically separated circuit) is used, different solutions can be implemented as indicated in IEC TR 61000-5-6.

6.15 EIT secondary signal noise

EITs generate noise in the secondary signal. The impact of this noise is application-dependent. Since the EIT technology is rapidly evolving, it is not possible to establish a common set of requirements applicable to all instrument transformers at this time. This does not eliminate the need to compare competing EITs, and to determine their suitability for an application at hand. This issue is addressed by requiring that the EIT output signal noise properties are published.

The supplier of the electronic instrument transformer shall provide the EIT noise spectral information. The noise specifications can take various forms. The recommended forms of specifications are noise spectral density equations or graphs (noise distribution density as a function of frequency). For products with predominantly white noise (Gaussian distribution), it is advantageous to specify noise spectral density in the form of a single number using the unit of primary current or voltage divided by the square root of hertz (i.e. $A/\sqrt{\text{Hz}}$ or $V/\sqrt{\text{Hz}}$).

EXAMPLE For an optical CT where the dominant contributor to device noise is the "optical shot noise", the noise is white and can be specified in amperes (equivalent primary) per square root of hertz. Assuming an optical CT has a rated primary current of 400 A, a rated secondary voltage of 4 V, and produces 10 mV RMS of noise at the secondary terminals (10 mV in this case is equivalent to 1 A on the primary) over its bandwidth of 10 kHz, then the noise can be given as $0,01 A/\sqrt{\text{Hz}}$

Once noise density specification is determined, it is easy to calculate signal-to-noise ratio for a more specific application. For example, equivalent noise level produced by the above EIT when used for synchrophasor application with typical noise bandwidth equal to 15 Hz would be: $0,01 \text{ A} / \sqrt{\text{Hz}} \cdot \sqrt{15 \text{ Hz}} = 0,0387 \text{ A}$, resulting in a signal-to-noise ratio of 20·lg (400 / 0,0387) = 80,3 dB (while measuring the nominal current).

The same approach applies for digital secondary systems, where values are already expressed in primary quantity (current or voltage).

6.16 Fire hazard

See Annex C.

6.17 Pressure withstand of gas-filled enclosures

Pressure withstand of gas-filled enclosures are covered by national standards in several countries.

All these standards refer to a design pressure. In operating conditions, the mechanical stresses are associated with the internal pressure which depends on the gas temperature.

Therefore, the design pressure shall be equal or higher than the operating pressure at the maximum temperature the gas can reach.

The pressure withstand shall be guaranteed either by calculation (according to the reference national standard) or by a type test (as specified in 7.2.9).

6.18 Failure detection of EIT

EIT failure, where automatically detected, shall result in zero analogue signal or activation of digital output quality flags in accordance with IEC 61869-9. At the least, the failure of the transmitting system shall be automatically detected, or the transmitting system shall allow monitoring by the IED connected to the EIT.

If the power supply is interrupted, the secondary signal shall be zero for analogue signal and inactive for digital signal.

Following restoration of the EIT power supply, until the EIT has stabilized, the analogue signal shall remain zero and any digital signal shall be flagged as invalid. When the EIT has stabilized, the operation of the EIT shall be self-restored.

6.19 Operability

To facilitate the operation and maintenance, the position of parts to which access is required shall be in an accessible position. These parts can include switches, socket outlets, fuses, primary terminals and secondary terminals, etc.

6.20 Reliability and dependability of electronic part of EIT

Similar to protection relays and meters, the manufacturer shall provide information on the dependability and reliability of the electronic part of the EIT, according to relevant standards such as IEC 60812 and IEC 61025, or statistical data based on the past experience. This includes assessment of mean time to failure (MTTF) and mean time between failures (MTBF) related to main parts subjected to maintenance. A block diagram shall be provided describing relationship between sub-parts and how the redundancy, if any, is managed. Parts subjected to maintenance and relevant maintenance procedures shall be identified.

NOTE A solution to improve the reliability and dependability could be the implementation of proper redundancy.

The manufacturer shall provide all the information necessary to avoid any interruption of operation because of a loss of an internal component or as a result of a component malfunction.

Components (i.e. sub-parts) which, by design, can be replaced on site without affecting the accuracy class, shall be identified and listed in the user manual. Replaceability shall be technically justified (e.g. with an accuracy type test) and documented.

Documentation can include performed accuracy test results, replacement conditions and procedure.

6.21 Vibration requirements

This requirement is technology-dependent. See product-specific standards for applicability.

When applicable, the secondary signal shall operate correctly when it is subject to vibration levels appropriate to its application.

The sinusoidal test procedure is defined in 7.2.13.

The vibration level shall be 10 m/s^2 . Equipment mounted on GIS switchgear or circuit-breakers shall withstand a vibration level of 20 m/s^2 .

Additional special tests for ITs mounted on HV equipment are described in 7.4.9.

For ITs intended to be mechanically coupled with circuit breakers, two alternative shock qualification procedures are given in 7.4.9.3.2 and 7.4.9.3.3. The first one is performed with a specific circuit breaker and the second one is performed as a standardized test.

6.22 Storage climatic conditions withstand capability

When applicable (according to the product-specific standards), the IT shall be able to withstand the following climatic tests:

- dry heat test at maximum storage temperature;
- cold test at storage temperature;
- damp heat steady state test.

The tests shall be performed in accordance with 7.2.12.

7 Tests

7.1 General

7.1.1 Classification of tests

The tests specified in this document are classified as follows:

- Type test: test of one or more samples of equipment (or parts of equipment) made to a particular design to show that it meets one or more requirements.
- Routine test: test made on each individual item during or after manufacture. Routine tests are intended to reveal manufacturing defects. They do not impair the properties and reliability of the test object.
- Special test: test performed optionally according to a standardized procedure to check the conformity to a specific requirement.
- Commissioning test: test carried out on an item on-site, to prove that it is correctly installed and can operate correctly.
- Sample test: test of randomly selected samples of equipment out of a mass production, to assess the uniformity of the production.

7.1.2 List of tests

The list of tests is given in Table 20.

Table 20 – List of tests

Tests	Test subclause	Requirement subclause
Type tests	7.2	
Temperature rise test	7.2.2	6.4
Impulse voltage withstand test on primary terminals ^a	7.2.3	5.4.2
Wet test for outdoor type instrument transformers ^a	7.2.4	5.4.2
Electromagnetic compatibility (EMC) tests	7.2.5	6.11
Tests for accuracy	7.2.6	5.7
Verification of the degree of protection by enclosures	7.2.7	6.10
Enclosure tightness test at ambient temperature ^a	7.2.8	6.2.4
Proof test for the gas-filled enclosure ^a	7.2.9	6.17
Mechanical tests ^a	7.2.10	6.7
Voltage withstand test of low-voltage components and secondary terminals	7.2.11	5.4.5.2
Storage climatic environmental tests	7.2.12	6.22
Vibration test	7.2.13	6.21
Durability of markings	7.2.14	6.13.1
Tests for accuracy for harmonics	7.2.15	5.7.4.1
Tests for anti-aliasing	7.2.16	5.7.6
Routine tests	7.3	
Power-frequency voltage withstand tests on primary terminals ^a	7.3.1	5.4.2
Partial discharge measurement ^a	7.3.2	5.4.3.1
Power-frequency voltage withstand tests between sections	7.3.3	5.4.4
Power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals	7.3.4	5.4.5.1 5.4.5.2
Power-frequency voltage withstand test for low-voltage components	7.3.5	5.4.5.2
Test for accuracy	7.3.6	5.7
Verification of markings	7.3.7	6.13
Enclosure tightness test at ambient temperature ^a	7.3.8	6.1.4, 6.2.4
Pressure test for the gas-filled enclosure ^a	7.3.9	6.17
Measurement of capacitance and dielectric dissipation factor ^a	7.3.10	5.4.3.3
Special tests	7.4	
Multiple chopped impulse test on primary terminals ^a	7.4.1	6.8
Transmitted overvoltage test	7.4.2	6.11.4
Internal arc fault test ^a	7.4.3	6.9
Enclosure tightness test at low and high temperatures ^a	7.4.4	6.2.4
Insulation resistance measurement on secondary terminals	7.4.5	5.4.5.3
Corrosion test	7.4.6	6.12
Fire hazard test	7.4.7	C.2
Thermo-mechanical endurance test	7.4.8	4.2.1, 4.3.3
Vibration and shock test	7.4.9	6.21
Tests for accuracy versus harmonics	7.4.10	5.7.4
Seismic qualification	7.4.11	I.4

Tests	Test subclause	Requirement subclause
Commissioning tests	7.5	
Final installation inspection and tests	7.5.2	5.4.5, 6.2.2
Gas dew point test ^a	7.5.3	6.2.2
Sample tests	7.6	
^a Not applicable to bushing type current transformers		

For the testing of gas-insulated instrument transformers, the type and pressure of the gas shall be in accordance with Table 21.

Table 21 – Gas type and pressure during tests

Test	Gas type	Pressure
Dielectric test on primary terminals RIV VT accuracy Temperature rise Measurement of capacitance and dielectric dissipation factor	Same gas as in operation	Minimum functional pressure
Tightness Gas dew point	Same gas as in operation ^a	Rated filling pressure ^a
Mechanical Short-circuit (for CT) Internal arc	Same gas as in operation or other gas ^b	Rated filling pressure
CT accuracy Transmitted overvoltage Voltage withstand test of low-voltage components and secondary terminals	Same gas as in operation or other gas	Any pressure
^a for new types of insulating gas, alternative tightness test method may be defined by the manufacturer. ^b internal arc test with SF ₆ in some countries could be not applicable depending on local environmental rules. In such case a compromise solution on another gas used for testing should be found by agreement between the manufacturer and the purchaser, knowing that the behaviour of the arc can be different depending on the gas. This issue has been discussed in CIGRE.		

7.1.3 Sequence of tests

Routine tests shall be previously performed on the IT used for type tests.

Routine tests before type tests may be performed, either in the factory laboratory, or in an external laboratory.

After the type tests, the routine tests shall be repeated on each tested IT, except the pressure test for gas-filled enclosure and verification of markings.

If only some type tests are performed instead of the full list, the routine tests specified in Table 22 shall be repeated after the type test sequence.

7.1.4 Testing conditions

All the tests shall be carried out at ambient temperature between 10 °C and 40 °C, if not otherwise specified.

At the time of a test, the test object should have been acclimatised as much as practicable to the ambient atmospheric conditions of the test area.

7.2 Type tests

7.2.1 General

7.2.1.1 Common requirements

All the dielectric type tests shall be carried out on the same instrument transformer, unless otherwise specified.

NOTE 1 The impulse voltage withstand test on primary terminals (7.2.3) and the wet test for outdoor type instrument transformers (7.2.4) are considered to be dielectric type tests.

For complete instrument transformer qualification, type tests shall be carried out on a maximum of two specimens with the same design. A third specimen is accepted for EMC tests.

NOTE 2 This allows, for example, performing simultaneous power tests in one location and dielectric tests in another one.

For previously qualified instrument transformers, additional type tests may be performed on an additional specimen of the same design.

A type test may also be considered valid if it is made on a transformer that has minor constructional deviations from the instrument transformer under consideration. Such deviations shall be documented in the test report and should be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser. Refer to Annex F for more details.

7.2.1.2 Information for identification of specimen

The manufacturer shall submit to the testing laboratory drawings and other data containing enough information to unambiguously identify the essential details and parts of the equipment presented for test. Each drawing or data schedule shall be uniquely referenced and shall contain a statement so that the manufacturer guarantees that the drawings or data schedules truly represent the equipment to be tested.

The manufacturer shall maintain detailed design records of all component parts of the tested equipment and shall ensure that these can be identified from information included in the drawings and data schedules.

The testing laboratory shall check that drawings and data schedules adequately represent the essential details and parts of the equipment to be tested but is not responsible for the accuracy of the detailed information.

Table A.1 specifies a list of drawings to be submitted.

Specific drawings or data required to be submitted by the manufacturer to the test laboratory for identification of essential parts of equipment are specified by the product-specific standards.

If applicable, the firmware version shall be included in the design identification records.

After completion of verification, detail drawings and other data shall be returned to the manufacturer for storage.

An individual type test does not need to be repeated for a change of construction detail if the manufacturer demonstrates that this change does not influence the result of that individual type test.

7.2.1.3 Information to be included in type test reports

The results of all type tests shall be recorded in type test reports containing:

- a) identification file as stated in 7.2.1.2 and Clause A.2;
- b) reference standard(s);
- c) test arrangement:
 - detail of the test arrangement (including diagram of test circuit);
 - general description of the supporting structure of the device used during the test (when required by the test procedure);
 - photographs to illustrate the condition of equipment.
- d) test data to prove compliance with the specification:
 - test program;
 - records of the test quantities during each test, as specified in the relevant IEC standard;
 - statements of the behaviour of the equipment during tests, its condition after tests and, if applicable, any part renewed or reconditioned during the tests;
 - conclusion.

7.2.2 Temperature rise test

7.2.2.1 General

A test shall be performed to prove compliance with 6.4.

For this test, the transformer shall be installed in a manner representative of the mounting in operation. If the transformer can be mounted in different positions, the testing position is defined by the manufacturer.

The temperature rise of windings shall, when practicable, be measured by the method of resistance increase. For windings of very low resistance, thermocouples may be employed.

The temperature rise of parts other than windings may be measured by thermometers or thermocouples.

In the case of an LPIT with more than one secondary converter, the test shall be performed on each secondary converter. This test may be performed at the same time for all converters.

For identification of any key components on which temperature measurements shall be made and for further information regarding test arrangements and procedures, refer to product-specific standards.

In the case of current transformers, temporary external primary connections used for this test shall be of such dimensions that they do not contribute unduly to the cooling of the device under test.

The temperatures at the terminals of the main circuit and at the temporary external primary connections at a distance of 1 m from the terminals shall be measured. The difference in temperature rise shall not exceed 5 K.

However, if the temperature rise of the temporary connections at the distance of 1 m from the terminal of the main circuit exceeds by more than 5 K the temperature rise of the terminal, the test can be considered as valid if all criteria to pass the test defined in 6.4.1 are fulfilled.

7.2.2.2 Measurement of the ambient temperature

At least two sensors to measure the ambient temperature shall be distributed around the instrument transformer, at about half-height of the transformer, protected from direct heat radiation, at a horizontal distance adequate to prevent the transformer under test from influencing the readings (1 m to 2 m is usually sufficient). In case of presence of high voltage, the distance shall not be less than the rod-structure clearance defined in IEC 60071-1:2019, Table A.1.

To minimise the effects of variation of cooling-air temperature, particularly during the end of the test period, appropriate means should be used for the temperature sensors, such as heat sinks with a thermal time-constant similar to that of the transformer, with a minimum value of 2 h.

One alternative method to measure the ambient temperature can be using one single identical instrument transformer or one with similar thermal time constant characteristics, and measuring the temperature by the resistance variation method. This reference transformer is located so as to respond to ambient temperature changes in the same manner as the transformer under test.

The average readings of the different sensors shall be used for the evaluation of the ambient temperature.

7.2.2.3 Duration of test

The test can be stopped when both following conditions are met:

- the test duration is at least equal to three times the instrument transformer's thermal time constant;
- the rate of temperature rise of the windings (and of the top liquid of liquid-insulated instrument transformers) does not exceed 1 K/h during three consecutive temperature readings. Minimum interval between readings should be 20 % of the thermal time constant or one hour, whichever is the greater. If the temperature is measured without shutting down the power supply, the minimum interval time between readings can be reduced to not less than 30 min.

The manufacturer shall estimate the thermal time constant by one of the following methods:

- before the test, based on the results of previous tests on a similar design. The thermal time constant shall be confirmed during the temperature rise test;
- during the test, from the temperature rise curve(s) or temperature decrease curve(s) recorded all along the test and calculated in accordance with Annex E.

7.2.3 Impulse voltage withstand test on primary terminals

7.2.3.1 General

The test shall be performed on instrument transformers completely assembled as in operation. During the test, the IT may be mounted on a supporting structure, similar to the one used in operation.

When existing, the primary and secondary converters shall be connected in accordance with the manufacturer's instructions and energized by the auxiliary power supply. A reset or restart is not allowed during the test.

The impulse test shall be performed in accordance with IEC 60060-1, and, if applicable, in accordance with the relevant product-specific standards. The frame, case (if any) and core (if present and intended to be earthed) shall be connected to earth.

For voltage transformers with analogue output, all "n" terminals shall be connected to earth, while the other terminals shall be left open. In the case of current transformers with analogue output, all the secondary terminals shall be short-circuited and connected to earth.

The test voltage shall have the appropriate value given in Table 2, depending on the highest voltage for equipment and the specified insulation level.

The impulse tests consist of a reference impulse at a reduced level followed by impulses at rated test voltage level. The reference impulse voltage shall be between 50 % and 75 % of the rated impulse withstand voltage. The peak value and the wave shape of the impulses shall be recorded.

Evidence of insulation failure due to the test can be given by variation in the wave shape at both reference and rated withstand voltages.

Improvements in failure detection can be obtained by recording of the current(s) to earth as a complement to the voltage record.

For bushing type CTs, no primary insulation level is applicable.

NOTE A bushing type CT has no primary insulation level for itself. The insulation level is not relevant for the CT, but for the HV equipment on which it is mounted (bushing, GIS, HV cable, etc.).

7.2.3.2 Lightning impulse voltage withstand test on primary terminals

7.2.3.2.1 General

Liquid-insulated instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV shall follow the test procedure described in 7.2.3.2.2.

Other types of instrument transformers shall follow the test procedure described in 7.2.3.2.3.

7.2.3.2.2 Liquid-insulated instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV

The test shall be performed with both positive and negative polarities. Three consecutive impulses of each polarity, not corrected for atmospheric conditions, shall be applied.

The transformer shall be considered to have passed the test if the following two conditions are fulfilled:

- no disruptive discharge occurs;
- no other evidence of insulation failure is detected (e.g. variations in the wave shape of the recorded quantities).

7.2.3.2.3 Other instrument transformers

The test procedure shall be the procedure B of IEC 60060-1, modified for instrument transformers that have self-restoring and non-restoring insulation.

The test shall be performed with both positive and negative polarities. Fifteen consecutive impulses of each polarity, not corrected for atmospheric conditions, shall be applied.

The instrument transformer shall be considered to have passed the impulse tests for each polarity if the following two conditions are fulfilled:

- the number of disruptive discharges on self-restoring insulation does not exceed two for each series;
- no disruptive discharge on non-self-restoring insulation is observed.

If the last three impulses have not led to a disruptive discharge, this could be taken as an indication that no failure has happened in the non-self-restoring insulation. In the event of a disruptive discharge at one of the impulse number 13 to 15, up to three additional pulses shall be applied during which no disruptive discharge will be accepted.

This procedure leads to a maximum possible number of 18 impulses per series.

If disruptive discharges occur and evidence cannot be given during testing that the disruptive discharges were on self-restoring insulation, the IT shall be dismantled and inspected after the completion of the dielectric test series. If damage to non-self-restoring insulation is observed, the instrument transformer shall be considered to have failed the test.

7.2.3.3 Chopped impulse voltage withstand test on primary terminals

The test shall be carried out with negative polarity only and shall be combined with the negative polarity lightning impulse test in the manner described below.

The voltage wave shall be a standard chopped lightning impulse with a chopping time between 2 μ s and 5 μ s, as defined in IEC 60060-1. The chopping circuit shall be arranged so that the amount of overswing of opposite polarity of the recorded impulse shall be limited to 30 % of the measured peak value.

The chopped impulse test voltage shall be in accordance with 5.4.3.2.

The sequence of impulse applications shall be as follows:

- a) for liquid-insulated instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV:
 - one full impulse in accordance with 7.2.3.2.2;
 - two chopped impulses;
 - two full impulses in accordance with 7.2.3.2.2.
- b) for other instrument transformers:
 - one full impulse in accordance with 7.2.3.2.3;
 - two chopped impulses;
 - fourteen full impulses in accordance with 7.2.3.2.3.

The transformer shall be considered to have passed the test if there are no differences in the wave shape of full-wave impulses before and after the chopped impulses.

NOTE Those differences are an indication of an internal fault.

Flashovers during chopped impulses along self-restoring external insulation shall be disregarded in the evaluation of the behaviour of the insulation. No additional chopped impulse shall be applied.

7.2.3.4 Switching impulse voltage withstand test on primary terminals

The test is applicable to instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV.

The test shall be performed with positive polarity or, in case of gas-insulated instrument transformers, both negative and positive polarities. Fifteen consecutive impulses per polarity shall be applied, corrected for atmospheric conditions.

During the test, the IT may be mounted on a supporting structure, similar to the one used in operation.

For outdoor-type transformers, the test shall be performed under wet conditions (see 7.2.4).

The test procedure shall be the procedure B of IEC 60060-1, modified for instrument transformers that have self-restoring and non-restoring insulation. The instrument transformer shall be considered to have passed the impulse tests if all the following conditions are fulfilled:

- the number of disruptive discharges on self-restoring insulation does not exceed two for each series;
- no disruptive discharge on non-self-restoring insulation is observed.

If the last three impulses have not led to a disruptive discharge, this could be taken as an indication that no failure has happened in the non-self-restoring insulation. In the event of a disruptive discharge at one of the impulse numbers 13 to 15, up to three additional pulses shall be applied during which no disruptive discharge will be accepted.

This procedure leads to a maximum possible number of 18 impulses per series.

If disruptive discharges occur and evidence cannot be given during testing that the disruptive discharges were on self-restoring insulation, the IT shall be dismantled and inspected after the completion of the dielectric test series. If damage to non-self-restoring insulation is observed, the instrument transformer shall be considered to have failed the test.

Impulses with flashover to the walls or ceiling of the laboratory should be avoided. If they occur, the impulses shall be repeated.

7.2.4 Wet test for outdoor type instrument transformers

This test is not applicable to instrument transformers for GIS application.

The wetting procedure shall be conducted in accordance with IEC 60060-1.

During the test, the IT may be mounted on a supporting structure, similar to the one used in operation.

For instrument transformers with $U_m < 300$ kV, the test shall be performed with power-frequency voltage of the appropriate value given in Table 2, depending on the highest voltage for equipment, applying corrections for atmospheric conditions. The instrument transformer has passed the test if no external flashover occurs.

For instrument transformers with $U_m \geq 300$ kV, the test shall be performed with switching impulse voltage of positive polarity or, in case of gas-insulated instrument transformers, of both negative and positive polarities, of the appropriate value given in Table 2 depending on the highest voltage for equipment and the rated insulation level. The assessment criteria are the same as those in 7.2.3.4.

7.2.5 Electromagnetic compatibility (EMC) tests

7.2.5.1 RIV test

This test is not applicable to instrument transformers for GIS application.

Because the radio interference voltage level can be affected by fibres or dust deposit on the insulators, it is permitted to wipe the insulators with a clean cloth before taking a measurement.

The instrument transformer, complete with accessories, shall be dry and clean and at the same temperature as the laboratory room in which the test is made, as requested in 7.1.4.

Secondary converters, if existing, shall not be energized.

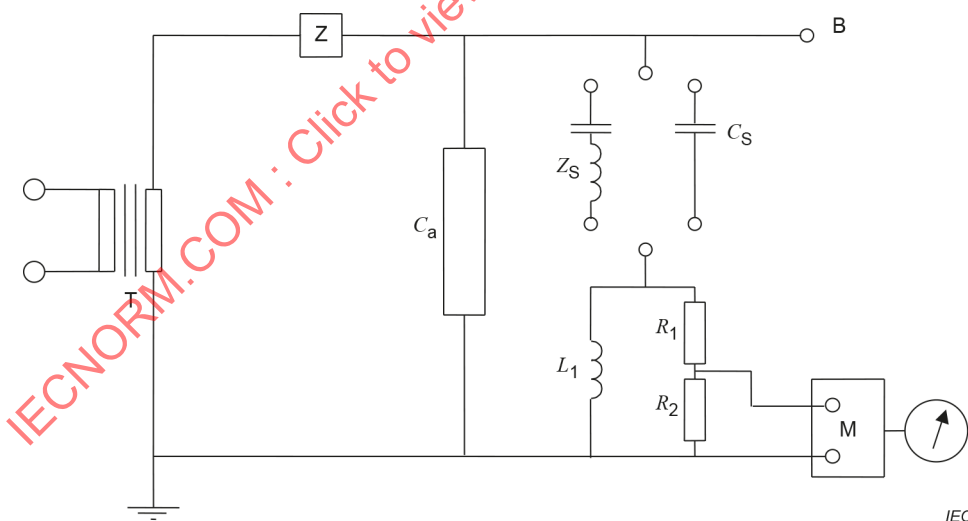
The test shall be performed under the following atmospheric conditions:

- temperature: from 10 °C to 40 °C;
- pressure: from 86 kPa to 106 kPa;
- relative humidity: from 45 % to 75 %.

No correction factor for atmospheric conditions in accordance with IEC 60060-1 is applicable to radio interference tests.

The test connections and their extremities shall not be a source of radio interference voltage perturbations.

Shielding of primary terminals simulating the operation conditions should be provided to prevent spurious discharges. The use of sections of tube with spherical terminations is recommended.



Key

T	test voltage generator
C _a	test object
C _s , Z _s	coupling capacitor or filter
L ₁ , R ₁ , R ₂	tuned detection circuit
Z	filter
B	corona-free termination
M	measuring set with input resistance R _M

Figure 9 – RIV measuring circuit

The test voltage shall be applied between one of the primary terminals of the test object (C_a) and earth. The frame, case (if any), core (if present and intended to be earthed) and one terminal of each secondary winding shall be connected to earth.

The measuring circuit (see Figure 9) shall comply with CISPR TR 18-2. The measuring circuit shall be tuned to a frequency in the range of 0,5 MHz to 2 MHz, the measuring frequency being recorded. The results shall be expressed in μV .

The impedance between the test conductor and earth, shall be $300 \Omega \pm 40 \Omega$ with a phase angle not exceeding 20° at the measuring frequency.

A capacitor, C_S , may also be used instead of the filter Z_S and a capacitance of 1 000 pF is generally adequate.

NOTE A specially designed capacitor can be necessary to avoid too low a resonant frequency.

The filter Z shall have a high impedance at the measuring frequency in order to decouple the power-frequency source from the measuring circuit. A suitable value for this impedance has been found to be 10 000 Ω to 20 000 Ω at the measuring frequency.

The radio interference background level (radio interference caused by external field and by the high-voltage transformer) shall be maximum 50 % (preferably 30 %) of the specified radio interference level.

Disturbances caused by nearby objects to the instrument transformer and to the test and measuring circuits shall be avoided.

Calibration methods for the measuring instruments and for the measuring circuit are given in CISPR TR 18-2.

A pre-stress voltage of $1,5 \times U_m / \sqrt{3}$ shall be applied and maintained for 30 s. For a VT, the test frequency may be increased to avoid the saturation of the magnetic circuit.

The voltage shall then be decreased to $1,1 \times U_m / \sqrt{3}$ in about 10 s and maintained at this value for 30 s before measuring the radio interference voltage.

The instrument transformer shall be considered to have passed the test if the radio interference level at $1,1 \times U_m / \sqrt{3}$ is in accordance with 6.11.5.

7.2.5.2 Immunity tests

7.2.5.2.1 General

The tests shall be performed to prove the compliance with 6.11.2.

See product-specific standards for individual test applicability.

The test shall be performed on a port-by-port basis, guidance for the identification of ports being given in Figure 6 and Figure 7. The immunity tests are not applied to the primary terminals.

In many cases, an IT can be divided into several major subassemblies such as circuits located in control cubicles and circuits located in the switchgear area. EMC tests relevant for the applied technology may be carried out on each major subassembly, the other subassemblies being connected and operational or simulated.

During the immunity tests, the following arrangements are allowed:

- a reduced primary signal value, with a minimum of 5 % of the rated value;
- a simulation of the input signal of the primary or secondary converter;
- use of a longer transmitting system (see Figure 1).

The accuracy performance can be difficult to measure during the immunity test. If the normal accuracy measurement method cannot be applied, normal performance within the accuracy specification limits may be verified using another method, agreed between the manufacturer and the purchaser.

Examples of major subassembly divisions are given in Figure 6 and Figure 7.

7.2.5.2.2 General conditions during immunity tests

The general conditions for EMC tests are described in IEC TR 61000-4-1 and IEC 61000-6-4. During the EMC tests, the length and the arrangement of the cable between the IT and test equipment and between primary and secondary converters shall be representative as far as practicable of the operation conditions and shall be recorded in the test report.

7.2.5.2.3 Harmonic and interharmonic disturbance test

The purpose is to verify the immunity of the EIT against harmonic and interharmonic components of the low-voltage power supply of the EIT. The test is only applicable for EIT using AC power supply.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-13. The test level is class 2 (full harmonic distortion 10 %). The assessment criterion is given in Table 17.

7.2.5.2.4 Slow voltage variation test

The purpose is to verify the immunity of the EIT against slow voltage variations of the low-voltage power supply of the EIT. The test is relevant for AC or DC power supply.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-11 for AC power supplies and IEC 61000-4-29 for DC power supplies. The voltage variations are from –20 % to +10 % of the nominal voltage of the AC power supply and from –20 % to +10 % of the nominal voltage of the DC power supply. The assessment criterion is given in Table 17.

The voltage stated in this document uses the rated voltage of the power supply as a basis for voltage test level specification. If the power supply has a rated voltage range, the test procedure shall be applied for both the lowest and the highest voltage declared in the voltage range.

EXAMPLE An EIT with a rated voltage range from 100 V to 200 V and with an operating range from –20 % to +10 % is tested at 80 V and 220 V.

For a device intended to be used either with AC power supply or with DC power supply, both tests shall be performed.

7.2.5.2.5 Voltage dips and short interruption test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against voltage dips or voltage interruption of the low-voltage power supply of the IT. The test is relevant for AC or DC power supplies.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-11 for AC power supplies and IEC 61000-4-29 for DC power supplies, and in accordance with the relevant test level of Table 17. The assessment criteria are given in Table 17.

7.2.5.2.6 Surge immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against unidirectional transient caused by overvoltages from switching in the power network and lightning strokes (direct or indirect). This test is very important for HV and MV installations due to the high probability of lightning exposure.

Test levels and applicable ports are given in Table 17. For the auxiliary power supply line-to-line test surge, generator source impedance shall be $2 \Omega/18 \mu\text{F}$. For the auxiliary power supply line-to-ground test surge, generator source impedance shall be $12 \Omega/9 \mu\text{F}$.

Generator source impedance for testing input-output and communication ports shall be $42 \Omega/0,5 \mu\text{F}$.

EXAMPLE Secondary terminals of EITs are output ports.

Testing of shielded input ports and output ports designed to meet the PEB requirements with working voltage lower or equal to 150 V, communication ports, and wired network ports shall be conducted in accordance with IEC 61000-4-5:2014, Figure 12. For unshielded ports, communication ports and wired network ports coupling method given in IEC 61000-4-5:2014, Figure 10 and IEC 61000-4-5:2014, Figure 11 shall be used. The assessment criterion is given in Table 17.

7.2.5.2.7 Conducted immunity test (150 kHz to 80 MHz)

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against the conducted disturbances that can be transferred by inductive or capacitive coupling to the supply cables, signal cables and earthing.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-6, the test level and the assessment criterion are given in Table 17.

7.2.5.2.8 Conducted immunity test (0 Hz to 150 kHz)

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against the power-frequency disturbances that can be transferred by inductive or capacitive coupling to the supply cables, signal cables and earthing.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-16, the test level and the assessment criterion are given in Table 17.

7.2.5.2.9 Electrical fast transient/burst immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against bursts of very short transients generated by the switching of small inductive loads, relay contact bouncing (conducted interference) or switching of HV switchgear – particularly SF₆ or vacuum switchgear (radiated interference).

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-4, the test level is defined in Table 17. The repetition rate is 5 kHz. The test will be carried out using the coupling/decoupling network on the power supply port and the capacitive coupling clamp on input/output, signal, data control and communication ports. The assessment criterion is given in Table 17.

7.2.5.2.10 Damped oscillatory waves immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against repetitive damped oscillatory waves occurring in low-voltage circuits of HV and MV stations due to switching phenomena (isolators in HV/MV open-air stations, particularly HV busbar switching) or faults in HV or MV networks.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-18. The test generator to be used is the damped oscillatory wave generator (IEC 61000-4-18:2019, 6.2.1). The test level is defined in Table 17. Test frequencies shall be 1 MHz, 3 MHz, 10 MHz and 30 MHz at 400 repetitions per second. The assessment criterion is given in Table 17.

7.2.5.2.11 Electrostatic discharge immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against electrostatic discharges (ESD) generated by an operator touching (directly or with a tool) the equipment or its vicinity.

The test shall be performed according to the test procedure of IEC 61000-4-2 applied only on the physical boundary of the equipment under test (enclosure). The test level and the assessment criterion are given in Table 17.

7.2.5.2.12 Power-frequency magnetic field immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT when subjected to power-frequency magnetic fields related to the proximity of power conductors, transformers, etc. in normal or faulted conditions. This test is important because of the expected vicinity of electronic parts of the IT to primary circuits.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-8. Test level and assessment criterion are defined in Table 17.

7.2.5.2.13 Impulse magnetic field immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT when subjected to impulse magnetic fields generated by lightning strikes on buildings, metal structures and earth networks; this test is relevant to HV and MV installations because of the increased exposure to lightning.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-9. Test level and assessment criterion are defined in Table 17.

7.2.5.2.14 Damped oscillatory magnetic field immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT when subjected to damped oscillatory magnetic fields generated by the switching of HV busbars by disconnectors. This test is mainly applicable to electrical equipment installed in HV substations.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-10. Test level and assessment criterion are defined in Table 17.

7.2.5.2.15 Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT against electromagnetic fields generated by radio transmitters or any other device emitting wave-radiated electromagnetic energy. The most important concern in HV and MV installations comes from the possibility of the use of walkie-talkie and portable phones, as the probability of broadcasting stations or amateur radios in the vicinity is, in general, very low.

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-3. Test level and assessment criterion are defined in Table 17. For more severe environments (proximity to high-power transmitters, radar...), addition of the test covering the 1 GHz to 6 GHz range in accordance with IEC 61000-6-5 should be considered.

7.2.5.2.16 Voltage ripple on DC power supply immunity test

The test shall be performed in accordance with the test procedure of IEC 61000-4-17 for a duration of 1 min. The test level and acceptance criterion are described in Table 17.

The test shall be performed at a frequency of twice the specified power system frequency(s).

The voltage stated in this document uses the rated voltage of the power supply as a basis for voltage test level specification. If the power supply has a rated voltage range, the test procedure shall be applied for both the lowest and highest voltage declared in the voltage range.

EXAMPLE An EIT with a rated voltage range from 100 V to 200 V and with an operating range from –20 % to +10 % is tested at 80 V and 220 V.

7.2.5.2.17 Gradual shutdown and start-up test

The purpose of this test is to verify the immunity of the IT to slow DC power supply disturbances affecting the device's shutdown and start up behaviour.

The voltage stated in this document uses the rated voltage of the power supply as a basis for voltage test level specification. If the power supply of the IT has a rated voltage range, the test procedure shall be applied for both the lowest and highest voltage declared in the voltage range.

EXAMPLE An EIT with a rated voltage range from 100 V to 200 V and with an operating range from –20 % to +10 % is tested at 80 V and 220 V.

The gradual shutdown test starts at the nominal supply voltage which is reduced to zero using a linear ramp over a 60 s interval. The IT is left deenergized for 5 min, followed by a linear ramp, increasing the power supply voltage back up to the nominal supply voltage over a 60 s interval. The acceptance criterion is given in Table 17.

7.2.5.3 EMC emission tests

See product-specific standards for individual test applicability.

A conducted emission test shall be performed in accordance with the testing procedure of IEC 61000-6-4.

Regarding IEC 61000-6-4:2018, Table 1, the choice of the test arrangement shall be made according to the normal mounting conditions of the equipment.

The test should be performed on the complete assembly, but for ease of testing in case one of the possible subassemblies contains no electrical parts, that test may be performed on the remaining subassemblies.

7.2.6 Tests for accuracy

7.2.6.1 General

Measurement of accuracy of the instrument transformer shall be performed to prove compliance with 5.7.

The accuracy shall be measured at ambient temperature. Refer to product-specific standards for the test procedure.

The measurement of accuracy shall be performed at f_r with a frequency tolerance of $\pm 1\%$. Other tolerances can be specified in the product-specific standards.

The accuracy shall be guaranteed for the extreme temperatures of the range defined in 4.2.1 or 4.3.3. More details can be provided in the product-specific standards. The preferred method is to perform the accuracy test on the complete instrument transformer in a climatic chamber. The number of accuracy measurement points at extreme temperatures may be reduced if the test for accuracy at ambient temperature has demonstrated that such a reduced number of measurement points is sufficient to prove compliance with the specified accuracy class. In case the accuracy test cannot be performed on the complete instrument transformer, other possible methods are defined in the product-specific standard.

7.2.6.2 Basic accuracy tests

7.2.6.2.1 General

Basic accuracy tests are intended to prove compliance with the specified accuracy class. Tests shall be made at each value of primary signal given in the product-specific standards at rated frequency, at the burden values specified in the relevant product standard, and at ambient temperature.

The allowed tolerance on the test burden impedance is $\pm 3\%$ for the resistance and $\pm 3\%$ for the reactance. It shall be ensured for the whole current or voltage range.

EXAMPLE 100 VA $\cos \varphi$ 0,8 test burden for a current transformer with 1 A secondary current means a resistance of $80\ \Omega \pm 3\%$ in series with a reactance of $60\ \Omega \pm 3\%$.

For LPITs, the tolerance of the test burden is $\pm 1\%$ for the resistance and $\pm 5\%$ for the capacitance.

For EITs having a rated delay time, the test can be carried out using a pure delay time device inserted between the reference transformer and the accuracy measurement system.

The signals of both the test object and the reference instrument transformer shall be compared with accuracy measurement equipment. Examples of test configurations can be found in Annex H.

For the digital interface of instrument transformers, refer to IEC 61869-9.

Basic accuracy tests for multipurpose instrument transformers shall include the basic accuracy tests specified for both applications: measuring and protection.

7.2.6.2.2 Accuracy tests for measuring instrument transformers

See specific product standards.

7.2.6.3 Additional accuracy tests for protective instrument transformers

See specific product standards.

7.2.6.4 Temperature cycle accuracy test

The following additional test is applicable to some technologies. See product-specific standards for applicability.

The temperature cycle accuracy test shall be performed on ITs in the following conditions:

- at rated frequency;

- with rated primary current or voltage applied during the period of ambient temperature and maximum temperature;
- without primary current or voltage otherwise;
- with rated burden (if relevant);
- with indoor and outdoor components exposed to their specific maximum and minimum ambient air temperature.

One temperature cycle test shall be performed in accordance with Figure 10.

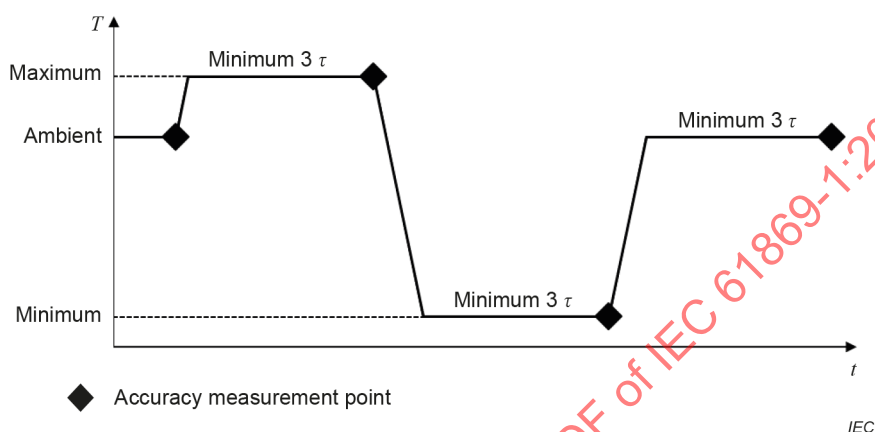


Figure 10 – Temperature cycle accuracy test

Maximum temperature variation rate is 5 K/h. It may be higher only if allowed by the manufacturer.

The thermal time constant (τ) shall be declared by the manufacturer.

NOTE The time needed to stabilize the temperature of the instrument transformer depends mainly on its size and construction.

The accuracy measurement shall be performed at the end of each steady temperature period.

For ITs with indoor and outdoor components, the tests shall be made for indoor and outdoor parts, each one at both extremes of the relevant temperature range, respecting the following rules:

- ambient air temperature for both parts;
- maximum temperature for the indoor part and maximum temperature for the outdoor part;
- minimum temperature for the indoor part and minimum temperature for the outdoor part.

In normal environmental conditions the measured error of every measuring point shall be within the limits of the relevant accuracy class.

The test may be performed with reduced primary current or voltage if it can be proven that the IT behaviour is linear from at least this reduced value up to the measurement value specified by the relevant standard.

7.2.7 Verification of the degree of protection by enclosures

7.2.7.1 Verification of the IP coding

In accordance with the requirements specified in 6.10, tests shall be performed in accordance with IEC 60529 on the enclosures of instrument transformers fully assembled as under operating conditions. As real cable connections entering the enclosures are not normally installed for type tests, corresponding filler pieces shall be used.

An enclosure may be tested separately provided the sealing areas are assembled as under operating conditions.

7.2.7.2 Mechanical impact test

In accordance with the requirements specified in 6.10.3, enclosures shall be subjected to an impact test. Three blows are applied to points of the enclosure that are likely to be the weakest points. Devices such as connectors and displays are exempt from this test.

Any impact test as defined in IEC 60068-2-75 is acceptable.

After the test, the enclosure shall show no breaks. The deformation of the enclosure shall not affect the normal function of the instrument transformer and shall not reduce the specified degree of protection. To check that the specified degree of protection has not been reduced, a verification of the IP coding shall be performed after the mechanical impact test.

Superficial damage, such as removal of paint, breaking of cooling ribs or similar parts, or minor indentations may be ignored.

7.2.8 Enclosure tightness test at ambient temperature

The tightness test on the closed pressure enclosure of gas-insulated instrument transformers shall prove compliance with the requirements given in 6.2.4.2 and shall be performed on a complete transformer at ambient temperature between 10 °C and 40 °C.

The method shall be the cumulative method for closed pressurised systems as specified by IEC 60068-2-17 (test method 1 of Qm test).

Every opening present on the transformer enclosure shall be sealed with the original sealing parts.

The transformer shall be filled with the same gas mixture as that used in operation at the rated filling pressure at 20 °C ambient temperature.

The sensitivity of the leakage measurement shall be such as to detect a leakage rate corresponding to about 0,1 % per year.

NOTE The sensitivity of a leakage measurement changes with the sensitivity of the leakage meter, with the capacity of the volume of measurement and with the time between two concentration measurements.

The test shall be started after at least 1 h from the completion of the filling of the instrument transformer, to allow stabilisation of the leakage flow.

The tightness type test is not mandatory if the routine tightness test is performed using the cumulative method (test method 1 of Qm test).

7.2.9 Proof test for the gas-filled enclosure

This test shall be performed on each separate enclosure to verify the compliance with 6.17. The test shall be performed before assembly.

Proof tests shall be performed when the strength of the enclosure or parts thereof is not calculated. They shall be performed on individual enclosures before the internal parts are added, with testing conditions based on the design pressure stresses.

Proof tests shall be either destructive or non-destructive pressure tests, as appropriate for the material employed.

In the case of a destructive pressure test, rupture of the enclosure shall not occur at a pressure lower than the test pressure specified by the relevant national standard.

In the case of non-destructive pressure test, refer to IEC 62271-203:2022, 6.103.3.

For insulators of gas-insulated instrument transformers, refer to IEC 62155 and IEC 61462.

7.2.10 Mechanical tests

The tests are carried out to demonstrate that a free-standing instrument transformer complies with the requirements specified in 6.7.

Instrument transformers shall be completely assembled, installed in the same position as in operation, with the frame rigidly fixed.

Liquid-insulated instrument transformers shall be filled with the insulation liquid specified for operation and subjected to the operating pressure.

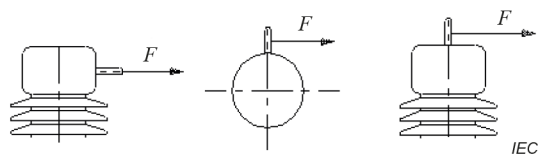
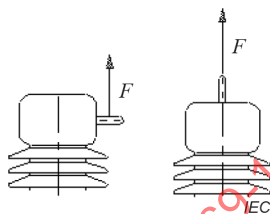
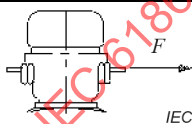
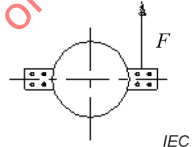
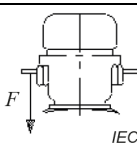
Gas-insulated free-standing instrument transformers shall be filled with gas at rated filling pressure.

For each of the conditions indicated in Table 23, the test load is applied to the primary terminal.

It shall be increased smoothly within 30 s to 90 s up to the static withstand load value indicated in Table 14. When the value is reached, it shall be maintained for at least 60 s. During this time, the deflection shall be measured and recorded. The test load shall then be released smoothly.

The instrument transformer shall be considered to have passed the test if there is no visible evidence of damage (deformation of parts, rupture or leakage).

Table 23 – Modalities of application of the test loads to be applied to the primary terminals

Instrument transformer type	Modality of application	
With voltage terminal	Horizontal	
	Vertical	
With through current terminals	Horizontal to each terminal (P1 and P2)	
		
	Vertical to each terminal (P1 and P2)	
The test load shall be applied to the centre of the terminal.		

7.2.11 Voltage withstand test of low-voltage components and secondary terminals

This test is applicable to LPITs. Refer to the product-specific standard for applicability.

An impulse test voltage shall be applied to the secondary terminals and the connecting points of the low-voltage components, in a clean and dry condition. The LPIT is not energized.

The test shall be performed at the prescribed test voltage, between each independent circuit and all other circuits connected to earth.

For the test between a given circuit and all other circuits, all the connecting points of the independent circuit shall be connected together.

Unless obvious, the independent circuits shall be described by the manufacturer. For example, secondary converter and merging unit can be independent circuits.

For devices with an insulating enclosure, the exposed conductive parts needed for testing shall be represented by a metal foil covering the whole enclosure except the terminals around which a suitable gap shall be left to avoid flashover to the terminals.

The impulse voltage withstand tests shall be performed by applying the voltage given in 5.4.5.2.

A standard lightning impulse in accordance with IEC 60060-1 shall be used. The parameters of the impulse generator are:

- output impedance: $500\ \Omega \pm 50\ \Omega$;
- output energy: $0,5\ \text{J} \pm 0,05\ \text{J}$.

The length of each test lead shall not exceed 2 m.

The impulse voltage shall be applied to the secondary terminals and appropriate points accessible from the outside of the device, the other circuits and the exposed conductive parts being connected to earth.

During the test, no input or auxiliary energizing quantity shall be applied to the device.

Three positive and three negative impulses shall be applied at intervals of not less than 5 s.

The test shall be considered as passed if:

- there is no flashover;
- after the test, the instrument transformer still complies with basic accuracy tests.

7.2.12 Storage climatic environmental tests

7.2.12.1 General

When applicable, storage climatic environmental tests shall be applied in accordance with 6.22.

In many cases, ITs can be divided into several major subassemblies such as circuits located in control cubicles and circuits located in the switchgear area. Climatic environmental tests shall be carried out for each subassembly.

7.2.12.2 Dry heat test, storage temperature

The dry heat storage test shall be performed to prove the resistance of the equipment to storage temperature. The purpose of this test is to verify the ability of the electronic components of LPITs to be transported or stored at high temperature.

The test shall be performed in accordance with the requirements of Table 24.

Table 24 – Dry heat test, storage temperature

Subject	Test conditions
Test reference	Test Bb of IEC 60068-2-2:2007
Preconditioning	According to the manufacturer's specifications
Initial measurement	Basic accuracy test in accordance with 7.2.6.2, and dielectric routine tests for low-voltage components in accordance with 7.3.5
Conditions	Unenergized
Storage temperature	As per equipment maximum specified storage temperature, value shall be chosen in accordance with 4.2.1.
Accuracy	± 2 °C (see IEC 60068-2-2:2007, 6.2)
Humidity	In accordance with IEC 60068-2-2:2007, 6.8.2, test Bb
Duration of exposure	16 h minimum
Recovery procedure:	See IEC 60068-2-2:2007, 6.11
– climatic conditions	Temperature: 20 °C $\pm$ 5 °C Relative humidity: 45 % to 75 % Atmospheric pressure: 86 kPa to 106 kPa
– power supply	Power supply switched off

Acceptance criteria: routine tests according to Table 22 passed successfully after the test.

7.2.12.3 Cold test, storage temperature

The cold storage test shall be performed to prove the resistance of the equipment to cold storage. The purpose of this test is to verify the ability of the electronic components of LPITs to be transported or stored at low temperature.

The test shall be performed according to the requirements of Table 25.

Table 25 – Cold test, storage temperature

Subject	Test conditions
Test reference	Test Ab of IEC 60068-2-1:2007
Preconditioning	According to the manufacturer's specifications
Initial measurement	Basic accuracy test in accordance with 7.2.6.2, and dielectric routine tests of for low-voltage components in accordance with 7.3.5
Conditions	Unenergized
Storage temperature	As per equipment minimum specified storage temperature chosen in accordance with 4.2.1.
Accuracy	± 3 °C (see IEC 60068-2-1:2007, 6.2)
Humidity	Not applicable
Duration of exposure	16 h minimum
Recovery procedure:	See IEC 60068-2-1:2007, 6.12
– climatic conditions	Temperature: 20 °C $\pm$ 5 °C Relative humidity: 45 % to 75 % Atmospheric pressure: 86 kPa to 106 kPa
– power supply	Power supply switched off

Acceptance criteria: routine tests according to Table 22 are passed successfully after the test.

7.2.12.4 Damp heat steady state test

The damp heat steady state test shall be performed to prove the resistance of the equipment to exposure to high humidity condensing atmospheres. The purpose of this test is to verify the ability of the electronic components of LPITs to be transported, stored, or operated under conditions of continuous high humidity.

The test shall be performed according to the requirements of Table 26.

Table 26 – Damp heat steady state test

Subject	Test conditions
Test reference	Test Cab: IEC 60068-2-78:2012
Preconditioning	1) Stabilised in test chamber at $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, $60\% \pm 10\%$ relative humidity. 2) After stabilisation the relative humidity shall be increased to 95% or greater within 1 hour, whilst maintaining the same temperature.
Initial measurement	Basic accuracy test in accordance with 7.2.6.2, and dielectric routine tests for low-voltage components in accordance with 7.3.5
Conditions	During the test the primary and secondary converters shall be continuously energized and maintained in the operating condition, with any influencing quantity set to its reference condition.
Temperature	$40\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
Humidity	$93\% \pm 3\%$
Duration of exposure	4 days minimum
Recovery procedure:	See IEC 60068-2-78:2012, 4.5
– climatic conditions	Temperature: $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ Relative humidity: 45% to 75% Atmospheric pressure: 86 kPa to 106 kPa
– power supply	Primary and secondary converters energized.

Acceptance criteria: routine tests according to Table 22 are passed successfully after the test.

7.2.13 Vibration test

This test shall be applied in accordance with IEC 60068-2-6.

The IT shall be submitted to an endurance by sweeping with the following parameters:

- frequency range from 10 Hz to 150 Hz;
- 20 sweep cycles in each axis.

The following parts of the LPIT shall be tested:

- the primary sensing elements and primary converters, which do not need to be tested with the primary insulating system;
- the secondary converters;
- electronic parts (if applicable).

The secondary signal of the LPIT shall operate correctly (criterion B of Table 18) when subject to vibration levels appropriate to its application. Acceptance criteria: routine tests according to Table 22 are passed successfully after the test.

7.2.14 Durability of markings

The test checks the quality of the marking and not the quality of the instrument transformer.

Conformity is checked by rubbing the markings by hand for 15 s with a piece of cotton soaked with water and again for 15 s with a piece of cotton soaked with one other cleaning agent.

The other cleaning agent shall be selected from the following list:

- the cleaning agents specified in the user manual;
- acetone ($\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$);
- n-hexane 95 % (C_6H_{14});
- isopropyl alcohol ($\text{CH}_3\text{CH(OH)-CH}_3$).

After the above treatment, the markings shall be clearly readable and adhesive labels shall not have worked loose or become curled at the edges.

This test is not necessary if markings are obtained via mouldings or are engraved.

7.2.15 Tests for accuracy for harmonics

The tests are carried out to demonstrate that the test object complies with the accuracy requirement on harmonics given in 5.7.4.

In an ideal case, tests on harmonics should be performed with the rated primary signal at the rated frequency plus a percentage of the rated primary signal at each considered harmonic frequency. Such a primary signal should provide a realistic image of the dynamic requirements on the transformer and will yield a good image of some non-linear phenomena which can happen in the transformer (intermodulation, for example). Examples of signal value are given in IEC TR 61869-103:2012, 7.6.

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

The use of a suitable test setup is required (see IEC TR 61869-103 for more details).

Devices based on ferromagnetic circuit (inductive CT or VT, CVT and SAMU auxiliary input transformers) are susceptible to ferromagnetic core saturation and generally cannot be tested at low frequencies using full voltage/current levels. For these devices, measurements at frequencies below the rated frequency should be performed with test signal magnitude reduced in proportion with the test frequency:

$$I_{\text{test}} = I_{\text{pr}} \times \frac{f_{\text{test}}}{f_r} \text{ or } U_{\text{test}} = U_{\text{pr}} \times \frac{f_{\text{test}}}{f_r}$$

In the case of current sensors, Rogowski coil/air-core coil-based devices provide a voltage whose magnitude increases with frequency. To avoid measurement circuit clipping, testing above the rated frequency should be performed with a test signal magnitude reduced in inverse proportion with the test frequency:

$$I_{\text{test}} = I_{\text{pr}} \times \frac{f_r}{f_{\text{test}}}$$

Opto-electronic-based devices are normally insensitive to test signal frequency. Test signal level at different frequencies will be determined primarily by the test laboratory capabilities.

Low-frequency response below the rated frequency may be measured using a swept sine signal. The frequency sweep shall start at the rated frequency and terminate when the 1 Hz point is reached. The frequency sweep may be continuous or executed as a series of steps. If continuous, the sweep speed shall not be higher than $\frac{1}{4}$ octave per second. If discrete, there shall be at least four steps per octave.

For DC response measurements, the minimum averaging period shall be 10 s.

Accuracy of instrument transformers can be dependent on voltage characteristic, i.e. voltage magnitude and presence of fundamental voltage, for certain instrument transformer types. In this case, information about the voltage characteristic where harmonic extension level is fulfilled, shall be provided in the test report.

7.2.16 Test for anti-aliasing

The test shall be performed to measure the attenuation of the anti-aliasing filter as a function of the frequency.

The results shall be compared with the limits of Table 10.

Provided that the device behaviour is not affected, the primary signal may be simulated by an appropriate signal generator connected before the anti-aliasing filter.

The magnitude of the primary signal shall be at least 1 % of the rated primary signal.

NOTE If aliasing occurs, the primary signal and the secondary signal do not have the same frequency. Therefore, test arrangements using bridge configurations cannot be used. The easiest way to do the test is to calculate or measure the RMS values for primary current or voltage and secondary voltage separately using a digital system or a simple multimeter for analogue systems.

7.3 Routine tests

7.3.1 Power-frequency voltage withstand test on primary terminals

The test shall be performed on the instrument transformer completely assembled as in operation.

When existing, the primary and secondary converters shall be connected in accordance with the manufacturer's instructions.

The power-frequency voltage withstand test shall be performed in accordance with IEC 60060-1.

The test voltage shall have the appropriate value given in Table 2, depending on the highest voltage for equipment. The duration shall be 60 s, unless otherwise specified.

The power-frequency voltage withstand test on primary terminals of newly manufactured instrument transformers shall be performed according to Table 2. For instrument transformers that have been in operation, the test voltage should be reduced to 80 % of the specified test voltage, with a minimum of U_m .

NOTE The power-frequency voltage withstand test is also applicable to instrument transformers coming back from field.

The test voltage shall be applied

- between the primary terminals and earth for instrument transformers in case of CT and earthed VT;
- between primary terminals, in case of phase-to-phase VT.

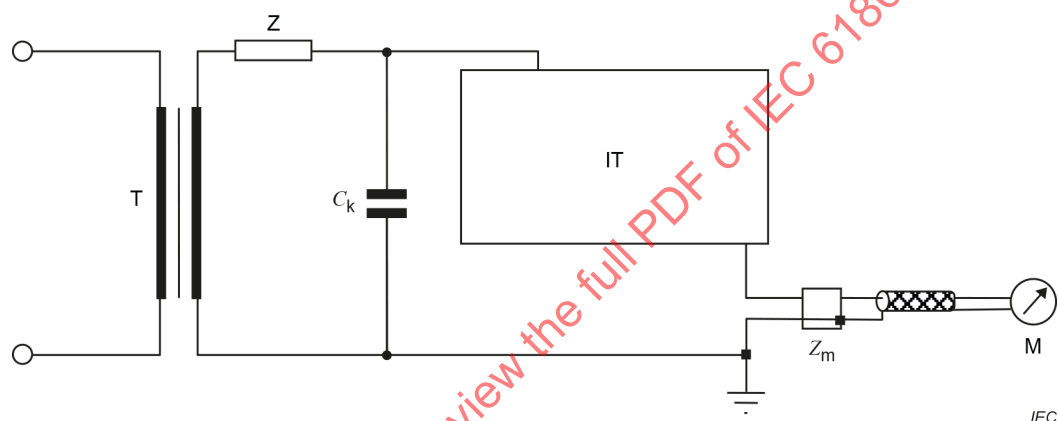
The secondary terminals, the frame, case (if any) and core (if there is a special earth terminal) shall be connected to earth.

The test is successful if no disruptive discharge occurs.

7.3.2 Partial discharge measurement

7.3.2.1 Test circuit and instrumentation

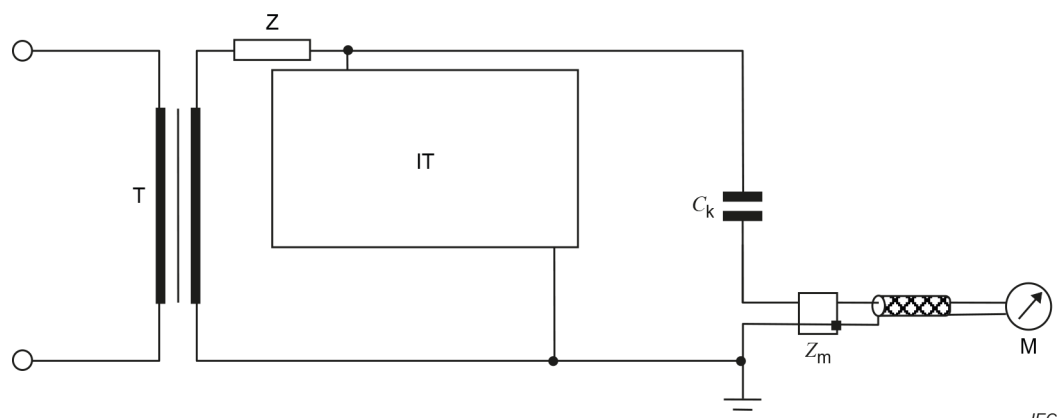
The test circuit and the instrumentation used shall be in accordance with IEC 60270. Some examples of test circuits are shown in Figure 11, Figure 12 and Figure 13.



Key

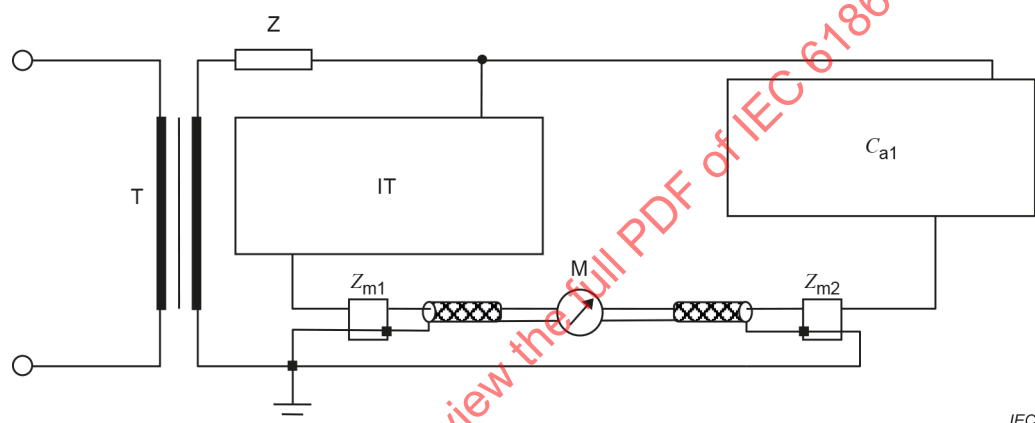
- T test voltage generator
- IT instrument transformer to be tested
- C_k coupling capacitor
- M PD measuring instrument
- Z_m measuring impedance
- Z filter

Figure 11 – Test circuit for partial discharge measurement



Key: See Figure 11.

Figure 12 – Alternative circuit for partial discharge measurement



Key

T	test voltage generator
IT	instrument transformer to be tested
M	PD measuring instrument
Z	filter
C_{a1}	auxiliary PD free object
Z_{m1}, Z_{m2}	measuring impedances

Figure 13 – Example of balanced test circuit for partial discharge measurement

The PD measurement instrument shall measure the apparent charge expressed in picocoulombs (pC). Its calibration shall be performed in accordance with IEC 60270:2015, Clause 5.

The sensitivity shall allow detection of a partial discharge level of 5 pC. The background noise level should be lower than 50 % of the PD limits to be measured as defined in Table 4. Pulses that are proven to be caused by external disturbances may be disregarded.

For the suppression of external noise, the balanced test circuit (see Figure 13) may be used.

7.3.2.2 Partial discharge test procedure

After a pre-stressing performed in accordance with procedures A or B, the partial discharge test voltages specified in Table 4 are reached, and the corresponding partial discharge levels are measured within a time of 30 s (see Figure 14). As soon as the PD level is recorded, the voltage may be decreased to the next step. In the event of extinction or absence of PDs, the voltage may be directly decreased to zero.

In the presence of PDs, the partial discharge inception voltage, detected during the voltage increase and extinction voltage, detected during the voltage decrease (as defined in IEC 60050-212:2014, 212-11-41 and IEC 60050-212:2014, 212-11-42) shall be recorded for diagnostic purposes.

The reference limit for PD inception voltage and extinction voltage is the background noise level within the test field in the absence of a test object.

The measured partial discharge shall not exceed the limits specified in Table 4.

Procedure A: the partial discharge test voltages are reached while decreasing the voltage, immediately after the power-frequency voltage withstand test on primary terminals.

Procedure B: the partial discharge test is performed maximum one hour after the power-frequency withstand test. The applied voltage is raised to 80 % of the power-frequency withstand voltage (with a minimum of U_m), maintained for not less than 60 s, then reduced without interruption to the specified partial discharge test voltages.

NOTE The limit of one hour between the power-frequency voltage test and the partial discharge cycle is needed to ensure that the insulation has not recovered during this time.

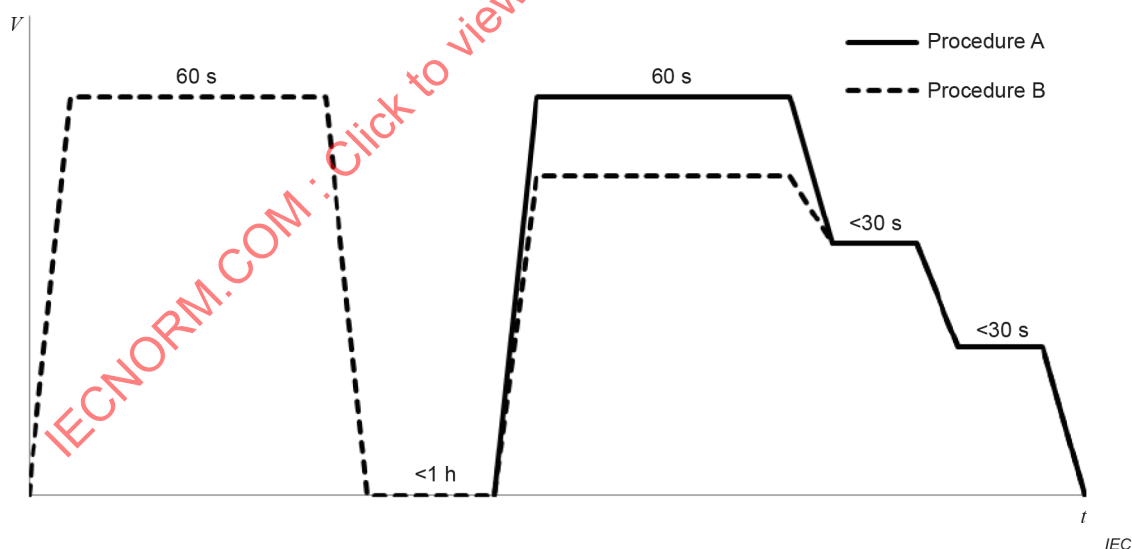


Figure 14 – Voltage profile for partial discharge measurement

If not otherwise specified, the choice of the procedure is left to the manufacturer. The test method used shall be indicated in the test report.

7.3.3 Power-frequency voltage withstand tests between sections

This test is applicable only to instrument transformers with more than one section.

The test between sections of secondary windings is replaced by the test on secondary terminals (7.3.4).

The test voltage in accordance with 5.4.4 shall be applied for 60 s in turn between the short-circuited terminals of each section.

The frame, case (if any), core (if there is a special earth terminal), and the terminals of all windings or sections shall be connected together and to earth.

The test is passed if no disruptive discharge occurs.

7.3.4 Power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals

A test voltage according to 5.4.5.1 or 5.4.5.2 shall be applied for 60 s in turn between the short-circuited terminals of each secondary winding and earth, all the other secondary terminals being short-circuited and earthed together with the frame and the core (if there is a special earth terminal).

For bushing type CTs, the ground shall be simulated by one of the following ways:

- mount the current transformer on a test fixture in a manner representative of the mounting in operation;
- wrap a conductive foil around the body of the CT;
- immerse within a bath filled with conductive liquid or metallic balls.

The test is passed if no disruptive discharge occurs.

7.3.5 Power-frequency voltage withstand test for low-voltage components

Refer to the product-specific standard for applicability of this test.

The power-frequency voltage withstand tests shall be performed, applying the insulation requirements specified in 5.4.5.2.

The test voltage shall be applied for 60 s in turn between the short-circuited terminals of each low-voltage component and earth, all the other terminals being short-circuited and earthed together with the frame.

The test voltage shall be measured at the test points with an accuracy better than 3 %.

The test voltage shall be sinusoidal with a frequency between 45 Hz and 65 Hz.

The voltage shall be raised to the specified value and maintained for 60 s in such a manner that no significant transients occur. It shall then be reduced to zero as rapidly as possible.

The test is passed if no disruptive discharge occurs.

7.3.6 Test for accuracy

7.3.6.1 General

The routine test is, in principle, the same as the type test specified in 7.2.6.2. However, routine tests at a reduced number of test points are permissible if type tests on a similar instrument transformer have demonstrated that such a reduced number of tests is sufficient to prove compliance with the specified accuracy class.

7.3.6.2 Test procedure

See specific product standards.

7.3.7 Verification of markings

It shall be verified that the rating plate and terminal markings are correct.

7.3.8 Enclosure tightness test at ambient temperature

7.3.8.1 Closed pressure systems for gas

The tightness test on the enclosure of gas-insulated instrument transformers shall prove compliance with the requirements given in 6.2.4 and shall be performed on a complete instrument transformer at ambient temperature (between 10 °C and 40 °C).

If possible, the method will be the cumulative method for closed pressurised systems as specified by IEC 60068-2-17 (test method 1 of Qm test).

Leakage detection using a probing test may be used (test method 2 of Qm test). If a leak is detected with the leakage detector, then the leakage shall be quantified using the cumulative method.

The test should be started at least 1 h after the filling of the transformer to reach a stabilised leakage flow.

The sensitivity of the leakage measurement shall be such as to detect a leakage rate corresponding to about 0,25 % per year.

7.3.8.2 Liquid systems

The purpose of tightness tests is to demonstrate that there is no leakage. It is applicable to all compartments of the instrument transformer.

The instrument transformer shall be assembled and hermetically sealed as in operation and filled with its normal insulating fluid. A minimum pressure of 0,05 MPa above the maximum operating pressure shall be maintained during 24 h inside the device. The instrument transformer shall be considered to have successfully passed the test if there is no evidence of leakage.

It is allowed to block the liquid expansion system during the tightness test.

The maximum operating pressure is the maximum internal pressure occurring under the most severe conditions (ambient temperature and internal heating). The value shall be documented by the manufacturer.

7.3.9 Pressure test for the gas-filled enclosure

This test is performed on each separate enclosure to verify the compliance with 6.17. The test shall be performed before assembly.

Pressure tests shall be made on enclosures after complete machining.

The test pressure shall be k times the design pressure, where the factor k is

- 1,3 for welded aluminium and welded steel enclosures;
- 2 for cast aluminium and composite aluminium enclosures.

For insulators of gas-insulated instrument transformers, refer to IEC 62155 and IEC 61462.

No rupture or permanent deformation shall occur during this test.

7.3.10 Measurement of capacitance and dielectric dissipation factor

The test shall be carried out after the power-frequency withstand test on the primary terminals.

A measurement of $\tan\delta$ and capacitance shall be carried out at a voltage of $U_m/\sqrt{3}$. An additional measurement at 10 kV shall be carried out for information.

The value of $\tan\delta$ at $U_m/\sqrt{3}$ shall be equal or lower than the value specified in 5.4.3.3 for the type of insulation.

7.4 Special tests

7.4.1 Multiple chopped impulse test on primary terminals

The test is performed to prove compliance with 6.8 (when specified).

If applicable, the test shall be made on the instrument transformer completely assembled as in operation.

When existing, the primary and secondary converters shall be connected in accordance with the manufacturer's instructions.

The voltage shall be a standard chopped lightning impulse of negative polarity, with a chopping time between 2 μ s and 5 μ s, as defined in IEC 60060-1.

For current transformers, the test voltage shall be applied between the primary terminals (connected together) and earth, and, for earthed voltage transformers, between the primary high-voltage terminal and the primary earth terminal connected to earth as in operation. The frame, case (if any), core (if present and intended to be earthed) shall be connected to earth.

For voltage transformers with analogue outputs, all "n" terminals shall be connected to earth, while the other terminals shall be left open. For current transformers with analogue output, all secondary terminals shall be short-circuited and connected to earth.

The peak value of the test voltage shall be 70 % of the rated lightning impulse withstand voltage. The impulse front of the test voltage shall be 1,2 μ s, in accordance with IEC 60060-1.

The virtual duration of voltage collapse, measured in accordance with IEC 60060-1, shall be in the range of 0,4 μ s to 0,5 μ s and the circuit shall be so arranged that the overswing to opposite polarity of the impulse shall be approximately 30 % of the prescribed peak voltage.

600 consecutive impulses shall be applied, approximately at a rate of 1 impulse per minute.

The wave shape shall be recorded at the beginning and at the end of the test, as well as after every 100 impulses.

It is not required to monitor the secondary signal of an EIT during the test.

The criteria for evaluating the result shall be based on the following requirements:

- the comparison of the impulse voltage shape recorded at the beginning and after each 100 impulses shall not give evidence of any modification which could be attributed to internal discharges;
- the power-frequency voltage withstand test is passed after the test;

- the level of the measured partial discharges shall not exceed the values of Table 4;
- the measurement of capacitance and dielectric dissipation factor shall be measured before and after at least 24 h from the conclusion of the test. The results of capacitance and dielectric dissipation factor measurements shall be the same, apart from the uncertainty attributed to the test method used and to the effects of quantities that can influence the result (e.g. temperature of the insulating materials);
- the increase of the dissolved gases in oil, measured 72 h after the test, shall not exceed the values of Table 15.

Oil sampling procedure shall be in accordance with IEC 60475 and the gas analysis in accordance with IEC 61181.

When any of the indicated criteria is not met, the instrument transformer shall be considered to have failed the test.

7.4.2 Transmitted overvoltage test

This test is made to prove compliance with 6.11.4.

For a bushing type CT, the test shall be performed in a configuration representing operating conditions, as indicated in the test report.

A voltage impulse (U_1) shall be applied between one of the primary terminals and earth.

One of the following waveforms shall be applied (see Figure 15):

- Waveform A for equipment intended to be mounted in an air-insulated switchgear. The peak value of the test voltage (U_1) shall be between 50 kV and the reference voltage U_{pref} indicated in Table 27;
- Waveform B for equipment intended to be mounted on a gas-insulated switchgear. A low-voltage signal shall be applied. To improve the reproducibility of the test, the test voltage should be as high as possible, with a minimum value of 30 V.

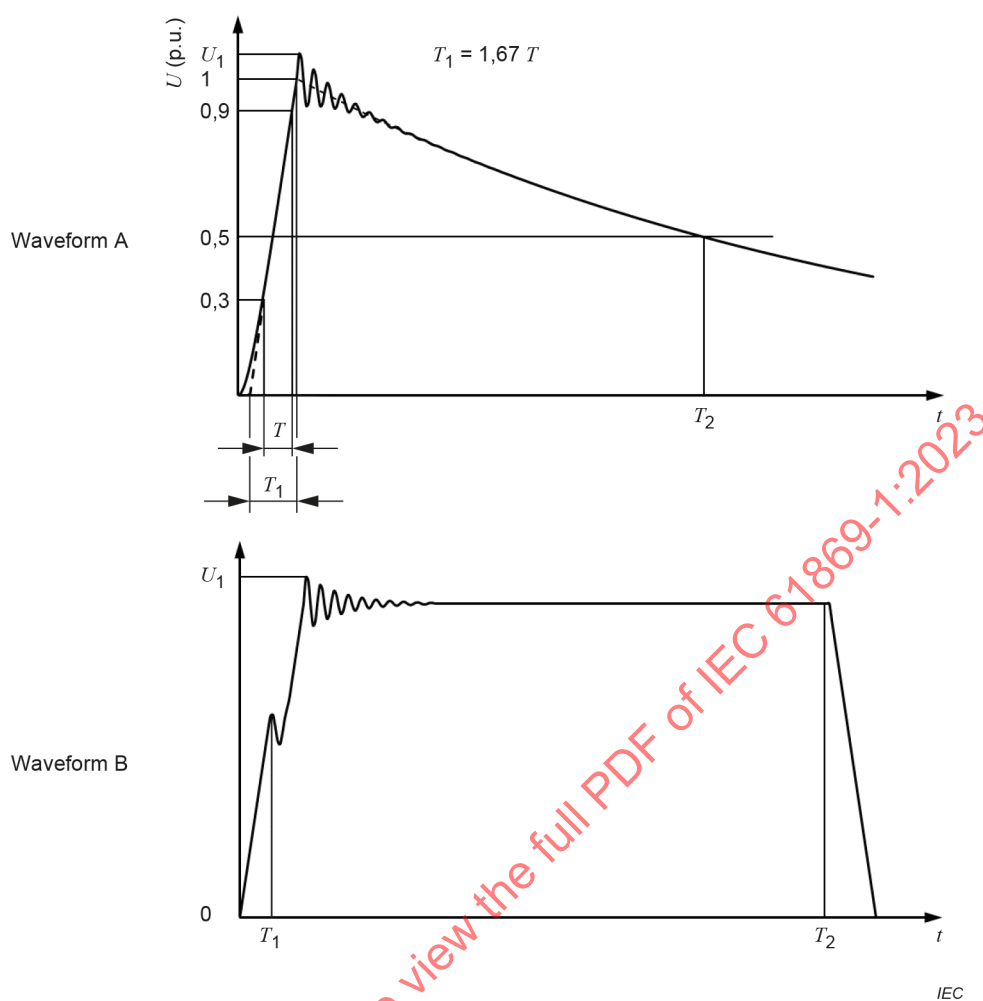
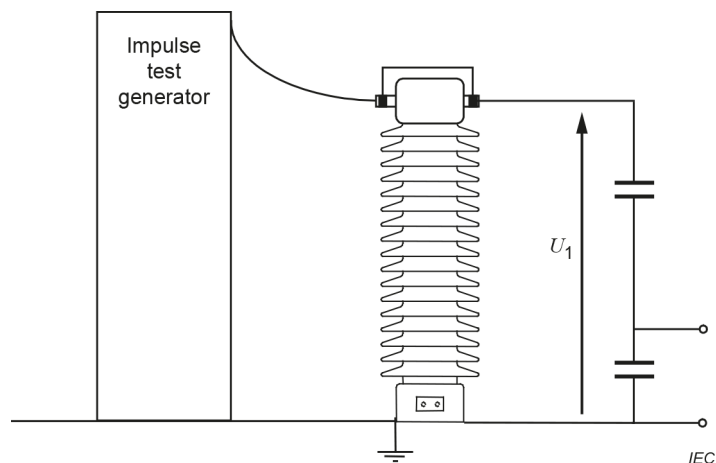


Figure 15 – Transmitted overvoltage measurement: test impulse waveforms

Table 27 – Transmitted overvoltage limits

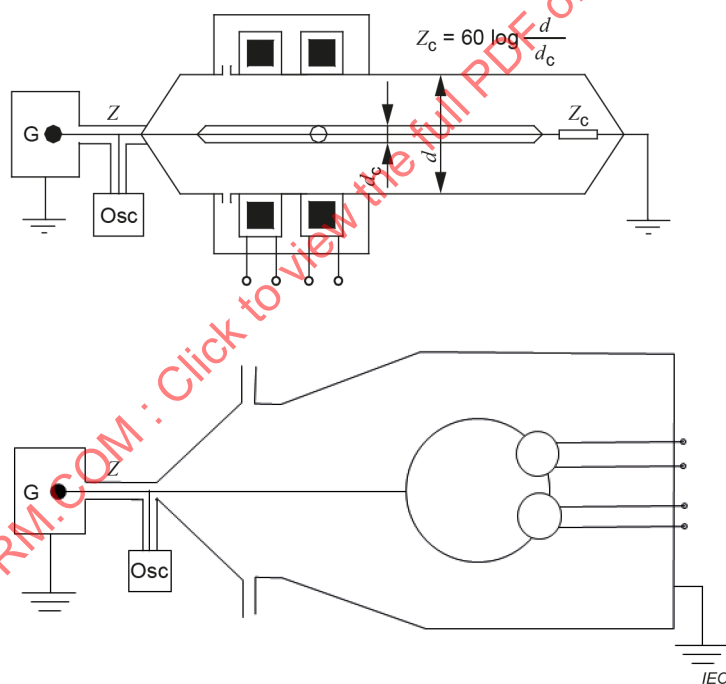
Type of equipment	Air-insulated switchgear	Gas-insulated switchgear
Peak value of the reference voltage (U_{pref})	$1,6 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_m$	
Wave shape characteristics:		
– front time T_1 (waveform A)	Between 0,84 μ s and 1,3 μ s	N/A
– time to half-value T_2 (waveform A)	$\geq 50 \mu$ s	N/A
– front time T_1 (waveform B)	N/A	10 ns $\pm$ 2 ns
– pulse duration T_2 (waveform B)	N/A	> 100 ns
Transmitted overvoltage peak value limit (U_{tov})	1,6 kV	
NOTE The waveform characteristics are representative of voltage oscillations due to switching operations.		

For instrument transformers for AIS applications, the impulse is supplied to one primary terminal in accordance with the Figure 16. Primary terminals of CTs shall be short-circuited.



**Figure 16 – Transmitted overvoltage measurement:
primary test configuration for AIS equipment**

For instrument transformers for GIS, the impulse shall be applied through a 50 Ω coaxial cable adapter in accordance with Figure 17. The enclosure of the GIS section shall be connected to earth as planned in operation.



Key

- G test generator
- Osc oscilloscope or transient recorder
- Z 50 Ω coaxial feed-through connection

**Figure 17 – Transmitted overvoltage measurement:
primary test configuration for GISs (CTs and VTs)**

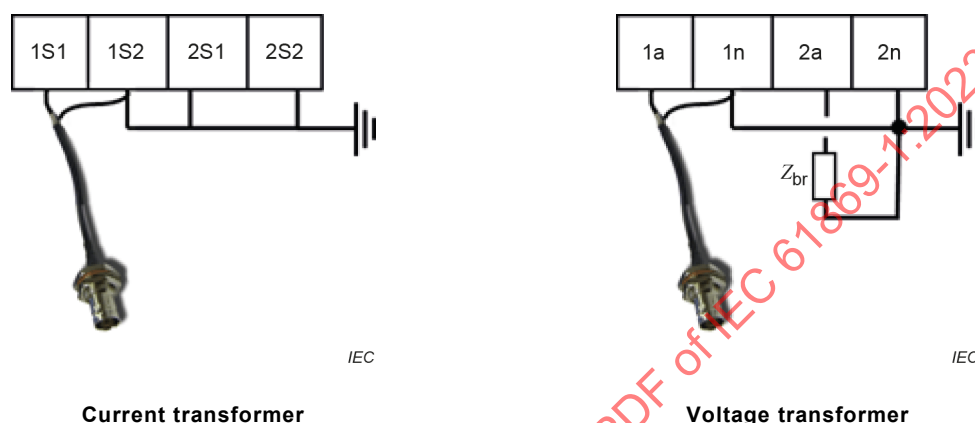
The tank or the frame shall be solidly earthed.

The secondary terminals intended to be earthed shall be connected to the earthing terminal within the terminal box (with leads as short and straight as possible).

The transmitted voltage (U_2) shall be measured at the open secondary terminals through a 50 Ω coaxial cable terminated with the 50 Ω impedance, connected to an oscilloscope or a transient recorder which reads the peak value. The connection from the secondary terminals to the coaxial cable shall be performed through a piece of cable as short as possible (< 100 mm) and twisted to avoid external perturbation from the primary wave.

CT secondary terminals that are not under test shall be short-circuited; VT secondary terminals that are not under test are connected to the rated burden or their resistive equivalent value.

Figure 18 illustrates an example of correct secondary test connections.



**Figure 18 – Transmitted overvoltage measurement:
example of correct secondary test connection for CT and VT**

The measurement system shall comply with the requirements of IEC 61083-1, with

- a minimum sampling rate of 100 MS/s for AIS applications and 10 GS/s for the GIS applications;
- a minimum bandwidth of 10 MHz for AIS applications and 1 GHz for GIS applications.

If the instrument transformer has more than one secondary winding, the measurement shall be successively performed on each of the windings.

In the case of secondary windings with intermediate tapping, the measurement shall be performed only on the full winding.

The overvoltage transmitted to the secondary winding (U_{tov}) for the reference overvoltage (U_{pref}) applied to the primary winding shall be calculated as follows:

$$U_{tov} = U_{pref} \times U_2 / U_1$$

In case of oscillations on the crest of the test impulse, the maximum amplitude of the wave is considered as the peak value U_1 for the calculation of the transmitted voltage.

The instrument transformer is considered to have passed the test if the value of the transmitted overvoltage does not exceed the limits given in Table 27.

7.4.3 Internal arc fault test

The test is performed to prove compliance with 6.9 (when specified). The instrument transformer shall be equipped with all accessories and shall be mounted to simulate operating conditions. Liquid-insulated instrument transformers shall be filled with the same liquid as in operation.

For gas-insulated instrument transformers, the filling pressure shall not be less than the rated filling pressure.

The base of the transformer shall be mounted on a pedestal with a height of at least 300 mm.

The Figure 19 illustrates a typical test configuration.

A reference area encircling the object under test shall be defined as the limit for projected parts. The diameter of this area shall be equal to the transformer diameter (largest dimension) plus twice the instrument transformer height (pedestal included), with a minimum diameter of 2 m.

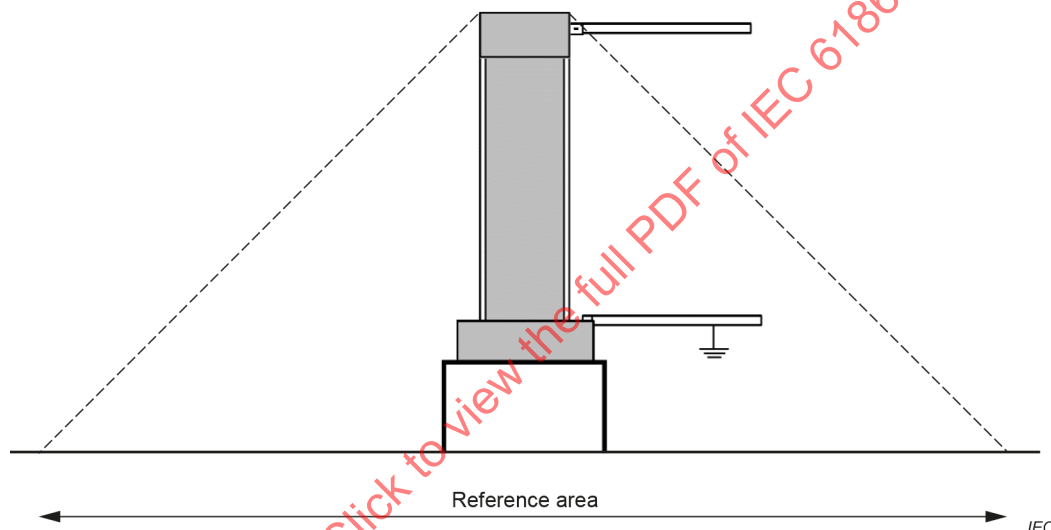


Figure 19 – Typical configuration for internal arc fault test

The test shall be carried out with the transformer initially at ambient temperature.

The test current frequency shall be comprised between 48 Hz to 62 Hz.

The test current shall be an asymmetrical current with the RMS value of rated internal arc current (I_{arc}) and with a duration stated in Table 16.

The first peak value of the current shall be at least 1,7 times the RMS value.

The tolerances admitted are the following:

- ± 5 % on the RMS value;
- ± 5 % on the duration.

The fault current shall be measured by the test laboratory independently from the instrument transformer under test.

The power of the supply shall be sufficient to practically maintain the sinusoidal arc fault current throughout the entire duration of the test.

The arc inside the test object shall be incepted by a wire of 1 mm to 3 mm diameter placed between the high and low voltage shield through the main insulation, or by means of an equivalent device.

For gas-insulated instrument transformers, the arc inception shall be located in the area with the highest dielectric stress. For liquid-insulated instrument transformers, the location of the arc inception shall be in the area of maximum risk of failure according to previous experience.

NOTE For top core liquid-insulated current transformers, in many cases the area in which failure in operation is initiated is located in the upper part of the main insulation. For hair pin liquid-insulated instrument transformers this area is generally located in the bottom part of the main insulation.

The manufacturer shall present to the test laboratory pictures of the inception point to be included in the test report.

The instrument transformer is considered to have successfully passed the test if the performance criteria described in Table 16 are met.

In the case where an instrument transformer of similar design is already qualified, the manufacturer may provide the documents demonstrating the ability of the non-qualified instrument transformer to withstand an internal arc fault. In this case, no additional internal arc fault test is required. Additional information is available in Annex E.

7.4.4 Enclosure tightness test at low and high temperatures

The tightness test on the enclosure of gas-insulated instrument transformers shall prove compliance with the requirements given in 6.2.4.2 and shall be performed on a complete transformer at the specified extreme limits of the temperature category.

The method shall be the cumulative method for closed pressurised systems as specified by IEC 60068-2-17 (test method 1 of Qm test).

Every opening present on the transformer enclosure shall be sealed with the original sealing device.

The position of the transformer may be different from the operating position due to physical limitations of the environmental chamber.

The ambient temperature shall be measured with a sensor located at approximately 0,3 m from the transformer.

The test shall be started after at least 1 h from the completion of the filling of the instrument transformer, in order to allow stabilisation of the leakage flow.

The two series of tests shall be performed as follows:

- the measurement of the leakage rate shall be performed at ambient temperature (25 ± 10) °C;
- the temperature of the climatic chamber shall be decreased (or increased) to the lower (or higher) limit corresponding to the temperature category of the instrument transformer at an average rate of ± 5 K/h;
- the instrument transformer shall be maintained at the minimum (or maximum) temperatures for at least 24 h, with a tolerance of ± 5 °C, before taking the measurement of the leakage rate;
- the measurement of the leakage rate is carried out at low (or high) temperature;
- the temperature of the climatic chamber shall be increased (or decreased) to the ambient temperature at an average rate of ± 5 K/h;

- the measurement of the leakage rate is carried out after the transformer has stabilised at ambient temperature (25 ± 10) °C.

7.4.5 Insulation resistance measurement on secondary terminals

Insulation resistance measurement shall be done after the power-frequency withstand test on secondary terminals.

The insulation resistance shall be measured successively between the short-circuited terminals of each secondary winding and earth. The test voltage is specified in 5.4.5.3.

The frame, case (if any), core (if there is a special earth terminal), and all the other terminals shall be connected to earth.

For bushing type CTs, the ground shall be simulated by one of the following ways:

- mount the current transformer on a test fixture in a manner representative of the mounting in operation;
- wrap a conductive foil around the body of the CT;
- immerse within a bath filled with conductive liquid or metallic balls.

The DC voltage shall be applied until stabilization of the resistance measurement, for a minimum of 30 s.

7.4.6 Corrosion test

The tests and test methods are related to the material used in the equipment and are recommended when required by the relevant product standard or by agreement between the purchaser and the manufacturer.

The test may be performed on representative models using the same materials and the same surface protection as the instrument transformer under consideration.

The tested equipment shall be submitted to environmental testing Ka (salt mist) in accordance with IEC 60068-2-11. The duration of the test is 168 h. In addition, for painted surfaces, the resistance to humid atmospheres containing sulphur dioxide shall be tested in accordance with ISO 22479.

The basic functions of instrument transformer to be considered for corrosion should include, but not be limited to, the following:

- the ability to withstand system voltage during operation and ensure measurement of current or voltage with the required accuracy;
- the readability of the rating plate;
- the tightness of the specimen;
- the continuity of earthing connections;
- the ability to access or disassemble equipment as required to perform routine inspection and maintenance;
- if the surface is painted, trace of degradation shall be limited to degree Ri 2 according to ISO 4628-3.

The degree of corrosion, if any, shall be indicated in the test report, with pictures.

7.4.7 Fire hazard test

Refer to Annex C.

7.4.8 Thermo-mechanical endurance test

The test shall apply only to solid-insulated transformers operating at -40 °C or lower. This test is carried out to demonstrate that a solid-insulated instrument transformer complies with the requirements specified in 4.2.1 or 4.3.3.

The thermo-mechanical test shall be performed on a complete transformer installed in the same position as in operation, with the frame rigidly fixed. The position of the transformer may be different from the operation position owing to physical limitations of the climatic chamber.

For HV instrument transformers with $U_m > 100\text{ kV}$, such a test may be performed separately on specific parts of the instrument transformer. Dimensions and configuration of these parts shall be agreed between the purchaser and the manufacturer.

At least two sensors to measure the ambient temperature shall be distributed around the instrument transformer, at an appropriate distance according to the instrument transformer ratings and at about half-height of the transformer, protected from direct heat radiation.

To minimise the effects of variation of cooling-air temperature, particularly during the last test period, appropriate means should be used for the temperature sensors such as heat sinks with a time-constant approximately equal to that of the transformer.

The average readings of all sensors shall be used for the test.

The test shall be started after at least 12 h from the completion of the production process and routine tests of the instrument transformer.

The test consists of at least 5 successive cycles:

- the ambient temperature shall be $(20 \pm 10)\text{ °C}$;
- the temperature shall be decreased to the lower limit corresponding to the temperature category of the transformer, at a rate of $\pm 10\text{ K/h}$;
- the transformer shall be maintained at the minimum temperature with a tolerance of $\pm 5\text{ K}$ for at least 8 h;
- during the last 4 hours of the previous step, current transformers shall be energized applying the rated continuous thermal current I_{cth} ;
- the temperature shall be increased up to the ambient temperature at an average rate of $\pm 10\text{ K/h}$.

NOTE The current transformer can also generally be energized from the secondary side, with primary terminals short-circuited.

The acceptance criteria are as follows:

- there is no visible sign of deformation or resin cracking;
- the transformer withstands the routine tests specified in 7.3.1 and 7.3.2.

7.4.9 Vibration and shock tests

7.4.9.1 General

See product-specific standards for applicability of these tests.

The test arrangement, as far as reasonably practicable, shall represent the worst-case operating condition in respect of vibration. Vibration levels will vary depending on connection arrangements, insulation type, and for circuit-breakers, the actuation principle.

7.4.9.2 Vibration test for primary parts during short-time current

This test is performed to determine that the IT operates correctly in the presence of vibration resulting from busbars, caused by short-time current electromagnetic forces.

This test may be carried out in conjunction with a short-time current test or composite error test. The test current shall be agreed between the manufacturer and the purchaser.

In the case of LPITs, 5 ms after the last opening of the circuit-breaker, the RMS value of the secondary voltage of the low-power instrument transformer at rated frequency calculated over one period, which should theoretically be "0", shall not exceed 3 % of the rated secondary voltage. To represent the worst-case condition with respect to vibration, the low-power instrument transformer should be connected via a rigid connection to the circuit-breaker.

7.4.9.3 Vibration tests for primary parts mechanically coupled to a switchgear

7.4.9.3.1 General

These tests are applicable to IT intended to be mounted on live tank or dead tank circuit-breaker for AIS, as well as IT intended to be mechanically coupled to a GIS.

Two different methods of qualification are specified. In the first method, described in subclause 7.4.9.3.2, the IT is qualified through testing with the specific circuit breaker with which it is intended to be used. In the second method, described in 7.4.9.3.3, the IT is qualified through a standardized test. The manufacturer shall demonstrate that the selected severity level is suitable for the use with one or more selected circuit breaker(s).

7.4.9.3.2 Vibration during operation

This test is performed to determine that the IT operates correctly in the presence of vibration resulting from a selected circuit-breaker and disconnector operation. To represent the worst-case condition in respect of vibration, the circuit-breaker should be connected via a rigid conductor.

The test is performed in two steps. The first step (initial check) is intended to check the influence of the vibration on the secondary signal. The second step (endurance test) is intended to test the long-term effects of vibrations on the test object.

a) Initial check for LPITs

The circuit-breaker shall be operated through one duty cycle (open-close-open) without current. 5 ms after the last opening of the circuit-breaker, the RMS value of the secondary voltage of the IT at rated frequency, calculated over one period, which should theoretically be "0", shall not exceed 3 % of the rated secondary voltage.

b) Endurance test

The circuit-breaker shall be operated without primary current 2 000 times (class M1) or 10 000 times (class M2), as described in IEC 62271-100. IT accuracy at rated current or rated voltage shall be measured before and after the test.

Acceptance criteria: following routine tests are passed successfully after the test:

- the power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals is passed;
- the power-frequency voltage withstand test for low-voltage components is passed;
- the instrument transformer error following the test shall not differ from that recorded before the test by more than half the limit of error appropriate to its accuracy class.

Vibration levels generated by circuit-breakers have been found to be principally dependant on the actuation principle. A circuit-breaker with a spring mechanism will generally produce higher levels of vibration, thus an instrument transformer test on such a circuit-breaker may be considered valid for other circuit-breakers, subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

7.4.9.3.3 Shock test for parts mechanically coupled to a circuit-breaker

This test is performed to determine that the IT operates correctly in the presence of vibration resulting from a standardized shock.

The following parts of LPITs are concerned, when intended to be mechanically coupled to a circuit-breaker (GIS or AIS):

- the primary sensing elements and primary converters, which do not have to be tested with their primary insulating system;
- the secondary converters;
- the electronic parts (if existing).

The test object shall be tested according to the test procedure described in IEC 60068-2-27:2008:

- the pulse shape shall be the half-sine shown in IEC 60068-2-27:2008, Figure 1;
- the number of shocks applied shall be 500 ± 5 ;
- the repetition rate shall be in accordance with IEC 60068-2-27:2008, 4.1.2;
- the severity level shall be selected from the values given in Table 28 and shall be reported in the test report.

Table 28 – Shock severity levels

Peak acceleration m/s ²	Pulse duration ms
150	6
250	6
400 ^a	6
800 ^a	6
^a generally not applicable to specimens heavier than 100 kg	

The test object shall be mounted on the shock testing machine so that it is subject to shocks on the same axis as it would be in operation when coupled with the circuit breaker. Test may be limited to that axis and in both directions.

Assessment criteria:

- a) Initial check for LPITs: 5 ms after the first shock, the RMS value of the secondary voltage of the IT at rated frequency calculated over one period, which should theoretically be "0", shall not exceed 3 % of the rated secondary voltage;
- b) Final check:
 - the power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals is passed;
 - the power-frequency voltage withstand test for low-voltage components is passed;
 - the instrument transformer error following the test shall not differ from that recorded before the test by more than half the limit of error appropriate to its accuracy class.

7.4.10 Tests for accuracy versus harmonics

The special test is applicable to any type of instrument transformer with additional requirements for harmonics. The test is identical to the type test in 7.2.15.

7.4.11 Seismic qualification

Refer to Annex I.

7.5 Commissioning tests

7.5.1 General

The responsibility of the commissioning tests (if any) shall be defined within the contractual relationship between the manufacturer and the purchaser.

7.5.2 Final installation inspection and tests

7.5.2.1 General

Some inspection and tests can be required after the instrument transformer has been installed.

Instructions shall be provided by the manufacturer on the requested inspections and tests. Details are provided in 8.3.6.

The results of the tests and inspection shall be recorded in a commissioning report.

7.5.2.2 Tests on gas-insulated instrument transformers

Gas-insulated instrument transformers shall be submitted to the following final tests:

- Measurement of gas pressure:
The pressure of the gas measured at the end of filling and standard atmospheric air conditions (20 °C and 101,3 kPa) shall be not lower than the rated filling pressure;
- Measurement of the dew point in accordance with 7.5.3;
- Enclosure tightness check:
The check shall be performed with the probing method for closed pressurized systems (test method 2 of Qm test as specified in IEC 60068-2-17). The check shall be started at least 1 h after the filling of the transformer in order to reach a stabilized leakage flow. The check may be limited to gaskets, over pressure devices, valves, terminals, manometers, temperature sensors, etc., using a suitable leak detector.

7.5.2.3 Insulation withstand test on LV connection

Even though the responsibility of the manufacturer ends generally at the secondary terminals, insulation failure in the external circuit can prevent proper operation of instrument transformers and can be harmful for voltage transformers.

Before connection of the instrument transformer, it is recommended to perform an insulation withstand test on the LV wirings to be connected between the secondary terminals of the instrument transformer and the low-voltage cubicle.

The test voltage is the same as the power-frequency voltage withstand tests on secondary terminals, defined in 5.4.5.

7.5.3 Gas dew point test

The test is applicable to closed pressure systems for gas.

The gas dew point shall be determined 24 h after gas filling, to prove compliance with the requirements given in 6.2.2.

If not otherwise agreed, the choice of the test modality is left to the manufacturer.

If the criterion is not met, appropriate actions shall be taken to increase the drying conditions of the instrument transformer.

7.6 Sample tests

Refer to Annex D.

8 Rules for transport, storage, erection, operation and maintenance

8.1 General

It is essential that the transport, storage and installation of instrument transformers, as well as their operation and maintenance in operation, are performed in accordance with instructions given by the manufacturer.

Consequently, the manufacturer shall provide instructions for the transport, storage, installation, operation and maintenance of instrument transformers.

8.2 Conditions during transport, storage and installation

A special agreement should be concluded between the manufacturer and the purchaser if the environmental conditions of temperature and humidity defined in the order cannot be guaranteed during transport, storage and installation. Special precautions may be essential for the protection of the instrument transformer during transport, storage and installation, and prior to energizing, to prevent moisture absorption due, for instance, to rain, snow or condensation. Vibrations during transport should also be considered.

Appropriate instructions should be given by the manufacturer.

Special packaging should be proposed by the manufacturer for long-term storage of parts for maintenance needs according to customer specifications. Gas-insulated instrument transformers shall be filled to a pressure sufficient to maintain positive pressure during transportation. A factory filling pressure of 0,13 MPa abs at 20 °C is considered to be appropriate for all instrument transformer temperature categories.

8.3 Installation

8.3.1 General

For each type of instrument transformer, the installation instructions provided by the manufacturer shall at least include the items listed in 8.3.2 to 8.3.6.

8.3.2 Unpacking and lifting

If applicable, required information shall be given for unpacking and safe lifting, including details of any special lifting and positioning tools which are necessary.

At the arrival on site and before the final filling, the instrument transformer shall be checked in accordance with the manufacturer's instructions. For gas-insulated instrument transformers, the gas pressure measured at ambient temperature shall be above the atmospheric pressure.

The gas-insulated IT may be shipped with another gas than the insulation gas (for example nitrogen). In this case, a specific labelling on the transformer is necessary next to the filling valve with the type of gas and pressure.

8.3.3 Assembly

When the instrument transformer is not fully assembled for transport, all transport units shall be clearly marked. Drawings showing assembly of these parts shall be provided with the instrument transformer.

8.3.4 Mounting

Instructions for the mounting of instrument transformers, operating devices and auxiliary equipment shall include sufficient details of locations and foundations to enable site preparation to be completed.

8.3.5 Connections

Instructions shall include information on:

- a) connection of primary conductors, including the necessary precautions to prevent overheating and unnecessary constraints on the instrument transformers;
- b) connection of auxiliary circuits;
- c) connection of gas systems, if any, including size and arrangement of piping;
- d) connection for earthing;
- e) recommended type, cross-section and length of cable to be connected at the secondary terminals (as applicable).

NOTE Example of type of cable: cable shielding to be used for the secondary connection of LPITs.

8.3.6 Final installation inspection and tests

Final installation inspection and tests can be realized by various parties (final customer, installer, operator...).

Instructions shall be provided by the manufacturer for inspection and tests to be performed after the instrument transformer has been installed and all connections have been completed.

When applicable, these instructions shall include:

- a) a list of recommended site tests to guarantee correct operation;
- b) procedures for carrying out any adjustment that can be necessary to obtain correct operation;
- c) recommendations for any relevant measurements to be performed and recorded to help with future maintenance decisions;
- d) instructions for final inspection and putting into operation.

When an optical system is used, it is important to verify its integrity and to perform functional tests during final inspection to ensure that no physical damage has occurred to the fibre during installation.

8.4 Operation

The instructions given by the manufacturer shall contain the following information:

- a) a general description of the equipment with particular attention to the technical description of its characteristics and all operational features provided, so that the user has an adequate understanding of the main principles involved;
- b) the list of relevant safety precautions;
- c) a description of the safety features of the equipment and their operation;
- d) as relevant, a description of the action to be taken to manipulate the equipment for maintenance and testing.

8.5 Maintenance

8.5.1 General

Some maintenance can be necessary to ensure the long-life performance of the instrument transformer. Some devices can be maintenance-free.

This maintenance is the responsibility of the user, and the manufacturer shall provide the necessary instructions.

8.5.2 Responsibilities for the manufacturer

- a) The manufacturer shall issue a maintenance manual including the following information:
 - 1) recommended maintenance frequency;
 - 2) detailed description of the maintenance work:
 - recommended place for the maintenance work (indoor, outdoor, in a maintenance centre, on-site, etc.);
 - procedures for inspection, diagnostic tests, examination, overhaul, check of functionality (including limits of values and tolerances);
 - reference to drawings;
 - reference to part numbers (when applicable);
 - use of special equipment or tools (when applicable);
 - precautions to be observed (e.g. handling, cleanliness);
 - comprehensive drawings of the details of the instrument transformers important for maintenance, with clear identification (part number and description) of assemblies, subassemblies and significant parts;
 - list of recommended spare parts (description, reference number, quantities, etc.) and instruction for storage;
 - how to proceed with the equipment at the end of its operating life, taking into consideration operation requirements.
- b) The manufacturer shall inform the users about corrective actions required in the event of systematic defects and failures.
- c) Availability of spares: the manufacturer is responsible for ensuring the continued availability of spare parts required for maintenance for a period not less than 10 years from the date of the final manufacture of the instrument transformer, or according to the contract.

8.5.3 Responsibilities for the user

- a) If the user plans to do their own maintenance, the user shall ensure that the staff are suitably qualified and have a detailed knowledge of the instrument transformer.

NOTE Staff qualification can depend on national regulations.

b) The user shall record the following information:

- the serial number and the type of the instrument transformer;
- the date when the instrument transformer is commissioned;
- the results of all measurements and tests including diagnostic tests carried out during the life of the instrument transformer;
- dates and extent of the maintenance work carried out;
- the operation history, including records of the instrument transformer's measurement during and following a special operating condition (e.g. fault and post fault operating state);
- references to any failure report.

In the event of failure and defects, the user shall make a failure report and shall inform the manufacturer by stating the special circumstances and measures taken. Depending upon the nature of the failure, an analysis of the failure shall be made in collaboration with the manufacturer.

In the case of dismantling for reinstallation in the future, the user shall record the duration and conditions of the storage.

8.6 Failure report

The purpose of the failure report is to formalize the recording of the instrument transformers failures.

Guidance on how to make a failure report is available in Annex B.

9 Safety

High-voltage equipment is considered to be safe only when installed in accordance with the relevant installation rules, used and maintained in accordance with the manufacturer's instructions in terms of:

- electrical aspects;
- mechanical aspects;
- thermal aspects.

High-voltage equipment shall only be operated and maintained by competent persons. Where possible, it shall only be accessible to such competent persons, but where unrestricted access is available to instrument transformers, additional safety features can be required.

NOTE Safety requirements can depend on national regulations.

10 Influence of products on the natural environment

The need to minimize the impact of instrument transformers during all phases of their life on the natural environment is now recognized.

The manufacturer should provide information regarding any environmental aspects of the instrument transformer during operating life, dismantling of the equipment and disposal.

Annex A (normative)

Identification of test specimen

A.1 General

When applicable, the following data and the drawings listed in Table A.1 shall be submitted by the manufacturer to the testing laboratory, with regard to each test and sample (but not necessarily included in the test report). Information to be included in the test report is given in 7.2.1.3.

A.2 Data

- manufacturer's name and location;
- type designation, ratings and serial number of the IT;
- outline drawing of the IT;
- rated characteristics of fuse links and protective devices, if any.

A.3 Drawings

Table A.1 – Example of drawing to be submitted

Drawings to be submitted	Drawing content (as applicable)
Circuit diagram	Type designation of principal components
General layout	Overall dimensions Enclosure(s) Pressure-relief devices Conducting parts of main circuit Earthing connections Electrical clearances to earth Liquid or gas insulation type and level Location and type designation of insulators
Detailed drawings of insulators	Material Dimensions (including profile and creepage distances)
Detailed drawings of parts of the main circuit and associated components	Dimensions and material of principal parts Details of terminals (dimensions, primary and secondary materials)
Characteristics of the measurement active parts	Critical data related to the measurement performance Example: core dimensions
Electrical diagram of auxiliary and control circuits (if applicable)	Type designation of all components
Firmware identification	Firmware version number

Annex B (informative)

Recommendation for contents of failure reports

B.1 General

The purpose of the failure report is to formalize the recording of the instrument transformers' failures with the following objectives:

- describe the failure using a common terminology;
- provide data for the purchaser statistics;
- provide meaningful feedback to the manufacturer.

The list in Clause B.2 gives guidance on how to make a failure report.

B.2 Content

A failure report should include the following information whenever such data is available:

- a) Identification of the instrument transformer which failed:
 - place of installation (e.g. name of substation, name of bay...);
 - identification of the instrument transformer (manufacturer, type, serial number, ratings);
 - location (indoor, outdoor).
- b) History of the instrument transformer:
 - history of the storage;
 - date of commissioning of the equipment;
 - date of failure/defect;
 - date of last maintenance;
 - date of the last visual check of the oil level indicator;
 - details of any changes made to the equipment since manufacture;
 - condition of the instrument transformer when the failure/defect was discovered (in operation, maintenance, etc.).
- c) Identification of the subassembly/component responsible for the primary failure/defect:
 - high-voltage stressed components;
 - electrical control and auxiliary circuits;
 - other components.
- d) Stresses presumed to contribute to the failure/defect:
 - environmental conditions (temperature, wind, snow, ice, pollution, lightning, etc.);
 - grid conditions (switching operations, failure of other equipment, etc.);
 - others.
- e) Classification of the failure/defect:
 - major failure;
 - minor failure;
 - defect.

f) Consequences of the failures or defect:

- instrument transformer downtime;
- time consumption for repair;
- labour cost;
- spare parts cost.

A failure report may include the following information:

- drawings, sketches;
- photographs of defective components;
- single-line station diagram;
- records or plots;
- reference to maintenance manual.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023

Annex C (informative)

Fire hazard

C.1 Fire hazard

The likelihood of fire should be reduced under conditions of normal use, even in the event of foreseeable abnormal use, malfunction or failure.

The first objective is to prevent ignition due to an electrically energized part. The second objective is to limit the impact of the fire.

When possible, materials should be chosen, or the parts designed in such a way that they retard the propagation of fire in the equipment and reduce harmful effects on the local environment.

In the case where product performance requires the use of flammable materials, product design should take flame retardation into account, where possible.

The information supplied by the manufacturer should enable the purchaser to make risk evaluation during normal and abnormal operation.

Guidance is given in Table C.1.

Table C.1 – Fire hazard of electrotechnical products

Guidance for assessing the fire hazard	Minimization of toxic hazards due to fire
IEC 60695-1-10 and IEC 60695-1-11	IEC 60695-7-1

C.2 Fire hazard test

If requested, it should be based on IEC 60695-1-30 and IEC 60695-7-1.

Annex D (informative)

Sample test

D.1 Sample test definition

A selected type test or special test performed on one or more complete instrument transformers out of a specified production batch.

D.2 Sample tests

To check the consistency of the quality over time of the manufacturing process, the manufacturer should define, execute and document the sample test program according to the production quantities (e.g. every 300 units of the same type defined by the same type test reports).

The recommended sample test is the lightning impulse test on the primary terminals.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023

Annex E (informative)

Technique used in temperature rise test of transformers to determine the thermal time constant by an experimental estimation

This technique is based on the assumption that the temperature rise evolution follows a first order linear differential equation. This approximation is considered as applicable for common insulating materials. It may also be used for a first estimation of the thermal time constant of the instrument transformer, as used in 7.2.2.3.

List of symbols:

θ	temperature in °C
$\theta(t)$	temperature, varying over time
θ_a	ambient temperature assumed to be constant
$\Delta\theta$	temperature rise above θ_a
$\theta_u, \Delta\theta_u$	ultimate steady-state values
$\varepsilon(t)$	remaining deviation from steady-state value θ_u
τ_o	thermal time constant for exponential variation of temperature rise
h	time interval between readings
$\theta_1, \theta_2, \theta_3$	three successive temperature readings with time interval h between them.

In principle, the test should continue until the steady-state temperature rise is ascertained.

$$\theta_u = \theta_a + \Delta\theta_u \quad (\text{E.1})$$

$$\theta(t) = \theta_a + \Delta\theta_u \times (1 - e^{-t/\tau_o}) \quad (\text{E.2})$$

The remaining deviation from steady state is then:

$$\varepsilon(t) = \theta_u - \theta(t) = \Delta\theta_u \times e^{-t/\tau_o} \quad (\text{E.3})$$

It is considered that:

- the ambient temperature is kept as constant as possible;
- the temperature $\theta(t)$ will approach an ultimate value θ_u along an exponential function with a thermal time constant τ_o ;
- Equation (E.2) is a good approximation of the temperature curve (see Figure E.1).

Given three successive readings $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$ and $\Delta\theta_3$, the exponential relation of Equation (E.2), is a good approximation of the temperature curve and then the increments will have the following relation:

$$\frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2} = e^{\frac{h}{\tau_0}} \quad (\text{E.4})$$

$$\tau_0 = \frac{h}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (\text{E.5})$$

The readings also permit a prediction of the final temperature rise:

$$\Delta\theta_u = \frac{(\Delta\theta_2)^2 - \Delta\theta_1 \times \Delta\theta_3}{2\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 - \Delta\theta_3} \quad (\text{E.6})$$

Successive estimates are to be made and they should converge. To avoid large random numerical errors, the time interval h should be approximately τ_0 and $\Delta\theta_3/\Delta\theta_u$ should be not less than 0,95.

A more accurate value of steady-rate temperature rise is obtained by a least square method of extrapolation of all measured points above approximately 60 % of $\Delta\theta_u$ ($\Delta\theta_u$ estimated by the three-point method).

A different numerical formulation is:

$$\Delta\theta_u = \Delta\theta_2 + \frac{\sqrt{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1)(\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2)}}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (\text{E.7})$$

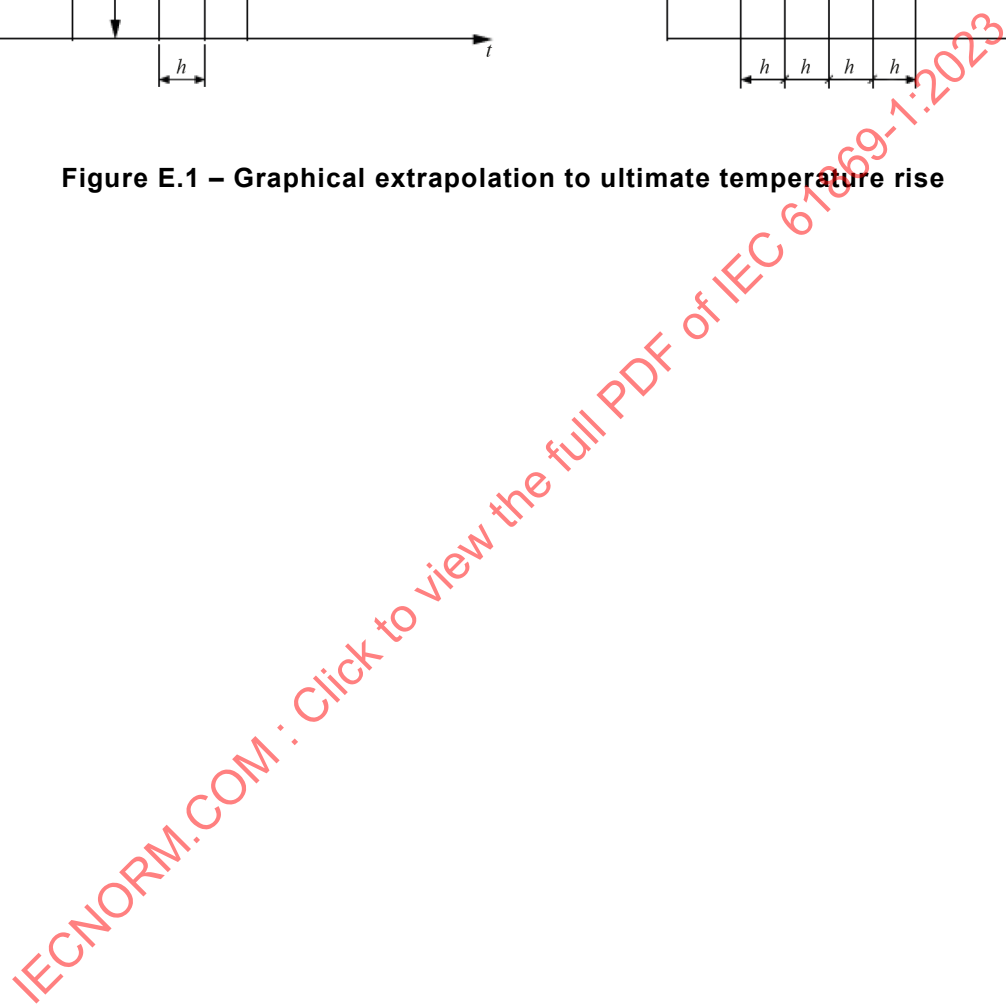


Figure E.1 – Graphical extrapolation to ultimate temperature rise

Annex F (informative)

Guidance for the extension of validity of type tests or special tests of instrument transformers

F.1 General

This annex can be used for the extension of the validity of type tests or special tests performed on one instrument transformer with a defined set of ratings to another instrument transformer of the same product range with a different set of ratings or different arrangements of components.

Because of the variety of types of instrument transformers, ratings and possible combinations of components, it is not practical to perform type tests or special tests with all the possible characteristics of instrument transformers (current or voltage ratings, transformation ratio, accuracy performance, pollution level...). Therefore, the performance of a transformer can be evaluated by reference to type test reports of other instrument transformers of the same product range. A product range is a set of instrument transformers with the same function (CT or VT), the same application (indoor or outdoor), the same insulation principle (gas-insulated, liquid-insulated or solid-insulated), the same measurement technology, and recognizable by their basic shape.

Subclauses F.3.1 to F.3.5 provide for each kind of type test or special test a non-exhaustive list of design parameters, which should be analysed for extension of validity.

The analysis should be based on sound technical and physical principles and may be supported by calculations, if applicable.

Each design parameter of the instrument transformer to be assessed, listed in the respective column of Table F.1 to Table F.5, are compared with the design parameter of the already type tested transformer, applying the acceptance criteria provided in the same tables. The affirmation of every extension criterion allows a test performed on one transformer, with specific characteristics, to be applied to another transformer of the same product range with different characteristics.

If any of the extension criteria cannot be affirmed, further evidence is required, for example, by technical arguments, calculation/simulation or specific tests.

NOTE Some design parameters can be considered as confidential information. The manufacturer can require that the information stay confidential.

F.2 Information needed for extension of type test validity

For the extension of type test or special test validity, similar information on the instrument transformer under evaluation should be collected as required for test objects in accordance with Annex A.

In addition, the tables given in Clause F.3 should be used to provide for each type test relevant information on design parameters of the tested object and of the transformer under evaluation. Only the tables that are relevant for the characteristic under evaluation need to be used.

The applicable test reports of the tested transformer should be provided insofar as they concern the comparison of the two transformers.

It is requested that the manufacturer provides, in addition to the information required by the product standards and to be included in any test report, relevant information on design parameters of the tested object as listed in the tables of Clause F.3. Most often, values of design parameters are not sufficient by themselves to perform the evaluation. In this case, relevant drawings of both objects can be necessary.

Documents providing traceability of the analysis performed should be established. Such documents should be part of the report for extending the validity of performed type tests or special tests to the whole family or part of the family of the instrument transformer.

F.3 Application of extension criteria

F.3.1 Dielectric tests

The criteria listed in Table F.1 should be taken into consideration for the design parameters of the instrument transformer and compared to a reference test object. The evaluation is applicable to the extension of validity of dielectric withstand tests from one transformer to another belonging to the same product range of instrument transformer with the same or a lower rated insulation level.

Table F.1 – Extension criteria for dielectric withstand performance

Item	Design parameter	Acceptance criterion	Condition
1	Clearance to earth	$\geq$	
2	Creepage distance	$\geq$	Compliance with IEC TS 60815
3	Electrical properties of insulating material	Same	
4	Internal and external insulation stresses	$\leq$	
5	Internal dielectric distances	$\geq$	
6	Minimum functional pressure for insulation	$\geq$	Same insulating gas
7	Profile or volume of metal parts	Same	Corona rings, brides, protruding bolts (if existing)

F.3.2 Temperature rise tests

The extension criteria for temperature rise performance of an instrument transformer at rated primary current or voltage, compared to the type-tested instrument transformers, are summarised in Table F.2.

The evaluation is applicable to the extension of validity of temperature rise tests from one transformer to another belonging to the same product range and with the same size.

Table F.2 – Extension criteria for temperature rise performance

Item	Design parameter	Acceptance criterion	Condition
1	Primary design and connection (for CT)	Same	Bar type, wound type, reconnectable...
2	RI^2 losses	$\leq$	Power dissipation at primary and secondary sides
3	Total core losses	$\leq$	For VT, determined at maximum voltage (F_V) For CT, maximum current (I_{cth}) and maximum burden and considering the total number of cores, their material and their section
4	Dielectric losses	$\leq$	Determined at maximum voltage, considering the same dielectric dissipation factor (for liquid-insulated CT with $U_m \geq 550$ kV)
5	Contact surface area of primary connections	$\geq$	Same or better contact material (for current transformers)
6	Primary connectors		Similar connector size and material and same or better contact material (for current transformers)

F.3.3 Short-time and dynamic withstand current tests (current transformers)

Extension of validity of the short-time and/or dynamic withstand current type tests obtained on an instrument transformer to other transformers of the same product range may be made, provided that

- the considered transformer has equal or smaller rated dynamic current (I_{dyn}) regardless of the value of the rated frequency (50 Hz or 60 Hz);
- the design parameters respect the criteria indicated in Table F.3.

Table F.3 – Extension criteria for short-time and dynamic withstand current performance

Item	Design parameter	Acceptance criterion	Condition
1	Primary design and connection	Same	Bar type, wound type, reconnectable, top-core or hairpin... Same material, same or lower length of the primary conductor
2	Number of turns of the primary winding	$\leq$	Same distance between turns.
3	Short-time thermal current (I_{th})	$\leq$	The short-circuit duration can be longer provided that the condition for $I_{th}^2 \times t$ is respected.
4	Current density in secondary conductors	$\leq$	Considering all possible primary and secondary connections
5	Dynamic current (I_{dyn})	$\leq$	
6	Contact surface area of primary connections	$\geq$	Same or better contact material
7	Primary connectors		Similar connector size and material and same or better contact material
8	Secondary terminals		Similar terminal size and material and same or better contact material

F.3.4 Internal arc fault tests

Instrument transformers for which an internal arc classification has been assigned should be subjected to an internal arc test for verification, as specified in 6.9. Depending on the purpose of the extension of validity, criteria should be considered with respect to the transformer design and with respect to the ratings.

Details about design parameters and acceptance criteria for an instrument transformer with arc fault current and duration equal to or smaller than assigned to the tested transformer of the same product range are given in Table F.4.

Table F.4 – Extension criteria for internal arc fault tests

Item	Design parameter	Acceptance criterion	Condition
1	Rated arc fault current	$\leq$	
2	Rated arc fault duration	$\leq$	
3	Frequency		Type tests performed at 50 Hz or 60 Hz may prove the validity for any frequency
4	Transformer design (liquid-insulated)	Same	Same transformer principle Same shape of HV and ground electrodes, Same insulation design
5	Insulating material exposed to the arc	Same	
6	Location of the point of arc initiation	Same	
7	Thickness of the enclosure walls	$\geq$	Same material
8	Net compartment volume	$\geq$	For gas-insulated instrument transformers
9	Rated pressure	$\leq$	For gas-insulated instrument transformers
10	Exhaust system design	Same	Pressure limitation principle, opening pressure
11	Exhaust cross sectional area	$\geq$	The position of the exhaust in the compartment is the same in case of liquid-insulated ITs.
12	Provisions for material expulsion	Same	Design of gas flow deflector, screens, part attachment...

F.3.5 Multiple chopped impulse test

The criteria listed in Table F.5 should be taken into consideration for the design parameters of the instrument transformer to be considered, compared to a reference test object. The evaluation is applicable to the extension of validity of multiple chopped impulse tests from one transformer to another belonging to the same product range of instrument transformer, with the same or a lower rated insulation level and with the same insulation design.

Table F.5 – Extension criteria for multiple chopped impulse test

Item	Design parameter	Acceptance criterion	Condition
1	Insulating material	Same	
2	Internal Insulation stresses under impulse voltage level	$\leq$	Both the stresses in homogenous (e.g. between screens) and non-homogenous (e.g. screen ends, HV electrode, etc.) electric fields at critical points for the design are to be included in the comparison.
3	HV and ground electrode details	Same	e.g. dimensions, material and surface roughness
4	Details of intermediate electrode(s) (if existing)	Same	Geometrical data, material
5	Internal connections to electrodes	Same	Material, geometrical data, connecting points

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61869-1:2023

Annex G (informative)

Guidance for the calculation of equivalent diameter in case of irregular shape of insulating part

G.1 General

The requirements of IEC TS 60815-2 and IEC TS 60815-3 for selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions are based on a cylindrical shape of the insulator, representing the largest majority of the HV insulators.

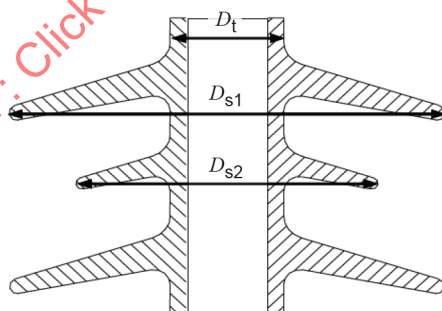
However, particularly in MV applications, the configuration of the insulating part of instrument transformers can be very different, while fulfilling the need of creepage in case of polluted conditions. Figure G.2 and Figure G.4 show different examples of such configurations.

The aim of this annex is to provide rules to be applied for estimation of the equivalent average insulator diameter D_a to be considered for the determination of the coefficient K_{ad} to be used for the correction of RUSCD according to insulator diameter.

As a reminder, the general rule for calculation of average insulator diameter is as follows for cylindrical insulators:

$$D_a = (2D_t + D_{s1} + D_{s2}) / 4$$

($D_{s1} = D_{s2}$ for regular sheds) with diameters as indicated in Figure G.1



IEC

Figure G.1 – Shed dimensions

G.2 Current transformers and earthed voltage transformers

The Figure G.2 illustrates some typical configurations:



Figure G.2 – Examples of MV CTs and earthed VTs

For non-cylindrical shapes, the equivalent diameter of any part is defined as the perimeter divided by π .

For a transformer based on different insulator areas, the different parts should be considered, as illustrated in the Figure G.3:

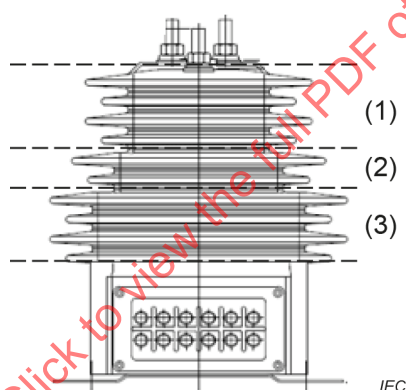


Figure G.3 – Example of a CT with multiple insulator areas

Area (i) is defined by equivalent diameters $D_t(i)$, $D_{s1}(i)$ and $D_{s2}(i)$ with n_i sheds.

The equivalent diameter of this area is defined as:

$$D_a(i) = (2D_t(i) + D_{s1}(i) + D_{s2}(i)) / 4$$

Each area is defined by its own characteristics.

The equivalent average insulator diameter is calculated as follows, considering all the different insulator areas:

$$D_a = [n_1 \cdot D_a(1) + n_2 \cdot D_a(2) + \dots] / (n_1 + n_2 + \dots) \quad (\text{G.1})$$

G.3 Unearthed voltage transformers

The Figure G.4 illustrates some typical configurations:

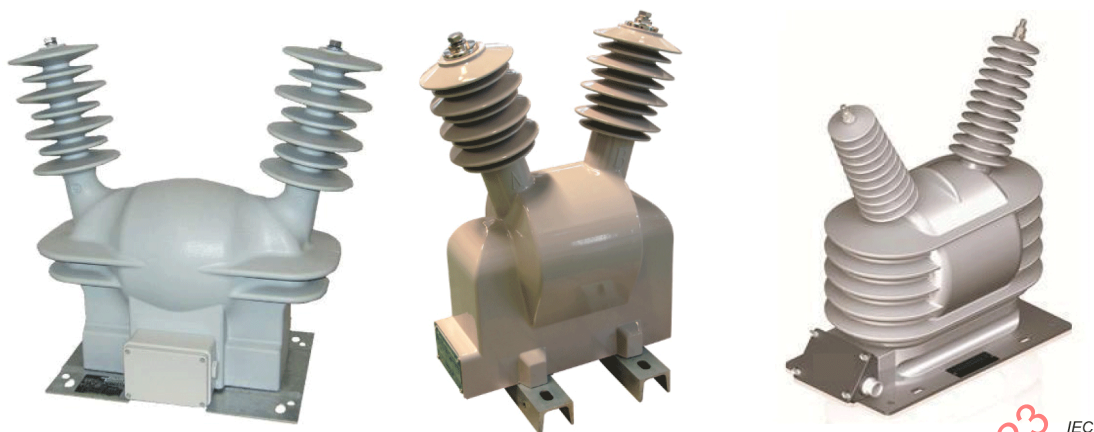


Figure G.4 – Examples of unearthened VTs

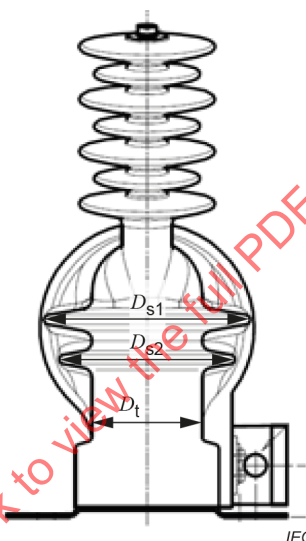


Figure G.5 – Example of a VT with multiple insulator areas

The Formula (G.1) is applicable, considering

- two bushings for determination of the creepage distance phase-to-phase;
- one bushing and the body of the transformer for determination of the creepage distance phase-to-ground.

For the body of the transformer, the dimensions indicated on Figure G.5 are considered for equivalent diameter values.

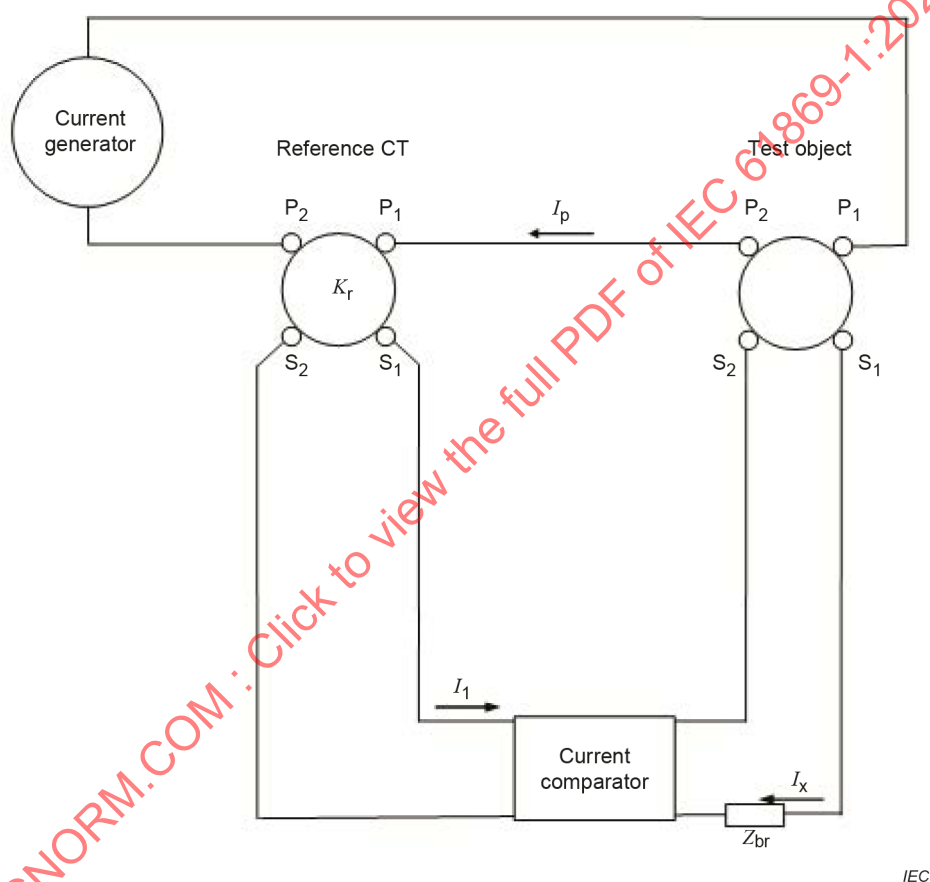
Annex H (informative)

Test circuits

H.1 Test circuits for accuracy measurements in steady state for current transformers with analogue secondary signal

Figure H.1 to Figure H.4 represent some basic circuits for the measurement of error (ratio error and phase error) for current transformers.

NOTE For current transformers with digital secondary signals, refer to IEC 61869-9.



IEC

Key

K_r rated transformation ratio of reference CT

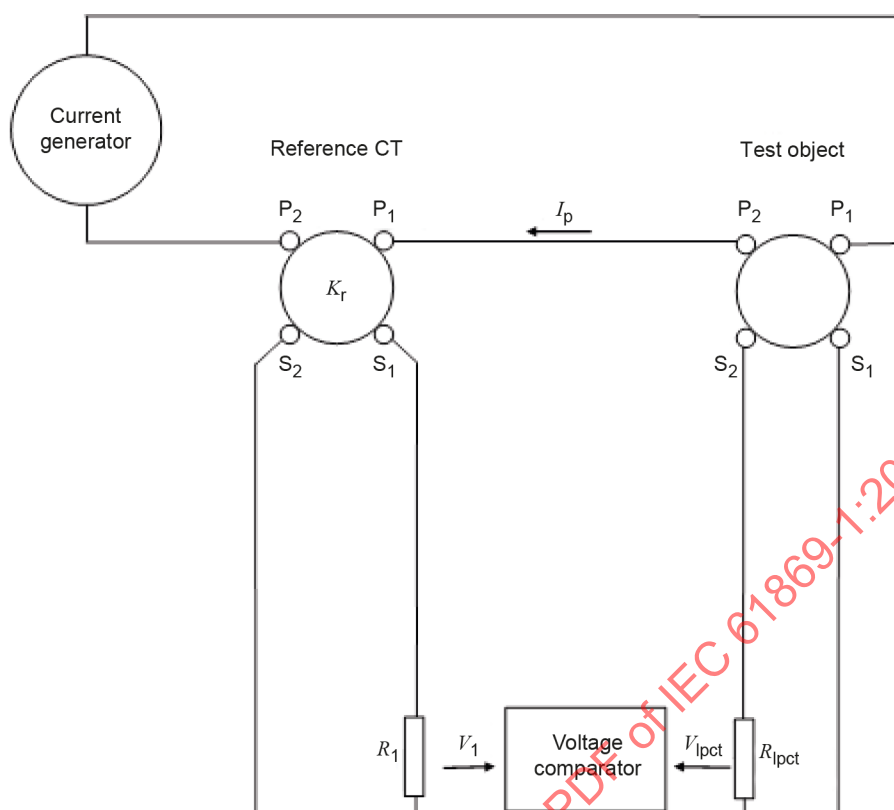
I_p primary current

I_1 current at the secondary terminals of the reference CT

I_x current at the secondary terminals of the test object

Z_{br} rated burden of the test object

Figure H.1 – Test circuit for accuracy measurements of inductive CTs



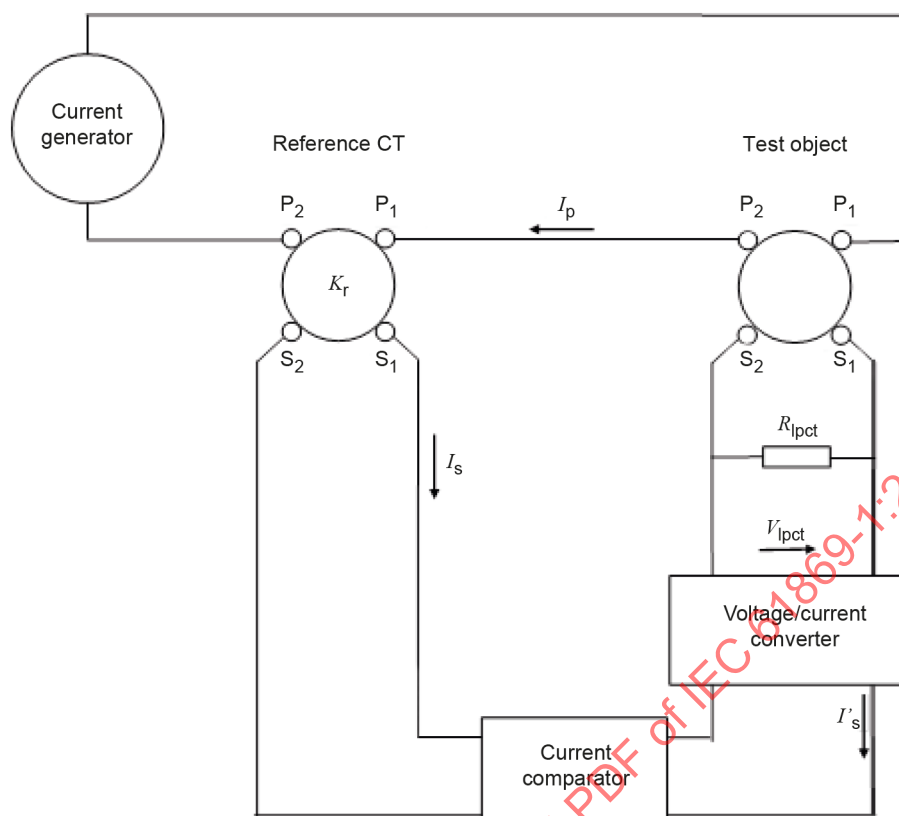
IEC

Key

- K_r rated transformation ratio of reference CT
- I_p primary current
- V_1 voltage at the input of the lock-in amplifier
- R_1 high accuracy burden used to adjust the voltage at the input of the lock-in amplifier
- V_{lpct} secondary voltage of low-power current transformer
- R_{lpct} rated burden of low-power current transformer

Figure H.2 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPCTs

The voltage at the input of the lock-in amplifier is adjusted in rated conditions. This voltage is equal to the rated secondary voltage.

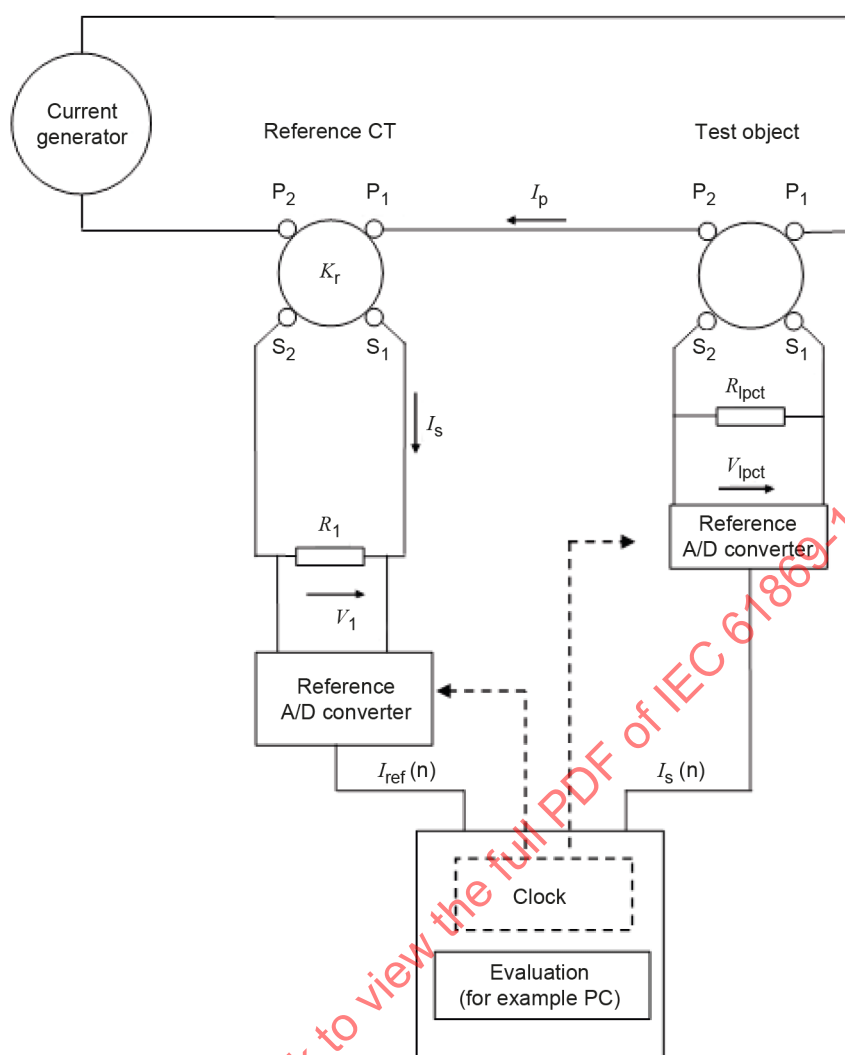


IEC

Key

K_r	rated transformation ratio of reference CT
I_p	primary current
I_s	secondary current of reference CT
I'_s	secondary current of low-power current transformer
V_{lpct}	secondary voltage of low-power current transformer
R_{lpct}	rated burden of low-power current transformer

Figure H.3 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPCTs (alternative solution)



IEC

Key

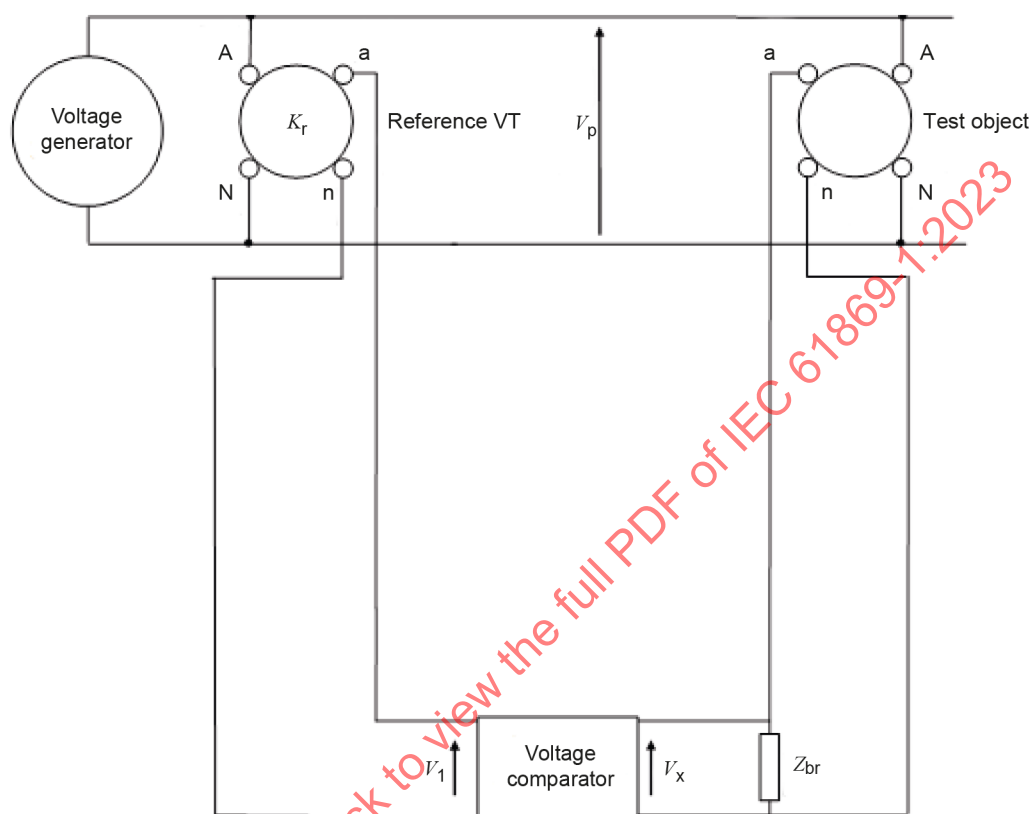
K_r	rated transformation ratio of reference CT
I_p	primary current
I_s	secondary current
V_1	voltage at the input of the reference A/D converter
V_{lpct}	secondary voltage of low-power current transformer
$i_{ref}(n)$	digital signal from the reference A/D converter
$i_s(n)$	digital signal from the A/D converter of the LPCT
R_1	high accuracy burden used to adjust the voltage at the input of the reference A/D converter
R_{lpct}	rated burden of low-power current transformer

Figure H.4 – Test circuit for digital accuracy measurements of LPCTs

H.2 Test circuits for accuracy measurements in steady state for voltage transformers with analogue secondary signal

Figure H.5 to Figure H.8 represent some basic circuits for the measurement of error (ratio error and phase error) for voltage transformers.

NOTE For voltage transformers with digital secondary signals, refer to IEC 61869-9.

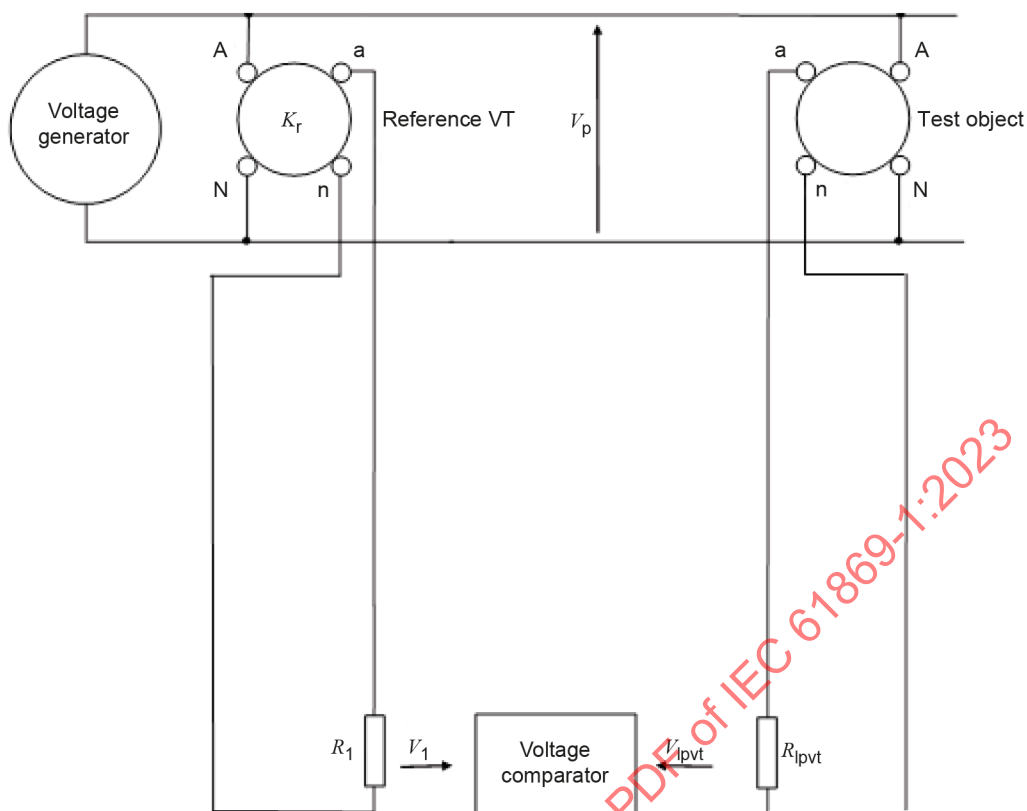


IEC

Key

- K_r rated transformation ratio of reference VT
- V_p primary voltage
- V_1 voltage at the secondary terminals of the reference VT
- V_x voltage at the secondary terminals of the tested VT
- Z_{br} rated burden of the test object

Figure H.5 – Test circuit for accuracy measurements of inductive VTs or CVTs



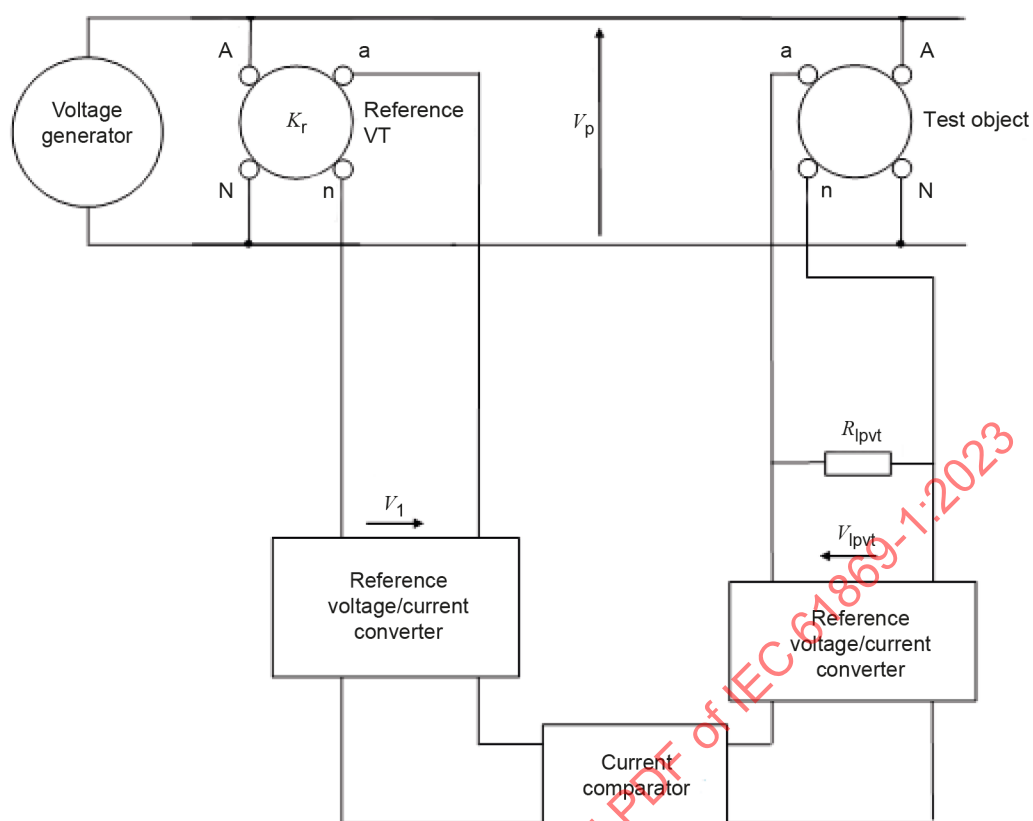
IEC

Key

- K_r rated transformation ratio of reference VT
- V_p primary voltage
- V_1 voltage at the input of the lock-in amplifier
- R_1 high accuracy burden used to adjust the voltage at the input of the lock-in amplifier
- V_{lpvt} secondary voltage of low-power voltage transformer
- R_{lpvt} rated burden of low-power voltage transformer

Figure H.6 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPVTs

The voltage at the input of the lock-in amplifier shall be adjusted in rated conditions. This voltage shall be equal to the rated secondary voltage.

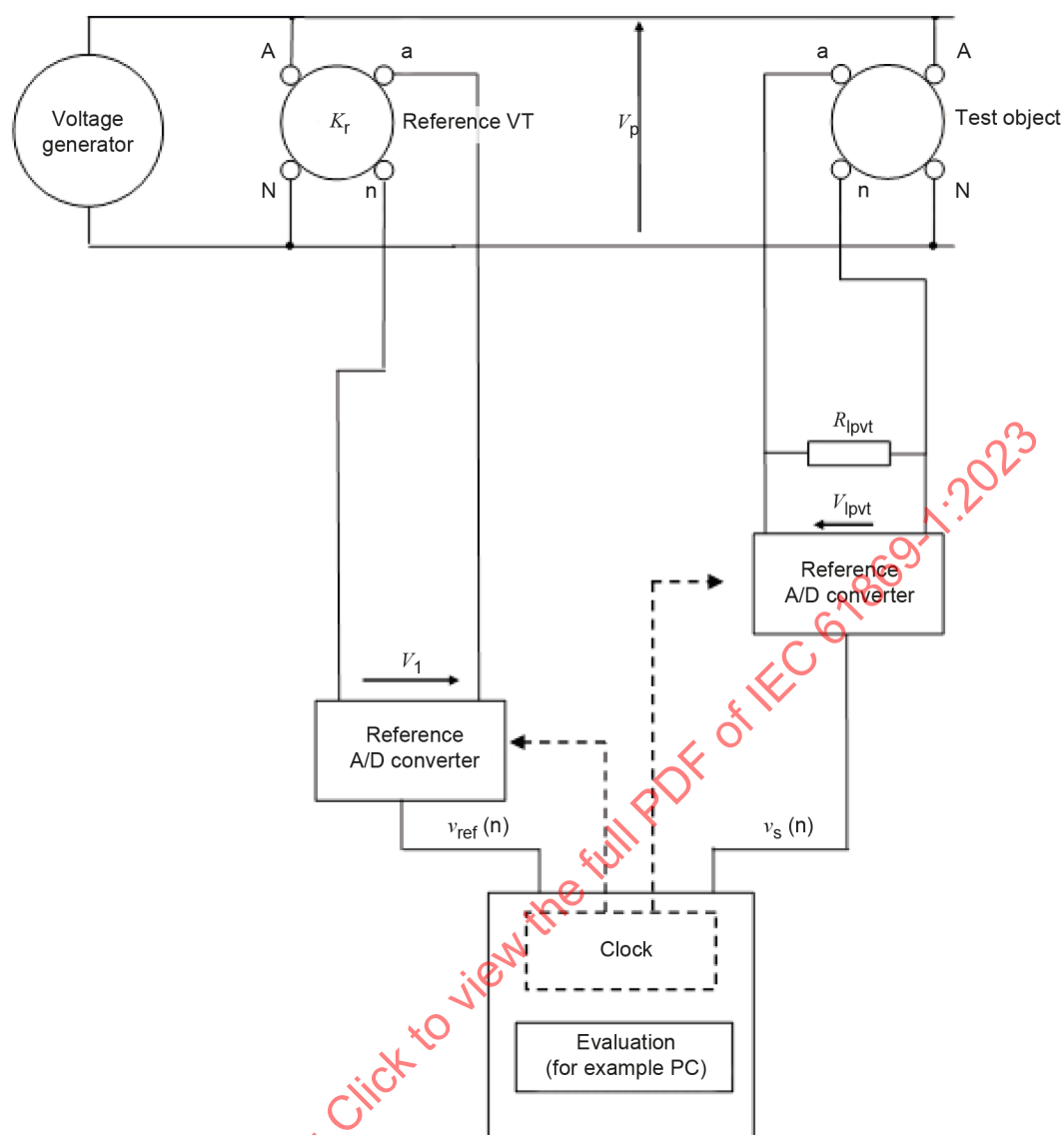


IEC

Key

- K_r rated transformation ratio of reference VT
 V_p primary voltage
 V_1 secondary voltage for reference VT
 V_{lpvt} secondary voltage of low-power voltage transformer
 R_{lpvt} rated burden of low-power voltage transformer

Figure H.7 – Test circuit for analogue accuracy measurements of LPVTs (alternative solution)



IEC

Key

K_r	rated transformation ratio of reference VT
V_p	primary voltage
V_1	voltage at the input of the reference A/D converter
V_{lpvt}	secondary voltage of low-power voltage transformer
$v_{ref}(n)$	digital signal from the reference A/D converter
$v_s(n)$	digital signal from the A/D converter of the LPVT
R_{lpvt}	rated burden of low-power voltage transformer

Figure H.8 – Test circuit for digital accuracy measurements of LPVTs

Annex I (normative)

Seismic qualification of instrument transformers

I.1 Scope

This annex covers the technical requirements and qualification procedures with regard to the seismic withstand of an instrument transformer.

If specified by the purchaser, the requirements are applicable to free-standing instrument transformers with U_m greater than 72,5 kV with their supporting structure rigidly fixed to the ground foundation.

This annex does not cover the seismic qualification of instrument transformers mounted on GIS switchgears.

For the qualification of the instrument transformers, the seismic frequency range is from 0,1 Hz to 35 Hz. Where instrument transformers are not ground mounted, for example in a building or inside equipment, conditions for application are subject to agreement between purchasers and manufacturers.

The qualification is intended to demonstrate the instrument transformer ability to withstand earthquakes without damage.

I.2 Seismic conditions

I.2.1 Time-history

The time-history is the recording of occurred earthquakes in a region as a curve of acceleration versus time (see Figure I.1).

The time-history shall be obtained as described in IEC 60068-2-57:2013, 4.4.1.

The strong part of the time-history is from the time when the plot first reaches 25 % of the maximum value to the time when it last drops to the 25 % level (see Figure I.1).

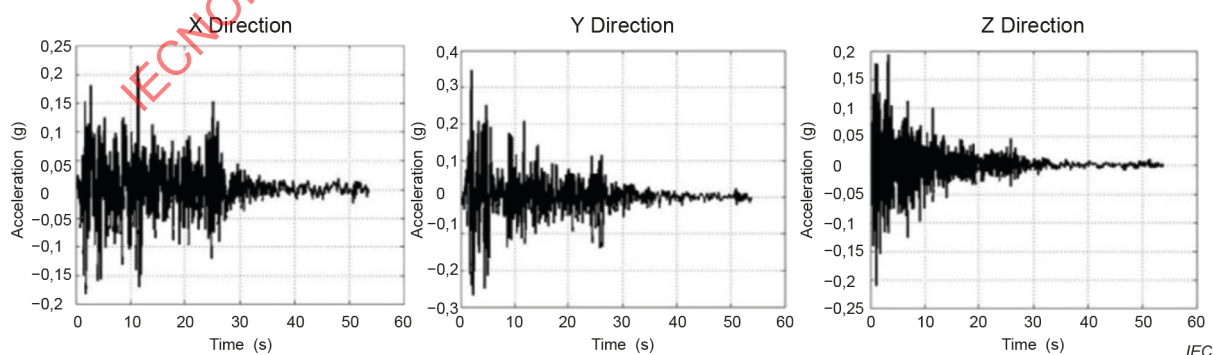


Figure I.1 – Record of time-history in real (3 dimensional)

I.2.2 Seismic severity of application

The purchaser shall select one of the seismic severity levels among the 4 categories specified in Table I.1.

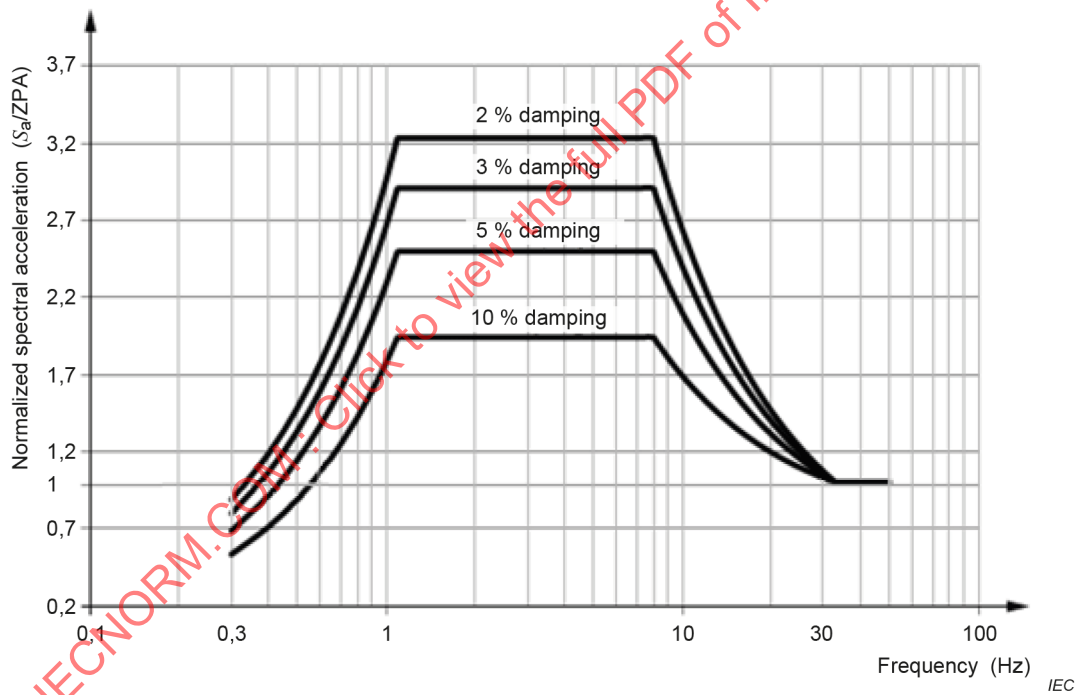
Table I.1 – Seismic severity levels

Selection criteria			Selection		
Magnitude (Richter scale)	Intensity (MSK) ^a	Description	ZPA (m/s ²)	Seismic severity level	Required response spectrum (RRS)
<5	≤VI	Very light	1 (0,1 g)	AG1	Not required
5,5	<VIII	Light to medium	2 (0,2 g)	AG2	See Figure I.2
6 to 7	VIII to IX	Medium to strong	3 (0,3 g)	AG3	See Figure I.2
>7	>IX	Strong to very strong	5 (0,5 g)	AG5	See Figure I.2

^a MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) corresponds to modified Mercalli intensity scale.

NOTE Information on the correlation between seismic qualification levels and different seismic scales is given in IEC 60721-2-6.

For vertical accelerations, the direction factor to be considered is $K_d = 0,5$.



Spectral accelerations, S_a (g), for frequencies f (Hz):

$$S_a = 2,288 \beta \times f \times \text{ZPA} \quad \text{for } 0,0 \leq f \leq 1,1$$

$$S_a = 2,50 \beta \times \text{ZPA} \quad \text{for } 1,1 \leq f \leq 8,0$$

$$S_a = ((26,4 \beta - 10,56) / f - 0,8 \beta + 1,32) \times \text{ZPA} \quad \text{for } 8,0 \leq f \leq 33$$

$$S_a = \text{ZPA} \quad \text{for } f > 33$$

$$\beta = (3,21 - 0,68 \ln(d)) / 2,115 \quad \text{where } d \text{ is the damping expressed in \% and } d \leq 20 \%$$

Figure I.2 – Required response spectrum

I.2.3 Superelevation factor (k_{se})

Depending on the design and quality of the supporting structure, the excitation is amplified. The acceleration amplification is defined by a superelevation factor. The value of the superelevation factor depends on the relationship between the natural frequencies of the instrument transformer itself on one hand, and supporting structure, foundation and ground, on the other hand. The worst case (the highest amplification) is when the natural frequencies of both the instrument transformer and the supporting structure match each other.

The standard values for the superelevation factor are:

- $k_{se} = 1,0$ for a rigid supporting structure on a rigid foundation;
- $k_{se} = 1,5$ for a non-rigid supporting structure on a rigid foundation.

A supporting structure is considered to be rigid when the lowest natural frequency, including equipment mass fixed on it, is

- either above the seismic frequency range;
- or at least four times the first natural frequency of the instrument transformer.

NOTE The superelevation factor 1,5 is a value based on the assumption that the ratio between the natural frequency of the supporting structure and the one of the equipment under test is not lower than 1,6.

I.3 Seismic qualification information

I.3.1 Qualification options

The possible qualification options are as follows:

- qualification procedure: static calculation, dynamic analysis or seismic tests;
- on the instrument transformer only (without supporting structures) or on the complete assembly including the supporting structure.

I.3.2 General information provided by purchaser

The purchaser shall provide the following information:

- the required seismic severity as per Table I.1 or the time-history of the earthquake waveforms, or the specific earthquake acceleration spectrum, as required;
- the mounting details of the instrument transformer on the supporting structure including the position and the angle of mounting;
- the superelevation factor k_{se} , considering the effect of foundation and supporting structure.

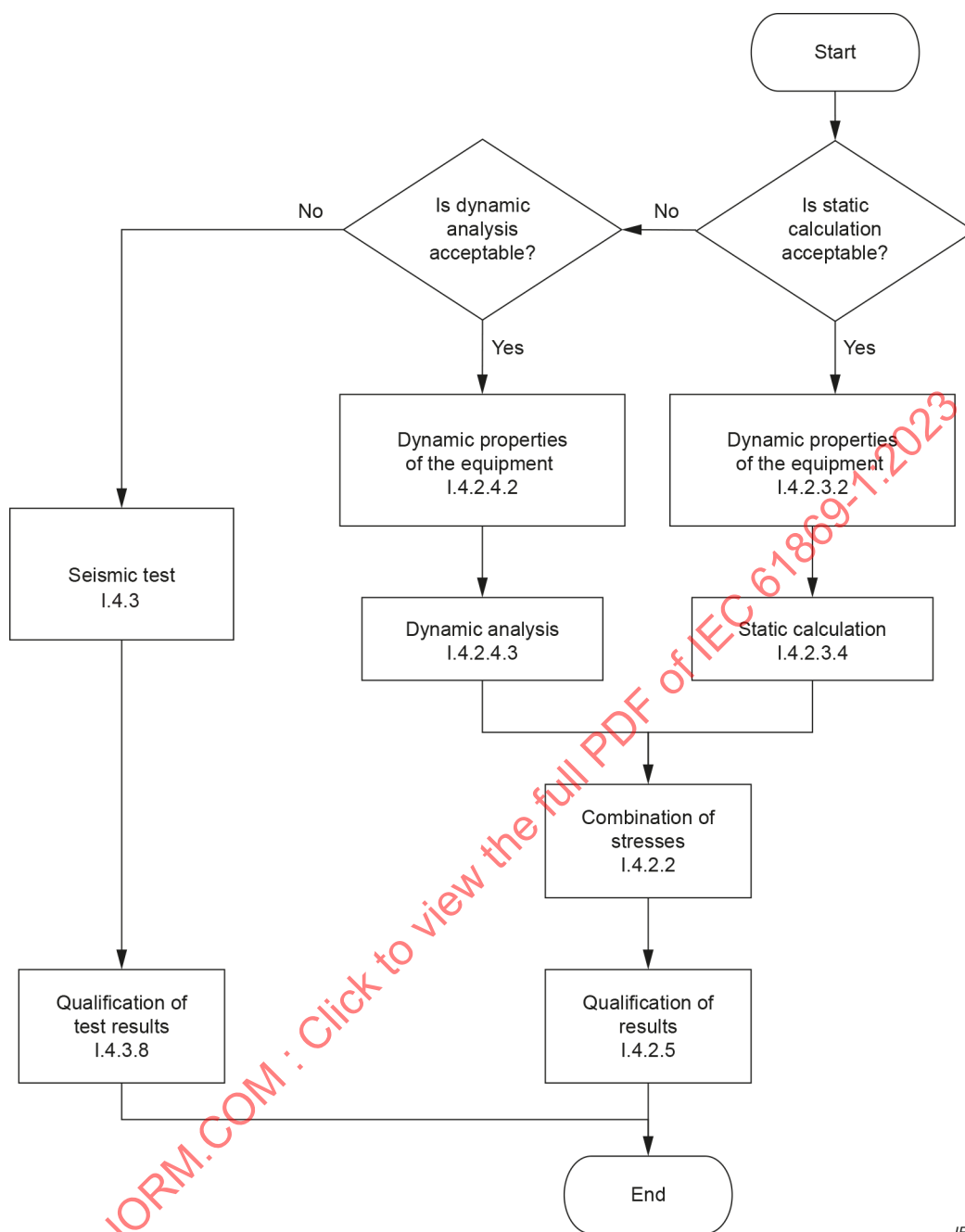
I.4 Qualification procedure

I.4.1 General

If not otherwise specified, the seismic qualification is performed by static calculation. In the case of a request, one of the following methods can be adopted, based on the agreement between the purchaser and the manufacturer:

- dynamic analysis;
- seismic test.

A guide to qualification procedure is given in the flowchart of Figure I.3.



IEC

Figure I.3 – Flowchart of qualification procedure

I.4.2 Qualification by static calculation or dynamic analysis

I.4.2.1 Required general data

For static or dynamic calculations, the following data are necessary:

- outline drawing of the instrument transformer, including supporting structure (if any);
- geometrical parameters:
 - geometrical configuration;
 - mass of the different elements.

- mechanical properties of materials:
 - Young's modulus;
 - Poisson's ratio/shear modulus;
 - tensile strength;
 - yield strength.

I.4.2.2 Combination of stresses

As the probability of an earthquake during the lifetime of the instrument transformer is low, it is too conservative to add the stresses directly. The recommended combination of stresses is:

- the stress due to terminal load, equal to 35 % of the static withstand load specified in Table 14;
- the stress of the maximum internal pressure under normal operating conditions;
- the stress of wind pressure of 70 Pa;
- the seismic stress.

I.4.2.3 Qualification by static calculation

I.4.2.3.1 Applicability

If not otherwise specified, the static calculation is the standard qualification procedure. It allows a simpler technique in exchange for added conservatism.

I.4.2.3.2 Dynamic properties of the equipment

The required characteristics for static calculation are:

- the first natural frequency of the instrument transformer;
- the damping ratio;
- the acceleration at the centre of gravity of the instrument transformer as indicated in Figure I.2, based on the above data.

The first natural frequency and the damping ratio can be obtained from one of the following sources:

- a free oscillation test as specified in I.4.2.3.3;
- a vibration response investigation as defined in IEC 60068-2-57:2013, 4.3.8;
- a modal analysis by finite element methods modelling or other mathematical modelling techniques.

If the determination of natural frequencies is not carried out, the response spectrum of the instrument transformer is assumed to be the maximum value of the required response spectrum as indicated in Figure I.2 for a conservative and justifiable value of damping. If the damping ratio is not known, a value of 2 % shall be assumed. The superelevation factor shall be applied to the static coefficient analysis.

I.4.2.3.3 Free oscillation test

The instrument transformer shall be mounted as in operation and firmly attached to the rigid foundation. A string is attached to the HV terminal.

The string shall be pulled with a force corresponding to 50 % of the static withstand load specified in Table 14, and suddenly released.

Measurement transducers attached at the level of the centre of gravity record the deflections of the instrument transformer.

The deflections at the centre of gravity will be an attenuating sine waveform as shown in Figure I.4:

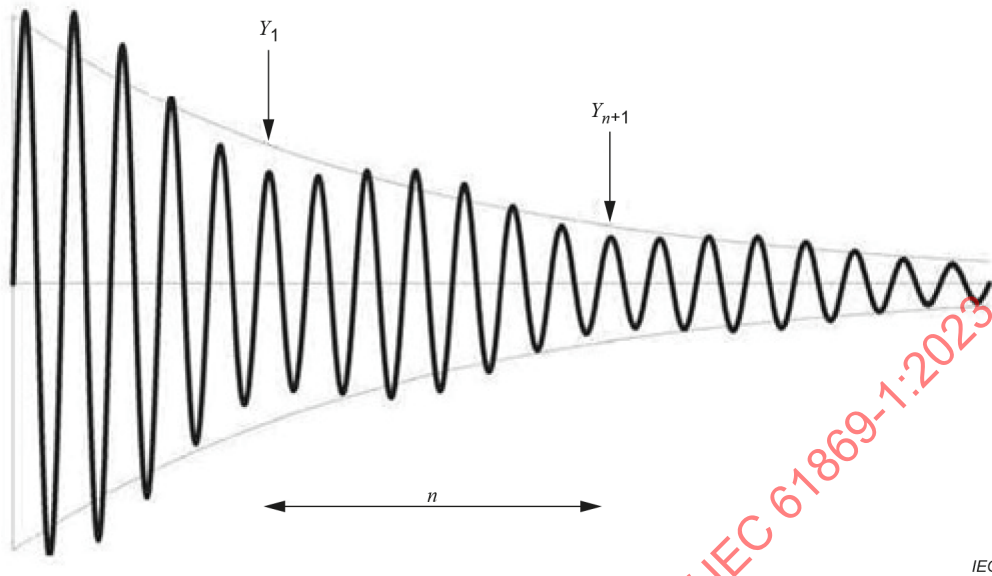


Figure I.4 – Measured deflection in free oscillation

The results are:

- the frequency of the main oscillation is the first natural frequency (f_1);
- the damping ratio is calculated using the following formula:

$$d(\%) = \frac{1}{2\pi n} \times \ln\left(\frac{Y_1}{Y_{n+1}}\right) \times 100$$

From the determination of test object characteristics, the standard values of damping ratio are:

- 2 %, if the damping ratio of the IT is equal to or less than 3 %;
- 3 %, if the damping ratio of the IT is more than 3 % and equal to or less than 5 %;
- 5 %, if the damping ratio of the IT is more than 5 % and equal to or less than 10 %;
- 10 % otherwise.

I.4.2.3.4 Static calculation method

The qualification steps are as follows (refer to Figure I.3 and Figure I.5):

- 1) the critical points of the instrument transformer are estimated (for example, the bottom part of the insulator, the glued joints or the bolted joints...)
- 2) the horizontal acceleration (A_h) is calculated from the acceleration S_a found on RRS (see Figure I.2) at the first natural frequency (f_1), according to the following formula:

$$A_h = k_{se} \times S_c \times S_a$$

where S_c is a static factor to consider the effect of multi-axes and multi-frequency excitation. The first vibration mode, and possibly the second vibration mode, are excited. An increase in stress over that of the first vibration mode is obtained by the effect of the second vibration mode. As a consequence, a value of S_c between 1,0 and 1,5 without any additional safety margin is recommended.

- If $f_1 \leq 8$ Hz, $S_c = 1,5$;
- If $f_1 > 8$ Hz and $f_1 < 33$ Hz, $S_c = 1 + 0,5 \times (33 - f_1) / 25$;
- If $f_1 \geq 33$ Hz, $S_c = 1,0$;
- If f_1 is not known, $S_c = 1,5$ is assumed.

3) The mass distribution along the height of the instrument transformer is determined in the worst case. The procedure to consider the worst case is:

- the elements of the instrument transformer are considered in 2 parts:
 - top part: the part above the critical point;
 - bottom part: the part below the critical point;
- estimate the masses of the elements on the top part of the test object as the maximum they could be ($m_1, m_2, \dots$);
- estimate the distances between the centre of gravities of the elements on the top part and the critical point as the maximum they could be ($l_1, l_2, \dots$);
- the position of the centre of gravity of the top part is calculated by the following formula:

$$l_{cgt} = \frac{m_1 \times l_1 + m_2 \times l_2 + \dots}{m}$$

where:

- l_{cgt} is the distance between the centre of gravity of the top part and the critical point;
- m is the mass of the top part.

4) The bending moment at the critical point is calculated using the following formula:

$$M = m \times A_h \times l_{cgt}$$

5) The seismic stress on the critical point is calculated based on the obtained bending moment.

The calculation is repeated on all the critical points.

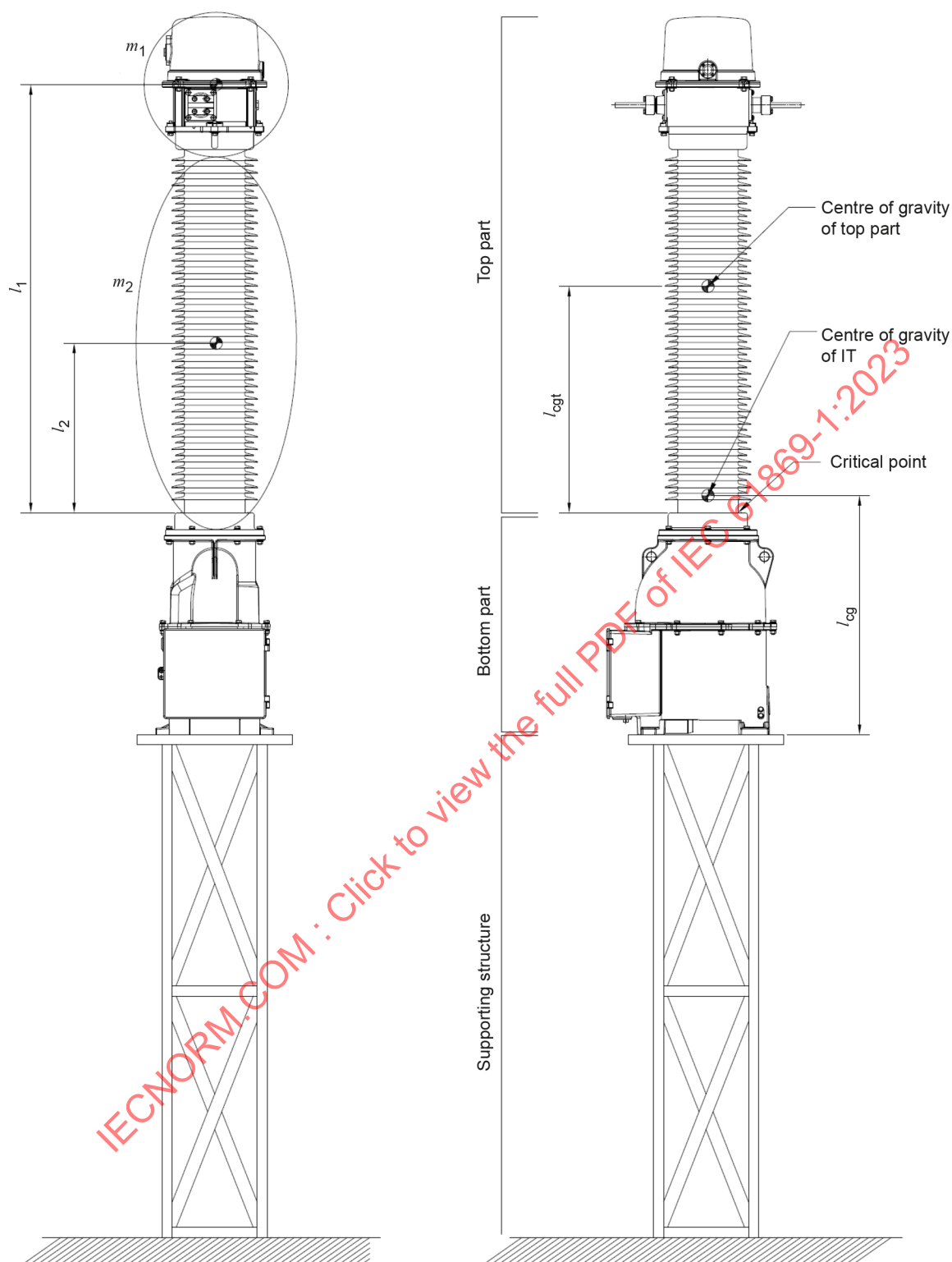


Figure I.5 – Sketch of the parameters in static calculation

I.4.2.4 Qualification by dynamic analysis

I.4.2.4.1 Applicability

The conditions to apply dynamic analysis are:

- availability of a mechanical model of the instrument transformer, including the characteristics of the different materials;
- estimation of ultimate withstand capabilities;
- more accurate results than static calculation;
- seismic test is not required or not possible.

I.4.2.4.2 Dynamic properties of the equipment

Some of the specifications shall be obtained from one of the following methods:

- vibration response investigation, as defined in IEC 60068-2-57, provides the natural frequencies and damping ratio;
- modal analysis provides the natural frequencies.

Vibration response investigation test procedure: the test is performed in accordance with IEC 60068-3-3:2019, 9.2 and IEC 60068-3-3:2019, 15.1 in the seismic frequency range.

I.4.2.4.3 Method

I.4.2.4.3.1 Qualification steps

The qualification steps are as follows:

- the instrument transformer, in the specified configuration, should be modelled by finite element methods or other mathematical modelling techniques;
- after modelling, the boundary conditions are applied including mounting details;
- afterwards, one of the following methods are applied, as required:
 - time-history;
 - RRS.

I.4.2.4.3.2 Using time-history

When the qualification is made on the instrument transformer only (without supporting structures), the accelerations in time-history shall be multiplied by the superelevation factor k_{se} .

The 3-axis analysis may be done. Since analysis of the acceleration in 3 axes can be quite complex, 2 types of superimposition can be applied, depending on the complexity of the problem:

- 2-axis analysis: simultaneous calculation of the maximum responses assuming one of the seismic horizontal directions and the vertical direction (x with z) and, thereafter, calculation considering the other horizontal direction and the vertical direction (y with z). The greater of these two values is used as seismic stress for the combination of the stresses of the instrument transformer (specified in I.4.2.2). The seismic stresses as obtained, include:
 - total shear stress components;
 - total normal stress components.

- 1-axis analysis:
 - separate single axis calculations of the maximum responses (shear and normal stresses) on each point are made;
 - all the shear stress components are added algebraically to find the total shear stress components;
 - all the normal stress components are added algebraically to find the total normal stress components.

I.4.2.4.3.3 Using RRS

The inputs to the model are:

- the seismic severity level;
- all the natural frequencies in the seismic frequency range;
- when the qualification is made on the instrument transformer only (without supporting structures), the accelerations in RRS shall be multiplied by superelevation factor k_{se} .

Convergence condition:

- the dynamic responses on each point obtained from the analysis for each natural frequency are added;
- the simulation is started by the first vibration mode (first natural frequency). In this stage, some parts of the test object vibrate with frequency. If the cumulative mass is more than 90 % of the total mass, the analysis is sufficient, and the result is reliable;
- otherwise, the simulation is performed for the second vibration mode (natural frequency). In the second stage, some new parts will vibrate. If the total masses involved in these vibration modes is more than 90 % of the total mass, the analysis is sufficient, and the result is reliable.

The algorithm is repeated till the condition is fulfilled.

Expected results: the stress components on each critical point in each axis.

I.4.2.5 Acceptance criteria

On each critical point, the stress components calculated for each of the loads specified in I.4.2.2 are added algebraically.

The principal stress for brittle materials will be obtained, at each point, by combining the shear and normal stresses using the Mohr circle at that point.

The equivalent stress for ductile materials will be obtained from the shear and normal stresses at any point using the Von-Mises equation.

The instrument transformer shall be considered to fulfil the seismic requirement if:

- brittle materials such as most parts made of cast epoxy resins, ceramic materials or glasses are not stressed over 100 % of their type test withstand bending moment. For insulators, refer to IEC 62217 and IEC 62155;
- hollow insulators made of composite material are not stressed over 1,5 times their maximum mechanical load (MML), which corresponds normally to the elasticity limit of the material, in accordance with IEC 61462;
- ductile materials such as most metallic parts are not stressed above the yielding point by the combined stresses.

I.4.2.6 Documentation

Static calculation or dynamic analysis report shall contain:

- the instrument transformer identification file including the supporting structure (if considered for the qualification process);
- the step-by-step presentation of the static calculation or the dynamic analysis;
- the results and conclusions;
- approved signature and date.

I.4.3 Qualification by test

I.4.3.1 General

The complete routine tests shall be performed before applying the seismic test.

The test is performed on a shaking table.

The test object shall be mounted as in operation with all accessories intended to be mounted thereon.

For the general requirements on mounting, refer to IEC 60068-2-47.

I.4.3.2 Applicability

The required conditions in order to proceed with the test are:

- complete withstand capabilities are required;
- the dynamic properties of details of the test object are unknown;
- the test is required and possible.

I.4.3.3 External load

Generally, electrical connection and operation loads cannot be simulated during the seismic test. This applies also to possible internal pressure of the test object owing to safety requirements of the test laboratory.

During the vibrational test, the masses indicated in Table I.2 shall be added to each HV terminal to simulate such external forces:

Table I.2 – External mass to simulate external forces

U_m (kV)	Mass (kg)
72,5 to 100	3
123 to 170	6
245 to 362	7
420 to 800	8
> 800	11

I.4.3.4 Test axes

The preferred method is 3-axis testing that is performed with simultaneous but independent inputs into the three preferred testing axes of the equipment, each producing the required response spectrum along that axis.

One of the axes is assumed to be vertical (z -axis). The selection of the other 2 axes depends on the fixing points of the test object (x and y).

If the effect of the vertical acceleration results in negligible stresses, the vertical excitation may be omitted.

Single axis or biaxial excitation may be accepted if suitably justified.

I.4.3.5 Excitation waveform

The waveform of time-history (corresponding to RRS) is used as the input to the test setup.

When the qualification is made on the instrument transformer only (without supporting structures), the accelerations in time-history shall be multiplied by the superelevation factor k_{se} .

I.4.3.6 Test parameters

- Seismic severity level;
- Time-history: as per IEC 60068-2-57:2013, 4.4.1;
- Total duration of test: about 30 s, out of which, the strong part of time-history shall not be less than 20 s;
- Number of repetitions: the number of time-histories to be applied for each test axis and for each time-history level is 1;
- Minimum number of high-stress cycles: 4.

A high-stress cycle is considered if the acceleration reaches at least 70 % of the peak value defined by the RRS.

I.4.3.7 Measurements

The following measurements may be performed as additional information:

- displacement of the HV terminal of the instrument transformer;
- strains on critical points (e.g. bottom part of insulator);
- acceleration at the centre of gravity and the HV terminal.

In the case of testing with the supporting structure, the acceleration of the base of the instrument transformer shall be measured as well.

I.4.3.8 Acceptance criteria

The test object shall be considered to have passed the test if there is no evidence of damage (deformation, rupture or leakage) and passes the following tests successfully:

- power-frequency voltage withstand test on primary terminals (7.3.1) and partial discharge measurement (7.3.2);
- test for accuracy (7.3.6);
- power-frequency voltage withstand test on secondary terminals (7.3.4);
- enclosure tightness test at ambient temperature (7.3.8).

I.4.3.9 Documentation

The test report shall contain:

- instrument transformer identification file, including mounting details;
- information for seismic qualification;
- test facility;
- test equipment description and calibration;
- test method and procedures;
- test data;
- ambient temperature during the test;
- results and conclusions;
- approved signature and date.

I.5 Validity of qualification

The qualification is valid for the instrument transformer range as indicated on the outline drawing.

In the circumstance where qualification exists for a combination of an instrument transformer item and an associated dedicated support, but circumstances dictate that the same piece of equipment is desired on an alternative dedicated support, a dynamic equivalency may prove that the proposed new combination is seismically qualified. Dynamic equivalence of the proposed combination of equipment and dedicated support shall be demonstrated through analytical methods by ensuring that the following conditions are met: the seismic responses (acceleration at centre of mass of the instrument transformer, reaction at the base, and stresses in critical parts) is less than those obtained from the configuration of the instrument transformer supported on the qualified support.

EXAMPLE When the qualified system has a natural frequency above 1,1 Hz, and the supporting structure has a resonance frequency not less than that of the qualified structure.

Other applicable practices for seismic qualification of instrument transformers are recognized, namely IEEE 693:2018. Existing and new seismic qualification performed according to IEEE 693:2018 performed with similar methods (test, static or dynamic analyses) may be considered valid for qualification according to this document. When evaluating test reports, comparable seismic qualification levels are indicated in Table I.3.

Table I.3 – Comparable seismic levels

IEEE Std 693			IEC 61869-1	
Description	ZPA (Design)	ZPA (Performance)	Description	ZPA
Moderate	0,25 g	0,5 g	Light to medium	0,2 g
			Medium to strong	0,3 g
			Strong to very strong	0,5 g
High	0,5 g	1 g	--	--

Qualification according to other national standards can be applicable, pertaining to the agreement between the manufacturer and the purchaser.

Bibliography

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

IEC 60050-212:2010, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases*

IEC 60050-212:2010/AMD1:2015

IEC 60255-1:2009, *Measuring relays and protection equipment – Part 1: Common requirements*

IEC 60255-27:2013, *Measuring relays and protection equipment – Part 27: Product safety requirements*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60695-1-30, *Fire hazard testing – Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing process – General guidelines*

IEC 60695-7-1, *Fire hazard testing – Part 7-1: Toxicity of fire effluent – General guidance*

IEC 60721-2-6, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock*

IEC 60812, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*

IEC TR 60815:1986⁵, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*

IEC TR 60943, *Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals*

IEC 61000 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61000-4-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*

IEC TR 61000-5-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences*

IEC 61000-6-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for equipment used in power station and substation environment*

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61754-2, *Fibre optic connector interfaces – Part 2: Type BFOC/2,5 connector family*

IEC 61754-20, *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector interfaces – Part 20: Type LC connector family*

⁵ Withdrawn.

IEC TR 61869-103:2012, *Instrument transformers – The use of instrument transformers for power quality measurement*

IEC 61869-16, *TEDS (transducer electronic data sheet) for instrument transformers*⁶

IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*

IEC 62271-1:2017, *High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*

IEC Guide 109, *Environmental aspects – Inclusion in electrotechnical product standards*

ISO/IEC/IEEE 8802-3, *Telecommunications and exchange between information technology systems – Requirements for local and metropolitan area networks – Part 3: Standard for Ethernet*

IEEE 693-2018, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*

EN 50160, *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*

CIGRE Brochure 765, *Understanding and mitigating corrosion*

⁶ Under development at the time of publication.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	149
INTRODUCTION.....	152
1 Domaine d'application	154
2 Références normatives	155
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	159
3.1 Termes et définitions	159
3.2 Symboles et abréviations	159
4 Conditions d'environnement normales et particulières	160
4.1 Généralités	160
4.2 Conditions d'environnement normales.....	160
4.2.1 Température de l'air ambiant	160
4.2.2 Altitude	161
4.2.3 Vibrations ou faibles secousses sismiques	161
4.2.4 Exposition à la pollution.....	161
4.2.5 Autres conditions d'environnement pour les transformateurs de mesure intérieurs	161
4.2.6 Autres conditions d'environnement pour les transformateurs de mesure extérieurs	161
4.2.7 Transformateurs de mesure avec des parties extérieures	162
4.3 Conditions d'environnement particulières.....	162
4.3.1 Généralités	162
4.3.2 Altitude	162
4.3.3 Température ambiante.....	162
4.3.4 Vibrations ou faibles secousses sismiques	162
4.3.5 Séismes	163
5 Caractéristiques assignées.....	163
5.1 Généralités	163
5.2 Caractéristiques assignées de tension	163
5.2.1 Tension la plus élevée du matériel (U_m)	163
5.2.2 Mise à la terre du réseau	165
5.2.3 Valeurs normales pour la tension primaire assignée (U_{pr})	165
5.2.4 Valeurs normales pour la tension secondaire assignée (U_{sr})	165
5.2.5 Tension d'alimentation auxiliaire assignée (U_{ar})	165
5.3 Caractéristiques assignées de courant.....	166
5.3.1 Valeurs normales pour le courant primaire assigné (I_{pr})	166
5.3.2 Valeurs normales pour le courant secondaire assigné (I_{sr})	166
5.3.3 Valeurs normales pour le courant permanent thermique assigné (I_{cth})	166
5.3.4 Valeurs assignées de courant de courte durée	166
5.4 Caractéristiques assignées diélectriques	167
5.4.1 Généralités	167
5.4.2 Niveau d'isolement assigné des bornes primaires.....	167
5.4.3 Autres exigences relatives à l'isolement des bornes primaires	167
5.4.4 Exigences d'isolement entre sections	169
5.4.5 Exigences d'isolement pour les bornes secondaires et les composants basse tension	169

5.5	Fréquence assignée (f_r)	170
5.6	Caractéristiques assignées de sortie	170
5.6.1	Puissance de sortie assignée pour les transformateurs de mesure inductifs et les CVT	170
5.6.2	Valeurs normales pour le temps de retard assigné des EIT (t_{dr})	170
5.7	Exigences de précision	171
5.7.1	Généralités	171
5.7.2	Classes de précision nominales	171
5.7.3	Extension de classe de précision pour les harmoniques	171
5.7.4	Exigences de précision concernant les harmoniques	172
5.7.5	Exigences relatives aux harmoniques pour les classes de précision de protection des LPIT	173
5.7.6	Filtre antirepliement pour EIT utilisant le traitement de données numériques	174
6	Conception et construction	176
6.1	Exigences relatives aux liquides utilisés dans le matériel	176
6.1.1	Généralités	176
6.1.2	Qualité de liquide	176
6.1.3	Indicateur de niveau de liquide	177
6.1.4	Étanchéité aux liquides	177
6.2	Exigences relatives aux gaz utilisés dans le matériel	177
6.2.1	Généralités	177
6.2.2	Qualité de gaz	177
6.2.3	Dispositif de surveillance du gaz	177
6.2.4	Étanchéité au gaz	177
6.2.5	Dispositif limiteur de pression	178
6.3	Exigences relatives aux matériaux solides utilisés dans le matériel	178
6.4	Exigences relatives à l'échauffement des parties et des composants	178
6.4.1	Généralités	178
6.4.2	Influence de l'altitude sur l'échauffement	180
6.5	Exigences relatives à la mise à la terre du matériel	181
6.5.1	Généralités	181
6.5.2	Mise à la terre de l'enveloppe	181
6.5.3	Continuité électrique	181
6.6	Exigences relatives à l'isolation externe	182
6.6.1	Pollution	182
6.6.2	Altitude	182
6.7	Exigences mécaniques	184
6.8	Chocs coupés multiples sur les bornes primaires	184
6.9	Exigences relatives à la protection contre les défauts d'arc interne	185
6.10	Degrés de protection conférés par les enveloppes	186
6.10.1	Généralités	186
6.10.2	Protection contre l'accès aux parties dangereuses et protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers et d'eau	186
6.10.3	Protection de l'enveloppe contre les impacts mécaniques en conditions de fonctionnement normales	187
6.11	Compatibilité électromagnétique (CEM)	187
6.11.1	Généralités	187
6.11.2	Exigences relatives à l'immunité	187

6.11.3	Exigences relatives aux émissions.....	191
6.11.4	Exigences relatives aux surtensions transmises (TOV)	191
6.11.5	Exigences relatives à la tension de perturbation radioélectrique (RIV)	191
6.12	Corrosion	191
6.13	Marquages	192
6.13.1	Généralités	192
6.13.2	Marquages des bornes	192
6.13.3	Marquages des plaques signalétiques	192
6.14	Exigences relatives à la connexion des bornes secondaires d'un LPIT.....	193
6.14.1	Exigences relatives à la connexion des sorties numériques	193
6.14.2	Exigences relatives aux connexions de sorties analogiques.....	195
6.15	Bruit dans le signal secondaire d'un EIT	195
6.16	Danger d'incendie	196
6.17	Résistance à la pression des enveloppes remplies de gaz	196
6.18	Détection des défaillances d'un EIT	196
6.19	Aptitude au fonctionnement.....	197
6.20	Fiabilité et sûreté de fonctionnement de la partie électronique de l'EIT	197
6.21	Exigences relatives aux vibrations	197
6.22	Tenue aux conditions climatiques de stockage.....	198
7	Essais	198
7.1	Généralités	198
7.1.1	Classification des essais.....	198
7.1.2	Liste des essais.....	198
7.1.3	Séquence d'essais.....	200
7.1.4	Conditions d'essai	202
7.2	Essais de type	202
7.2.1	Généralités	202
7.2.2	Essai d'échauffement	203
7.2.3	Essai de tenue en tension de choc sur les bornes primaires	205
7.2.4	Essai sous pluie pour les transformateurs de mesure du type extérieur	208
7.2.5	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM).....	208
7.2.6	Essais concernant la précision	215
7.2.7	Vérification du degré de protection conféré par les enveloppes	217
7.2.8	Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante	217
7.2.9	Essai d'épreuve de l'enveloppe remplie de gaz.....	218
7.2.10	Essais mécaniques	218
7.2.11	Essai de tenue en tension des composants basse tension et des bornes secondaires	219
7.2.12	Essais d'environnement climatique de stockage	220
7.2.13	Essai de vibrations	222
7.2.14	Durabilité des marquages	223
7.2.15	Essais concernant la précision pour les harmoniques	223
7.2.16	Essai concernant l'antirepliement	224
7.3	Essais individuels de série	224
7.3.1	Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes primaires	224
7.3.2	Mesurage des décharges partielles.....	225
7.3.3	Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle entre sections	228

7.3.4	Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes secondaires	228
7.3.5	Essai de tenue en tension à la fréquence industrielle pour les composants basse tension.....	228
7.3.6	Essai concernant la précision	229
7.3.7	Vérification des marquages	229
7.3.8	Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante	229
7.3.9	Essai sous pression de l'enveloppe remplie de gaz	229
7.3.10	Mesurage de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique	230
7.4	Essais spéciaux	230
7.4.1	Essai de tenue aux chocs coupés multiples sur les bornes primaires	230
7.4.2	Essai de surtensions transmises	231
7.4.3	Essai de défaut d'arc interne	235
7.4.4	Essai d'étanchéité de l'enveloppe à basse et haute températures	236
7.4.5	Mesurage de la résistance d'isolement sur les bornes secondaires	237
7.4.6	Essai de corrosion	237
7.4.7	Essai relatif au danger d'incendie	238
7.4.8	Essai d'endurance thermomécanique	238
7.4.9	Essais de vibrations et de chocs	239
7.4.10	Essais concernant la précision en fonction des harmoniques	241
7.4.11	Qualification sismique	241
7.5	Essais de mise en service	241
7.5.1	Généralités	241
7.5.2	Inspection et essais finaux de l'installation	241
7.5.3	Essai au point de rosée du gaz	242
7.6	Essais sur prélèvements	242
8	Règles concernant le transport, le stockage, le montage, le fonctionnement et la maintenance	243
8.1	Généralités	243
8.2	Conditions applicables au transport, au stockage et à l'installation	243
8.3	Installation	243
8.3.1	Généralités	243
8.3.2	Déballage et levage	243
8.3.3	Assemblage	243
8.3.4	Montage	244
8.3.5	Connexions	244
8.3.6	Inspection et essais finaux de l'installation	244
8.4	Fonctionnement	244
8.5	Maintenance	245
8.5.1	Généralités	245
8.5.2	Responsabilités du fabricant	245
8.5.3	Responsabilités de l'utilisateur	245
8.6	Rapport de défaillance	246
9	Sécurité	246
10	Influence des produits sur l'environnement naturel	246
Annexe A (normative)	Identification du spécimen d'essai	247
A.1	Généralités	247
A.2	Données	247
A.3	Dessins	247

Annexe B (informative) Recommandation concernant le contenu des rapports de défaillance	248
B.1 Généralités	248
B.2 Contenu	248
Annexe C (informative) Danger d'incendie	250
C.1 Danger d'incendie	250
C.2 Essai relatif au danger d'incendie	250
Annexe D (informative) Essai sur prélèvements	251
D.1 Définition d'un essai sur prélèvements	251
D.2 Essais sur prélèvements	251
Annexe E (informative) Technique utilisée pour l'essai d'échauffement des transformateurs afin de déterminer la constante de temps thermique par estimation expérimentale	252
Annexe F (informative) Recommandations concernant l'extension de la validité des essais de type ou des essais spéciaux des transformateurs de mesure	255
F.1 Généralités	255
F.2 Informations nécessaires à l'extension de validité des essais de type	255
F.3 Application des critères d'extension	256
F.3.1 Essais diélectriques	256
F.3.2 Essais d'échauffement	256
F.3.3 Essais de courant de courte durée admissible et de courant dynamique admissible (transformateurs de courant)	257
F.3.4 Essais de défaut d'arc interne	258
F.3.5 Essai de tenue aux chocs coupés multiples	259
Annexe G (informative) Recommandations pour le calcul du diamètre équivalent en cas de forme irrégulière de la partie isolante	260
G.1 Généralités	260
G.2 Transformateurs de courant et transformateurs de tension reliés à la terre	260
G.3 Transformateurs de tension non reliés à la terre	261
Annexe H (informative) Circuit d'essai	263
H.1 Circuits d'essai pour les mesurages de précision en régime permanent pour les transformateurs de courant avec signal secondaire analogique	263
H.2 Circuits d'essai pour les mesurages de précision en régime permanent pour les transformateurs de tension avec signal secondaire analogique	266
Annexe I (normative) Qualification sismique des transformateurs de mesure	271
I.1 Domaine d'application	271
I.2 Conditions sismiques	271
I.2.1 Accélérogramme	271
I.2.2 Sévérité sismique de l'application	271
I.2.3 Facteur de surélévation (k_{se})	273
I.3 Informations pour la qualification sismique	273
I.3.1 Options de qualification	273
I.3.2 Informations générales fournies par l'acheteur	273
I.4 Procédure de qualification	273
I.4.1 Généralités	273
I.4.2 Qualification par calcul statique ou analyse dynamique	274
I.4.3 Qualification par essai	281
I.5 Validité de la qualification	283
Bibliographie	284

Figure 1 – Schéma fonctionnel général des LPIT monophasés	154
Figure 2 – Exemple de système d'acquisition de données numériques.....	174
Figure 3 – Exemple de gabarit de réponse en fréquence pour EIT à sortie numérique	176
Figure 4 – Facteur de correction d'altitude pour l'échauffement	181
Figure 5 – Facteur m pour l'essai de tenue de tension de choc de manœuvre (U_{SIL}).....	183
Figure 6 – Exemple de structure utilisée dans les applications AIS HT soumises aux essais CEM	189
Figure 7 – Exemple de structure utilisée dans les applications GIS HT soumises aux essais CEM	190
Figure 8 – Connecteur LC duplex.....	194
Figure 9 – Circuit de mesure de RIV	209
Figure 10 – Essai de précision du cycle de température	216
Figure 11 – Circuit d'essai pour le mesurage des décharges partielles	225
Figure 12 – Autre circuit pour le mesurage des décharges partielles.....	226
Figure 13 – Exemple de circuit d'essai équilibré pour le mesurage des décharges partielles.....	226
Figure 14 – Profil de tension pour le mesurage des décharges partielles	227
Figure 15 – Mesurage des surtensions transmises: formes d'onde du choc d'essai.....	232
Figure 16 – Mesurage des surtensions transmises: configuration d'essai primaire pour le matériel AIS	233
Figure 17 – Mesurage des surtensions transmises: configuration d'essai primaire pour GIS (CT et VT).....	233
Figure 18 – Mesurage des surtensions transmises: exemple de connexion d'essai secondaire correcte pour CT et VT	234
Figure 19 – Configuration type pour l'essai de défaut d'arc interne	235
Figure E.1 – Extrapolation graphique de l'échauffement ultime	254
Figure G.1 – Dimensions des ailettes.....	260
Figure G.2 – Exemples de CT MT et de VT reliés à la terre.....	261
Figure G.3 – Exemple de CT comprenant plusieurs zones d'isolateur	261
Figure G.4 – Exemples de VT non reliés à la terre	262
Figure G.5 – Exemple de VT comprenant plusieurs zones d'isolateur	262
Figure H.1 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision de CT inductifs	263
Figure H.2 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision analogiques des LPCT	264
Figure H.3 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision analogiques des LPCT (solution en variante)	265
Figure H.4 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision numériques des LPCT	266
Figure H.5 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision des VT inductifs ou des CVT	267
Figure H.6 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision analogiques des LPVT.....	268
Figure H.7 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision analogiques des LPVT (solution en variante)	269
Figure H.8 – Circuit d'essai pour les mesurages de précision numériques des LPVT	270
Figure I.1 – Enregistrement d'un histogramme en temps réel (3D)	271
Figure I.2 – Spectre de réponse spécifié	272
Figure I.3 – Organigramme de la procédure de qualification	274
Figure I.4 – Déviation mesurée en oscillation libre	276
Figure I.5 – Schéma des paramètres utilisés pour le calcul statique.....	278

Tableau 1 – Catégories de température ambiante de fonctionnement	160
Tableau 2 – Niveaux d'isolement assignés des bornes primaires des transformateurs de mesure pour les applications en courant alternatif.....	164
Tableau 3 – Exigences d'isolation des bornes d'alimentation	166
Tableau 4 – Tensions d'essai de décharges partielles et niveaux admissibles pour les applications en courant alternatif	168
Tableau 5 – Valeurs maximales de $\tan\delta$	169
Tableau 6 – Tenue sur les bornes secondaires et les bornes des composants basse tension des LPIT.....	169
Tableau 7 – Extension WB0 pour les harmoniques	172
Tableau 8 – Extensions de classe de précision pour les applications à large bande.....	173
Tableau 9 – Exigences relatives aux harmoniques pour les classes de précision de protection	174
Tableau 10 – Exigences relatives au filtre antirepliement.....	175
Tableau 11 – Taux de fuite temporairement admissibles pour les systèmes à gaz	178
Tableau 12 – Limites de température et d'échauffement pour les différents matériaux, parties et diélectriques des transformateurs de mesure	179
Tableau 13 – Lignes de fuite spécifiques par classe de sévérité de pollution de site, telles que définies dans l'ancienne publication.....	182
Tableau 14 – Charges de tenue statique maximales	184
Tableau 15 – Niveau maximal de gaz dans l'huile dans les transformateurs de mesure	185
Tableau 16 – Durée de défaut d'arc et critères de performance	185
Tableau 17 – Exigences relatives à l'immunité et niveaux d'essai	188
Tableau 18 – Critères d'acceptation des essais d'immunité CEM.....	190
Tableau 19 – Connecteurs	195
Tableau 20 – Liste des essais.....	198
Tableau 21 – Type de gaz et pression au cours des essais.....	200
Tableau 22 – Essais individuels de série exigés	201
Tableau 23 – Modalités d'application des charges d'essai aux bornes primaires	219
Tableau 24 – Essai de chaleur sèche à la température de stockage	221
Tableau 25 – Essai au froid à la température de stockage	221
Tableau 26 – Essai continu de chaleur humide	222
Tableau 27 – Limites des surtensions transmises	232
Tableau 28 – Niveaux de sévérité des chocs	241
Tableau A.1 – Exemple de dessin à soumettre.....	247
Tableau C.1 – Danger d'incendie des produits électrotechniques.....	250
Tableau F.1 – Critères d'extension pour la performance de tenue diélectrique	256
Tableau F.2 – Critères d'extension pour la performance d'échauffement.....	257
Tableau F.3 – Critères d'extension pour les performances de courant de courte durée et de courant dynamique admissible	258
Tableau F.4 – Critères d'extension pour les essais de défaut d'arc interne	259
Tableau F.5 – Critères d'extension pour l'essai de tenue aux chocs coupés multiples.....	259
Tableau I.1 – Niveaux de sévérité sismique	272
Tableau I.2 – Masse externe pour simuler les forces externes	281
Tableau I.3 – Niveaux sismiques comparables.....	283

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE MESURE –

Partie 1: Exigences générales

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 61869-1 a été établie par le comité d'études 38 de l'IEC: Transformateurs de mesure. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 2007 et l'IEC 61869-6:2016. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) fusion avec l'IEC 61869-6:2016;
- b) nouveau domaine d'application: matériel pour les applications HT avec une tension nominale > 1 kV en courant alternatif ou 1,5 kV en courant continu;
- c) nouvelle classification de certains essais spéciaux en essais de type ou en essais individuels de série;

- d) essais de type supplémentaires, essais spéciaux supplémentaires et nouvel article pour les essais de mise en service;
- e) nouvelles Annexes E, F, G et I.

Le texte de la présente Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
38/718/FDIS	38/722/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de la présente Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61869, publiées sous le titre général *Transformateurs de mesure*, se trouve sur le site web de l'IEC. La liste ci-dessous donne un aperçu de l'ensemble de normes planifié ou existant à la date de publication du présent document.

La liste mise à jour des normes publiées par le TC 38 de l'IEC est disponible sur le site web: <https://www.iec.ch>

Norme de famille de produits	Norme de produit	Titre
61869-1 Exigences générales	61869-2	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant
	61869-3	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs inductifs de tension
	61869-4	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs combinés
	61869-5	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs condensateurs de tension
	61869-7	Additional requirements for low-power voltage transformers (disponible en anglais seulement)
	61869-8	Additional requirements for low-power current transformers (disponible en anglais seulement)
	61869-9	Interface numérique pour les transformateurs de mesure
	61869-10	Exigences supplémentaires concernant les capteurs de courant
	61869-11	Exigences supplémentaires pour les capteurs de tension
	61869-12	Additional requirements for combined low-power instrument transformers (disponible en anglais seulement)
	61869-13	Concentrateur autonome (SAMU)
	61869-14	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant pour application en courant continu
	61869-15	Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de tension pour application en courant continu
	61869-16	TEDS (transducer electronic data sheet) for instrument transformers (disponible en anglais seulement)
	61869-99	Glossaire

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document 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 61869-1:2023

INTRODUCTION

Le présent document est la première révision de l'IEC 61869-1, qui définit les exigences communes aux transformateurs de mesure applicables à tous les types ou à toutes les technologies.

De plus, l'IEC 61869-1:2007 (*Exigences générales*) et l'IEC 61869-6:2016 (*Exigences générales supplémentaires concernant les transformateurs de mesure de faible puissance*) ont été fusionnées dans le but d'obtenir un seul document et de simplifier la compréhension par le lecteur des normes spécifiques aux produits LPIT.

La liste suivante indique les principales modifications de la présente révision:

- nouveau domaine d'application: matériel pour les applications HT avec une tension nominale > 1 kV en courant alternatif ou 1,5 kV en courant continu;
- transfert des définitions dans le Glossaire du TC 38 (IEC 61869-99);
- caractéristiques assignées:
 - ajout des niveaux d'isolement HT au-dessus de 800 kV;
 - nouvelles exigences relatives à la résistance d'isolement en courant continu pour les bornes secondaires;
 - extensions de classe de précision supplémentaires pour les harmoniques;
- conception et construction:
 - exigences mécaniques supplémentaires pour les applications THT;
 - clarification de la correction d'altitude pour l'isolation externe et les essais diélectriques;
 - essai de chocs coupés multiples: définition du niveau maximal de gaz dans l'huile avant essai;
 - protection contre les défauts d'arc interne: simplification des critères d'acceptation;
 - nouvelles exigences concernant la tenue des LPIT dans les conditions climatiques de stockage;
- essais de type:
 - essai d'échauffement: définition plus précise de la durée de l'essai;
 - essai de tenue aux chocs de foudre: nouvelle procédure d'essai (15 chocs) pour les transformateurs de mesure à isolation gazeuse et en résine, pour $U_m \geq 300$ kV;
 - essai de tenue de choc de manœuvre: à réaliser dans les deux polarités dans le cas des transformateurs de mesure à isolation gazeuse;
 - essai de choc coupé: transféré de l'essai spécial à l'essai de type;
 - essai de précision: à réaliser en ce qui concerne la plage de températures et la fréquence;
 - essai mécanique: transféré de l'essai spécial à l'essai de type;
 - nouvelle spécification pour les essais d'environnement climatique de stockage;
- essais individuels de série:
 - mesurage des décharges partielles: ajout de l'enregistrement des tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles;
 - mesurage de la capacité et de $\tan\delta$: transféré de l'essai spécial à l'essai individuel de série;

- essais spéciaux:
 - essai de surtensions transmises: procédure d'essai améliorée;
 - essai de défaut d'arc interne: procédure d'essai clarifiée;
 - nouveau mesurage de la résistance d'isolement sur les bornes secondaires;
 - nouvel essai pour les transformateurs de mesure à isolation en résine fonctionnant à basse température;
 - essai de vibrations: amélioration et ajout d'un essai de choc pour les parties mécaniquement couplées à un disjoncteur;
 - essais facultatifs concernant la précision en fonction des harmoniques et pour l'antirepliement;
- essais de mise en service (nouveau paragraphe):
 - inspection d'une nouvelle installation;
 - essai au point de rosée du gaz transféré de l'essai spécial aux essais de mise en service;
 - nouvel essai d'isolement recommandé sur la connexion BT jusqu'à l'armoire BT;
- règles concernant le transport, le stockage, le montage, le fonctionnement et la maintenance:
 - nouvelles règles obligatoires pour l'utilisateur et le fabricant;
 - nouvelles conditions de transport et de stockage;
- nouvelles annexes:
 - Annexe E (informative): technique utilisée pour l'essai d'échauffement des transformateurs afin de déterminer la constante de temps thermique par estimation expérimentale;
 - Annexe F (informative): recommandations concernant l'extension de la validité des essais de type ou des essais spéciaux des transformateurs de mesure;
 - Annexe G (informative): recommandations pour le calcul du diamètre équivalent en cas de forme irrégulière de la partie isolante;
 - Annexe I (normative): qualification sismique des transformateurs de mesure.

TRANSFORMATEURS DE MESURE –

Partie 1: Exigences générales

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61869 s'applique aux transformateurs de mesure récemment fabriqués destinés à des applications dont la tension nominale est supérieure à 1 kV en courant alternatif ou à 1,5 kV en courant continu, qui utilisent un signal secondaire analogique ou numérique à des fins de mesure, de protection et de commande, avec des fréquences assignées comprises entre 15 Hz et 400 Hz, ou à des applications en courant continu.

NOTE 1 Un transformateur de courant pour traversée, bien que n'ayant pas de niveau d'isolement primaire pour lui-même, est souvent placé sur un système ayant une tension nominale > 1 kV en courant alternatif ou $> 1,5$ kV en courant continu et relève donc du domaine d'application du présent document. Exemple: transformateur de courant placé autour d'une traversée HT ou d'un câble HT.

Les exigences générales concernant les transformateurs de mesure destinés à des applications dans les réseaux BT (tension nominale ≤ 1 kV en courant alternatif ou $\leq 1,5$ kV en courant continu) sont couvertes par l'IEC 61869-201.

La présente partie de l'IEC 61869 est une norme de famille de produits et couvre uniquement les exigences générales. Pour chaque type de transformateur de mesure, la norme de produit se compose du présent document et de la norme de produit spécifique appropriée.

La présente partie de l'IEC 61869 contient les exigences relatives aux limites d'erreurs, tant pour le signal secondaire analogique que pour le signal secondaire numérique. Les autres caractéristiques d'une interface numérique d'un transformateur de mesure sont normalisées dans l'IEC 61869-9 en tant qu'application de la série de normes horizontales IEC 61850, couvrant les réseaux et les systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques.

La présente partie de l'IEC 61869 traite des exigences relatives à la largeur de bande. Les exigences de précision concernant les harmoniques et les exigences relatives au filtre antirepliement sont spécifiées en 5.7.

Dans le cas d'un LPIT, le schéma fonctionnel général des dispositifs monophasés est représenté à la Figure 1.

Selon la technologie, il n'est pas toujours nécessaire d'inclure toutes les parties décrites à la Figure 1 dans le transformateur de mesure.

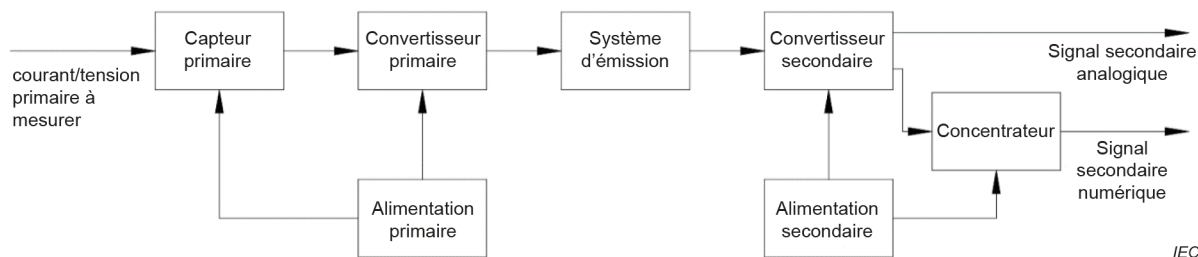


Figure 1 – Schéma fonctionnel général des LPIT monophasés

NOTE 2 Une alimentation secondaire peut être associée à une alimentation primaire ou à une alimentation d'autres transformateurs de mesure.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

IEC 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-11, *Essais d'environnement – Partie 2-11: Essais – Essai Ka: Brouillard salin*

IEC 60068-2-17, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-17: Essais – Essai Q: Étanchéité*

IEC 60068-2-27:2008, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-47, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Essais – Fixation de spécimens pour essais de vibrations, d'impacts et autres essais dynamiques*

IEC 60068-2-57:2013, *Essais d'environnement – Partie 2-57: Essais – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes et sinusoïdes modulées*

IEC 60068-2-75, *Essais d'environnement – Partie 2-75: Essais – Essai Eh: Essais au marteau*

IEC 60068-2-78:2012, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60068-3-3:2019, *Essais d'environnement – Partie 3-3: Documentation d'accompagnement et recommandations – Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels*

IEC 60071-1:2019, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60071-2:2018, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Lignes directrices en matière d'application*

IEC 60085, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

IEC 60270:2000, *Technique des essais à haute tension – Mesure des décharges partielles*
IEC 60270:2000/A1:2015

IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes pour matériel électrique*

IEC 60376, *Spécification de la qualité technique de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des gaz complémentaires à employer dans les mélanges de SF₆ pour utilisation dans les matériels électriques*

IEC 60455 (toutes les parties), *Composés réactifs à base de résine utilisés comme isolants électriques*

IEC 60475, *Méthode d'échantillonnage des liquides isolants*

IEC 60480, *Spécifications pour la réutilisation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges contenant du SF₆ dans le matériel électrique*

IEC 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

IEC 60529:1989/A1:1999

IEC 60529:1989/A2:2013

IEC 60603-7-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Partie 7-1: Spécification particulière pour les fiches et les embases écrantées à 8 voies*

IEC 60695-1-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-10: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Lignes directrices générales*

IEC 60695-1-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation du danger du feu des produits électrotechniques – Évaluation du danger du feu*

IEC 60794-2:2017, *Câbles à fibres optiques – Partie 2: Câbles intérieurs – Spécification intermédiaire*

IEC 60794-3, *Câbles à fibres optiques – Partie 3: Câbles extérieurs – Spécification intermédiaire*

IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles (disponible en anglais seulement)*

IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems (disponible en anglais seulement)*

IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems (disponible en anglais seulement)*

IEC 60867, *Isolants liquides – Spécifications pour les liquides neufs à base d'hydrocarbures aromatiques de synthèse*

IEC TR 61000-4-1, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-1: Techniques d'essai et de mesure – Vue d'ensemble de la série IEC 61000-4*

IEC 61000-4-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

IEC 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

IEC 61000-4-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en sèves*

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 61000-4-5:2014+A1:2017 CSV

IEC 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

IEC 61000-4-8, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*

IEC 61000-4-9, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel*

IEC 61000-4-10, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité du champ magnétique oscillatoire amorti*

IEC 61000-4-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-11: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension pour les appareils à courant d'entrée inférieur ou égal à 16 A par phase*

IEC 61000-4-13, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-13: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité basse fréquence aux harmoniques et inter-harmoniques incluant les signaux transmis sur le réseau électrique alternatif*

IEC 61000-4-16, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-16: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux perturbations conduites en mode commun dans la plage de fréquences de 0 Hz à 150 kHz*

IEC 61000-4-17, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-17: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu*

IEC 61000-4-18:2019, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie*

IEC 61000-4-29, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-29: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur les accès d'alimentation en courant continu*

IEC 61000-6-4:2018, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*

IEC 61076-2-101, *Connecteurs pour équipements électroniques – Exigences de produit – Partie 2-101: Connecteurs circulaires – Spécification particulière pour les connecteurs M12 à vis*

IEC 61083-1, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesurages pendant les essais à tension et courant élevés – Partie 1: Exigences pour les appareils utilisés pour les essais de choc*

IEC 61099, *Liquides isolants – Spécifications relatives aux esters organiques de synthèse neufs destinés aux matériels électriques*

IEC 61181, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale – Application de l'analyse des gaz dissous (AGD) lors d'essais en usine de matériels électriques*

IEC 61462, *Isolateurs composites creux – Isolateurs avec ou sans pression interne pour utilisation dans des appareillages électriques de tensions nominales supérieures à 1 000 V – Définitions, méthodes d'essais, critères d'acceptation et recommandations de conception*

IEC 61850-7-4, *Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques – Partie 7-4: Structure de communication de base – Classes de nœuds logiques et classes d'objets de données compatibles*

IEC 61869-9:2016, *Transformateurs de mesure – Partie 9: Interface numérique pour les transformateurs de mesure*

IEC 61869-99, *Transformateurs de mesure – Partie 99: Glossaire*

IEC 62155, *Isolateurs creux avec ou sans pression interne, en matière céramique ou en verre, pour utilisation dans des appareillages prévus pour des tensions nominales supérieures à 1 000 V*

IEC 62217:2012, *Isolateurs polymériques à haute tension pour utilisation à l'intérieur ou à l'extérieur – Définitions générales, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

IEC 62271-4:2022, *Appareillage à haute tension – Partie 4: Procédures de manipulation des gaz pour l'isolation et/ou la commutation*

IEC 62271-100, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

IEC 62271-203:2022, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse et à courant alternatif de tensions assignées supérieures à 52 kV*

IEC 62770, *Fluides pour applications électrotechniques – Esters naturels neufs pour transformateurs et matériels électriques analogues*

IEC 63012, *Isolants liquides – Esters neufs modifiés ou mélangés pour applications électrotechniques*

CISPR TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits (disponible en anglais seulement)*

ISO/IEC/IEEE 21451-4, *Technologies de l'information – Interface de transducteurs intelligente pour capteurs et actionneurs – Partie 4: Protocoles de communication en mode mixte et formats des feuilles de données électroniques du transducteur (TEDS)*

ISO 4628-3, *Peintures et vernis – Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 3: Évaluation du degré d'enrouillement*

ISO 22479, *Corrosion des métaux et alliages – Essai au dioxyde de soufre en atmosphère humide (méthode avec volume fixe de gaz)*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 61869-99 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 <https://www.electropedia.org/>;
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>.

3.2 Symboles et abréviations

ADC	Analogue-to-Digital Converter (convertisseur analogique/numérique)
AIS	Air-Insulated Switchgear (appareillage à isolation par air)
CEM	Compatibilité électromagnétique
CT	Current Transformer (transformateur de courant)
CVT	Capacitor Voltage Transformer (transformateur condensateur de tension)
EIT	Electronic IT (IT électronique)
F	Charge mécanique
F_V	Facteur de tension assigné
F_{rel}	Taux de fuite relatif
f_r	Fréquence assignée
GIS	Gas-Insulated Switchgear (appareillage à isolation gazeuse)
IED	Intelligent Electronic Device (dispositif électronique intelligent)
IT	Instrument Transformer (transformateur de mesure)
I_{arc}	Courant assigné de défaut d'arc interne
I_{cth}	Courant assigné thermique permanent
I_{dyn}	Courant dynamique assigné
I_{pr}	Courant primaire assigné
I_{psc}	Courant de court-circuit assigné
I_{sr}	Courant secondaire assigné
I_{th}	Courant thermique assigné de courte durée
K_r	Rapport de transformation assigné
k_{se}	Facteur de surélévation
LPCT	Low-Power Current Transformer (transformateur de courant de faible puissance)
LPIT	Low-Power Instrument Transformer (transformateur de mesure de faible puissance)
LPVT	Low-Power Voltage Transformer (transformateur de tension de faible puissance)
MU	Merging Unit (concentrateur)
PD	Partial Discharge (décharge partielle)
RMS	Root-Mean-Square (valeur efficace)
SAMU	Stand-Alone Merging Unit (concentrateur autonome)
S_r	Sortie assignée – puissance de sortie assignée
t_{dr}	Temps de retard assigné
U_m	Tension la plus élevée du matériel
U_{pr}	Tension primaire assignée

U_{sr}	Tension secondaire assignée
U_{sys}	Tension la plus élevée du réseau
VT	Voltage Transformer (transformateur de tension)
ZPA	Zero Period Acceleration (accélération à période nulle)
Z_{br}	Charge assignée
$\Delta\varphi$	Déphasage
ε	Erreur de rapport
ε_c	Erreur composite
φ_e	Erreur de phase

4 Conditions d'environnement normales et particulières

4.1 Généralités

Sauf spécification contraire, les transformateurs de mesure sont destinés à être utilisés à leurs caractéristiques assignées dans les conditions d'environnement normales énumérées en 4.2.

Si les conditions d'environnement réelles diffèrent de ces conditions d'environnement normales, les transformateurs de mesure doivent être conçus pour satisfaire aux conditions d'environnement particulières exigées par l'acheteur.

4.2 Conditions d'environnement normales

4.2.1 Température de l'air ambiant

Les transformateurs de mesure sont classés en trois catégories de température de fonctionnement, comme indiqué dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Catégories de température ambiante de fonctionnement

Catégorie	Température minimale °C	Température maximale °C
–5/40	–5	40
–25/40	–25	40
–40/40	–40	40

Dans le cas des transformateurs de mesure intégrés dans d'autres matériels (par exemple appareillage à isolation gazeuse, disjoncteur), il convient de spécifier les conditions de température du transformateur de mesure pour le matériel respectif.

La limite inférieure pour la température de stockage doit être choisie parmi les valeurs suivantes:

–5 °C, –25 °C ou –40 °C.

La limite supérieure pour la température de stockage doit être choisie parmi les valeurs suivantes:

+40 °C, +55 °C ou +70 °C.

4.2.2 Altitude

L'altitude ne dépasse pas 1 000 m.

4.2.3 Vibrations ou faibles secousses sismiques

Les vibrations qui se produisent après des opérations de manœuvre des disjoncteurs doivent être considérées comme des conditions d'environnement normales. Les vibrations dues aux faibles secousses sismiques sont considérées comme des conditions d'environnement particulières.

4.2.4 Exposition à la pollution

Pour les degrés de sévérité des conditions d'environnement sous condensation et pollution, se reporter à l'IEC TS 60815-1:2008, Article 8:

- pour les transformateurs de mesure à utiliser dans un appareillage sous enveloppe, la classe minimale de sévérité de pollution du site (SPS, Site Pollution Severity) est "Très faible";
- pour les transformateurs de mesure intérieurs des AIS, la classe SPS minimale est "Faible";
- pour les transformateurs de mesure extérieurs des AIS, la classe SPS minimale est "Élevée".

Pour les applications GIS, aucune sévérité de pollution n'est définie.

4.2.5 Autres conditions d'environnement pour les transformateurs de mesure intérieurs

Les autres conditions d'environnement considérées applicables aux transformateurs de mesure intérieurs sont les suivantes:

- a) l'influence du rayonnement solaire peut être négligée;
- b) les conditions d'humidité sont les suivantes:
 - la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 95 %;
 - la valeur moyenne de l'humidité relative sur une période d'un mois n'excède pas 90 %.

Dans ces conditions, de la condensation peut se former occasionnellement.

NOTE 1 De la condensation peut être attendue en cas de brusques variations de température en période de forte humidité.

NOTE 2 La condensation peut être évitée par une conception particulière de l'enveloppe, par une ventilation et un chauffage appropriés, ou par l'utilisation d'un déshumidificateur.

4.2.6 Autres conditions d'environnement pour les transformateurs de mesure extérieurs

Les autres conditions d'environnement considérées applicables aux transformateurs de mesure extérieurs sont les suivantes:

- a) la valeur moyenne de la température de l'air ambiant, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C;
- b) le rayonnement solaire jusqu'à un niveau de 1 000 W/m² (par une journée claire à midi) doit être pris en compte;
- c) la pression du vent ne dépasse pas 700 Pa (correspondant à une vitesse de vent de 34 m/s);
- d) il convient de tenir compte de la présence de condensation ou de précipitations;
- e) la couche de glace n'excède pas 20 mm.

4.2.7 Transformateurs de mesure avec des parties extérieures

Dans le cas d'un transformateur de mesure (IT) avec des parties intérieures et extérieures, le fabricant doit indiquer les parties du matériel qui sont situées à l'intérieur et celles à l'extérieur.

4.3 Conditions d'environnement particulières

4.3.1 Généralités

Lorsque des transformateurs de mesure sont destinés à être utilisés dans des conditions différentes des conditions d'environnement normales indiquées en 4.2, il convient que les exigences de l'acheteur se réfèrent à des critères normalisés spécifiés en 4.3.2 à 4.3.5.

4.3.2 Altitude

4.3.2.1 Influence de l'altitude sur l'isolation externe

À une altitude $> 1\,000$ m, la tension de décharge disruptive pour l'isolation externe est affectée par la réduction de la densité de l'air. Compte tenu de la capacité de tenue réduite de l'air, le niveau de tension de tenue exigé de l'isolation externe est spécifié en 6.6.2.

4.3.2.2 Influence de l'altitude sur l'échauffement

À une altitude $> 1\,000$ m, le comportement thermique d'un transformateur de mesure est affecté par la réduction de la densité de l'air. La réduction des limites d'échauffement est spécifiée en 6.4.2.

4.3.3 Température ambiante

Pour les installations situées à un endroit où la température ambiante peut s'écarter de manière significative de la plage normale de conditions d'environnement indiquée en 4.2.1, il convient que les plages préférentielles de températures minimale et maximale à spécifier soient de:

- a) -50 °C et $+40\text{ °C}$ pour les climats très froids;
- b) -5 °C et $+50\text{ °C}$ pour les climats très chauds.

NOTE 1 Dans certaines régions où l'apparition d'une atmosphère chaude et humide est fréquente, de brusques variations de température peuvent entraîner l'apparition de condensation, même en intérieur.

Pour la partie électronique d'un transformateur de mesure monté à l'intérieur d'une armoire intérieure ou extérieure, la température maximale préférentielle pour les climats très chauds est augmentée à $+55\text{ °C}$. Des températures allant jusqu'à $+70\text{ °C}$ peuvent également être spécifiées.

NOTE 2 La valeur de $+55\text{ °C}$ est compatible avec l'IEC 62271-1 et $+70\text{ °C}$ est compatible avec l'IEC 60255-1.

NOTE 3 Dans certaines conditions de rayonnement solaire, des mesures appropriées (par exemple la pose d'une toiture, la ventilation forcée) sont parfois nécessaires afin de ne pas dépasser l'échauffement spécifié. En variante, un fonctionnement en charge partielle peut être opéré.

Pour le stockage à un endroit où la température ambiante minimale peut s'écarter de manière significative de la plage normale de conditions d'environnement indiquée en 4.2.1, la limite inférieure pour la température de stockage peut être de -50 °C .

4.3.4 Vibrations ou faibles secousses sismiques

Les niveaux de vibrations susceptibles de se produire doivent être spécifiés par l'acheteur.

NOTE Les faibles secousses sismiques ne doivent pas être confondues avec les séismes.

4.3.5 Séismes

Pour les installations situées à des endroits où des séismes sont susceptibles de se produire, le niveau de sévérité pertinent doit être spécifié par l'acheteur conformément à I.2.2.

5 Caractéristiques assignées

5.1 Généralités

Les caractéristiques assignées des transformateurs de mesure, y compris de leur matériel auxiliaire s'il y a lieu, doivent être choisies parmi les caractéristiques suivantes (le cas échéant):

- a) tension la plus élevée du matériel (U_m);
- b) niveau d'isolement assigné;
- c) courant primaire assigné (I_{pr}) ou tension primaire assignée (U_{pr});
- d) courant secondaire assigné (I_{sr}) ou tension secondaire assignée (U_{sr}) ou rapport de transformation assigné (K_r);
- e) courant primaire étendu assigné (I_{ep}) et facteur de courant primaire étendu assigné (K_{ep});
- f) courant thermique assigné de courte durée (pour CT) (I_{th});
- g) courant dynamique assigné (pour CT) (I_{dyn});
- h) courant thermique permanent assigné (pour CT) (I_{cth});
- i) courant de court-circuit assigné (pour CT) (I_{psc});
- j) facteur de tension assigné (pour VT) (F_V);
- k) fréquence assignée (f_r);
- l) puissance de sortie assignée (S_r) ou charge assignée (Z_{br});
- m) classe de précision.

5.2 Caractéristiques assignées de tension

5.2.1 Tension la plus élevée du matériel (U_m)

Le Tableau 2 contient une liste de valeurs normales pour la tension la plus élevée du matériel.

Pour les installations exposées (qui sont soumises à une surtension d'origine atmosphérique), il est recommandé de choisir le niveau d'isolement coordonné le plus élevé.

La tension la plus élevée du matériel (U_m) doit être supérieure ou égale à la tension la plus élevée du réseau (U_{sys}).

Pour les CT pour traversées, aucun niveau d'isolement primaire n'est applicable.

NOTE Un CT pour traversée n'a pas d'isolement primaire pour lui-même. L'isolation fait partie du matériel HT sur lequel elle est montée.

Des recommandations concernant le choix du niveau d'isolement assigné en courant alternatif sont données dans l'IEC 60071-1: 2019, 5.5. Il convient également de tenir compte de la surtension pendant les manœuvres du sectionneur. Pour les applications en courant continu, voir les normes spécifiques au produit.

Tableau 2 – Niveaux d'isolement assignés des bornes primaires des transformateurs de mesure pour les applications en courant alternatif

Tension la plus élevée du matériel U_m (valeur efficace)	Tension de tenue à la fréquence industrielle assignée (valeur efficace)	Tension de tenue aux chocs de foudre assignée (valeur de crête)	Tension de tenue de choc de manœuvre assignée (valeur de crête)
kV	kV	kV	kV
3,6	10	20 40	
7,2	20	40 60	
12	28	60 75	
17,5	38	75 95	
24	50	95 125	
36	70	145 170	
52	95	250	
72,5	140	325	
100	185	450	
123	185 230	450 550	
145	230 275	550 650	
170	275 325	650 750	
245	395 460	950 1 050	
300	395 460	950 1 050	750 850
362	460 510	1 050 1 175	850 950
420	570 630	1 300 1 425	950 1 050
550	630 680	1 425 1 550	1 050 1 175
800	880 975	1 950 2 100	1 425 1 550
1 100	1 100	2 250 2 400 2 550	1 550 1 675 1 800
1 200	1 200	2 250 2 400 2 700	1 675 1 800 1 950

5.2.2 Mise à la terre du réseau

La mise à la terre envisagée du réseau peut être:

- a) réseau à neutre isolé;
- b) réseau à neutre mis à la terre:
 - 1) réseau à neutre directement relié à la terre;
 - 2) réseau à neutre non directement relié à la terre:
 - neutre effectivement à la terre, caractérisé par un facteur de court-circuit à la terre $\leq 1,4$;
 - neutre non effectivement relié à la terre caractérisé par un facteur de court-circuit à la terre $> 1,4$;
 - 3) réseau compensé par bobine d'extinction.

NOTE En cas de réseau à neutre non directement à la terre, la condition de mise à la terre effective est réalisée approximativement lorsque, pour toutes les configurations de réseau, le rapport de la réactance homopolaire sur la réactance directe est inférieur à 3 et le rapport de la résistance homopolaire à la réactance directe est inférieur à 1.

5.2.3 Valeurs normales pour la tension primaire assignée (U_{pr})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.2.4 Valeurs normales pour la tension secondaire assignée (U_{sr})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.2.5 Tension d'alimentation auxiliaire assignée (U_{ar})

5.2.5.1 Généralités

La tension d'alimentation auxiliaire assignée est la valeur de tension sur laquelle reposent les exigences d'une spécification. Elle est mesurée au niveau des bornes d'alimentation.

Le fabricant peut spécifier une plage de tensions d'alimentation auxiliaire.

5.2.5.2 Tension auxiliaire alternative assignée

Les valeurs normales des tensions alternatives sont indiquées ci-dessous:

110 V – 120 V – 220 V – 230 V

Les valeurs préférentielles sont celles qui sont soulignées.

La plage de fonctionnement préférentielle est comprise entre 80 % et 110 % de la tension assignée.

Les valeurs préférentielles de la fréquence d'alimentation en courant alternatif sont les suivantes:

50 Hz ou 60 Hz

Le fabricant peut spécifier une plage de fréquences d'alimentation auxiliaire.

5.2.5.3 Tension auxiliaire continue assignée

Les valeurs normales des tensions continues assignées sont indiquées ci-dessous:

24 V – 48 V – 110 V – 125 V – 220 V – 250 V

La plage de fonctionnement préférentielle est comprise entre 80 % et 110 % de la tension assignée.

En cas de distance importante entre la salle de commande et l'électronique du transformateur de mesure, une tension d'alimentation minimale moins élevée peut être spécifiée.

Pour des LPIT à alimentation en courant continu par l'IED associé, la consommation d'énergie maximale doit être limitée à 0,5 W. Cela inclut le convertisseur primaire et le convertisseur secondaire. Si le LPIT a des composants à phases compartimentées, cette limitation s'applique à chaque phase. Le niveau de tension normal de l'alimentation pour cette application est de 24 V en courant continu.

5.2.5.4 Exigences relatives à l'isolation des bornes d'alimentation

Les exigences d'isolation des bornes d'alimentation sont indiquées dans le Tableau 3. Les exigences s'appliquent des bornes d'entrée jusqu'à toute partie mise à la terre et/ou aux bornes de circuit voisines (le cas échéant).

Tableau 3 – Exigences d'isolation des bornes d'alimentation

Catégorie de surtension	Type d'isolation	Tension assignée d'isolement (valeur efficace ou courant continu)	Tenue en tension à la fréquence industrielle (1 min)	Tenue en tension de choc (1,2/50 µs)
III	Isolation principale	300 V	2,2 kV	4 kV
III	Isolation principale	600 V	3,25 kV	6 kV

NOTE La catégorie de surtension III et le concept d'isolation principale sont décrits dans l'IEC 60664-1. Les exigences du Tableau 3 prennent pour hypothèse que la protection contre les chocs électriques est mise en œuvre en utilisant l'isolation principale plus la mise à la terre.

5.3 Caractéristiques assignées de courant

5.3.1 Valeurs normales pour le courant primaire assigné (I_{pr})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.3.2 Valeurs normales pour le courant secondaire assigné (I_{sr})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.3.3 Valeurs normales pour le courant permanent thermique assigné (I_{cth})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.3.4 Valeurs assignées de courant de courte durée

5.3.4.1 Courant thermique assigné de courte durée (I_{th})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.3.4.2 Courant dynamique assigné (I_{dyn})

Voir les normes spécifiques au produit.

5.3.4.3 Courant assigné de défaut d'arc interne (I_{arc})

Si elle est spécifiée en option, la valeur du courant assigné de défaut d'arc interne (I_{arc}) doit être déclarée par le fabricant.

Sauf spécification contraire, un courant de défaut d'arc interne égal à 60 % du courant assigné de courte durée admissible de l'appareillage convient à la plupart des applications.

NOTE 1 L'expérience a montré que le choix de courants de défaut d'arc interne égaux à 100 % du courant de défaut du réseau exige statistiquement un degré de surdimensionnement du transformateur, car les niveaux de défaut phase locale-terre sont nettement inférieurs.

NOTE 2 Des valeurs supérieures à 60 % du courant de défaut du réseau peuvent être exigées en se basant sur le calcul du courant de défaut phase-terre à un endroit d'installation donné du transformateur.

5.4 Caractéristiques assignées diélectriques

5.4.1 Généralités

Pour la plupart des valeurs de la tension la plus élevée du matériel (U_m), il existe plusieurs niveaux d'isolement assignés pour permettre l'application de différents critères de performance ou des schémas de surtension. Il convient d'opérer ce choix en tenant compte du degré d'exposition aux surtensions à front rapide et à front lent, du type de mise à la terre du neutre du réseau et du type des dispositifs de limitation des surtensions.

Pour un CT pour traversée, l'isolement primaire n'est pas assuré par le CT lui-même, mais par l'intermédiaire du dispositif HT sur lequel il est monté (par exemple, GIS, câble HT, traversée HT). Aucun niveau d'isolement primaire n'est applicable à ces dispositifs.

5.4.2 Niveau d'isolement assigné des bornes primaires

Le niveau d'isolement assigné des bornes primaires d'un transformateur de mesure doit être fondé sur sa tension la plus élevée du matériel U_m , conformément au Tableau 2.

La borne primaire VT destinée à être mise à la terre en fonctionnement doit avoir une tension de tenue à la fréquence industrielle de 3 kV.

Pour les transformateurs de mesure montés sur GIS, les niveaux d'isolement assignés doivent être conformes à l'IEC 62271-203:2022, Tableau 2 et Tableau 3, isolation phase-terre.

5.4.3 Autres exigences relatives à l'isolement des bornes primaires

5.4.3.1 Décharges partielles

Le niveau de décharges partielles pour les applications en courant alternatif ne doit pas dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 4. La procédure d'essai est spécifiée en 7.3.2.2.

Le niveau de décharges partielles pour les applications en courant continu est défini dans les normes spécifiques au produit.

Tableau 4 – Tensions d'essai de décharges partielles et niveaux admissibles pour les applications en courant alternatif

Type de mise à la terre du réseau à neutre ^a	Type de transformateur de mesure	Tension d'essai de décharges partielles (valeur efficace) kV	Niveau maximal admissible des décharges partielles ^b	
			pC	
			Type d'isolation	
			Immersion dans un liquide ou un gaz	Solide
Réseau à neutre mis à la terre (facteur de court-circuit à la terre ≤ 1,4)	CT et VT mis à la terre	U_m $1,2 U_m/\sqrt{3}$	10 5	50 20
	VT non mis à la terre	$1,2 U_m$	5	20
Réseau à neutre isolé ou non effectivement relié à la terre (facteur de court-circuit à la terre > 1,4)	CT et VT mis à la terre	$1,2 U_m$ $1,2 U_m/\sqrt{3}$	10 5	50 20
	VT non mis à la terre	$1,2 U_m$	5	20
^a Si le réseau à neutre n'est pas défini, les valeurs indiquées pour les réseaux à neutre isolé ou non effectivement mis à la terre sont applicables. ^b Le niveau maximal admissible des décharges partielles est également applicable pour des fréquences d'essai différentes de la fréquence assignée.				

5.4.3.2 Tension de choc de foudre coupée

Les transformateurs de mesure avec $U_m \geq 72,5$ kV, autres que les dispositifs GIS, doivent pouvoir résister à une tension de choc de foudre coupée de polarité négative, appliquée à leurs bornes primaires, avec une valeur de crête égale à 115 % de la tension de tenue assignée au choc de foudre.

5.4.3.3 Capacité et facteur de dissipation diélectrique ($\tan\delta$)

Cette exigence s'applique uniquement aux transformateurs de mesure suivants avec $U_m \geq 72,5$ kV:

- isolement primaire consistant en une isolation liquide;
- isolation solide;
- isolation gazeuse indépendante avec système d'isolation à nivellement de capacité.

NOTE Cette mesure est principalement destinée à vérifier la teneur en eau et la pureté du matériau isolant.

Le mesurage de la capacité et du facteur $\tan\delta$ peut ne pas s'appliquer à certains types de transformateurs de tension. Pour la procédure de mesure, se reporter à la norme de produit correspondante.

Le facteur de dissipation diélectrique ($\tan\delta$) dépend du type de l'isolation et à la fois de la tension et de la température. Sa valeur à température ambiante ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Valeurs maximales de $\tan\delta$

Type d'isolation	Valeur maximale de $\tan\delta$ mesurée à $U_m / \sqrt{3}$
Papier imprégné d'huile	0,005
Film imprégné d'huile	0,001
Papier-film imprégné d'huile	0,002
Papier imprégné de gaz	0,003
Film imprégné de gaz	0,001
Isolation solide	a
Autres (par exemple: nouvelles technologies)	a
a À indiquer et à justifier par le fabricant	

5.4.4 Exigences d'isolement entre sections

Pour les bornes de chaque section, la tension de tenue à la fréquence industrielle assignée de l'isolement entre sections doit être de 3 kV.

L'exigence d'isolement entre les sections des enroulements secondaires est traitée en 5.4.5.

5.4.5 Exigences d'isolement pour les bornes secondaires et les composants basse tension**5.4.5.1 Exigences générales**

Pour les transformateurs de mesure inductifs et les CVT, la tension de tenue à la fréquence industrielle assignée entre les bornes secondaires et la terre doit être de 3 kV.

5.4.5.2 Exigences particulières relatives aux LPIT

Dans le cas des LPIT, les exigences d'isolement pour les bornes secondaires et les bornes de composants basse tension sont indiquées dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Tenue sur les bornes secondaires et les bornes des composants basse tension des LPIT

Système de transmission du LPIT	Tenue en tension à la fréquence industrielle	Tenue en tension de choc
Longueur de câble électrique ≤ 10 m	820 V	1,5 kV – 1,2/50 μ s
Longueur de câble électrique > 10 m	3 kV	5 kV – 1,2/50 μ s
Connecteurs optiques	NA	NA
NOTE Dans les cas où la longueur totale du câble électrique du système de transmission jusqu'au matériel secondaire ne dépasse pas 10 m et si l'impédance de terre associée est suffisamment basse, la tension en mode commun n'est pas censée dépasser une valeur sûre. Les niveaux indiqués à la première ligne sont réduits à une valeur conforme aux exigences définies dans l'IEC 60255-27:2013, Tableau C.3. Le niveau d'isolement satisfait aux exigences du système de protection par liaison équipotentielle (PEB, Protection by Equipotential Bonding) pour une tension de service de 150 V.		

5.4.5.3 Exigence de résistance d'isolement en courant continu

Si cela est demandé, la résistance d'isolement entre les bornes en court-circuit de chaque enroulement secondaire et la terre doit être supérieure ou égale à 200 M Ω lorsqu'elle est mesurée à une tension de 1 kV en courant continu. Si la tenue en tension à la fréquence industrielle est inférieure à 1 kV conformément au Tableau 6, la tension de mesure de l'isolement doit être réduite à 500 V en courant continu.

NOTE Le mesurage sur site de la résistance d'isolement peut présenter une valeur inférieure due à l'humidité ambiante.

5.5 Fréquence assignée (f_r)

Les valeurs normales de la fréquence assignée pour les applications en courant alternatif sont:

16,7 Hz – 50 Hz – 60 Hz – 400 Hz.

5.6 Caractéristiques assignées de sortie

5.6.1 Puissance de sortie assignée pour les transformateurs de mesure inductifs et les CVT

5.6.1.1 Généralités

Pour les transformateurs de mesure inductifs et les CVT, la puissance de sortie assignée S_r est exprimée en volts-ampères absorbés dans le circuit secondaire connecté à la charge assignée (Z_{br}), à un facteur de puissance spécifié et à la tension ou au courant secondaire assigné.

5.6.1.2 Valeurs de puissance de sortie assignée

Voir les normes de produits spécifiques.

5.6.1.3 Charge assignée des LPIT

Pour les LPIT, la valeur normale de la charge assignée est définie par une résistance de 2 M Ω en parallèle avec une capacité de 50 pF. Cette spécification présume que le câble de transmission fait partie intégrante du LPIT. La charge assignée représentée par le dispositif de mesure et/ou de protection est raccordée à l'extrémité du câble de transmission.

Pour une utilisation sur des dispositifs rétrocompatibles avec l'IEC 60044-8 ou des applications exigeant une immunité électromagnétique accrue, des valeurs de 2 k Ω /5 000 pF et 20 k Ω /500 pF sont acceptables.

NOTE Si nécessaire, un convertisseur d'impédance peut être intégré dans le LPIT pour l'adapter à la charge assignée normale.

5.6.2 Valeurs normales pour le temps de retard assigné des EIT (t_{dr})

Les valeurs normales pour le temps de retard assigné sont:

0 μ s – 50 μ s – 100 μ s – 500 μ s

En cas de signal numérique conforme à l'IEC 61869-9, le temps de retard assigné est nul, car l'unité de fusion fournit une référence temporelle absolue pour le mesurage du signal.

5.7 Exigences de précision

5.7.1 Généralités

Les limites d'erreur pour les performances en régimes établi et transitoire liées à chaque classe de précision ainsi que les essais associés sont définis dans les normes spécifiques au produit.

Pour un courant ou une tension très faible, l'erreur absolue maximale est définie dans la norme spécifique au produit.

Pour les classes de précision de mesure, les limites d'erreur doivent être fixées de 99 % à 101 % de la fréquence assignée (f_r). Pour les classes de précision de protection, les limites d'erreur doivent être fixées de 96 % à 102 % de la fréquence assignée (f_r). Pour la majorité des transformateurs de mesure, aucun essai supplémentaire n'est nécessaire. Dans le cas de technologies spécifiques ayant des problèmes connus, cela sera traité par la norme spécifique au produit.

5.7.2 Classes de précision nominales

Voir les normes de produits spécifiques.

5.7.3 Extension de classe de précision pour les harmoniques

Étant donné l'utilisation de dispositifs spécifiques (par exemple, charges non linéaires, chemins de fer), des harmoniques peuvent être générés sur le réseau. La quantité d'harmoniques dépend du réseau et du niveau de tension. Les harmoniques présentent un intérêt pour les applications de mesure, les mesurages de qualité de la tension et à des fins de protection. Les exigences de précision spécifiques pour chaque classe sont données en 5.7.4, 5.7.5 et 5.7.6.

Pour donner une brève indication des performances d'un matériel en ce qui concerne la réponse aux harmoniques, un identifiant d'extension de classe de précision peut être utilisé pour chaque classe de précision.

Les extensions de classe de précision pour les harmoniques sont:

- extension WB0 pour les fréquences harmoniques jusqu'à la 13^e harmonique;
- extension WB1 pour les fréquences harmoniques jusqu'à 3 kHz;
- extension WB2 pour les fréquences harmoniques jusqu'à 20 kHz;
- extension WB3 pour les fréquences harmoniques jusqu'à 150 kHz;
- extension WB4 pour les applications à large bande jusqu'à 500 kHz.

Les exigences relatives à la précision des harmoniques sont définies en 5.7.4.

Cet identifiant d'extension de classe de précision peut être ajouté à la classe de précision assignée, séparée par un tiret.

EXEMPLE 1 Classe de précision 0,5-WB1.

Les extensions peuvent être librement combinées avec toutes les classes de précision pour indiquer de meilleures performances aux hautes fréquences.

Pour tous les LPIT et SAMU, l'extension de classe de précision doit être au moins l'extension WB0, alors que les extensions WB1, WB2, WB3 et WB4 sont facultatives.

Pour les autres transformateurs de mesure, toutes les extensions sont facultatives.

Certaines extensions peuvent ne pas s'appliquer à un transformateur de mesure spécifique.

Le cas échéant, plusieurs extensions peuvent être déclarées pour le même IT.

EXEMPLE 2 Classe 0,2-WB1 et classe 0,5-WB2.

Les extensions s'appliquent aux transformateurs de tension ainsi qu'aux transformateurs de courant.

5.7.4 Exigences de précision concernant les harmoniques

5.7.4.1 Extension de classe de précision pour les applications de mesure

Le Tableau 7 fournit la limite d'erreur pour le niveau d'extension WB0.

Tableau 7 – Extension WB0 pour les harmoniques

Classe de précision	Erreur de rapport à basse fréquence		Erreur de rapport aux harmoniques basée sur f_r				Erreur de phase à basse fréquence	Erreur de phase aux harmoniques basée sur f_r			
	%		%				Degrés	Degrés			
	Couplage en courant continu ^a	1 Hz	De la 2 ^e à la 4 ^e	5 ^e et 6 ^e	De la 7 ^e à la 9 ^e	De la 10 ^e à la 13 ^e	1 Hz	De la 2 ^e à la 4 ^e	5 ^e et 6 ^e	De la 7 ^e à la 9 ^e	De la 10 ^e à la 13 ^e
0,1	+1 -100	+1 -30	± 1	± 2	± 4	± 8	± 45	± 1	± 2	± 4	± 8
0,2 – 0,2 S ^b	+2 -100	+2 -30	± 2	± 4	± 8	± 16	± 45	± 2	± 4	± 8	± 16
0,5 – 0,5 S ^b	+5 -100	+5 -30	± 5	± 10	± 20	± 20	± 45	± 5	± 10	± 20	± 20
1 – 3 – 5	+10 -100	+10 -30	± 10	± 20	± 20	± 20	± 45	± 10	± 20	± 20	± 20

^a Le couplage en courant continu est autorisé, mais non exigé.

^b Les classes de précision 0,2 S et 0,5 S s'appliquent uniquement aux transformateurs de courant.

La transition entre les points définis dans le Tableau 7 doit être une droite lorsqu'elle est représentée sur un schéma dont les deux axes sont en échelle logarithmique.

5.7.4.2 Extensions de classe de précision pour les applications à large bande

Selon l'EN 50160 et l'IEC 61000-4-7, les harmoniques allant jusqu'au 40^e ordre (voire jusqu'au 50^e ordre dans certains cas) sont mesurées à cette fin. L'IEC 61000-4-7 spécifie une limite pour les applications de mesure de la qualité. Les limites de précision pour les applications à large bande sont indiquées dans le Tableau 8.

Tableau 8 – Extensions de classe de précision pour les applications à large bande

Classe de précision	Erreur de rapport aux fréquences indiquées ci-dessous			Erreur de phase aux fréquences indiquées ci-dessous		
	%			Degrés		
WB1	$f_r < f \leq 1 \text{ kHz}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ kHz}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 1 \text{ kHz}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ kHz}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ kHz}$
WB2	$f_r < f \leq 5 \text{ kHz}$	$5 < f \leq 10 \text{ kHz}$	$10 < f \leq 20 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 5 \text{ kHz}$	$5 < f \leq 10 \text{ kHz}$	$10 < f \leq 20 \text{ kHz}$
WB3	$f_r < f \leq 20 \text{ kHz}$	$20 < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 20 \text{ kHz}$	$20 < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$
WB4	$f_r < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$150 < f \leq 500 \text{ kHz}$	$f_r < f \leq 50 \text{ kHz}$	$50 < f \leq 150 \text{ kHz}$	$150 < f \leq 500 \text{ kHz}$
0,1	± 1	± 2	± 5	± 1	± 2	± 5
0,2 – 0,2 S	± 2	± 4	± 5	± 2	± 4	± 5
0,5 – 0,5 S	± 5	± 10	± 10	± 5	± 10	± 20
1	± 10	± 20	± 20	± 10	± 20	± 20
Protection	± 10	± 20	± 30	-	-	-

Les classes de précision 0,2 S et 0,5 S s'appliquent uniquement aux transformateurs de courant.

NOTE 1 L'extension de classe de précision WB4 est destinée aux applications à très large bande, telles que les protections contre les ondes de propagation et les localisateurs de défauts, où les fréquences des signaux atteignent 500 kHz. L'utilisation de relais basés sur l'analyse des ondes de propagation est une solution prometteuse permettant une localisation très précise des défauts. Par exemple, les nouveaux dispositifs basés sur de tels principes sont réputés être beaucoup plus précis que les localisateurs de défaut classiques basés sur les réactances. Ce domaine est en constante évolution, mais les CT et VT adaptés à ces relais ont besoin d'une plage de fréquences très large, d'où la plage "étendue" jusqu'à 500 kHz. Aucun consensus sur les exigences générales concernant ce type d'application ne se dégage à la date de publication du présent document.

NOTE 2 Les relais à ondes de propagation sont spécialement conçus à cet effet et sont très particuliers (très grande largeur de bande, etc.). Bien que les IT de classe WB4 soient très souhaitables, les CT et les CVT inductifs ont souvent une largeur de bande insuffisante pour permettre aux relais et aux localisateurs de défauts de mesurer précisément les temps d'arrivée des ondes de propagation.

NOTE 3 Étant donné la largeur de bande élevée, les classes WB3 et WB4 ne sont pas compatibles avec les signaux numériques selon l'IEC 61869-9 et ses fréquences d'échantillonnage normalisées.

L'IEC 61850-7-4 introduit un mécanisme qui permet d'exposer les facteurs de compensation de la réponse de fréquence des IT à l'IED en utilisant le paramètre de correction de fréquence "CorCrv" contenu dans les nœuds logiques pour les transformateurs de courant et de tension (TCTR et TVTR). Les facteurs de correction sont fournis sous la forme d'un "paramètre de forme de courbe" (CSG, Curve, Shape Setting).

Il est recommandé aux fabricants de SAMU et de LPIT à interfaces numériques de fournir les facteurs de correction de fréquence spécifiques à un dispositif et prenant en charge le mécanisme de correction "CorCrv" de l'IEC 61850-7-4.

Lorsque les facteurs de correction de fréquence sont fournis, le fabricant doit spécifier la précision aux harmoniques après correction conformément au Tableau 8.

5.7.5 Exigences relatives aux harmoniques pour les classes de précision de protection des LPIT

Pour toutes les classes de précision de protection, les exigences relatives aux harmoniques du Tableau 9 sont obligatoires, celles du Tableau 8 étant facultatives. Les fréquences de 16,7 Hz ou 20 Hz sont pertinentes pour couvrir les influences possibles provenant des fréquences industrielles ferroviaires (pour les réseaux électriques présentant des fréquences assignées de 50 Hz ou 60 Hz).

Tableau 9 – Exigences relatives aux harmoniques pour les classes de précision de protection

Erreur de rapport à basse fréquence		Erreur de rapport aux fréquences et harmoniques indiquées ci-dessous, basée sur f_r		Erreur de phase à basse fréquence	Erreur de phase aux fréquences et harmoniques indiquées ci-dessous, basée sur f_r	
%				Degrés		
Couplage en courant continu	1 Hz	Composante 1/3 (16,7 Hz ou 20 Hz)	2 ^e à 5 ^e harmonique	1 Hz	Composante 1/3 (16,7 Hz ou 20 Hz)	2 ^e à 5 ^e harmonique
+10 −100	+10 −30	± 10	± 10	-	± 10	± 10

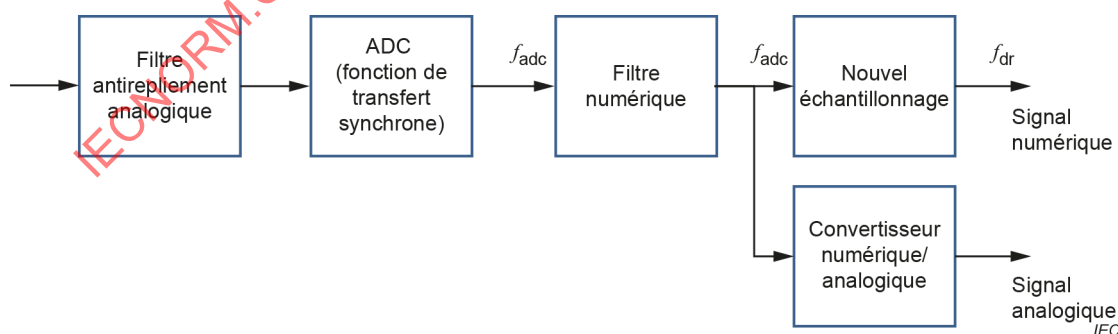
Les limites ci-dessus s'appliquent à la fois aux transformateurs de tension de faible puissance et aux transformateurs de courant de faible puissance.

5.7.6 Filtre antirepliement pour EIT utilisant le traitement de données numériques

Le traitement numérique et discret des données temporelles limite la largeur de bande à moins de la moitié de la fréquence d'échantillonnage numérique f_s (critère de Nyquist). Si différentes fréquences d'échantillonnage sont utilisées au cours du processus de traitement du signal, la fréquence la plus basse est le facteur limite. Pour les transformateurs de mesure à signal numérique, la fréquence la plus basse est généralement la fréquence d'échantillonnage de la sortie. Les fréquences supérieures à $f_s / 2$ sont reflétées dans les fréquences inférieures à $f_s / 2$. Du point de vue de la précision, les fréquences les plus critiques sont celles mises en correspondance avec la fréquence du réseau f_r . La première fréquence mise en correspondance avec f_r est:

$$f_s - f_r$$

Un exemple de système d'acquisition de données est représenté à la Figure 2, qui montre qu'un seul système peut utiliser plusieurs fréquences d'échantillonnage f_s indiquées dans ce cas par f_{adc} et f_{dr} .



Légende

f_{adc} taux d'échantillonnage de l'ADC

f_{dr} fréquence d'échantillonnage de la sortie

Figure 2 – Exemple de système d'acquisition de données numériques

Si f_{adc} est supérieure à f_{dr} , la largeur de bande du signal utilisable est inférieure à $f_{dr} / 2$. Sinon la largeur de bande du signal est inférieure à $f_{adc} / 2$.

Par conséquent, un filtre antirepliement doit être utilisé. Les exigences d'atténuation minimale du filtre antirepliement sont spécifiées en fonction de la classe de précision du transformateur de mesure et sont indiquées dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Exigences relatives au filtre antirepliement

Classe de précision	Atténuation du filtre antirepliement protégeant les fréquences jusqu'à la 13 ^e harmonique ($f_s - 13 \times f_r \leq f < f_s - f_r$)	Atténuation du filtre antirepliement protégeant la fréquence fondamentale ($f_s - f_r \leq f$)
0,1	≥ 17 dB	≥ 34 dB
0,2	≥ 14 dB	≥ 28 dB
0,5	≥ 10 dB	≥ 20 dB
1	≥ 10 dB	≥ 20 dB
Classes de protection	≥ 10 dB	≥ 20 dB

L'atténuation, exprimée en décibels (dB), est calculée d'après la formule suivante dans le cas de transformateurs de courant avec un signal secondaire analogique:

$$\alpha = 20 \lg \left(\frac{I_p}{I_{pr}} \times \frac{U_{sr}}{U_s} \right)$$

où

α est l'atténuation;

I_p est la valeur efficace du courant primaire à la fréquence f , avec $f \geq f_s - f_r$;

U_s est la valeur efficace de la tension secondaire à la fréquence miroir ($f_s - f_r$);

I_{pr} est le courant primaire assigné;

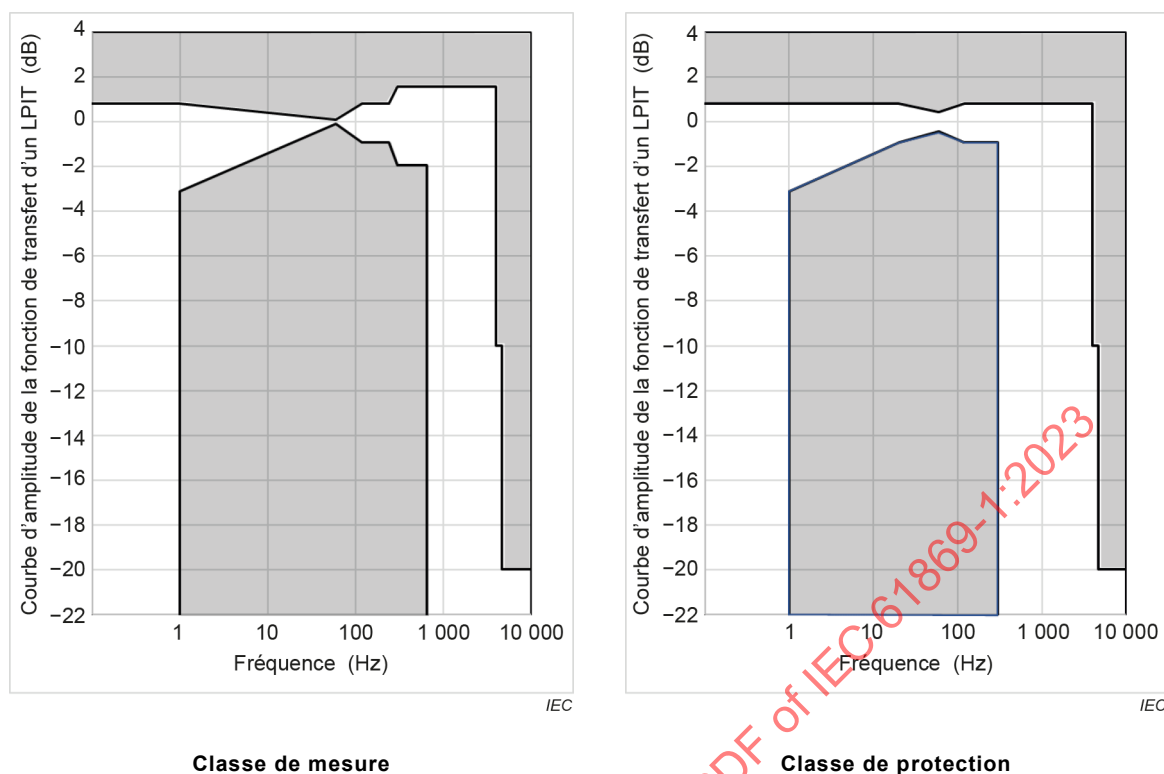
U_{sr} est la tension secondaire assignée.

Pour un signal secondaire numérique, l'atténuation est définie par:

$$\alpha = 20 \lg \frac{I_p}{I_s}$$

Pour des transformateurs de tension de faible puissance, remplacer le courant I_p par la tension U_p et le courant I_s par la tension U_s .

La Figure 3 représente les exigences combinées relatives à l'amplitude de la réponse en fréquence d'harmonique et d'antirepliement pour la classe de précision de mesure 1, WB0 et la classe de précision de protection 5P où $f_r = 60$ Hz et $f_s = 4\,800$ Hz.



Légende zone grise: zone interdite pour la réponse

Figure 3 – Exemple de gabarit de réponse en fréquence pour EIT à sortie numérique

Il est recommandé de fournir une courbe de réponse en fréquence type (phase et amplitude) avec la documentation. La courbe de réponse en fréquence peut être obtenue par simulation.

6 Conception et construction

6.1 Exigences relatives aux liquides utilisés dans le matériel

6.1.1 Généralités

Le fabricant doit spécifier le type du liquide à utiliser dans le matériel, ainsi que la quantité et la qualité exigées.

6.1.2 Qualité de liquide

Pour un matériel à huile minérale, l'huile isolante neuve doit être conforme à l'IEC 60296.

Pour un matériel à liquide de synthèse, le liquide isolant neuf doit être conforme à l'IEC 60867.

Pour un matériel à ester naturel liquide, le liquide isolant neuf doit être conforme à l'IEC 62770.

Pour un matériel à ester de synthèse liquide, le liquide isolant neuf doit être conforme à l'IEC 61099.

Pour un matériel à ester liquide modifié ou mélangé, le liquide isolant neuf doit être conforme à l'IEC 63012.

6.1.3 Indicateur de niveau de liquide

S'il est fourni, le dispositif destiné à contrôler le niveau de liquide doit indiquer si ce niveau se situe dans les limites de la plage admissible pendant le fonctionnement.

6.1.4 Étanchéité aux liquides

Aucune fuite de liquide n'est autorisée. Toute fuite de liquide représente un danger pour les performances diélectriques de l'isolation et peut être néfaste pour l'environnement.

6.2 Exigences relatives aux gaz utilisés dans le matériel

6.2.1 Généralités

Le fabricant doit spécifier le type du gaz à utiliser dans le matériel, ainsi que la quantité et la qualité exigées.

6.2.2 Qualité de gaz

Le SF₆ (hexafluorure de soufre) neuf doit être conforme à l'IEC 60376. Le SF₆ usagé doit être conforme à l'IEC 60480.

Le SF₆ doit être manipulé conformément à l'IEC 62271-4:2022, Articles 4 et 5.

La teneur en humidité maximale autorisée dans les transformateurs de mesure à gaz à la pression de remplissage assignée doit être telle que le point de rosée ne soit pas supérieur à -5 °C^1 pour un mesurage à 20 °C . Une correction appropriée doit être appliquée pour un mesurage à d'autres températures. Pour le mesurage et la détermination du point de rosée, se reporter à l'IEC 60376 pour du SF₆ neuf et à l'IEC 60480 pour du SF₆ usagé. Ceci s'applique à tout instant pendant la durée de vie du transformateur de mesure.

NOTE De nouveaux gaz isolants sont introduits et utilisés aujourd'hui. La normalisation est à l'étude, sans que la maturité soit encore suffisante pour une prise en compte.

6.2.3 Dispositif de surveillance du gaz

Les transformateurs de mesure à isolation gazeuse avec une pression de service minimale supérieure à 0,2 MPa doivent être équipés d'un dispositif de surveillance de la pression ou de la densité. Les dispositifs de surveillance du gaz peuvent être fournis seuls ou avec le matériel associé.

6.2.4 Étanchéité au gaz

6.2.4.1 Généralités

Les spécifications de 6.2.4.2 s'appliquent à tous les transformateurs de mesure qui utilisent le gaz comme un milieu isolant, autre que l'air à la pression atmosphérique.

6.2.4.2 Systèmes sous pression fermés pour le gaz

Le fabricant doit déclarer la caractéristique d'étanchéité d'un système sous pression fermé ainsi que la fréquence de renouvellement en conditions d'environnement normales. Cette fréquence doit être d'au moins 10 ans pour la planification de la maintenance.

L'étanchéité des systèmes sous pression fermés pour le gaz est spécifiée par le taux de fuite relatif F_{rel} de chaque compartiment.

¹ Cette valeur est compatible avec les autres normes relatives aux équipements haute tension.

Les valeurs normalisées du taux de fuite relatif sont les suivantes:

- 0,5 % par an pour le SF₆ et les mélanges de SF₆;
- 1 % par an pour les autres gaz.

Un taux de fuite accru pendant les essais aux températures extrêmes (si ces essais sont exigés par les normes applicables) est acceptable, à condition que ce taux reprenne une valeur ne dépassant pas la valeur maximale admissible lorsque la température est revenue à la température normale de l'air ambiant (F_p). Le taux de fuite temporairement admissible ne doit pas excéder les valeurs indiquées dans le Tableau 11.

Tableau 11 – Taux de fuite temporairement admissibles pour les systèmes à gaz

Classe de température °C	Taux de fuite temporairement admissible
+40 et +50	$3 F_p$
température ambiante	F_p
–5 / –10 / –15 / –25 / –40	$3 F_p$
–50	$6 F_p$

6.2.5 Dispositif limiteur de pression

Pour des raisons de sécurité, chaque compartiment des transformateurs de mesure doit être équipé d'un dispositif limiteur de pression.

Ce dispositif limiteur de pression doit être équipé d'un déflecteur afin de contrôler la direction d'émission de manière à réduire le plus possible le danger pour un opérateur travaillant dans des endroits accessibles ou pendant le fonctionnement normal.

Afin d'éviter toute opération de décharge de pression en conditions normales, une différence suffisante est nécessaire entre la pression de service du dispositif limiteur de pression et la pression de calcul.

NOTE Cette exigence est conforme à l'IEC 62271-203.

6.3 Exigences relatives aux matériaux solides utilisés dans le matériel

Les spécifications relatives aux matières organiques utilisées pour les transformateurs de mesure (c'est-à-dire résine époxy, résine polyuréthane, résine époxy-cycloaliphatique, matériau composite, etc.), pour les installations intérieures ou extérieures, sont données dans la série IEC 60455.

NOTE Les essais des transformateurs de mesure complets tenant compte de phénomènes tels que l'inflammabilité et le vieillissement ne sont pas encore normalisés. L'IEC 62217 peut être utilisée comme guide pour les isolateurs HT polymères.

6.4 Exigences relatives à l'échauffement des parties et des composants

6.4.1 Généralités

L'échauffement des enroulements, des circuits magnétiques et de toutes les autres parties des transformateurs de mesure ne doit pas dépasser la valeur appropriée indiquée dans le Tableau 12, lorsque les transformateurs de mesure fonctionnent dans les conditions assignées spécifiées. Ces valeurs sont basées sur les conditions d'environnement spécifiées en 4.2.1.

L'échauffement de l'enroulement est limité par la classe thermique la plus basse soit de l'enroulement lui-même, soit du milieu environnant dans lequel il est noyé.

Si les transformateurs de mesure sont utilisés à l'intérieur d'une enveloppe, une attention particulière doit être accordée à la température atteinte par les agents de refroidissement entourant l'enveloppe.

Si des températures ambiantes dépassant les valeurs indiquées en 4.2.1 sont spécifiées, l'échauffement admissible indiqué dans le Tableau 12 doit être réduit d'une valeur égale à l'excès de température ambiante.

Tableau 12 – Limites de température et d'échauffement pour les différents matériaux, parties et diélectriques des transformateurs de mesure

Partie du transformateur de mesure	Valeur maximale	
	Température T °C	Échauffement ΔT à une température ambiante ne dépassant pas 40 °C K
1) Transformateurs de mesure à isolation liquide		
– huile supérieure	90	50
– huile supérieure, hermétiquement scellée	95	55
– enroulement moyen	100	60
– enroulement moyen, hermétiquement scellé	105	65
– autres parties métalliques en contact avec l'huile	comme pour les enroulements	comme pour les enroulements
2) Transformateurs de mesure à isolation gazeuse ou solide		
– enroulement (moyen) en contact avec des matériaux isolants des classes thermiques suivantes (°C) ^a		
• 90 (Y)	85	45
• 105 (A)	100	60
• 120 (E)	115	75
• 130 (B)	125	85
• 155 (F)	150	110
• 180 (H)	175	135
– autres parties métalliques en contact avec des matériaux isolants des classes thermiques ci-dessus	comme pour les enroulements	comme pour les enroulements

Partie du transformateur de mesure	Valeur maximale	
3) Connexion (bornes incluses), boulonnée ou équivalente		
Cuivre nu, alliage de cuivre nu ou alliage d'aluminium nu		
– dans un OG ^b	100	60
– dans un NOG ^c	115	75
– dans l'huile	100	60
Argentée ou nickelée		
– dans un OG ^b	115	75
– dans un NOG ^c	115	75
– dans l'huile	100	60
Étamée		
– dans un OG ^b	105	65
– dans un NOG ^c	105	65
– dans l'huile	100	60

NOTE Par rapport à l'IEC 60085, la température maximale des enroulements a été réduite de 5 K pour tenir compte de la différence entre la température moyenne obtenue par la méthode d'augmentation de la résistance et la température au point chaud.

^a Les définitions des classes thermiques sont conformes à l'IEC 60085.

^b Gaz oxydant (OG, Oxidizing Gas): gaz réactif qui peut accélérer le vieillissement des contacts par des phénomènes de corrosion (présence d'humidité) ou d'oxydation (principalement dus au milieu de l'air ambiant comme l'oxygène). Les OG isolants types sont l'air ambiant et l'air sec.

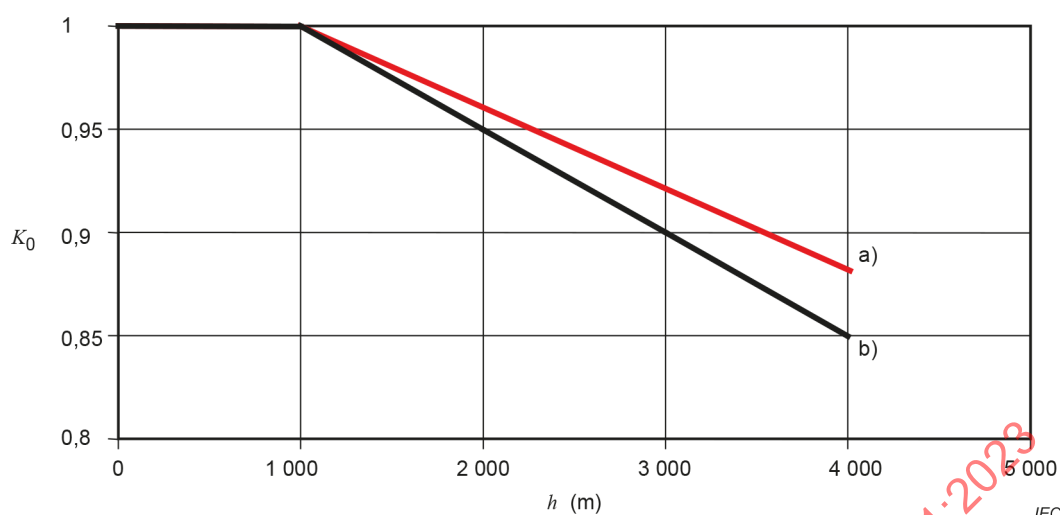
^c Gaz non oxydant (NOG, Not Oxidizing Gas): gaz non réactif qui n'accélère pas le vieillissement des contacts par corrosion ou oxydation, car la pureté de ces gaz est contrôlée. Les NOG types utilisés aujourd'hui sont SF₆, N₂, CO₂ et CF₄. Ils peuvent être utilisés purs ou sous la forme d'un mélange de différents NOG.

Lorsque les connexions ont différents revêtements ou qu'une partie de la connexion est en matériau nu, les températures et les échauffements admissibles doivent être ceux du matériau de surface ayant la valeur la plus élevée admise au point 3 du Tableau 12.

NOTE Ceci est conforme à l'IEC/TR 60943.

6.4.2 Influence de l'altitude sur l'échauffement

Si un transformateur de mesure est spécifié pour fonctionner à une altitude supérieure à 1 000 m et soumis à essai à une altitude inférieure à 1 000 m, les limites d'échauffement ΔT indiquées dans le Tableau 12 doivent être réduites par le facteur de correction d'altitude K_0 comme indiqué à la Figure 4.



Légende

- a) transformateurs de mesure à isolation liquide: $K_0 = 1 - (h - 1\,000) \times 0,000\,04$
 b) transformateurs de mesure à isolation gazeuse et solide: $K_0 = 1 - (h - 1\,000) \times 0,000\,05$

Figure 4 – Facteur de correction d'altitude pour l'échauffement

La correction d'altitude pour l'échauffement est $\Delta T_h = K_0 \Delta T_{h0}$, où

- ΔT_h est l'échauffement à l'altitude h ;
- ΔT_{h0} est la limite d'échauffement ΔT spécifiée dans le Tableau 12 pour les altitudes $h_0 \leq 1\,000$ m.

6.5 Exigences relatives à la mise à la terre du matériel

6.5.1 Généralités

La carcasse de chaque matériel, si elle est destinée à être mise à la terre, doit être équipée d'une borne de terre fiable en vue du raccordement à un conducteur de terre adapté aux conditions de défaut phase-terre. Le point de connexion doit être marqué du symbole "terre", conformément au symbole IEC 60417-5019

6.5.2 Mise à la terre de l'enveloppe

6.5.2.1 Enveloppe des GIS

L'enveloppe des transformateurs de mesure pour les appareillages à isolation gazeuse (GIS) doit être reliée à la terre. Toutes les parties métalliques qui n'appartiennent pas à un circuit principal ou auxiliaire doivent être mises à la terre.

6.5.2.2 Enveloppe des composants basse tension

Tous les composants basse tension des LPIT (convertisseurs, par exemple) installés au potentiel à la terre doivent être équipés d'une connexion de terre fiable.

6.5.3 Continuité électrique

La continuité des circuits de mise à la terre doit être assurée en tenant compte des contraintes thermiques et électriques dues au courant de défaut maximal attendu.

Pour l'interconnexion des enveloppes, des carcasses, etc., une fixation (par boulonnage ou soudage, par exemple) est acceptable pour garantir la continuité électrique.

6.6 Exigences relatives à l'isolation externe

6.6.1 Pollution

Pour les transformateurs de mesure des AIS, la ligne de fuite spécifique unifiée de référence (RUSCD, Reference Unified Specific Creepage Distance) doit être choisie en fonction de la classe de sévérité de pollution du site (SPS); voir Tableau 13.

Les lignes de fuite nécessaires sont déterminées en multipliant la RUSCD par une valeur comme suit:

$$\frac{U_m}{\sqrt{3}} \times K_{ad} \text{ (pour les CT et les VT phase-terre)}$$

$$U_m \times K_{ad} \text{ (pour les VT entre phases)}$$

où K_{ad} est le facteur de correction en fonction du diamètre moyen de l'isolateur (voir l'IEC TS 60815-2:2008, 10.3, pour les isolateurs céramiques, ou l'IEC TS 60815-3:2008, 10.2, pour les isolateurs polymères).

En cas de forme irrégulière de la partie isolante, un diamètre moyen équivalent doit être considéré pour déterminer K_{ad} . Pour le calcul de ce diamètre moyen équivalent, se reporter à l'Annexe G.

Tableau 13 – Lignes de fuite spécifiques par classe de sévérité de pollution de site, telles que définies dans l'ancienne publication

Classe SPS	RUSCD basée sur $U_m/\sqrt{3}$ mm/kV	Niveau de pollution	Ligne de fuite spécifique minimale basée sur U_m mm/kV
IEC TS 60815-1	IEC TS 60815-2 IEC TS 60815-3	IEC TR 60815:1986 Tableau II	IEC TR 60815:1986 Tableau II
a – Très faible	22,0	-	12,7
b – Faible	27,8	I	16
c – Moyenne	34,7	II	20
d – Élevée	43,3	III	25
e – Très élevée	53,7	IV	31

6.6.2 Altitude

Les tensions de tenue de coordination sont considérées comme valides jusqu'à une altitude de 1 000 m. Pour tenir compte de la tenue réduite de l'air sur un site d'installation avec une altitude supérieure à 1 000 m, le niveau de tenue d'essai de type exigé pour l'isolation externe dans les conditions atmosphériques de référence normales doit être déterminé en multipliant la tension de tenue exigée sur site par un facteur de correction d'altitude K_a . Le facteur de correction ne doit pas être appliqué pour les essais individuels de série, car un essai individuel de série valide uniquement la qualité de l'isolation interne.

Pour les applications en courant alternatif, le facteur de correction d'altitude doit être déterminé conformément à l'IEC 60071-2:2018, 6.2.2, en utilisant la Formule H.13 de l'IEC 60071-2:2018, Annexe H, comme suit:

$$K_a = e^{\frac{m(H-1000)}{8150}}$$

où

H est l'altitude au-dessus du niveau de la mer (en mètres);

m est défini comme suit:

$m = 1,0$ pour les tensions de tenue aux chocs de foudre de coordination;

$m = 1,0$ pour les tensions de tenue à la fréquence industrielle en cas d'essais sous pluie;

m est conforme à la Figure 5 pour les tensions de tenue de choc de manœuvre de coordination.

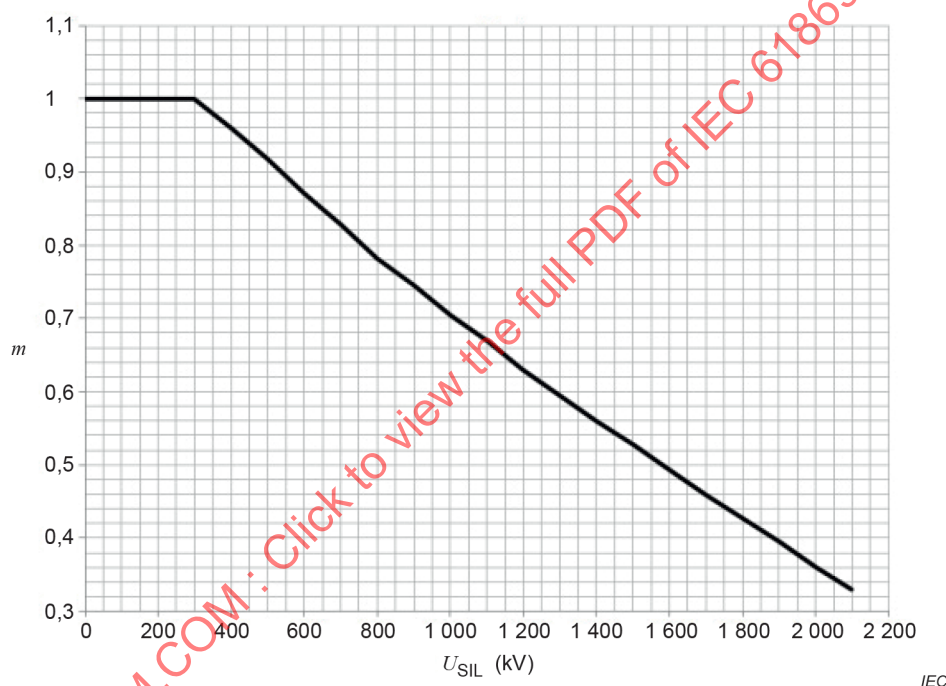


Figure 5 – Facteur m pour l'essai de tenue de tension de choc de manœuvre (U_{SIL})

Pour les applications en courant continu, voir les normes spécifiques au produit.

Pour vérifier les tensions de tenue corrigées pour l'altitude, la distance d'arc du transformateur de mesure nécessite d'être augmentée. Si l'augmentation de la distance d'arc est basée sur une distance d'arc vérifiée d'un produit similaire, elle peut être considérée comme valide sans autre essai.

Si les tensions de tenue corrigées pour l'altitude ne peuvent pas être validées par une distance d'arc augmentée d'un produit similaire, l'isolation externe doit être soumise à essai conformément à l'IEC 60071-2:2018, 7.3.7.

NOTE Il est considéré que l'altitude n'affecte pas l'isolation interne.

6.7 Exigences mécaniques

Ces exigences s'appliquent aux transformateurs de mesure indépendants avec $U_m \geq 72,5$ kV.

Dans le cas de transformateurs de mesure montés sur des GIS, aucune force extérieure n'est considérée comme étant appliquée aux bornes HT. Ces dispositifs ne sont pas soumis à ces exigences mécaniques.

Les transformateurs de mesure doivent être capables de supporter les charges de tenue statique indiquées dans le Tableau 14.

Les valeurs d'essai définies dans le Tableau 14 incluent une marge de sécurité par rapport aux forces statiques dues aux branchements. Cette marge de sécurité est destinée à couvrir d'autres charges externes non permanentes de différente nature (par exemple: vent, glace, courts-circuits) qui peuvent se produire en fonctionnement, en tenant compte du fait qu'une combinaison des valeurs extrêmes de toutes les charges électriques et environnementales entraînerait des marges inutilement élevées.

Tableau 14 – Charges de tenue statique maximales

Tension la plus élevée du matériel U_m kV	Charge de tenue statique F N		
	Transformateurs de mesure avec:		
	bornes de tension	bornes de courant	
		Classe de charge I	Classe de charge II
72,5 à 100	500	1 250	2 500
123 à 170	1 000	2 000	3 000
245 à 362	1 250	2 500	4 000
420 à 800	1 500	4 000	5 000
> 800	2 000	5 000	6 000

Il convient que la charge due aux branchements des bornes agissant en conditions de fonctionnement normales ne dépasse pas 50 % de la charge de tenue statique donnée dans le Tableau 14.

Pour les transformateurs de mesure avec bornes à traversée de courant, il convient que la combinaison de la charge des branchements et de la charge dynamique due aux courts-circuits ne dépasse pas 70 % de la charge de tenue statique indiquée dans le Tableau 14.

Pour certaines applications, il peut être nécessaire d'établir la résistance à la rotation des bornes primaires. Dans ce cas, le moment à appliquer pendant l'essai doit être convenu entre le fabricant et l'acheteur.

Dans le cas des transformateurs intégrés dans d'autres matériels (par exemple, ensembles d'appareillages), il convient que les charges de tenue statique du matériel respectif ne soient pas réduites par le processus d'intégration.

6.8 Chocs coupés multiples sur les bornes primaires

Si cela est spécifié par l'acheteur, les bornes primaires des transformateurs de mesure à isolation liquide avec $U_m \geq 300$ kV doivent résister à des chocs coupés multiples conformément à 7.4.1.

NOTE 1 Les exigences et les essais font référence au comportement des blindages internes et des connexions transportant des courants transitoires à haute fréquence, principalement dû aux manœuvres du sectionneur.

Avant et après l'essai, l'analyse des gaz dissous pour l'huile minérale doit être conforme au Tableau 15.

NOTE 2 Les niveaux maximaux de gaz dans l'huile pour les autres types d'huiles ne sont pas disponibles au moment de la publication.

Tableau 15 – Niveau maximal de gaz dans l'huile dans les transformateurs de mesure

Gaz	Concentration μl/l		
	Avant essai	Augmentation maximale acceptable après essai	Niveau minimal détectable
Hydrogène	30	15	3
Méthane	5	5	0,1
Acétylène	Non détectable	1	0,1

La procédure d'échantillonnage de l'huile doit être conforme à l'IEC 60475.

La procédure d'analyse de l'huile doit être conforme à l'IEC 61181.

6.9 Exigences relatives à la protection contre les défauts d'arc interne

Les transformateurs de mesure avec $U_m \geq 72,5$ kV, pour lesquels la classe de protection contre les défauts d'arc interne est spécifiée par l'acheteur, doivent pouvoir résister à un essai d'arc interne conformément à 7.4.3.

NOTE L'essai d'arc interne est un essai destructif destiné à vérifier qu'un transformateur de mesure satisfait à la classe de protection contre les arcs internes du Tableau 16. Un essai d'arc interne n'est pas une garantie contre le confinement dans toutes les conditions de court-circuit, mais un essai pour démontrer la conformité à un niveau de sécurité convenu. De plus, l'essai d'arc interne ne couvre ni ne garantit les performances si l'emplacement de l'arc est différent de celui utilisé pendant l'essai.

Il doit être considéré que la conformité à ces exigences est obtenue si le transformateur de mesure réussit l'essai décrit en 7.4.3 où la durée de défaut d'arc et les critères de performance sont conformes au Tableau 16.

Tableau 16 – Durée de défaut d'arc et critères de performance

Durée de défaut d'arc s	Classe IA1	Classe IA2
0,3	Rupture de l'enveloppe et feu autorisé, mais toutes les parties projetées à confiner dans la zone de référence prescrite. Le papier ou le film isolant et les fluides inflammables ne sont pas pris en compte.	Aucune fracture de l'isolateur ou des enveloppes, à l'exception du fonctionnement d'un dispositif limiteur de pression approprié. Aucune projection latérale d'objets ou de fluides nocifs. Aucune émission de liquides brûlants.

6.10 Degrés de protection conférés par les enveloppes

6.10.1 Généralités

Les degrés de protection doivent être spécifiés conformément à l'IEC 60529, pour toutes les enveloppes des transformateurs de mesure contenant des parties actives, ainsi que pour les enveloppes contenant les circuits de commande et/ou auxiliaires basse tension appropriés.

Les parties suivantes sont considérées comme une enveloppe, si elles existent:

- coffret(s) d'extrémité basse tension;
- habillage ou armoire pour convertisseur primaire ou secondaire ou pour concentrateur;
- matériel de compensation pour la dilatation thermique du liquide.

NOTE D'autres parties peuvent être considérées comme des enveloppes conformes à la définition.

6.10.2 Protection contre l'accès aux parties dangereuses et protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers et d'eau

Le degré de protection conféré par l'enveloppe des circuits de commande et/ou auxiliaires doit être indiqué par l'une des désignations spécifiées dans l'IEC 60529.

Le premier chiffre caractéristique indique le degré de protection des personnes conféré par l'enveloppe, ainsi que le degré de protection des transformateurs de mesure contenus à l'intérieur de l'enveloppe contre la pénétration de corps solides étrangers.

L'IEC 60529 donne le détail des corps qui sont "exclus" de l'enveloppe pour chaque degré de protection. Le terme "exclus" implique que les corps solides étrangers ne pourront pas pénétrer complètement dans l'enveloppe et qu'une partie du corps ou d'un objet tenu par une personne ne pourra pas pénétrer dans l'enveloppe ou, si c'est le cas, qu'un dégagement suffisant sera préservé et qu'aucune partie dangereuse ne sera touchée.

Cette exigence ne s'applique pas aux installations où le personnel ne peut pas accéder au transformateur de mesure ou aux parties sans mettre préalablement hors tension le transformateur et le sécuriser par quelques moyens commandés (par exemple, verrouillage, instructions d'utilisation documentées). Dans ce cas, le besoin de telles mesures de sécurité externes au transformateur de mesure doit être clairement énoncé dans la documentation de produit.

NOTE En général, la protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses du circuit actif, ou du circuit de commande ou auxiliaire des transformateurs de mesure, et la protection des transformateurs de mesure contre les corps étrangers peuvent être assurées par l'entourage immédiat des transformateurs de mesure, comme la clôture du poste, le bâtiment, l'enveloppe du module, etc.

Le second chiffre caractéristique indique le degré de protection conféré par l'enveloppe par rapport aux effets dangereux de l'eau, d'origine climatique ou autre.

Pour les transformateurs de mesure pour installation en intérieur, aucun degré de protection n'est spécifié contre les effets néfastes dus à la pénétration d'eau.

Le degré de protection minimal recommandé pour les enveloppes de commande et/ou auxiliaires basse tension des transformateurs de mesure pour l'intérieur est IP20, selon l'IEC 60529.

Le degré de protection minimal recommandé pour les enveloppes de commande et/ou auxiliaires basse tension des transformateurs de mesure pour l'extérieur est IP44, selon l'IEC 60529.

6.10.3 Protection de l'enveloppe contre les impacts mécaniques en conditions de fonctionnement normales

Le niveau de protection recommandé contre les effets des impacts mécaniques est IK07, selon l'IEC 62262. Pour une installation extérieure, les acheteurs peuvent spécifier des niveaux de choc plus élevés. Les isolateurs ne sont pas concernés par cette exigence.

Les essais correspondants sont spécifiés en 7.2.7.2.

6.11 Compatibilité électromagnétique (CEM)

6.11.1 Généralités

Pour les transformateurs de mesure, les exigences de CEM suivantes sont spécifiées:

- les exigences relatives à l'immunité (6.11.2);
- les exigences relatives aux émissions (6.11.3);
- les exigences relatives aux surtensions transmises (6.11.4);
- les exigences relatives à la tension de perturbation radioélectrique (RIV, Radio Interference Voltage), applicables aux parties haute tension du matériel (6.11.5).

Voir les normes spécifiques au produit pour l'applicabilité des essais individuels.

6.11.2 Exigences relatives à l'immunité

Le cas échéant, (selon les normes de produits spécifiques), l'IT doit respecter les exigences et les niveaux d'essai associés ainsi que les critères d'évaluation définis dans le Tableau 17.

Les critères d'acceptation pour les essais sont définis dans le Tableau 18.

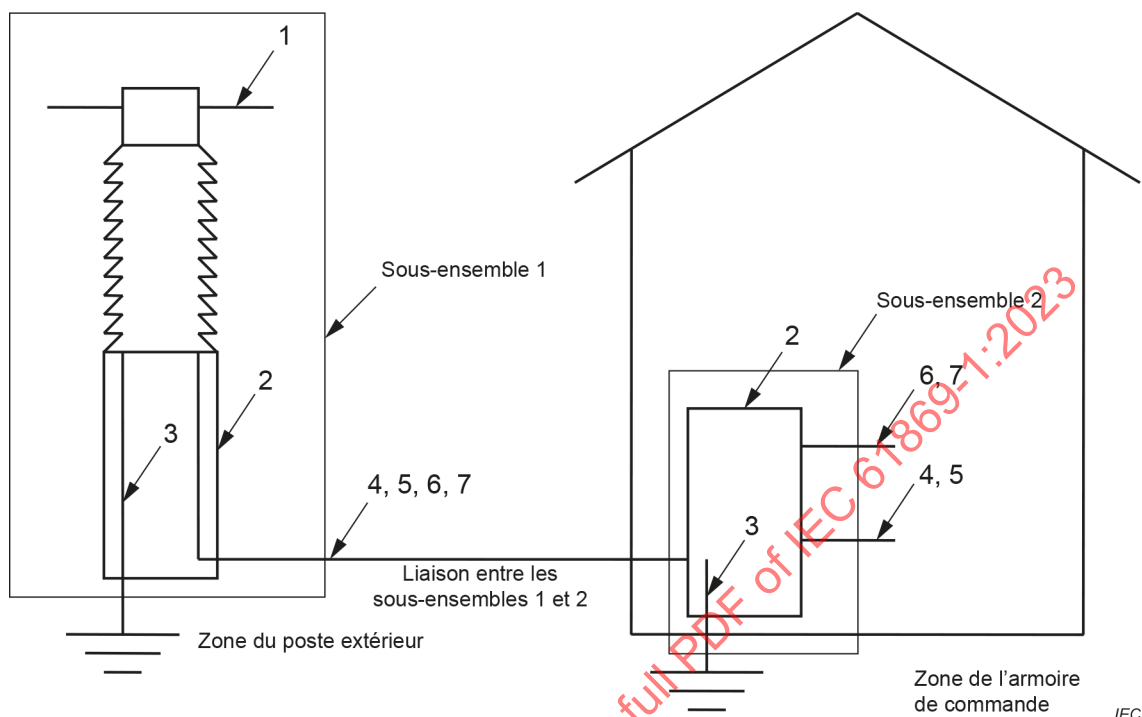
Les essais CEM sur les bornes relatives à la feuille de données électroniques du transducteur (TEDS, Transducer Electronic Data Sheet) sont couverts par l'IEC 61869-16².

² En cours d'élaboration au moment de la publication.

Tableau 17 – Exigences relatives à l'immunité et niveaux d'essai

Essai	Norme de référence	Niveau d'essai	Accès d'essai ^c	Critères d'évaluation
Essai d'harmonique et d'interharmonique	IEC 61000-4-13	Classe 2	6	A
Essai de variation lente de la tension	IEC 61000-4-11	De –20 % à +10 %	6	A
Essai de variation lente de la tension	IEC 61000-4-29	De –20 % à +10 %	7	A
Essai d'immunité aux creux de tension et coupures brèves	IEC 61000-4-11	Creux de 100 % pendant 0,5 cycle à 25 cycles ^a Creux de 30 % pendant 0,5 s Creux de 60 % pendant 0,2 s Coupure pendant 5 s	6	A C C C
Essai d'immunité aux creux de tension et coupures brèves	IEC 61000-4-29	Creux de 100 % pendant 10 ms à 1 000 ms ^b Creux de 30 % pendant 0,5 s Creux de 60 % pendant 0,2 s Coupure pendant 5 s	7	A C C C
Essai d'immunité aux ondes de choc	IEC 61000-4-5	Phase-terre: 4 kV Entre phases: 2 kV	4,5,6,7	B
Essai d'immunité aux perturbations conduites (150 kHz à 80 MHz)	IEC 61000-4-6	Niveau 3	3,4,5,6,7	A
Essai d'immunité aux perturbations conduites (0 Hz à 150 kHz)	IEC 61000-4-16	Niveau 4	Accès d'entrée binaires uniquement	A
Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salve	IEC 61000-4-4	Niveau 4	3,4,5,6,7	B
Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie	IEC 61000-4-18	Niveau 3	4,5,6,7	B
Essai d'immunité aux décharges électrostatiques	IEC 61000-4-2	Niveau 3	2	B
Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau	IEC 61000-4-8	Niveau 4 Le matériel monté sur l'appareillage ou le poste extérieur doit satisfaire au niveau 5	2	A
Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel	IEC 61000-4-9	Niveau 4 Le matériel monté sur l'appareillage ou le poste extérieur doit satisfaire au niveau 5	2	B
Essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti	IEC 61000-4-10	Niveau 5	2	B
Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques	IEC 61000-4-3	Niveau 3	2	A
Essai d'immunité à l'ondulation de tension sur alimentation en courant continu	IEC 61000-4-17	15 % de la valeur assignée en courant continu	7	A
Essai d'arrêt et de démarrage progressifs		Rampe de 60 s	7	C
^a Le fabricant doit déclarer la durée la plus longue qui satisfait aux critères d'acceptation parmi les valeurs suivantes: 0,5 cycle, 1 cycle, 2,5 cycles, 5 cycles, 10 cycles ou 25 cycles. ^b Le fabricant doit déclarer la durée la plus longue qui satisfait aux critères d'acceptation parmi les valeurs suivantes: 10 ms, 20 ms, 30 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 500 ms ou 1 000 ms. ^c Pour la description des accès, se reporter à la Figure 6 et à la Figure 7.				

Si un environnement CEM plus sévère est attendu (postes à isolation gazeuse par exemple), il convient d'envisager des exigences d'immunité plus élevée.



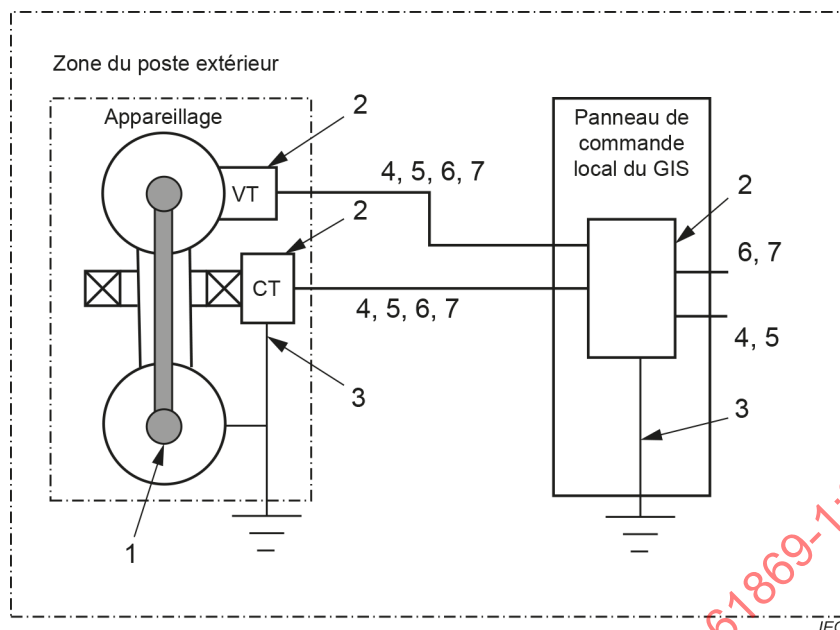
Légende

- 1 borne de ligne HT
- 2 accès de l'enveloppe
- 3 accès de terre
- 4 accès d'entrée/sortie
- 5 accès de communication
- 6 accès d'alimentation en courant alternatif
- 7 accès d'alimentation en courant continu

Sous-ensemble 1: "partie extérieure" dans la zone de l'appareillage

Sous-ensemble 2: "partie intérieure" dans la zone de l'armoire de commande

Figure 6 – Exemple de structure utilisée dans les applications AIS HT soumises aux essais CEM



Légende

- 1 ligne HT
- 2 accès de l'enveloppe
- 3 accès de terre
- 4 accès d'entrée/sortie
- 5 accès de communication
- 6 accès d'alimentation en courant alternatif
- 7 accès d'alimentation en courant continu

Figure 7 – Exemple de structure utilisée dans les applications GIS HT soumises aux essais CEM

Tableau 18 – Critères d'acceptation des essais d'immunité CEM

Critères d'évaluation	Conditions d'acceptation
A	Performances normales dans les limites de la spécification de précision pendant et après l'essai, pour les IT de protection et de mesure. Pour les EIT avec signal secondaire numérique, les performances normales dans les limites de la spécification de précision, y compris l'état de qualité et les bits de synchronisation. De plus, aucune erreur de valeur échantillonnée individuelle ne doit dépasser 10 % du niveau efficace de la grandeur d'entrée.
B	Performances normales dans les limites de la spécification de précision pour les IT de protection (comme pour les critères A). Une dégradation temporaire de la précision des IT de mesure est acceptable, avec rétablissement automatique à la fin de l'essai. Une réinitialisation ou un redémarrage n'est pas autorisé. Pour les EIT avec signal secondaire numérique, les performances normales dans les limites de la spécification de précision pour les canaux de protection, y compris l'état de qualité et les bits de synchronisation. De plus, aucune erreur de valeur échantillonnée individuelle ne doit dépasser 200 % du niveau efficace de la grandeur d'entrée.
C	Une perte de fonction temporaire est admise, à condition que la fonction soit autorécupérable. Une réinitialisation ou un redémarrage est autorisé. Pour les EIT avec des signaux secondaires numériques, la diffusion en continu peut être interrompue, mais lorsque le flux est présent, les bits de qualité dans le flux doivent représenter l'état de fonctionnement des MU et satisfaire aux exigences de l'IEC 61869-9:2016, 6.903.9. L'état actuel de la synchronisation des MU doit être correctement représenté.

Si les performances normales dans les limites de la spécification de précision ne peuvent pas être vérifiées sur le transformateur de mesure, d'autres méthodes possibles sont définies dans la norme spécifique au produit.

6.11.3 Exigences relatives aux émissions

Le cas échéant (selon les normes spécifiques au produit), en complément des exigences d'émission considérées comme étant couvertes par un essai de tenue à la tension de perturbation radioélectrique et un essai de tenue aux surtensions transmises, les transformateurs de mesure doivent satisfaire aux exigences d'émission spécifiées dans l'IEC 61000-6-4:2018, avec les clarifications suivantes:

- le Tableau 4 de l'IEC 61000-6-4:2018 s'applique uniquement aux bornes d'alimentation auxiliaire en courant alternatif (le cas échéant). Il ne s'applique pas aux bornes primaires ou secondaires des IT à courant alternatif;
- le Tableau 5 de l'IEC 61000-6-4:2018 s'applique aux bornes secondaires et aux autres bornes de signalisation et de commande (par exemple TEDS);
- le Tableau A.1 de l'IEC 61000-6-4:2018 s'applique uniquement aux bornes d'alimentation auxiliaire en courant continu (le cas échéant). Il ne s'applique pas aux bornes primaires ou secondaires des IT à courant continu.

6.11.4 Exigences relatives aux surtensions transmises (TOV)

Si cela est spécifié par l'acheteur, les exigences s'appliquent aux transformateurs de mesure avec $U_m \geq 52$ kV, avec des signaux secondaires analogiques.

Lors de l'application d'une onde à front raide aux bornes primaires, la valeur de crête de la surtension transmise aux bornes secondaires ne doit pas dépasser 1,6 kV, dans les conditions d'essai et de mesure décrites en 7.4.2.

NOTE Les limites de crête de surtension transmise sont fixées pour assurer une protection suffisante du matériel électronique raccordé à l'enroulement secondaire.

6.11.5 Exigences relatives à la tension de perturbation radioélectrique (RIV)

Les exigences relatives à la tension de perturbation radioélectrique s'appliquent aux transformateurs de mesure avec $U_m \geq 123$ kV devant être installés dans des postes à isolation par air.

La tension de perturbation radioélectrique ne doit pas dépasser $2\,500\ \mu\text{V}$ à $1,1 \times U_m / \sqrt{3}$.

NOTE Cette exigence est incluse pour satisfaire à la réglementation en matière de compatibilité électromagnétique.

6.12 Corrosion

L'exigence minimale concernant la corrosion des transformateurs de mesure est qu'il convient que le fonctionnement du matériel ne soit pas affecté par la corrosion pendant la durée de vie en fonctionnement dans les conditions spécifiées par l'acheteur. Il convient que toutes les parties boulonnées ou vissées restent faciles à démonter, dans la mesure du possible. Il convient particulièrement de tenir compte de la corrosion galvanique des matériaux en contact lors de la conception de ces parties, car elle peut, par exemple, entraîner une perte d'étanchéité ou une augmentation de la résistance de contact.

NOTE 1 Lorsqu'une surface devient et reste humide, les deux principaux facteurs impliqués dans la corrosion atmosphérique sont le chlorure de sodium, surtout dans les environnements marins, et le dioxyde de soufre, essentiellement dans les environnements industriels. Parfois, les deux facteurs s'appliquent simultanément.

NOTE 2 Des informations supplémentaires au sujet de la corrosion peuvent être consultées dans la brochure 765 du CIGRE intitulée "Understanding and mitigating corrosion" (disponible en anglais seulement).

6.13 Marquages

6.13.1 Généralités

Toutes les informations doivent être marquées de façon indélébile sur le transformateur de mesure lui-même, ou sur une plaque signalétique solidement fixée au transformateur.

Les marquages exigés doivent rester clairs et lisibles dans les conditions d'utilisation normales et doivent résister aux effets des agents de nettoyage spécifiés dans le manuel d'utilisation ou des agents de nettoyage définis en 7.2.14 (si rien n'est spécifié dans le manuel d'utilisation).

6.13.2 Marquages des bornes

6.13.2.1 Règles générales

Les marquages des bornes doivent identifier:

- a) les enroulements ou bornes primaires et secondaires;
- b) les sections des enroulements, le cas échéant;
- c) les polarités relatives des bornes;
- d) les dérivations intermédiaires, le cas échéant.

6.13.2.2 Méthode de marquage

Les bornes primaires doivent être marquées clairement en surface ou à proximité immédiate. Si possible, les bornes secondaires doivent être identifiées clairement, soit sur la surface du transformateur, soit, dans le cas d'un câble intégré avec connecteur, au voisinage immédiat du connecteur. Si cela n'est pas possible, le fabricant doit fournir des informations pertinentes dans la documentation du produit.

Le marquage doit être constitué de lettres suivies ou précédées, si nécessaire, de numéros.

6.13.2.3 Marquages à utiliser

Voir les normes spécifiques au produit.

6.13.2.4 Indication des polarités relatives

Pour les transformateurs de courant, les bornes avec un numéro correspondant doivent toutes deux avoir la même polarité.

NOTE 1 Exemple de bornes CT avec la même polarité: P1 et 2S1.

Pour les transformateurs de tension, les bornes avec des lettres majuscules et minuscules correspondantes doivent avoir la même polarité en même temps.

NOTE 2 Exemple de bornes VT avec la même polarité: A et 1a.

Se reporter aux normes spécifiques au produit pour obtenir des spécifications plus détaillées.

6.13.3 Marquages des plaques signalétiques

Tous les transformateurs de mesure doivent être équipés d'une plaque signalétique portant au moins les marquages indiqués ci-dessous:

- a) nom du fabricant ou autre marque permettant de l'identifier facilement;
- b) désignation de type, année de fabrication et numéro de série;
- c) norme spécifique au produit;
- d) fréquence assignée;

e) tension la plus élevée du matériel.

Ce marquage n'est pas applicable aux CT pour traversées. Cependant, pour des raisons historiques, une valeur de 0,72 kV peut être indiqué;

f) niveau d'isolement primaire assigné (non applicable aux CT pour traversées);

g) niveau d'isolement sur les bornes secondaires;

NOTE Les trois points e), f) et g) peuvent être combinés en un marquage (par exemple 72,5/140/325/3 kV).

h) rapport de transformation assigné (K_T) ou valeurs assignées au primaire et au secondaire;

i) charge assignée et classe de précision (voir norme spécifique au produit).

Sur les transformateurs comportant plus d'un enroulement secondaire ou plus d'une sortie secondaire, l'utilisation de chacun d'eux et de ses bornes correspondantes doit être indiquée;

j) catégorie de température;

k) altitude (si $> 1\,000$ m);

l) masse en kilogrammes (lorsque ≥ 25 kg).

En outre, les informations suivantes doivent être marquées le cas échéant:

m) classe de charge des exigences mécaniques (pour $U_m \geq 72,5$ kV);

n) classe thermique si différente de la classe 105 °C (A).

Si plusieurs classes de matériau isolant sont utilisées, celle qui limite l'échauffement des enroulements doit être indiquée;

o) type de fluide isolant;

p) pression de remplissage assignée (pour un système isolé sous pression);

q) pression de fonctionnement minimale (pour un système isolé sous pression);

r) volume (ou masse) de fluide isolant contenu dans le transformateur de mesure;

s) classe de protection contre les défauts d'arc interne avec le courant d'arc interne assigné (I_{arc}), le cas échéant.

EXEMPLE 1 $I_{arc} = 40$ kA / Classe IA1.

Si nécessaire, la plaque signalétique peut être divisée en plusieurs parties.

EXEMPLE 2 Une plaque signalétique sur la partie HT et une plaque signalétique sur le convertisseur secondaire.

6.14 Exigences relatives à la connexion des bornes secondaires d'un LPIT

6.14.1 Exigences relatives à la connexion des sorties numériques

6.14.1.1 Généralités

Pour les connexions de sorties numériques, des interfaces optiques sont recommandées.

Les câbles à fibre optique doivent être conformes à l'IEC 60794-2 pour les applications intérieures, et l'IEC 60794-3 pour les applications extérieures. Les câbles optiques doivent être protégés contre les rongeurs.

Si les câbles à fibres optiques sont protégés par un matériau conducteur, ce matériau doit être mis à la terre.

6.14.1.2 Connecteurs optiques pour interface de transmission numérique

Un système de transmission numérique fibronique 100BASE-FX (1 300 nm, multimodal, duplex, câble à deux fibres optiques), conformément à l'ISO/IEC 8802-3, et un système de transmission numérique fibronique 1000BASE-LX (1 300 nm, unimodal, duplex, câble à deux fibres optiques) conformément à l'ISO/IEC/IEEE 8802-3, sont des systèmes communs.

Des technologies futures, conformément à l'ISO/IEC/IEEE 8802-3, peuvent également être utilisées.

Le connecteur LC duplex³ représenté à la Figure 8 est une solution préférentielle, car il élimine les problèmes de câblage à connexion croisée Rx/Tx.

Pour les anciennes applications, les brins de câbles optiques individuels équipés de connecteurs BFOC/2,5⁴ (également appelés "type ST") sont acceptables, en nécessitant un étiquetage individuel des fibres (Rx, Tx).

Si cela est exigé (installations rétrocompatibles), la conversion entre les types de connecteurs ST, FC et LC peut être assurée avec des câbles à cordon de brassage à fibre optique largement disponibles.



IEC

Figure 8 – Connecteur LC duplex

6.14.1.3 Coffret d'extrémité à fibre optique

Lorsqu'un coffret d'extrémité à fibre optique est utilisé, il doit être directement accessible au niveau du sol pour procéder à l'inspection.

6.14.1.4 Longueur totale du câble à fibre optique

La longueur maximale du câble optique doit être spécifiée par le fabricant du transformateur de mesure. Elle ne doit pas être inférieure à 500 m.

³ Tel que spécifié dans l'IEC 61754-20, *Interfaces de connecteurs à fibres optiques – Partie 20: Famille de connecteurs de type LC*.

⁴ Tel que spécifié dans l'IEC 61754-2, *Interfaces de connecteurs pour fibres optiques – Partie 2: Famille de connecteurs de type BFOC/2,5*.

6.14.2 Exigences relatives aux connexions de sorties analogiques

6.14.2.1 Connecteurs

Les connecteurs à utiliser pour une connexion secondaire courte de LPIT (≤ 10 m) sont décrits dans le Tableau 19.

Tableau 19 – Connecteurs

Fiche écrantée à 8 voies (RJ45)
IEC 60603-7-1

The image shows a perspective view of an 8-pin shielded RJ45 connector on the left and a detailed view of its internal pin layout on the right. The pins are numbered 1 through 8. The IEC logo is visible at the bottom right.

Broche:	1	2	3	4	5	6	7	8
	S1	S2	T2+	V+	V-	T1-	a	n

S1, S2: bornes secondaires du transformateur de courant

a, n: bornes secondaires du transformateur de tension

T1-, T2+: utilisés pour la connexion TEDS (feuille de données électroniques du transducteur, ISO/IEC/IEEE 21451-4).

Le niveau de tension ne doit pas dépasser 5 V en courant continu

V+, V-: alimentation

Fiche écrantée M12 à 8 voies, contacts femelles avec écrou de verrouillage
IEC 61076-2-101

The image shows a perspective view of an 8-pin shielded M12 connector with a locking nut on the left and a detailed view of its internal pin layout on the right. The pins are numbered 1 through 8. The IEC logo is visible at the bottom right.

Broche:	1	2	3	4	5	6	7	8
	S1	S2	a	n	T1-	T2+	V+	V-

S1, S2: bornes secondaires du transformateur de courant

a, n: bornes secondaires du transformateur de tension

T1-, T2+: utilisés pour la connexion TEDS (feuille de données électroniques du transducteur, ISO/IEC/IEEE 21451-4).

Le niveau de tension ne doit pas dépasser 5 V en courant continu

V+, V-: alimentation

Des bornes à serrage sous tête de vis peuvent également être utilisées à la place des connecteurs et sont recommandées pour les connexions secondaires longues de LPIT (> 10 m).

6.14.2.2 Blindage du circuit secondaire

Le câble utilisé pour les circuits secondaires doit être blindé et le blindage mis à la terre pour satisfaire aux exigences de sécurité et de CEM.

Dans les environnements fortement perturbés, un double blindage peut être exigé.

Si un câble à double blindage (circuit électriquement séparé) est utilisé, différentes solutions peuvent être mises en œuvre comme indiqué dans l'IEC TR 61000-5-6.

6.15 Bruit dans le signal secondaire d'un EIT

Les EIT génèrent du bruit dans le signal secondaire. L'impact de ce bruit dépend de l'application. Comme la technologie des EIT évolue rapidement, il n'est pas possible d'établir à ce jour un ensemble commun d'exigences applicables à tous les transformateurs de mesure. Cela n'élimine pas la nécessité de comparer les EIT concurrents et de déterminer leur adéquation pour une application donnée. Ce problème est résolu en exigeant la publication des propriétés de bruit du signal de sortie des EIT.

Le fournisseur du transformateur de mesure électronique doit fournir les informations spectrales relatives au bruit des EIT. Les spécifications de bruit peuvent prendre différentes formes. Les formes de spécifications recommandées sont des équations de densité spectrale du bruit ou des graphiques (densité de répartition du bruit en fonction de la fréquence). Pour les produits à bruit essentiellement blanc (loi normale), il est intéressant de spécifier la densité spectrale du bruit sous la forme d'un seul nombre, en utilisant l'unité de courant ou de tension primaire divisée par la racine carrée du hertz (c'est-à-dire $A/\sqrt{\text{Hz}}$ ou $V/\sqrt{\text{Hz}}$).

EXEMPLE Pour un CT optique où le principal facteur contribuant au bruit du dispositif est le "bruit de grenaille optique", le bruit est blanc et peut être spécifié en ampères (primaire équivalent) par racine carrée de hertz. Si un TC optique a un courant primaire assigné supposé de 400 A, une tension secondaire assignée de 4 V et un bruit de 10 mV en valeur efficace aux bornes secondaires (dans ce cas, 10 mV équivalent à 1 A sur le primaire) sur sa largeur de bande de 10 kHz, le bruit peut alors être indiqué sous la forme $0,01 A/\sqrt{\text{Hz}}$.

Une fois que la spécification de densité du bruit est déterminée, il est facile de calculer le rapport signal-bruit pour une application plus spécifique. Par exemple, le niveau de bruit équivalent produit par l'EIT ci-dessus lorsqu'il est utilisé pour une application de synchrophaseur avec une largeur de bande de bruit type égale à 15 Hz serait: $0,01 A/\sqrt{\text{Hz}} \cdot \sqrt{15 \text{ Hz}} = 0,0387 \text{ A}$, ce qui entraîne un rapport signal-bruit de $20 \lg (400 / 0,0387) = 80,3 \text{ dB}$ (en mesurant le courant nominal).

La même approche s'applique aux systèmes secondaires numériques, où les valeurs sont déjà exprimées en grandeur primaire (courant ou tension).

6.16 Danger d'incendie

Voir l'Annexe C.

6.17 Résistance à la pression des enveloppes remplies de gaz

La résistance à la pression des enveloppes remplies de gaz est couverte par des normes nationales dans plusieurs pays.

Toutes ces normes se rapportent à une pression de calcul. En conditions de fonctionnement, les contraintes mécaniques sont associées à la pression interne qui dépend de la température du gaz.

Par conséquent, la pression de calcul doit être supérieure ou égale à la pression de fonctionnement à la température maximale que le gaz peut atteindre.

La résistance à la pression doit être assurée soit par calcul (selon la norme nationale de référence) soit par un essai de type (comme spécifié en 7.2.9).

6.18 Détection des défaillances d'un EIT

La défaillance d'un EIT, lorsqu'elle est détectée automatiquement, doit générer un signal analogique à zéro ou entraîner l'activation d'indicateurs de qualité des sorties numériques conformément à l'IEC 61869-9. La défaillance du système de transmission doit au moins être détectée automatiquement, ou bien le système de transmission doit permettre une surveillance par l'IED connecté à l'EIT.

En cas d'interruption de l'alimentation, le signal secondaire doit être à zéro pour le signal analogique, et inactif pour le signal numérique.

Après rétablissement de l'alimentation de l'EIT, jusqu'à ce que ce dernier soit stabilisé, le signal analogique doit rester à zéro et tout signal numérique doit être indiqué comme étant invalide. Une fois l'EIT stabilisé, son fonctionnement doit être automatiquement rétabli.

6.19 Aptitude au fonctionnement

Pour faciliter le fonctionnement et la maintenance, la position des parties auxquelles l'accès est exigé doit être accessible. Ces parties peuvent inclure des interrupteurs, des prises, des fusibles, des bornes primaires et des bornes secondaires, etc.

6.20 Fiabilité et sûreté de fonctionnement de la partie électronique de l'EIT

De la même manière que pour les relais de protection et les compteurs, le fabricant doit fournir des informations sur la fiabilité et la sûreté de fonctionnement de la partie électronique de l'EIT, conformément aux normes pertinentes telles que l'IEC 60812 et l'IEC 61025, ou des données statistiques basées sur l'expérience passée. Cela comprend l'évaluation de la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF) et de la durée moyenne de bon fonctionnement (MTBF) liées aux parties principales faisant l'objet de la maintenance. Un diagramme doit être fourni, décrivant les relations entre les sous-parties et la manière de gérer la redondance, le cas échéant. Les parties faisant l'objet de la maintenance et les procédures de maintenance correspondantes doivent être identifiées.

NOTE Une solution visant à améliorer la fiabilité et la sûreté de fonctionnement peut consister à mettre en œuvre une redondance adaptée.

Le fabricant doit s'efforcer de fournir toutes les informations nécessaires afin d'éviter toute interruption de fonctionnement due à une perte de composant interne ou du fait d'un dysfonctionnement d'un composant.

Les composants (c'est-à-dire les sous-parties) qui, par conception, peuvent être remplacés sur site sans affecter la classe de précision doivent être identifiés et énumérés dans le manuel d'utilisation. La remplaçabilité doit être techniquement justifiée (par exemple avec un essai de type de précision) et documentée.

La documentation peut inclure les résultats des essais de précision réalisés, les conditions de remplacement et la procédure.

6.21 Exigences relatives aux vibrations

Cette exigence dépend de la technologie. Voir les normes spécifiques au produit pour l'applicabilité.

Le cas échéant, le signal secondaire doit fonctionner correctement lorsqu'il est soumis à des niveaux de vibrations adaptés à son application.

La procédure d'essai sinusoïdal est définie en 7.2.13.

Le niveau de vibrations doit être de 10 m/s^2 . Le matériel monté sur un appareillage GIS ou des disjoncteurs doit supporter un niveau de vibrations de 20 m/s^2 .

Des essais spéciaux supplémentaires pour les IT montés sur des matériels BT sont décrits en 7.4.9.

Pour les IT destinés à être couplés mécaniquement à des disjoncteurs, deux procédures alternatives de qualification des chocs sont spécifiées en 7.4.9.3.2 et 7.4.9.3.3. La première est effectuée à l'aide d'un disjoncteur spécifique et la seconde est effectuée en tant qu'essai normalisé.

6.22 Tenue aux conditions climatiques de stockage

Le cas échéant (selon les normes de produit spécifiques), l'IT doit être en mesure de résister aux essais climatiques suivants:

- essai de chaleur sèche à la température de stockage maximale;
- essai au froid à la température de stockage;
- essai continu de chaleur humide.

L'essai doit être réalisé conformément à 7.2.12.

7 Essais

7.1 Généralités

7.1.1 Classification des essais

Les essais spécifiés dans le présent document sont classés comme suit:

- essai de type: essai d'un ou plusieurs échantillons de matériel (ou de parties de matériel) réalisés sur une conception particulière afin de démontrer qu'elle satisfait à une ou plusieurs exigences;
- essai individuel de série: essai réalisé sur chaque élément pendant ou après la fabrication. Les essais individuels de série sont destinés à révéler les défauts de fabrication. Ils ne diminuent pas les propriétés et la fiabilité de l'objet en essai;
- essai spécial: essai effectué en option selon une procédure normalisée pour vérifier la conformité à une exigence spécifique;
- essai de mise en service: essai réalisé sur un élément sur site, pour prouver qu'il est correctement installé et peut fonctionner correctement;
- essai sur prélèvements: essai d'échantillons choisis au hasard d'un matériel issu d'une production en série, pour évaluer l'uniformité de la production.

7.1.2 Liste des essais

La liste des essais est donnée dans le Tableau 20.

Tableau 20 – Liste des essais

Essais	Paragraphe concernant l'essai	Paragraphe concernant les exigences
Essais de type	7.2	
Essai d'échauffement	7.2.2	6.4
Essai de tenue en tension de choc sur les bornes primaires ^a	7.2.3	5.4.2
Essai sous pluie pour les transformateurs de mesure du type extérieur ^a	7.2.4	5.4.2
Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	7.2.5	6.11
Essais concernant la précision	7.2.6	5.7
Vérification du degré de protection conféré par les enveloppes	7.2.7	6.10
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante ^a	7.2.8	6.2.4
Essai d'épreuve de l'enveloppe remplie de gaz ^a	7.2.9	6.17
Essais mécaniques ^a	7.2.10	6.7
Essai de tenue en tension des composants basse tension et des bornes secondaires	7.2.11	5.4.5.2
Essais d'environnement climatique de stockage	7.2.12	6.22
Essai de vibrations	7.2.13	6.21
Durabilité des marquages	7.2.14	6.13.1

Essais	Paragraphe concernant l'essai	Paragraphe concernant les exigences
Essais concernant la précision pour les harmoniques	7.2.15	5.7.4.1
Essais concernant l'antirepliement	7.2.16	5.7.6
Essais individuels de série	7.3	
Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes primaires ^a	7.3.1	5.4.2
Mesurage des décharges partielles ^a	7.3.2	5.4.3.1
Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle entre sections	7.3.3	5.4.4
Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes secondaires	7.3.4	5.4.5.1 5.4.5.2
Essai de tenue en tension à la fréquence industrielle pour les composants basse tension	7.3.5	5.4.5.2
Essai concernant la précision	7.3.6	5.7
Vérification des marquages	7.3.7	6.13
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante ^a	7.3.8	6.1.4, 6.2.4
Essai sous pression de l'enveloppe remplie de gaz ^a	7.3.9	6.17
Mesurage de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique ^a	7.3.10	5.4.3.3
Essais spéciaux	7.4	
Essai de tenue aux chocs coupés multiples sur les bornes primaires ^a	7.4.1	6.8
Essai de surtensions transmises	7.4.2	6.11.4
Essai de défaut d'arc interne ^a	7.4.3	6.9
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à basse et haute températures ^a	7.4.4	6.2.4
Mesurage de la résistance d'isolement sur les bornes secondaires	7.4.5	5.4.5.3
Essai de corrosion	7.4.6	6.12
Essai relatif au danger d'incendie	7.4.7	C.2
Essai d'endurance thermomécanique	7.4.8	4.2.1, 4.3.3
Essai de vibrations et de chocs	7.4.9	6.21
Essais concernant la précision en fonction des harmoniques	7.4.10	5.7.4
Qualification sismique	7.4.11	1.4
Essais de mise en service	7.5	
Inspection et essais finaux de l'installation	7.5.2	5.4.5, 6.2.2
Essai au point de rosée du gaz ^a	7.5.3	6.2.2
Essais sur prélèvements	7.6	

^a Non applicable aux transformateurs de courant pour traversées

Pour les essais des transformateurs de mesure à isolation gazeuse, le type et la pression du gaz doivent être conformes au Tableau 21.

Tableau 21 – Type de gaz et pression au cours des essais

Essai	Type de gaz	Pression
Essai diélectrique sur les bornes primaires RIV Précision du VT Échauffement Mesurage de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique	Même gaz qu'en fonctionnement	Pression de fonctionnement minimale
Étanchéité Point de rosée du gaz	Même gaz qu'en fonctionnement ^a	Pression de remplissage assignée ^a
Mécanique Court-circuit (pour CT) Arc interne	Même gaz qu'en fonctionnement ou autre gaz ^b	Pression de remplissage assignée
Précision du CT Surtensions transmises Essai de tenue en tension des composants basse tension et des bornes secondaires	Même gaz qu'en fonctionnement ou autre gaz	Toute pression
^a Pour les nouveaux types de gaz isolants, une autre méthode d'essai d'étanchéité peut être définie par le fabricant. ^b L'essai d'arc interne avec SF ₆ peut ne pas être applicable dans certains pays, selon les réglementations environnementales locales. Dans ce cas, il convient de trouver une solution de compromis concernant un autre gaz à utiliser pour les essais, faisant l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur, sachant que le comportement de l'arc peut être différent selon le gaz. Ce problème a été débattu au sein du CIGRE.		

7.1.3 Séquence d'essais

Les essais individuels de série doivent être préalablement réalisés sur l'IT utilisé pour les essais de type.

Les essais individuels de série avant les essais de type peuvent être réalisés soit dans le laboratoire d'usine, soit dans un laboratoire externe.

Après les essais de type, les essais individuels de série doivent être répétés sur chaque IT soumis à essai, à l'exception de l'essai sous pression de l'enveloppe remplie de gaz et de la vérification des marquages.

Si seuls certains essais de type sont effectués à la place de la liste complète, les essais individuels de série spécifiés dans le Tableau 22 doivent être répétés après la séquence d'essais de type.

La séquence d'essais individuels de série n'est pas spécifiée, mais les exigences suivantes s'appliquent:

- l'essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante et la vérification des marquages doivent être effectués avant les autres essais individuels de série;
- les essais concernant la précision doivent être réalisés après les autres essais individuels de série.

NOTE 1 L'essai d'étanchéité de l'enveloppe est réalisé avant les autres essais individuels de série, car, en cas de fuite, il est nécessaire de démonter l'IT pour réparation et les essais sont de toute façon répétés.

NOTE 2 Les essais concernant la précision sont effectués après les autres essais individuels de série, car les essais de tenue en tension à la fréquence industrielle peuvent parfois compromettre la précision (par exemple court-circuit entre spires ou entre sorties secondaires).

NOTE 3 S'il est nécessaire d'effectuer des essais spéciaux, ils peuvent avoir une influence sur la séquence d'essais.

Tableau 22 – Essais individuels de série exigés

		Essais individuels de série exigés à réaliser après un essai de type spécifique									
		Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes	Mesurage des décharges partielles	Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle entre sections	Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes	Essai de tenue en tension à la fréquence industrielle pour les composants	Essai concernant la précision	Vérification des marquages	Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante	Essai sous pression de l'enveloppe remplie de gaz	Mesurage de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique
Essais de type	Paragraphe	7.3.1	7.3.2	7.3.3	7.3.4	7.3.5	7.3.6	7.3.7	7.3.8	7.3.9	7.3.10
Essai d'échauffement	7.2.2	X	X	X	X	X*	X				X
Essai de tenue en tension de choc sur les bornes primaires	7.2.3	X	X	X	X	X*	X				X
Essai sous pluie pour les transformateurs de mesure du type extérieur	7.2.4	X	X	X	X	X*	X				X
Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	7.2.5				X	X	X				
Essai concernant la précision	7.2.6										
Vérification du degré de protection conféré par les enveloppes	7.2.7										
Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante	7.2.8										
Essai d'épreuve de l'enveloppe remplie de gaz	7.2.9										
Essais mécaniques	7.2.10	X	X	X	X		X		X		X
Essai de tenue en tension des composants basse tension et des bornes secondaires	7.2.11						X				
Essai d'environnement climatique de stockage	7.2.12				X	X	X				
Essai de vibrations	7.2.13				X	X	X				
Durabilité des marquages	7.2.14										
Essais concernant la précision pour les harmoniques	7.2.15										
Essai concernant l'antirepliement	7.2.16										

* Si connecté pendant l'essai de type

7.1.4 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être réalisés à une température ambiante comprise entre 10 °C et 40 °C.

Au moment de l'essai, il convient que l'objet en essai se soit acclimaté autant que possible aux conditions atmosphériques ambiantes de la zone d'essai.

7.2 Essais de type

7.2.1 Généralités

7.2.1.1 Exigences communes

Tous les essais de type diélectriques doivent être conduits sur le même transformateur de mesure, sauf spécification contraire.

NOTE 1 L'essai de tenue en tension de choc sur les bornes primaires (7.2.3) et l'essai sous pluie pour les transformateurs de mesure de type extérieur (7.2.4) sont considérés comme des essais de type diélectriques.

Pour la qualification complète des transformateurs de mesure, les essais de type doivent être réalisés sur un maximum de deux spécimens de conception identique. Un troisième spécimen est accepté pour les essais CEM.

NOTE 2 Cela permet, par exemple, d'effectuer simultanément des essais de puissance à un endroit et des essais diélectriques à un autre.

Pour des transformateurs de mesure précédemment qualifiés, des essais de type supplémentaires peuvent être réalisés sur un spécimen supplémentaire de conception identique.

Un essai de type peut également être considéré comme valable s'il est effectué sur un transformateur qui présente des écarts de construction mineurs par rapport au transformateur de mesure à l'étude. De tels écarts doivent être documentés dans le rapport d'essai et il convient qu'ils fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur. Se reporter à l'Annexe F pour obtenir de plus amples détails.

7.2.1.2 Informations pour l'identification des spécimens

Le fabricant doit soumettre au laboratoire d'essai les dessins et autres données fournissant des informations suffisantes pour identifier sans ambiguïté les détails essentiels et les parties du matériel présenté à l'essai. Chaque dessin ou tableau de données doit avoir une référence unique et doit inclure une mention stipulant que le fabricant s'engage sur la conformité des dessins ou tableaux de données au matériel à soumettre à essai.

Le fabricant doit conserver des enregistrements détaillés de la conception de toutes les parties constitutives du matériel soumis à essai et doit s'assurer qu'elles peuvent être identifiées au moyen des informations contenues sur les dessins et dans les tableaux de données.

Le laboratoire d'essai doit vérifier que les dessins et les tableaux de données représentent correctement les détails essentiels et les parties du matériel à soumettre en essai, mais il n'est pas tenu responsable de la précision des informations détaillées.

Le Tableau A.1 fournit une liste de dessins à soumettre.

Les dessins ou données spécifiques dont il est exigé qu'ils soient soumis par le fabricant au laboratoire d'essai pour l'identification des parties essentielles du matériel sont stipulés par les normes spécifiques au produit.

Le cas échéant, la version de micrologiciel doit être incluse dans les enregistrements d'identification de la conception.

À la fin de la vérification, les plans de détail et autres données doivent être restitués au fabricant pour stockage.

Il n'est pas nécessaire de renouveler un essai de type particulier en cas de modification d'un détail de construction, si le fabricant démontre que cette modification n'a pas d'influence sur le résultat de cet essai de type particulier.

7.2.1.3 Informations à inclure dans les rapports d'essais de type

Les résultats de tous les essais de type doivent être enregistrés dans des rapports d'essais de type contenant:

- a) un fichier d'identification, comme spécifié en 7.2.1.2 et à l'Article A.2;
- b) la ou les normes de référence;
- c) le montage d'essai:
 - les détails du montage d'essai (y compris le schéma du circuit d'essai);
 - une description générale de la structure de support du dispositif utilisé pendant l'essai (lorsque la procédure d'essai l'exige);
 - des photographies pour décrire l'état du matériel;
- d) des données d'essai pour prouver la conformité à la spécification;
 - le programme d'essais;
 - les enregistrements des grandeurs d'essai au cours de chaque essai, comme spécifié dans la norme IEC applicable;
 - des indications concernant le comportement du matériel pendant les essais, son état après les essais, et le cas échéant, toute partie remise en état ou à neuf pendant les essais;
 - une conclusion.

7.2.2 Essai d'échauffement

7.2.2.1 Généralités

Un essai doit être réalisé pour attester de la conformité au 6.4.

Pour cet essai, le transformateur doit être installé d'une manière représentative de son installation en fonctionnement. Si le transformateur peut être installé dans différentes positions, la position d'essai est définie par le fabricant.

L'échauffement des enroulements doit, si possible, être mesuré par la méthode d'augmentation de la résistance. Pour les enroulements de très faible résistance, des thermocouples peuvent être utilisés.

L'échauffement des parties autres que les enroulements peut être mesuré à l'aide de thermomètres ou de thermocouples.

Dans le cas d'un LPIT avec plusieurs convertisseurs secondaires, l'essai doit être effectué sur chaque convertisseur secondaire. Cet essai peut être réalisé en même temps pour tous les convertisseurs.

Pour l'identification de tous les composants clés sur lesquels les mesurages de température doivent être effectués et pour obtenir des informations complémentaires concernant les montages et les procédures d'essai, se reporter aux normes de produit spécifiques.

Dans le cas des transformateurs de courant, les connexions primaires externes temporaires utilisées pour cet essai doivent avoir des dimensions telles qu'elles ne contribuent pas à un refroidissement excessif du dispositif soumis à essai.

Les températures aux bornes du circuit principal et au niveau des connexions primaires externes temporaires situées à une distance de 1 m des bornes doivent être mesurées. La différence d'échauffement ne doit pas dépasser 5 K.

Cependant, si l'échauffement des connexions temporaires à une distance de 1 m de la borne du circuit principal dépasse de plus de 5 K l'échauffement de la borne, l'essai peut être considéré comme valide si tous les critères pour satisfaire à l'essai défini en 6.4.1 sont respectés.

7.2.2.2 Mesurage de la température ambiante

Au moins deux capteurs pour mesurer la température ambiante doivent être répartis autour du transformateur de mesure, environ à mi-hauteur du transformateur, et protégés contre les rayonnements thermiques directs, à une distance horizontale suffisante pour éviter que le transformateur soumis à essai n'influe sur les lectures (une distance de 1 m à 2 m est généralement suffisante). En présence de haute tension, la distance ne doit pas être inférieure à la distance d'isolement tige-structure définie dans l'IEC 60071-1:2019, Tableau A.1.

Afin de réduire le plus possible les effets de la variation de la température de l'air de refroidissement, en particulier à la fin de la période d'essai, il convient d'utiliser des moyens appropriés pour les capteurs de température, tels que des dissipateurs thermiques ayant une constante de temps thermique similaire à celle du transformateur, avec une valeur minimale de 2 h.

Une autre méthode de mesure de la température ambiante peut consister à utiliser un transformateur de mesure identique et distinct, ou un transformateur présentant des caractéristiques de constante de temps thermique similaires, et à mesurer la température par la méthode de variation de la résistance. Ce transformateur de référence est positionné de manière à répondre aux variations de la température ambiante de la même façon que le transformateur soumis à essai.

Les lectures moyennes des différents capteurs doivent être utilisées pour évaluer la température ambiante.

7.2.2.3 Durée de l'essai

L'essai peut être arrêté lorsque les deux conditions suivantes sont remplies:

- la durée de l'essai est au moins égale à trois fois la constante de temps thermique du transformateur de mesure;
- la vitesse d'échauffement des enroulements (et du liquide supérieur des transformateurs de mesure à isolation liquide;) ne dépasse pas 1 K/h pendant trois lectures de température consécutives. Il convient que l'intervalle minimal entre les lectures soit égal à 20 % de la constante de temps thermique ou à 1 h, la valeur la plus élevée étant retenue. Si la température est mesurée sans couper l'alimentation, le laps de temps minimal entre les lectures peut être réduit à au moins 30 min.

Le fabricant doit estimer la constante de temps thermique par l'une des méthodes suivantes:

- avant l'essai, sur la base des résultats des essais précédents réalisés sur une conception similaire. La constante de temps thermique doit être confirmée pendant l'essai d'échauffement;
- pendant l'essai, à partir de la ou des courbes d'échauffement ou de la ou des courbes de baisse de température enregistrées tout au long de l'essai et calculées conformément à l'Annexe E.

7.2.3 Essai de tenue en tension de choc sur les bornes primaires

7.2.3.1 Généralités

L'essai doit être réalisé sur des transformateurs de mesure entièrement assemblés comme s'ils étaient en fonctionnement. Pendant l'essai, l'IT peut être monté sur une structure de support similaire à celle utilisée en fonctionnement.

Lorsqu'ils existent, les convertisseurs primaires et secondaires doivent être raccordés conformément aux instructions du fabricant et alimentés par l'alimentation auxiliaire. Une réinitialisation ou un redémarrage n'est pas autorisé pendant l'essai.

L'essai aux ondes de choc doit être effectué conformément à l'IEC 60060-1 et, le cas échéant, conformément aux normes spécifiques au produit pertinentes. Le châssis, le boîtier (s'il y a lieu) et le noyau (si présent et destiné à être mis à la terre) doivent être reliés à la terre.

Pour les transformateurs de tension à sortie analogique, toutes les bornes "n" doivent être reliées à la terre, tandis que les autres bornes doivent être laissées ouvertes. Dans le cas de transformateurs de courant à sortie analogique, toutes les bornes secondaires doivent être en court-circuit et reliées à la terre.

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée, indiquée dans le Tableau 2, en fonction de la tension la plus élevée du matériel et du niveau d'isolement spécifié.

Les essais aux ondes de choc consistent en un choc de référence à un niveau réduit, suivi de chocs au niveau de la tension d'essai assignée. La tension de choc de référence doit être comprise entre 50 % et 75 % de la tension de tenue au choc assignée. La valeur de crête et la forme d'onde des chocs doivent être enregistrées.

Une défaillance de l'isolation due à l'essai peut être mise en évidence par la variation de la forme d'onde à la tension de référence et à la tension de tenue assignée.

Des améliorations dans la détection des défaillances peuvent être obtenues par l'enregistrement du ou des courants à la terre, en complément de l'enregistrement de la tension.

Pour les CT pour traversées, aucun niveau d'isolement primaire n'est applicable.

NOTE Un CT pour traversée n'a pas de niveau d'isolement primaire pour lui-même. Le niveau d'isolement n'est pas pertinent pour le CT, mais pour le matériel HT sur lequel il est monté (traversée, GIS, câble HT, etc.).

7.2.3.2 Essai de tenue à la tension de choc de foudre sur les bornes primaires

7.2.3.2.1 Généralités

Les transformateurs de mesure à isolation liquide avec $U_m \geq 300$ kV doivent suivre la procédure d'essai décrite en 7.2.3.2.2.

Les autres types de transformateurs de mesure doivent suivre la procédure d'essai décrite en 7.2.3.2.3.

7.2.3.2.2 Transformateurs de mesure à isolation liquide avec $U_m \geq 300$ kV

L'essai doit être réalisé à la fois en polarité positive et en polarité négative. Trois chocs consécutifs de chaque polarité doivent être appliqués sans correction en fonction des conditions atmosphériques.

Le transformateur doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si les deux conditions suivantes sont remplies:

- aucune décharge disruptive ne se produit;
- aucune autre preuve de défaut d'isolation n'est détectée (par exemple des variations dans la forme d'onde des grandeurs enregistrées).

7.2.3.2.3 Autres transformateurs de mesure

La procédure d'essai doit être la procédure B de l'IEC 60060-1, modifiée pour les transformateurs de mesure qui ont une isolation autorégénératrice et une isolation non autorégénératrice.

L'essai doit être réalisé à la fois en polarité positive et en polarité négative. Quinze chocs consécutifs de chaque polarité doivent être appliqués sans correction en fonction des conditions atmosphériques.

Le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant satisfait aux essais aux ondes de choc pour chaque polarité si les deux conditions suivantes sont remplies:

- le nombre de décharges disruptives dans l'isolation autorégénératrice ne dépasse pas deux pour chaque série;
- aucune décharge disruptive n'est observée dans l'isolation non autorégénératrice.

Si les trois derniers chocs n'ont pas conduit à une décharge disruptive, cela peut être considéré comme une indication qu'aucune défaillance n'a eu lieu dans l'isolation non autorégénératrice. Dans le cas d'une décharge disruptive pendant l'un des chocs n° 13 à n° 15, jusqu'à trois chocs supplémentaires doivent être appliqués, pendant lesquels aucune décharge disruptive n'est acceptée.

Cette procédure conduit à un nombre possible maximal de 18 chocs par série.

Si des décharges disruptives se produisent et s'il s'avère impossible d'apporter la preuve pendant l'essai que les décharges disruptives étaient dans l'isolation autorégénératrice, l'IT doit être démonté et inspecté après la série d'essais diélectriques. Si des dommages sont observés sur l'isolation non autorégénératrice, le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant échoué à l'essai.

7.2.3.3 Essai de tenue à la tension de chocs coupés sur les bornes primaires

L'essai ne doit être réalisé qu'en polarité négative et doit être combiné avec l'essai de tenue aux chocs de foudre en polarité négative de la façon indiquée ci-après.

L'onde de tension doit être un choc de foudre coupé normal avec une durée jusqu'à la coupure comprise entre 2 μ s et 5 μ s, comme défini dans l'IEC 60060-1. Le circuit de coupure doit être tel que l'amplitude de la suroscillation de polarité opposée du choc enregistré doit être limitée à 30 % de la valeur de crête mesurée.

La tension d'essai des chocs coupés doit être conforme au 5.4.3.2.

La séquence d'application des chocs doit être la suivante:

- a) pour les transformateurs de mesure à isolation liquide avec $U_m \geq 300$ kV:
 - un choc complet conformément à 7.2.3.2.2;
 - deux chocs coupés;
 - deux chocs complets conformément à 7.2.3.2.2.

- b) pour les autres transformateurs de mesure:
- un choc complet conformément à 7.2.3.2.3;
 - deux chocs coupés;
 - quatorze chocs complets conformément à 7.2.3.2.3;

Le transformateur doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai s'il n'y a aucune différence dans la forme d'onde des chocs à onde complète avant et après les chocs coupés.

NOTE Ces différences sont une indication d'un défaut interne.

Les contournements pendant les chocs coupés le long de l'isolation externe autorégénératrice doivent être négligés lors de l'évaluation du comportement de l'isolation. Aucun choc coupé supplémentaire ne doit être appliqué.

7.2.3.4 Essai de tenue à la tension de choc de manœuvre sur les bornes primaires

L'essai s'applique aux transformateurs de mesure avec $U_m \geq 300$ kV.

L'essai doit être réalisé en polarité positive ou, dans le cas des transformateurs de mesure à isolation gazeuse, en polarité négative et en polarité positive. Quinze chocs consécutifs par polarité doivent être appliqués, corrigés en fonction des conditions atmosphériques.

Pendant l'essai, l'IT peut être monté sur une structure de support similaire à celle utilisée en fonctionnement.

Pour les transformateurs de type extérieur, l'essai doit être effectué dans des conditions de pluie.

La procédure d'essai doit être la procédure B de l'IEC 60060-1, modifiée pour les transformateurs de mesure qui ont une isolation autorégénératrice et une isolation non autorégénératrice. Le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant satisfait aux essais aux ondes de choc si toutes les conditions suivantes sont remplies:

- le nombre de décharges disruptives dans l'isolation autorégénératrice ne dépasse pas deux pour chaque série;
- aucune décharge disruptive n'est observée dans l'isolation non autorégénératrice.

Si les trois derniers chocs n'ont pas conduit à une décharge disruptive, cela peut être considéré comme une indication qu'aucune défaillance n'a eu lieu dans l'isolation non autorégénératrice. Dans le cas d'une décharge disruptive pendant l'un des chocs n° 13 à n° 15, jusqu'à trois chocs supplémentaires doivent être appliqués, pendant lesquels aucune décharge disruptive n'est acceptée.

Cette procédure conduit à un nombre possible maximal de 18 chocs par série.

Si des décharges disruptives se produisent et s'il s'avère impossible d'apporter la preuve pendant l'essai que les décharges disruptives étaient dans l'isolation autorégénératrice, l'IT doit être démonté et inspecté après la série d'essais diélectriques. Si des dommages sont observés sur l'isolation non autorégénératrice, le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant échoué à l'essai.

Il convient de ne pas tenir compte des chocs avec des contournements des murs ou du plafond du laboratoire. S'ils se produisent, les chocs doivent être répétés.

7.2.4 Essai sous pluie pour les transformateurs de mesure du type extérieur

Cet essai ne s'applique pas aux transformateurs de mesure pour application GIS.

La procédure d'essai sous pluie doit être effectuée conformément à l'IEC 60060-1.

Pendant l'essai, l'IT peut être monté sur une structure de support similaire à celle utilisée en fonctionnement.

Dans le cas de transformateurs de mesure avec $U_m < 300$ kV, l'essai doit être réalisé avec une tension à la fréquence industrielle qui a la valeur appropriée indiquée dans le Tableau 2, en fonction de la tension la plus élevée du matériel, en appliquant des corrections en fonction des conditions atmosphériques. Le transformateur de mesure a réussi l'essai s'il n'y a pas de contournement externe.

Pour les transformateurs de mesure avec $U_m \geq 300$ kV, l'essai doit être réalisé avec la tension de choc de manœuvre de polarité positive ou, dans le cas de transformateurs de mesure à isolation gazeuse, de polarités négative et positive, qui a la valeur appropriée indiquée dans le Tableau 2, en fonction de la tension la plus élevée du matériel et du niveau d'isolement assigné. Les critères d'évaluation sont les mêmes que ceux donnés en 7.2.3.4.

7.2.5 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

7.2.5.1 Essai de tenue en tension de perturbation radioélectrique (RIV)

Cet essai ne s'applique pas aux transformateurs de mesure pour application GIS.

Comme le niveau de la tension de perturbation radioélectrique peut être affecté par des fibres ou des dépôts de poussière sur les isolateurs, il est permis d'essuyer les isolateurs avec un chiffon propre avant d'effectuer un mesurage.

Le transformateur de mesure, complet avec tous ses accessoires, doit être sec, propre et à la même température que celle du laboratoire où l'essai est effectué, comme demandé en 7.1.4.

Les convertisseurs secondaires, s'ils existent, ne doivent pas être alimentés.

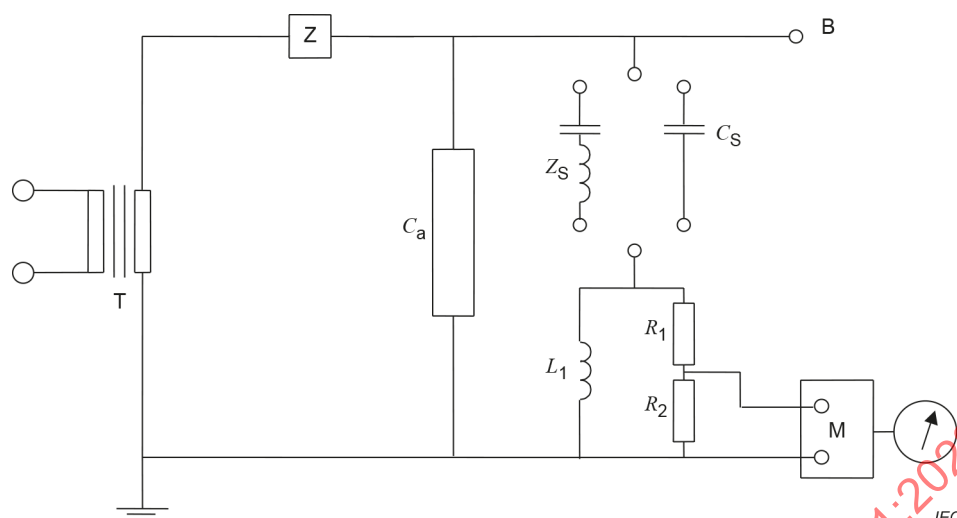
L'essai doit être réalisé dans les conditions atmosphériques suivantes:

- température: de 10 °C à 40 °C;
- pression: de 86 kPa à 106 kPa;
- humidité relative: de 45 % à 75 %.

Pendant les essais de perturbations radioélectriques, aucun facteur de correction n'est applicable conformément à l'IEC 60060-1, en fonction des conditions atmosphériques.

Les connexions d'essai et leurs extrémités ne doivent pas constituer une source de tension de perturbations radioélectriques.

Il convient de prévoir un blindage des bornes primaires simulant les conditions de fonctionnement, afin d'éviter des décharges parasites. Il est recommandé d'utiliser des sections de tube à terminaisons sphériques.



Légende

T	générateur de tension d'essai
C_a	objet en essai
C_s, Z_s	condensateur de couplage ou filtre
L_1, R_1, R_2	circuit de détection accordé
Z	filtre
B	terminaison sans décharges en couronne
M	dispositif de mesure avec résistance d'entrée R_M

Figure 9 – Circuit de mesure de RIV

La tension d'essai doit être appliquée entre l'une des bornes primaires de l'objet en essai (C_a) et la terre. Le châssis, le boîtier (s'il y a lieu), le noyau (si présent et destiné à être mis à la terre) et une borne de chaque enroulement secondaire doivent être reliés à la terre.

Le circuit de mesure (voir Figure 9) doit être conforme au CISPR TR 18-2. Le circuit de mesure doit être accordé sur une fréquence comprise entre 0,5 MHz et 2 MHz, la fréquence de mesure étant enregistrée. Les résultats doivent être exprimés en μV .

L'impédance entre le conducteur d'essai et la terre doit être de $(300 \pm 40) \Omega$ avec un angle de phase qui ne dépasse pas 20° à la fréquence de mesure.

Un condensateur, C_s , peut également être utilisé à la place du filtre Z_s et une capacité de 1 000 pF est en général appropriée.

NOTE Un condensateur spécialement conçu peut être nécessaire afin d'éviter une fréquence de résonance trop faible.

À la fréquence de mesure, le filtre Z doit avoir une impédance élevée pour découpler la source à fréquence industrielle du circuit de mesure. Une valeur jugée appropriée pour cette impédance est comprise entre 10 000 Ω et 20 000 Ω à la fréquence de mesure.

Le niveau de fond des perturbations radioélectriques (perturbations radioélectriques dues aux champs extérieurs et au transformateur haute tension) doit représenter au maximum 50 % (de préférence 30 %) du niveau de perturbation radioélectrique spécifié.

Les perturbations dues aux objets situés près du transformateur de mesure et des circuits d'essai et de mesure doivent être évitées.

Les méthodes d'étalonnage des instruments de mesure et du circuit de mesure sont spécifiées dans le CISPR TR 18-2.

Une tension de précontrainte de $1,5 \times U_m/\sqrt{3}$ doit être appliquée et maintenue pendant 30 s. Pour un VT, la fréquence d'essai peut être augmentée afin d'éviter la saturation du circuit magnétique.

La tension doit ensuite être réduite à $1,1 \times U_m/\sqrt{3}$ en 10 s environ et maintenue à cette valeur pendant 30 s avant de mesurer la tension de perturbation radioélectrique.

Le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si le niveau de perturbation radioélectrique à $1,1 \times U_m/\sqrt{3}$ est conforme au 6.11.5.

7.2.5.2 Essais d'immunité

7.2.5.2.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés pour attester de la conformité au 6.11.2.

Voir les normes spécifiques au produit pour l'applicabilité des essais individuels.

Les essais doivent être effectués accès par accès. Des recommandations pour l'identification des accès sont données à la Figure 6 et à la Figure 7. Les essais d'immunité ne sont pas appliqués aux bornes primaires.

Dans de nombreux cas, un IT peut être divisé en plusieurs sous-ensembles majeurs tels que les circuits situés dans les armoires de commande et ceux situés dans la zone de l'appareillage. Les essais CEM applicables à la technologie utilisée peuvent être réalisés sur chaque sous-ensemble majeur. Les autres sous-ensembles sont connectés et opérationnels ou simulés.

Pendant les essais d'immunité, les dispositions suivantes sont autorisées:

- une valeur de signal primaire réduite, avec un minimum de 5 % de la valeur assignée;
- une simulation du signal d'entrée du convertisseur primaire ou secondaire;
- l'utilisation d'un système de transmission plus long (voir Figure 1).

Les performances en matière de précision peuvent être difficiles à mesurer pendant l'essai d'immunité. Si la méthode normale de mesure de la précision ne peut pas être appliquée, les performances normales dans les limites de la spécification de précision peuvent être vérifiées en utilisant une autre méthode, convenue entre le fabricant et l'acheteur.

Des exemples de division en sous-ensembles majeurs sont donnés à la Figure 6 et à la Figure 7.

7.2.5.2.2 Conditions générales lors des essais d'immunité

Les conditions générales des essais CEM sont décrites dans l'IEC TR 61000-4-1 et l'IEC 61000-6-4. Pendant les essais CEM, la longueur et la disposition du câble entre l'IT et le matériel d'essai et entre les convertisseurs primaire et secondaire doivent être représentatives, dans la mesure du possible, des conditions de fonctionnement et doivent être consignées dans le rapport d'essai.

7.2.5.2.3 Essai de perturbation d'harmoniques et d'interharmoniques

L'objectif est de vérifier l'immunité de l'EIT aux composantes harmoniques et interharmoniques de l'alimentation basse tension de l'EIT. L'essai s'applique uniquement aux EIT qui utilisent une alimentation en courant alternatif.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-13. Le niveau d'essai est la classe 2 (taux de distorsion harmonique global de 10 %). Le critère d'évaluation est indiqué dans le Tableau 17.

7.2.5.2.4 Essai de variation lente de la tension

L'objectif est de vérifier l'immunité de l'EIT aux variations lentes de la tension de l'alimentation basse tension de l'EIT. L'essai est applicable aux alimentations en courant tant alternatif que continu.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-11 pour les alimentations en courant alternatif, et de l'IEC 61000-4-29 pour les alimentations en courant continu. Les variations de tension sont comprises entre –20 % et +10 % de la tension nominale de l'alimentation en courant alternatif, et entre –20 % et +10 % de la tension nominale de l'alimentation en courant continu. Le critère d'évaluation est indiqué dans le Tableau 17.

La tension stipulée dans le présent document utilise la tension assignée de l'alimentation comme base pour la spécification du niveau d'essai de tension. Si l'alimentation a une plage de tensions assignées, la procédure d'essai doit être appliquée pour la tension la plus basse et la tension la plus élevée déclarées dans la plage de tensions.

EXEMPLE Un EIT avec une plage de tensions assignées comprise entre 100 V et 200 V, et avec une plage de fonctionnement comprise entre –20 % et +10 % est soumis à essai à 80 V et 220 V.

Pour un dispositif destiné à être utilisé soit avec une alimentation en courant alternatif, soit avec une alimentation en courant continu, les deux essais doivent être réalisés.

7.2.5.2.5 Essai d'immunité aux creux de tension et coupures brèves

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux creux de tension ou aux coupures de tension de l'alimentation basse tension de l'IT. L'exigence est applicable aux alimentations en courant tant alternatif que continu.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-11 pour les alimentations en courant alternatif, et de l'IEC 61000-4-29 pour les alimentations en courant continu, et conformément au niveau d'essai pertinent donné dans le Tableau 17. Les critères d'évaluation sont indiqués dans le Tableau 17.

7.2.5.2.6 Essai d'immunité aux ondes de choc

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux transitoires unidirectionnels provoqués par des surtensions dues aux manœuvres sur le réseau d'alimentation et aux coups de foudre (directs ou indirects). Cet essai est très important pour les installations HT et MT en raison de leur forte probabilité d'exposition à la foudre.

Les niveaux d'essai et les accès applicables sont indiqués dans le Tableau 17. Pour l'essai entre phases de l'alimentation auxiliaire, l'impédance de la source du générateur d'ondes de choc doit être de 2 Ω /18 μ F. Pour l'essai phase-terre de l'alimentation auxiliaire, l'impédance de la source du générateur d'ondes de choc doit être de 12 Ω /9 μ F.

L'impédance de la source du générateur pour les essais des accès d'entrée/sortie et de communication doit être de 42 Ω /0,5 μ F.

EXEMPLE Les bornes secondaires de l'EIT sont des accès de sortie.

Les essais des accès d'entrée et de sortie blindés conçus pour satisfaire aux exigences du PEB avec une tension de service inférieure ou égale à 150 V, des accès de communication et des accès de réseau câblés doivent être réalisés conformément à l'IEC 61000-4-5:2014, Figure 12. Pour les accès non blindés, les accès de communication et les accès de réseau câblés, la méthode de couplage spécifiée dans l'IEC 61000-4-5:2014, Figure 10 et l'IEC 61000-4-5:2014, Figure 11, doit être utilisée. Le critère d'évaluation est indiqué dans le Tableau 17.

7.2.5.2.7 Essai d'immunité aux perturbations conduites (150 kHz à 80 MHz)

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux perturbations conduites qui peuvent être transférées par couplage inductif ou capacitif aux câbles d'alimentation, aux câbles de signal et aux mises à la terre.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-6, avec le niveau d'essai et les critères d'évaluation indiqués dans le Tableau 17.

7.2.5.2.8 Essai d'immunité aux perturbations conduites (0 Hz à 150 kHz)

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux perturbations à fréquence industrielle qui peuvent être transférées par couplage inductif ou capacitif aux câbles d'alimentation, aux câbles de signal et aux mises à la terre.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-16, avec le niveau d'essai et le critère d'évaluation indiqués dans le Tableau 17.

7.2.5.2.9 Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux salves de transitoires très courtes générées par des manœuvres sur des faibles charges inductives, des rebonds sur les contacts des relais (interférences conduites) ou des manœuvres d'appareillage HT – en particulier les appareillages isolés au SF₆ ou sous vide (interférences rayonnées).

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-4, avec le niveau d'essai indiqué dans le Tableau 17. La fréquence de répétition est de 5 kHz. L'essai est réalisé en utilisant le réseau de couplage/découplage sur l'accès d'alimentation et la pince de couplage capacitif sur les accès d'entrée/sortie, de signal, de commande de données et de communication. Le critère d'évaluation est indiqué dans le Tableau 17.

7.2.5.2.10 Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux ondes oscillatoires amorties répétitives qui apparaissent dans les circuits basse tension des postes HT et MT du fait de manœuvres (isolateurs dans les postes HT/MT ouverts, en particulier les manœuvres des jeux de barres HT) ou de défauts dans les réseaux HT ou MT.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-18. Le générateur d'essais à utiliser est le générateur d'ondes oscillatoires amorties (IEC 61000-4-18:2019, 6.2.1). Le niveau d'essai est définie dans le Tableau 17. Les fréquences d'essai doivent être de 1 MHz, 3 MHz, 10 MHz et 30 MHz à 400 répétitions par seconde. Le critère d'évaluation est indiqué dans le Tableau 17.

7.2.5.2.11 Essai d'immunité aux décharges électrostatiques

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux décharges électrostatiques (DES) générées par un opérateur qui touche (directement ou avec un outil) le matériel ou son entourage.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-2 uniquement appliquée à la frontière physique du matériel soumis à essai (enveloppe). Le niveau d'essai et le critère d'évaluation sont indiqués dans le Tableau 17.

7.2.5.2.12 Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT lorsqu'il est soumis à des champs magnétiques à la fréquence du réseau liés à la proximité des conducteurs électriques, des transformateurs, etc., lors du fonctionnement normal ou en défaut. Cet essai est important en raison de la faible distance attendue entre des parties électroniques de l'IT et les circuits primaires.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-8. Le niveau d'essai et le critère d'évaluation sont définis dans le Tableau 17.

7.2.5.2.13 Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT lorsqu'il est soumis à des champs magnétiques impulsionnels générés par des coups de foudre sur des bâtiments, des structures métalliques et des réseaux de terre. Cet essai est pertinent pour les installations HT et MT en raison de leur exposition accrue à la foudre.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-9. Le niveau d'essai et le critère d'évaluation sont définis dans le Tableau 17.

7.2.5.2.14 Essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT lorsqu'il est soumis à des champs magnétiques oscillatoires amortis générés par les manœuvres de sectionneurs sur des jeux de barres HT. Cet essai s'applique principalement au matériel électrique installé dans les postes HT.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-10. Le niveau d'essai et le critère d'évaluation sont définis dans le Tableau 17.

7.2.5.2.15 Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT aux champs électromagnétiques générés par des émetteurs radio ou tout autre dispositif émettant de l'énergie par rayonnement électromagnétique. La principale préoccupation dans les installations HT et MT vient de l'usage possible d'émetteurs-récepteurs portatifs (talkies-walkies) et de téléphones portables, car la probabilité de trouver des stations de radiodiffusion ou des radioamateurs dans le voisinage immédiat est généralement très faible.

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-3. Le niveau d'essai et le critère d'évaluation sont définis dans le Tableau 17. Pour les environnements plus difficiles (présence à proximité d'émetteurs haute puissance, de radars...), il convient d'envisager l'ajout de l'essai qui couvre la plage de 1 GHz à 6 GHz conformément à l'IEC 61000-6-5.

7.2.5.2.16 Essai d'immunité à l'ondulation de tension sur alimentation en courant continu

L'essai doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-4-17 pendant une durée de 1 min. Le niveau d'essai et le critère d'acceptation sont décrits dans le Tableau 17.

L'essai doit être effectué à une fréquence égale au double de la ou des fréquences spécifiées du réseau électrique.

La tension stipulée dans le présent document utilise la tension assignée de l'alimentation comme base pour la spécification du niveau d'essai de tension. Si l'alimentation a une plage de tensions assignées, la procédure d'essai doit être appliquée pour la tension la plus basse et la tension la plus élevée déclarées dans la plage de tensions.

EXEMPLE Un EIT avec une plage de tensions assignées comprise entre 100 V et 200 V, et une plage de fonctionnement comprise entre -20 % et +10 % est soumis à essai à 80 V et 220 V.

7.2.5.2.17 Essai d'arrêt et de démarrage progressifs

L'objectif de cet essai est de vérifier l'immunité de l'IT au ralentissement des perturbations de l'alimentation en courant continu qui affectent le comportement à l'arrêt et au démarrage du dispositif.

La tension stipulée dans le présent document utilise la tension assignée de l'alimentation comme base pour la spécification du niveau d'essai de tension. Si l'alimentation de l'IT a une plage de tensions assignées, la procédure d'essai doit être appliquée pour la tension la plus basse et la tension la plus élevée déclarées dans la plage de tensions.

EXEMPLE Un EIT avec une plage de tensions assignées comprise entre 100 V et 200 V, et avec une plage de fonctionnement comprise entre -20 % et +10 % est soumis à essai à 80 V et 220 V.

L'essai d'arrêt progressif débute à la tension d'alimentation nominale qui est réduite à zéro en utilisant une rampe linéaire sur un intervalle de 60 s. L'IT est laissé hors tension pendant 5 min, suivies d'une rampe linéaire pour augmenter la tension d'alimentation jusqu'à la tension d'alimentation nominale sur un intervalle de 60 s. Le niveau d'essai et les critères d'acceptation sont décrits dans le Tableau 17.

7.2.5.3 Essais d'émission CEM

Voir les normes spécifiques au produit pour l'applicabilité des essais individuels.

Un essai d'émissions conduites doit être réalisé conformément à la procédure d'essai de l'IEC 61000-6-4.

En ce qui concerne l'IEC 61000-6-4:2018, Tableau 1, le montage d'essai doit être choisi en fonction des conditions normales de montage du matériel.

Il convient que l'essai soit réalisé sur l'ensemble complet, mais pour faciliter l'essai dans le cas où l'un des sous-ensembles possibles ne contient aucune partie électrique, cet essai peut être réalisé sur les sous-ensembles restants.

7.2.6 Essais concernant la précision

7.2.6.1 Généralités

Un mesurage de la précision du transformateur de mesure doit être effectué pour démontrer la conformité au 5.7.

La précision doit être mesurée à la température ambiante. Voir les normes spécifiques au produit pour la procédure d'essai.

Le mesurage de la précision doit être effectué à f_r avec une tolérance en fréquence de ± 1 %. D'autres tolérances peuvent être spécifiées dans les normes de produit spécifiques.

De plus, la précision doit être assurée pour les températures extrêmes de la plage définie en 4.2.1 ou 4.3.3. Les normes spécifiques au produit peuvent fournir des détails supplémentaires. La méthode préférentielle consiste à réaliser l'essai de précision sur le transformateur de mesure complet placé dans une chambre climatique. Le nombre de points de mesure de précision aux températures extrêmes peut être réduit si l'essai concernant la précision à la température ambiante a démontré qu'un tel nombre réduit de points de mesure est suffisant pour démontrer la conformité à la classe de précision spécifiée. Dans le cas où l'essai de précision ne peut pas être réalisé sur le transformateur de mesure complet, d'autres méthodes possibles sont définies dans la norme spécifique au produit.

7.2.6.2 Essais de précision de base

7.2.6.2.1 Généralités

Les essais de précision de base sont destinés à démontrer la conformité à la classe de précision spécifiée. Les essais doivent être réalisés à chaque valeur du signal primaire indiquée dans les normes spécifiques au produit à la fréquence assignée, aux valeurs de charge spécifiées dans la norme de produit correspondante, et à la température ambiante.

La tolérance admise sur l'impédance de charge d'essai est de ± 3 % pour la résistance et de ± 3 % pour la réactance. Elle doit être assurée pour l'ensemble de la plage de courants ou de tensions.

EXEMPLE Une charge d'essai de 100 VA $\cos \phi$ 0,8 pour un transformateur de courant avec un courant secondaire de 1 A correspond à une résistance de $80 \Omega \pm 3$ % en série avec une réactance de $60 \Omega \pm 3$ %.

Pour les LPIT, la tolérance de la charge d'essai est de ± 1 % pour la résistance et de ± 5 % pour la capacité.

Pour les EIT qui ont un temps de retard assigné, l'essai peut être réalisé en insérant un dispositif à temps de retard pur entre le transformateur de référence et le système de mesure de la précision.

Les signaux de l'objet en essai et du transformateur de mesure de référence doivent être comparés à l'aide d'un équipement de mesure de précision. L'Annexe H fournit des exemples de configurations d'essai.

Pour l'interface numérique des transformateurs de mesure, voir l'IEC 61869-9.

Les essais de précision de base pour les transformateurs de mesure polyvalents doivent inclure les essais de précision de base spécifiés pour les deux applications, à savoir la mesure et la protection.

7.2.6.2.2 Essais de précision pour des transformateurs de mesure pour le mesurage

Voir les normes de produits spécifiques.

7.2.6.3 Essais de précision supplémentaires pour des transformateurs de mesure de protection

Voir les normes de produits spécifiques.

7.2.6.4 Essai de précision du cycle de température

L'essai supplémentaire suivant s'applique à certaines technologies. Voir les normes spécifiques au produit pour l'applicabilité.

L'essai de précision du cycle de température doit être réalisé sur les IT dans les conditions suivantes:

- à la fréquence assignée;
- avec la tension ou le courant primaire assigné appliqué pendant la période à température ambiante et à température maximale;
- sinon sans tension ou courant primaire;
- à la charge assignée (le cas échéant);
- avec les composants intérieurs et extérieurs exposés à leurs températures maximale et minimale spécifiques de l'air ambiant.

Un essai de cycle de température doit être réalisé conformément à la Figure 10.

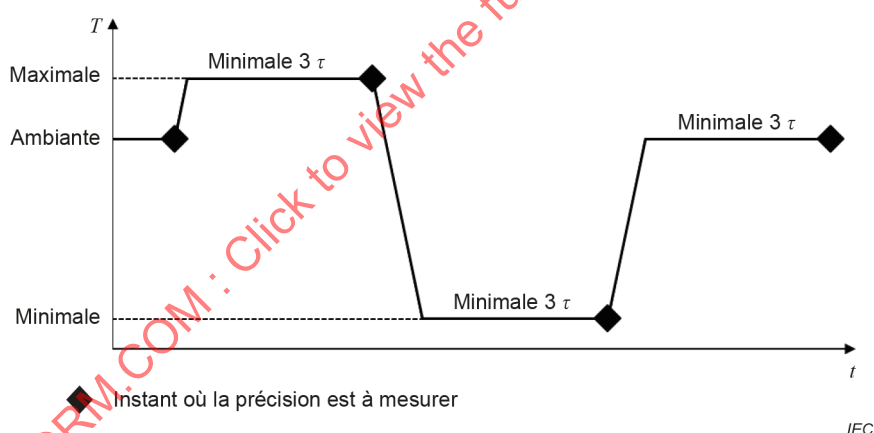


Figure 10 – Essai de précision du cycle de température

Le taux de variation de la température maximale est de 5 K/h. Il peut être plus élevé uniquement si le fabricant l'autorise.

La constante de temps thermique (τ) doit être déclarée par le fabricant.

NOTE La durée nécessaire à la stabilisation de la température du transformateur dépend principalement de la taille et de la construction du transformateur.

Le mesurage de la précision doit être effectué à la fin de chaque période de température stable.

Pour les IT avec composants intérieurs et extérieurs, les essais doivent être réalisés pour les parties intérieures et extérieures, chacun aux deux extrêmes de la plage de températures pertinente, en respectant les règles suivantes:

- température de l'air ambiant pour les deux parties;

- température maximale pour la partie intérieure et température maximale pour la partie extérieure;
- température minimale pour la partie intérieure et température minimale pour la partie extérieure.

Dans des conditions d'environnement normales, l'erreur mesurée de chaque point de mesure doit être dans les limites de la classe de précision correspondante.

L'essai peut être réalisé avec une tension ou un courant primaire réduit s'il peut être démontré que le comportement de l'IT est linéaire au moins à partir de cette valeur réduite jusqu'à la valeur de mesure spécifiée par la norme pertinente.

7.2.7 Vérification du degré de protection conféré par les enveloppes

7.2.7.1 Vérification du codage IP

Conformément aux exigences spécifiées en 6.10, des essais doivent être réalisés conformément à l'IEC 60529 sur les enveloppes des transformateurs de mesure entièrement assemblés comme dans les conditions de fonctionnement. Comme les connexions réelles de câbles entrant dans les enveloppes ne sont normalement pas installées pour les essais de type, des pièces de remplissage correspondantes doivent être utilisées.

Une enveloppe peut être soumise à essai séparément à condition que les zones d'étanchéité soient assemblées comme dans les conditions de fonctionnement.

7.2.7.2 Essai d'impact mécanique

Conformément aux exigences spécifiées en 6.10.3, les enveloppes doivent être soumises à un essai d'impact. Trois coups sont frappés sur les points de l'enveloppe qui sont susceptibles d'être les points les moins résistants. Les dispositifs tels que les connecteurs et les afficheurs sont exclus de cet essai.

Tout essai d'impact tel que défini dans l'IEC 60068-2-75 est acceptable.

À l'issue de l'essai, l'enveloppe ne doit présenter aucune cassure. La déformation de l'enveloppe ne doit ni affecter le fonctionnement normal du transformateur de mesure ni réduire le degré de protection spécifié. Pour vérifier que le degré de protection spécifié n'a pas été réduit, une vérification du codage IP doit être effectuée après l'essai d'impact mécanique.

Les dommages superficiels, tels que l'écaillage de la peinture, la rupture d'ailettes de refroidissement ou d'éléments similaires, ou les enfoncements de petite dimension peuvent être ignorés.

7.2.8 Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante

L'essai d'étanchéité sur l'enveloppe sous pression fermée des transformateurs de mesure à isolation gazeuse doit attester de la conformité aux exigences spécifiées en 6.2.4.2 et doit être réalisé sur un transformateur complet à une température ambiante comprise entre 10 °C et 40 °C.

La méthode doit être la méthode par accumulation pour les systèmes à pression autonome, comme spécifié par l'IEC 60068-2-17 (méthode d'essai 1 de l'essai Qm).

Toute ouverture présente sur l'enveloppe du transformateur doit être scellée avec les pièces d'étanchéité d'origine.

Le transformateur doit être rempli du même mélange gazeux que celui utilisé en fonctionnement, à la pression de remplissage assignée, à une température ambiante de 20 °C.

La sensibilité du mesurage des fuites doit permettre de détecter un taux de fuite annuel correspondant à environ 0,1 %.

NOTE La sensibilité d'un mesurage de fuites varie avec la sensibilité du dispositif de mesure de fuites, avec la capacité du volume de mesure et avec la durée entre deux mesurages de concentration.

L'essai doit débuter après une durée d'au moins 1 h à partir du remplissage du transformateur de mesure, afin de permettre une stabilisation du débit de fuite.

L'essai de type d'étanchéité n'est pas obligatoire si l'essai d'étanchéité individuel de série est réalisé à l'aide de la méthode par accumulation (méthode d'essai 1 de l'essai Qm).

7.2.9 Essai d'épreuve de l'enveloppe remplie de gaz

Cet essai doit être réalisé sur chaque enveloppe séparée pour vérifier la conformité au 6.17. L'essai doit être effectué avant l'assemblage.

Des essais d'épreuve doivent être réalisés lorsque la résistance de l'enveloppe ou de ses parties n'est pas calculée. Ils doivent être conduits sur des enveloppes individuelles avant l'ajout des parties internes, avec des conditions d'essai basées sur les contraintes de pression de calcul.

Les essais d'épreuve doivent être des essais de pression destructifs ou non destructifs, selon le matériau utilisé.

Dans le cas d'un essai de pression destructif, la rupture de l'enveloppe ne doit pas se produire à une pression inférieure à la pression d'essai spécifiée par la norme nationale applicable.

Dans le cas d'un essai de pression non destructif, voir l'IEC 62271-203:2022, 6.103.3.

Pour les isolateurs des transformateurs de mesure à isolation gazeuse, se reporter à l'IEC 62155 et à l'IEC 61462.

7.2.10 Essais mécaniques

Les essais sont réalisés pour démontrer qu'un transformateur de mesure indépendant est conforme aux exigences spécifiées en 6.7.

Les transformateurs de mesure doivent être entièrement montés et installés dans la même position qu'en fonctionnement, avec le châssis fixé de façon rigide.

Les transformateurs de mesure à isolation liquide doivent être remplis avec le liquide isolant spécifié pour l'opération et soumis à la pression de fonctionnement.

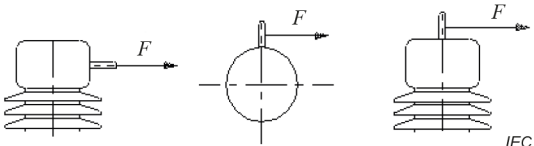
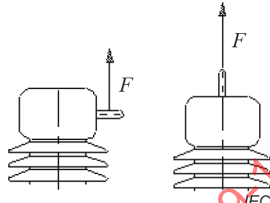
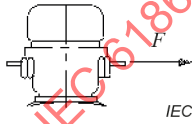
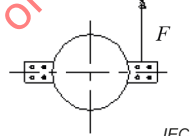
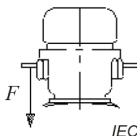
Les transformateurs de mesure indépendants à isolation gazeuse doivent être remplis de gaz à la pression de remplissage assignée.

Pour chacune des conditions indiquées dans le Tableau 23, la charge d'essai est appliquée à la borne principale.

Elle doit être augmentée progressivement en l'espace de 30 s à 90 s jusqu'à la valeur de charge de tenue statique indiquée dans le Tableau 14. Lorsque la valeur est atteinte, elle doit être maintenue pendant au moins 60 s. Pendant ce temps, la déviation doit être mesurée et enregistrée. La charge d'essai doit alors être libérée de manière progressive.

Le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucun dommage n'est apparent (déformation de certaines parties, rupture ou fuite).

Tableau 23 – Modalités d'application des charges d'essai aux bornes primaires

Type de transformateur de mesure	Modalité d'application	
Avec borne de tension	Horizontale	
	Verticale	
Avec bornes à traversée de courant	Horizontale à chaque borne (P1 et P2)	
		
	Verticale à chaque borne (P1 et P2)	
La charge d'essai doit être appliquée au centre de la borne.		

7.2.11 Essai de tenue en tension des composants basse tension et des bornes secondaires

Cet essai s'applique aux LPIT. Se reporter à la norme spécifique au produit pour l'applicabilité.

Une tension d'essai aux ondes de choc doit être appliquée aux bornes secondaires et aux points de connexion des composants basse tension, dans un état propre et sec. Le LPIT n'est pas alimenté.

L'essai doit être réalisé à la tension d'essai prescrite, entre chaque circuit indépendant et tous les autres circuits reliés à la terre.

Pour l'essai entre un circuit donné et tous les autres circuits, tous les points de connexion du circuit indépendant doivent être connectés ensemble.

Sauf s'ils sont évidents, les circuits indépendants doivent être décrits par le fabricant. Par exemple, le convertisseur secondaire et le concentrateur peuvent être des circuits indépendants.

Pour les dispositifs équipés d'une enveloppe isolante, les parties conductrices exposées nécessaires à l'essai doivent être représentées par une feuille métallique qui recouvre l'ensemble de l'enveloppe, à l'exception des bornes autour desquelles une certaine distance doit être maintenue pour éviter le contournement des bornes.

Les essais de tenue en tension de choc doivent être réalisés en appliquant la tension indiquée en 5.4.5.2.

Un choc de foudre normal conformément à l'IEC 60060-1 doit être utilisé. Les paramètres du générateur de chocs sont les suivants:

- impédance de sortie: $500 \Omega \pm 50 \Omega$;
- énergie de sortie: $0,5 \text{ J} \pm 0,05 \text{ J}$.

La longueur de chaque fil de connexion ne doit pas dépasser 2 m.

La tension de choc doit être appliquée aux bornes secondaires et aux points appropriés accessibles depuis l'extérieur du dispositif, en raccordant les autres circuits et les parties conductrices exposées à la terre.

Pendant l'essai, aucune grandeur d'alimentation d'entrée ou d'alimentation auxiliaire ne doit être appliquée à l'appareil.

Trois chocs positifs et trois chocs négatifs doivent être appliqués toutes les 5 s au moins.

L'essai doit être considéré comme réussi si:

- il n'y a pas de contournement;
- après l'essai, le transformateur de mesure est toujours conforme aux essais de précision de base.

7.2.12 Essais d'environnement climatique de stockage

7.2.12.1 Généralités

Le cas échéant, les essais d'environnement climatique de stockage doivent être appliqués conformément à 6.22.

Dans de nombreux cas, les IT peuvent être divisés en plusieurs sous-ensembles majeurs, tels que les circuits situés dans les armoires de commande et ceux situés dans la zone de l'appareillage. Les essais d'environnement climatique doivent être réalisés pour chaque sous-ensemble.

7.2.12.2 Essai de chaleur sèche à la température de stockage

L'essai de stockage à chaleur sèche doit être réalisé pour démontrer la résistance du matériel à la température de stockage. L'objectif de cet essai est de vérifier la capacité des composants électroniques des LPIT à être transportés ou stockés à haute température.

L'essai doit être réalisé conformément aux exigences du Tableau 24.

Tableau 24 – Essai de chaleur sèche à la température de stockage

Objet	Conditions d'essai
Référence d'essai	Essai Bb de l'IEC 60068-2-2:2007
Préconditionnement	Selon les spécifications du fabricant
Mesurage initial	Essai de précision de base conformément à 7.2.6.2, et essais diélectriques individuels de série pour les composants basse tension conformément à 7.3.5
Conditions	Hors tension
Température de stockage	Comme pour la température maximale de stockage spécifiée pour le matériel, la valeur doit être choisie conformément à 4.2.1.
Précision	± 2 °C (voir l'IEC 60068-2-2:2007, 6.2)
Humidité	Conformément à l'IEC 60068-2-2:2007, 6.8.2, essai Bb
Durée d'exposition	au minimum 16 h
Procédure de reprise:	Voir l'IEC 60068-2-2:2007, 6.11
– conditions climatiques	Température: (20 ± 5) °C Humidité relative: 45 % à 75 % Pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa
– alimentation	Alimentation hors tension

Critères d'acceptation: essais individuels de série selon le Tableau 22 réussis après l'essai.

7.2.12.3 Essai au froid à la température de stockage

L'essai de stockage au froid doit être réalisé pour démontrer la résistance du matériel au stockage au froid. L'objectif de cet essai est de vérifier la capacité des composants électroniques des LPIT à être transportés ou stockés à basse température.

L'essai doit être réalisé conformément aux exigences du Tableau 25.

Tableau 25 – Essai au froid à la température de stockage

Objet	Conditions d'essai
Référence d'essai	Essai Ab de l'IEC 60068-2-1:2007
Préconditionnement	Selon les spécifications du fabricant
Mesurage initial	Essai de précision de base conformément à 7.2.6.2, et essais diélectriques individuels de série pour les composants basse tension conformément à 7.3.5
Conditions	Hors tension
Température de stockage	Comme pour la température minimale de stockage spécifiée pour le matériel, choisie conformément à 4.2.1.
Précision	± 3 °C (voir l'IEC 60068-2-1:2007, 6.2)
Humidité	Non applicable
Durée d'exposition	au minimum 16 h
Procédure de reprise:	Voir l'IEC 60068-2-1:2007, 6.12
– conditions climatiques	Température: (20 ± 5) °C Humidité relative: 45 % à 75 % Pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa
– alimentation	Alimentation hors tension

Critères d'acceptation: les essais individuels de série selon le Tableau 22 sont réussis après l'essai.

7.2.12.4 Essai continu de chaleur humide

L'essai continu de chaleur humide doit être réalisé pour démontrer la résistance du matériel à une exposition dans des atmosphères de condensation à taux d'humidité élevé. L'objectif de cet essai est de vérifier la capacité des composants électroniques des LPIT à être transportés, stockés ou utilisés dans des conditions de forte humidité continue.

L'essai doit être réalisé conformément aux exigences du Tableau 26.

Tableau 26 – Essai continu de chaleur humide

Objet	Conditions d'essai
Référence d'essai	Essai Cab: IEC 60068-2-78: 2012
Préconditionnement	1) Stabilisation dans la chambre d'essai à $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$, $(60 \pm 10) \%$ d'humidité relative. 2) Après stabilisation, l'humidité relative doit être augmentée à 95 % ou plus en 1 h, tout en maintenant la même température.
Mesurage initial	Essai de précision de base conformément à 7.2.6.2, et essais diélectriques individuels de série pour les composants basse tension conformément à 7.3.5
Conditions	Pendant l'essai, les convertisseurs primaires et secondaires doivent être en permanence sous tension et maintenus en conditions de fonctionnement, avec toute grandeur d'influence réglée à sa condition de référence.
Température	$(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Humidité	$(93 \pm 3) \%$
Durée d'exposition	au minimum 4 jours
Procédure de reprise:	Voir l'IEC 60068-2-78:2012, 4.5
– conditions climatiques	Température: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Humidité relative: 45 % à 75 % Pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa
– alimentation	Convertisseurs primaires et secondaires alimentés.

Critères d'acceptation: les essais individuels de série selon le Tableau 22 sont réussis après l'essai.

7.2.13 Essai de vibrations

Cet essai doit être appliqué conformément à l'IEC 60068-2-6.

L'IT doit être soumis à un essai d'endurance par balayage avec les paramètres suivants:

- plage de fréquences: 10 Hz à 150 Hz;
- 20 cycles de balayage selon chaque axe.

Les parties suivantes du LPIT doivent être soumises à essai:

- les éléments de détection primaires et les convertisseurs primaires, qui n'ont pas besoin d'être soumis à essai avec le système d'isolation primaire;
- les convertisseurs secondaires;
- les parties électroniques (le cas échéant).

Le signal secondaire du LPIT doit fonctionner correctement (critère B du Tableau 18) lorsqu'il est soumis à des niveaux de vibrations adaptés à son application. Critères d'acceptation: les essais individuels de série selon le Tableau 22 sont réussis après l'essai.

7.2.14 Durabilité des marquages

Cet essai contrôle la qualité du marquage, et non la qualité du transformateur de mesure.

La conformité est vérifiée en frottant les marquages à la main pendant 15 s avec un morceau de coton imbibé d'eau, puis de nouveau pendant 15 s avec un morceau de coton imbibé d'un autre agent de nettoyage.

L'autre agent de nettoyage doit être choisi dans la liste suivante:

- les agents de nettoyage spécifiés dans le manuel d'utilisation;
- l'acétone ($\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$);
- le n-hexane à 95 % (C_6H_{14});
- l'alcool isopropylique ($\text{CH}_3\text{CH(OH)-CH}_3$).

Après le traitement ci-dessus, les marquages doivent être clairement lisibles et les étiquettes adhésives ne doivent pas se détacher ou présenter d'ondulations au niveau des bords.

Cet essai n'est pas nécessaire si les marquages sont obtenus par des moulages ou s'ils sont gravés.

7.2.15 Essais concernant la précision pour les harmoniques

Les essais sont effectués pour démontrer que l'objet en essai satisfait à l'exigence de précision sur les harmoniques donnée en 5.7.4.

Dans l'idéal, il convient de réaliser les essais sur les harmoniques avec le signal primaire assigné à la fréquence assignée, auquel il faut ajouter un pourcentage du signal primaire assigné à chaque fréquence harmonique prise en compte. Il convient qu'un tel signal primaire donne une image réaliste des exigences dynamiques sur le transformateur, ainsi qu'une bonne image de certains phénomènes non linéaires qui peuvent se produire dans le transformateur (intermodulation, par exemple). Des exemples de valeur de signal sont donnés dans l'IEC TR 61869-103:2012, 7.6.

Cependant, il peut s'avérer difficile de disposer d'un circuit d'essai qui génère ce type de signal primaire. Pour des raisons pratiques, il est admis de réaliser les essais de précision avec une seule fréquence harmonique appliquée du côté primaire pour chaque mesurage.

L'utilisation d'un montage d'essai approprié est exigée (voir l'IEC TR 61869-103 pour obtenir de plus amples détails).

Les dispositifs à circuit ferromagnétique (CT ou VT inductifs, CVT et transformateurs d'entrée auxiliaire SAMU) sont susceptibles de faire l'objet d'une saturation du noyau ferromagnétique et ne peuvent généralement pas être soumis à l'essai à basses fréquences en utilisant des niveaux de tension/courant complets. Pour ces dispositifs, il convient de procéder aux mesurages à des fréquences inférieures à la fréquence assignée, avec une amplitude de signal d'essai réduite de manière proportionnelle à la fréquence:

$$I_{\text{test}} = I_{\text{pr}} \times \frac{f_{\text{test}}}{f_r} \quad \text{ou} \quad U_{\text{test}} = U_{\text{pr}} \times \frac{f_{\text{test}}}{f_r}$$

Dans le cas des capteurs de courant, les dispositifs à bobine de Rogowski/bobine à air fournissent une tension dont l'amplitude augmente avec la fréquence. Pour éviter l'écrêtage du circuit de mesure, il convient d'effectuer des essais au-dessus de la fréquence assignée, avec une amplitude de signal d'essai réduite de manière inversement proportionnelle à la fréquence:

$$I_{\text{test}} = I_{\text{pr}} \times \frac{f_r}{f_{\text{test}}}$$

Les dispositifs optoélectroniques sont en principe insensibles à la fréquence du signal d'essai. Le niveau du signal d'essai à différentes fréquences est principalement déterminé par les capacités du laboratoire d'essai.

La réponse à basse fréquence inférieure à la fréquence assignée peut être mesurée en procédant par balayage d'un signal sinusoïdal. Le balayage de fréquence doit commencer à la fréquence assignée et se terminer lorsque le point correspondant à 1 Hz est atteint. Le balayage de fréquence peut être continu ou exécuté en une série de paliers. S'il est continu, la vitesse de balayage ne doit pas être supérieure à ¼ d'octave par seconde. S'il est discret, il doit y avoir au moins quatre paliers par octave.

Pour les mesures de réponse en courant continu, la période minimale pour l'établissement d'une moyenne doit être de 10 s.

La précision des transformateurs de mesure peut dépendre des caractéristiques de la tension, c'est-à-dire de l'amplitude de tension et de la présence d'une tension fondamentale, pour certains types de transformateurs de mesure. Dans ce cas, des informations sur la caractéristique de tension pour laquelle le niveau d'extension pour les harmoniques est satisfait doivent être consignées dans le rapport d'essai.

7.2.16 Essai concernant l'antirepliement

L'essai doit être réalisé pour mesurer l'atténuation du filtre antirepliement en fonction de la fréquence.

Les résultats doivent être comparés aux limites du Tableau 10.

Sous réserve que le comportement du dispositif ne soit pas affecté, le signal primaire peut être simulé par un générateur de signaux adapté connecté avant le filtre antirepliement.

L'amplitude du signal primaire doit être au moins égale à 1 % du signal primaire assigné.

NOTE Si le phénomène de repliement est constaté, le signal primaire et le signal secondaire ne présentent pas la même fréquence. Par conséquent, les montages d'essai qui utilisent des configurations en pont ne peuvent pas être utilisés. Le moyen le plus simple pour réaliser cet essai consiste à calculer ou mesurer séparément les valeurs efficaces pour le courant ou la tension primaire et la tension secondaire, à l'aide d'un système numérique ou d'un simple multimètre pour les systèmes analogiques.

7.3 Essais individuels de série

7.3.1 Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes primaires

L'essai doit être réalisé sur le transformateur de mesure entièrement assemblé comme s'il était en fonctionnement.

Lorsqu'ils existent, les convertisseurs primaires et secondaires doivent être raccordés conformément aux instructions du fabricant.

L'essai de tenue en tension à la fréquence industrielle doit être effectué conformément à l'IEC 60060-1.

La tension d'essai doit avoir la valeur appropriée indiquée dans le Tableau 2, en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel. La durée doit être de 60 s, sauf spécification contraire.

Les essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes primaires des transformateurs de mesure récemment fabriqués doivent être réalisés conformément au Tableau 2. Pour les transformateurs de mesure qui ont déjà fonctionné, il convient de réduire la tension d'essai à 80 % de la tension d'essai spécifiée, avec un minimum de U_m .

NOTE Les essais de tenue en tension à la fréquence industrielle s'appliquent également aux transformateurs de mesure qui reviennent du terrain.

La tension d'essai doit être appliquée:

- entre les bornes primaires et la terre pour les transformateurs de mesure dans le cas de VT mis à la terre et de CT;
- entre les bornes primaires, en cas de VT entre phases.

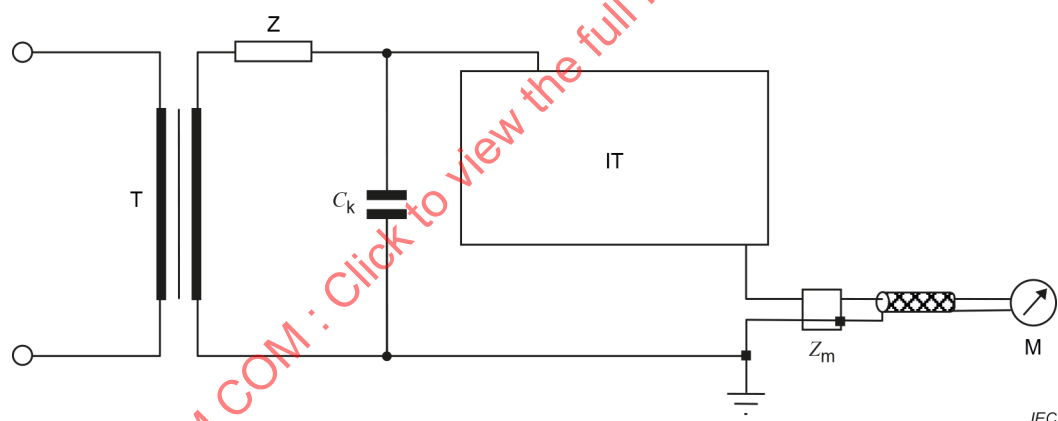
Les bornes secondaires, le châssis, le boîtier (s'il y a lieu) et le noyau (s'il y a une borne de terre spéciale) doivent être reliés à la terre.

L'essai est réussi si aucune décharge disruptive ne se produit.

7.3.2 Mesurage des décharges partielles

7.3.2.1 Circuit d'essai et appareils de mesure

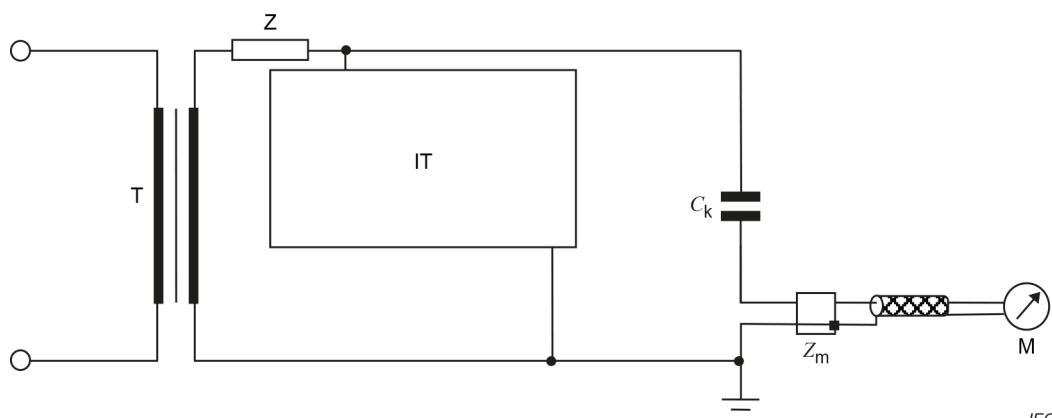
Le circuit d'essai et les appareils de mesure utilisés doivent être conformes à l'IEC 60270. Des exemples de circuits d'essai sont présentés à la Figure 11, à la Figure 12 et à la Figure 13.



Légende

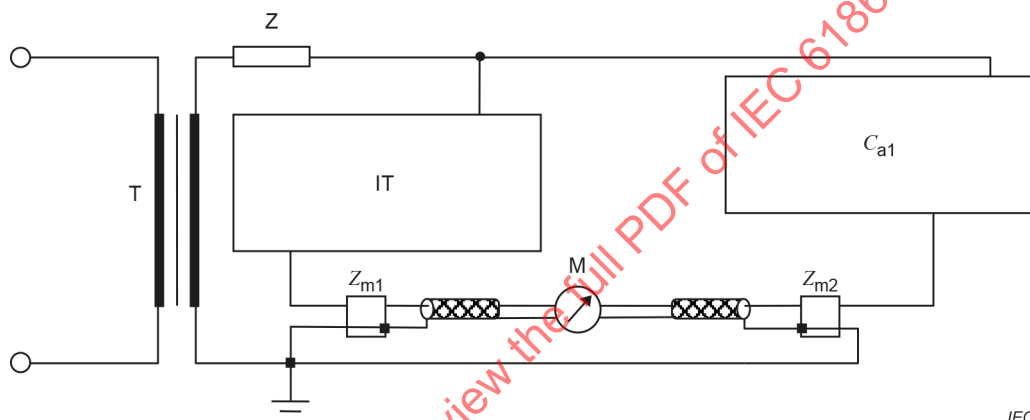
- T générateur de tension d'essai
 IT transformateur de mesure à soumettre à l'essai
 C_k condensateur de couplage
 M appareil de mesure des décharges partielles
 Z_m impédance de mesure
 Z filtre

Figure 11 – Circuit d'essai pour le mesurage des décharges partielles



Légende voir la Figure 11.

Figure 12 – Autre circuit pour le mesurage des décharges partielles



Légende

- T générateur de tension d'essai
- IT transformateur de mesure à soumettre à essai
- M appareil de mesure des décharges partielles
- Z filtre
- C_{a1} objet auxiliaire sans décharges partielles
- Z_{m1} , Z_{m2} impédances de mesure

Figure 13 – Exemple de circuit d'essai équilibré pour le mesurage des décharges partielles

L'appareil utilisé pour le mesurage des décharges partielles doit mesurer la charge apparente exprimée en picocoulombs (pC). Son étalonnage doit être réalisé conformément à l'IEC 60270:2015, Article 5.

Sa sensibilité doit permettre de détecter un niveau de décharges partielles de 5 pC. Il convient que le niveau de bruit de fond soit inférieur à 50 % des limites de décharges partielles à mesurer, comme défini dans le Tableau 4. Il est admis de ne pas tenir compte des impulsions qui ont pour origine avérée des perturbations extérieures.

Pour la suppression du bruit externe, le circuit d'essai équilibré (voir Figure 13) peut être utilisé.

7.3.2.2 Procédure d'essai de décharges partielles

Après l'application d'une précontrainte selon la procédure A ou B, les tensions d'essai de décharges partielles spécifiées dans le Tableau 4 sont atteintes et les niveaux de décharges partielles correspondants sont mesurés pendant une durée de 30 s (voir Figure 14). Dès que le niveau de PD est enregistré, la tension peut être réduite à l'étape suivante. En cas d'extinction ou d'absence de PD, la tension peut être directement ramenée à zéro.

En présence de PD, la tension d'apparition des décharges partielles, détectée pendant l'augmentation de tension, et la tension d'extinction, détectée pendant la baisse de tension (comme défini dans l'IEC 60050-212:2014, 212-11-41 et l'IEC 60050-212:2014, 212-11-42) doivent être enregistrées à des fins de diagnostic.

La limite de référence pour la tension d'apparition des PD et la tension d'extinction correspond au niveau de bruit de fond dans le champ d'essai en l'absence d'objet en essai.

Les décharges partielles mesurées ne doivent pas dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 4.

Procédure A: les tensions de l'essai de décharges partielles sont atteintes tout en réduisant la tension, juste après l'essai de tenue à la tension à fréquence industrielle sur les bornes primaires.

Procédure B: l'essai de décharges partielles est réalisé au maximum 1 h après l'essai de tenue à la fréquence industrielle. La tension appliquée est augmentée jusqu'à 80 % de la tension de tenue à la fréquence industrielle (avec un minimum de U_m), maintenue pendant au moins 60 s, puis réduite sans interruption jusqu'aux tensions spécifiées d'essai de décharges partielles.

NOTE La limite d'1 h entre l'essai de tenue à la fréquence industrielle et le cycle de décharges partielles est nécessaire pour s'assurer que l'isolation n'a pas été rétablie pendant ce temps.

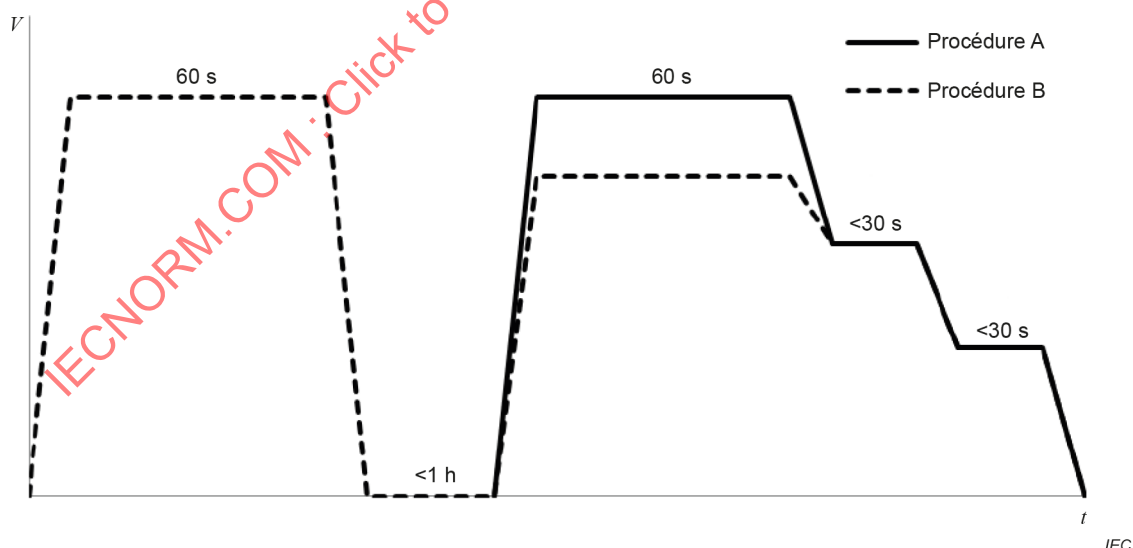


Figure 14 – Profil de tension pour le mesurage des décharges partielles

Sauf spécification contraire, le choix de la procédure est laissé au fabricant. La méthode d'essai utilisée doit être indiquée dans le rapport d'essai.

7.3.3 Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle entre sections

Cet essai est uniquement applicable aux transformateurs de mesure qui ont plus d'une section.

L'essai entre les sections des enroulements secondaires est remplacé par l'essai sur les bornes secondaires (7.3.4).

La tension d'essai conformément à 5.4.4 doit être appliquée successivement, pendant 60 s, entre les bornes en court-circuit de chaque section.

Le châssis, le boîtier (s'il y a lieu), le noyau (s'il y a une borne de terre spéciale) et les bornes de tous les enroulements ou sections doivent être reliés ensemble et à la terre.

L'essai est réussi si aucune décharge disruptive ne se produit.

7.3.4 Essais de tenue en tension à la fréquence industrielle sur les bornes secondaires

Une tension d'essai conforme au 5.4.5.1 ou 5.4.5.2 doit être appliquée successivement, pendant 60 s, entre les bornes en court-circuit de chaque enroulement secondaire et la terre, avec toutes les autres bornes secondaires en court-circuit et reliées à la terre, de même que le châssis et le noyau (s'il y a une borne de terre spéciale).

Pour les CT pour traversées, la terre doit être simulée par l'une des méthodes suivantes:

- monter le transformateur de courant sur un dispositif d'essai d'une manière représentative du montage en fonctionnement;
- envelopper une feuille conductrice autour du corps du CT;
- immerger le CT dans un bain rempli de liquide conducteur ou de billes métalliques.

L'essai est réussi si aucune décharge disruptive ne se produit.

7.3.5 Essai de tenue en tension à la fréquence industrielle pour les composants basse tension

Se reporter à la norme spécifique au produit pour l'applicabilité de cet essai.

Les essais de tenue en tension à la fréquence industrielle doivent être réalisés en se conformant aux exigences d'isolement spécifiées en 5.4.5.2.

La tension d'essai doit être appliquée successivement, pendant 60 s, entre les bornes en court-circuit de chaque composant basse tension et la terre, avec toutes les autres bornes en court-circuit et reliées à la terre avec le châssis.

La tension d'essai doit être mesurée aux points d'essai avec une précision supérieure à 3 %.

La tension d'essai doit être sinusoïdale avec une fréquence comprise entre 45 Hz et 65 Hz.

La tension doit être augmentée jusqu'à la valeur spécifiée et maintenue pendant 60 s de telle sorte qu'aucun transitoire significatif n'apparaisse. Elle doit ensuite être ramenée à zéro aussi rapidement que possible.

L'essai est réussi si aucune décharge disruptive ne se produit.

7.3.6 Essai concernant la précision

7.3.6.1 Généralités

L'essai individuel de série est, en principe, le même que l'essai de type spécifié en 7.2.6.2. Cependant, les essais individuels de série en un nombre réduit de points d'essai sont admis si des essais de type sur un transformateur de mesure similaire ont démontré que ce nombre d'essais réduit est suffisant pour démontrer la conformité à la classe de précision spécifiée.

7.3.6.2 Procédure d'essai

Voir les normes spécifiques au produit.

7.3.7 Vérification des marquages

Le marquage correct de la plaque signalétique et des bornes doit être vérifié.

7.3.8 Essai d'étanchéité de l'enveloppe à la température ambiante

7.3.8.1 Systèmes sous pression fermés pour le gaz

L'essai d'étanchéité de l'enveloppe des transformateurs de mesure à isolation gazeuse doit attester de la conformité aux exigences spécifiées en 6.2.4 et doit être réalisé sur un transformateur de mesure complet à la température ambiante (comprise entre 10 °C et 40 °C).

Si possible, la méthode est la méthode par accumulation pour les systèmes à pression autonome, comme spécifié par l'IEC 60068-2-17 (méthode d'essai 1 de l'essai Qm).

La détection des fuites au moyen d'un essai par reniflage peut être utilisée (méthode d'essai 2 de l'essai Qm). Si une fuite est détectée avec le détecteur de fuites, cette fuite doit alors être quantifiée à l'aide de la méthode par accumulation.

Il convient de débiter l'essai au moins 1 h après le remplissage du transformateur, afin d'obtenir un débit de fuite stabilisé.

La sensibilité du mesurage des fuites doit permettre de détecter un taux de fuite annuel correspondant à environ 0,25 %.

7.3.8.2 Systèmes à isolation liquide

Le but des essais d'étanchéité est de démontrer qu'il n'y a pas de fuite. Ces essais s'appliquent à tous les compartiments du transformateur de mesure.

Le transformateur de mesure doit être assemblé, hermétiquement scellé comme en fonctionnement et rempli de son fluide isolant normal. Une pression minimale de 0,05 MPa au-dessus de la pression de fonctionnement maximale doit être maintenue pendant 24 h à l'intérieur du dispositif. Le transformateur de mesure doit être considéré comme ayant réussi l'essai si aucune fuite n'est apparente.

Il est admis de bloquer le système d'expansion de liquide pendant l'essai d'étanchéité.

La pression de fonctionnement maximale est la pression interne maximale observée dans les conditions les plus sévères (température ambiante et chauffage interne). La valeur doit être documentée par le fabricant.

7.3.9 Essai sous pression de l'enveloppe remplie de gaz

Cet essai est réalisé sur chaque enveloppe séparée pour vérifier la conformité au 6.17. L'essai doit être effectué avant l'assemblage.

Des essais de pression doivent être menés sur les boîtiers une fois l'usinage terminé.

L'essai sous pression doit être de k fois la pression de calcul, où le facteur k est égal à:

- 1,3 pour les enveloppes en aluminium soudé et en acier soudé;
- 2 pour les enveloppes en aluminium moulé et en aluminium composite.

Pour les isolateurs des transformateurs de mesure à isolation gazeuse, se reporter à l'IEC 62155 et à l'IEC 61462.

Aucune rupture ni déformation permanente ne doit se produire pendant cet essai.

7.3.10 Mesurage de la capacité et du facteur de dissipation diélectrique

L'essai doit être effectué après l'essai de tenue à la fréquence industrielle sur les bornes primaires.

Un mesurage de $\tan\delta$ et de la capacité doit être effectué à une tension $U_m/\sqrt{3}$. Un mesurage supplémentaire à 10 kV doit être réalisé pour information.

La valeur de $\tan\delta$ à $U_m/\sqrt{3}$ doit être inférieure ou égale à la valeur spécifiée au 5.4.3.3 pour le type d'isolation.

7.4 Essais spéciaux

7.4.1 Essai de tenue aux chocs coupés multiples sur les bornes primaires

L'essai est réalisé pour démontrer la conformité au 6.8 (lorsque cela est spécifié).

Le cas échéant, l'essai doit être réalisé sur le transformateur de mesure entièrement assemblé comme s'il était en fonctionnement.

Lorsqu'ils existent, les convertisseurs primaires et secondaires doivent être raccordés conformément aux instructions du fabricant.

La tension doit être un choc de foudre coupé normal de polarité négative, avec une durée jusqu'à la coupure comprise entre 2 μ s et 5 μ s, comme défini dans l'IEC 60060-1.

Pour les transformateurs de courant, la tension d'essai doit être appliquée entre les bornes primaires (reliées entre elles) et la terre, et pour les transformateurs de tension mis à la terre, entre la borne haute tension primaire et la borne de terre primaire reliée à la terre comme en fonctionnement. Le châssis, le boîtier (s'il y a lieu) et le noyau (si présent et destiné à être mis à la terre) doivent être reliés à la terre.

Pour les transformateurs de tension à sorties analogiques, toutes les bornes "n" doivent être raccordées à la terre, tandis que les autres bornes doivent être laissées ouvertes. Pour les transformateurs de courant à sortie analogique, toutes les bornes secondaires doivent être en court-circuit et reliées à la terre.

La valeur de crête de la tension d'essai doit être égale à 70 % de la tension de tenue aux chocs de foudre assignée. Le front de choc de la tension d'essai doit être de 1,2 μ s, conformément à l'IEC 60060-1.

La durée virtuelle de la chute de tension, mesurée conformément à l'IEC 60060-1, doit être comprise entre 0,4 μ s et 0,5 μ s et le circuit doit être tel que la suroscillation de polarité opposée du choc soit d'environ 30 % de la tension de crête prescrite.

600 chocs consécutifs doivent être appliqués, à un rythme d'environ 1 choc par minute.