

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Photovoltaic system power conversion equipment – Design qualification and type approval

**Matériel de conversion de puissance des systèmes photovoltaïques –
Qualification de la conception et approbation de type**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62093:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

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



Photovoltaic system power conversion equipment – Design qualification and type approval

**Matériel de conversion de puissance des systèmes photovoltaïques –
Qualification de la conception et approbation de type**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-1064-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Sampling	13
5 Testing requirements	14
5.1 General.....	14
5.2 Environmental service conditions	14
5.2.1 General	14
5.2.2 Outdoor	14
5.2.3 Indoor, unconditioned	15
5.2.4 Indoor, conditioned	15
5.3 Test sequences	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Test conditions for Category 1 PCE (Module level power electronics)	15
5.3.3 Test conditions for Category 3 PCE–large scale and Category 4 PCE– central large scale power conversion equipment	16
5.3.4 Test conditions for Category 4 PCE (large central power conversion equipment)	16
5.4 General testing requirements	21
5.4.1 Installation of testing sample	21
5.4.2 Peripherals	21
5.4.3 Connectors and wiring	21
5.4.4 Measuring instruments and monitoring equipment	21
5.4.5 Electrical power sources	21
5.4.6 Electrical loads	22
5.4.7 Earthing terminals	22
5.4.8 Controls	22
5.5 Pass criteria.....	23
6 Test procedures	23
6.1 Visual inspection.....	23
6.1.1 Purpose	23
6.1.2 Apparatus	23
6.1.3 Procedure.....	23
6.1.4 Requirements	23
6.2 Characterization of operating performance.....	24
6.2.1 Purpose	24
6.2.2 Apparatus	24
6.2.3 Procedure.....	24
6.2.4 Restrictions and exceptions	24
6.2.5 Requirements	24
6.3 Functionality test.....	24
6.3.1 Purpose	24
6.3.2 Apparatus	25
6.3.3 Procedure.....	25
6.3.4 Restrictions and exceptions	26
6.3.5 Requirements	26

6.4	Voltage (dielectric strength) test	26
6.4.1	Purpose	26
6.4.2	Apparatus	26
6.4.3	Procedure	27
6.5	Bus link capacitor thermal test	27
6.5.1	Purpose	27
6.5.2	Apparatus	27
6.5.3	Procedure	27
6.5.4	Restrictions and exceptions	29
6.5.5	Requirements	29
6.6	Power transistor module thermal test	30
6.6.1	Purpose	30
6.6.2	Apparatus	30
6.6.3	Procedure	30
6.6.4	Restrictions and exceptions	30
6.6.5	Requirements	31
6.7	Humidity freeze test	31
6.7.1	Purpose	31
6.7.2	Apparatus	31
6.7.3	Procedure	32
6.7.4	Restrictions and exceptions	33
6.7.5	Final measurements	33
6.7.6	Requirements	33
6.8	Thermal cycling test	34
6.8.1	Purpose	34
6.8.2	Apparatus	34
6.8.3	Procedure	35
6.8.4	Restrictions and exceptions	37
6.8.5	Final measurements	37
6.8.6	Requirements	37
6.9	Damp heat test	37
6.9.1	Purpose	37
6.9.2	Apparatus	38
6.9.3	Procedure	38
6.9.4	Restrictions and exceptions	40
6.9.5	Final measurements	40
6.9.6	Requirements	40
6.10	Dry heat test	40
6.10.1	Purpose	40
6.10.2	Apparatus	40
6.10.3	Procedure	41
6.10.4	Restrictions and exceptions	42
6.10.5	Final measurements	42
6.10.6	Requirements	42
6.11	UV weathering test	43
6.11.1	Purpose	43
6.11.2	Apparatus	43
6.11.3	Procedure	43
6.11.4	Restrictions and exceptions	43

6.11.5	Requirements	43
7	Optional tests	44
7.1	General.....	44
7.2	Rain intrusion test.....	44
7.2.1	Purpose.....	44
7.2.2	Apparatus.....	44
7.2.3	Procedure.....	44
7.2.4	Restrictions and exceptions	45
7.2.5	Final measurements	45
7.2.6	Requirements	45
7.3	Wind driven rain test.....	46
7.3.1	Purpose.....	46
7.3.2	Apparatus.....	46
7.3.3	Procedure.....	46
7.3.4	Restrictions and exceptions	47
7.3.5	Final measurements	47
7.3.6	Requirements	47
7.4	Dust test	47
7.4.1	Purpose.....	47
7.4.2	Apparatus.....	48
7.4.3	Procedure.....	48
7.4.4	Exceptions and restrictions.....	48
7.4.5	Requirements	48
7.5	Shipping vibration test	49
7.5.1	Purpose.....	49
7.5.2	Apparatus.....	49
7.5.3	Procedure.....	50
7.5.4	Restrictions and exceptions	50
7.5.5	Final measurements	50
7.5.6	Requirements.....	50
7.6	Shock test.....	50
7.6.1	Purpose.....	50
7.6.2	Apparatus.....	50
7.6.3	Procedure.....	50
7.6.4	Restrictions and exceptions	51
7.6.5	Final measurements	51
7.6.6	Requirements	51
7.7	Salt mist test.....	51
7.7.1	Purpose.....	51
7.7.2	Apparatus.....	51
7.7.3	Procedure.....	51
7.7.4	Restrictions and exceptions	52
7.7.5	Final measurements	52
7.7.6	Requirements	52
7.8	Mixed gas corrosion test	52
7.8.1	General	52
7.8.2	Apparatus.....	52
7.8.3	Procedure.....	52
7.8.4	Restrictions and exceptions	52

7.8.5	Final measurements	52
7.8.6	Requirements	52
7.9	Ammonia corrosion test	53
7.9.1	Purpose	53
7.9.2	Apparatus	53
7.9.3	Procedure	53
7.9.4	Final measurements	53
7.9.5	Requirements	53
8	Report	53
	Annex A (normative) Specification of tests performed for reporting	55
	Bibliography	56
	Figure 1 – Test sequence for PCEs of Categories 1 to 4	17
	Figure 2 – Alternative test sequence for Category 3 PCE	18
	Figure 3 – Chamber temperature/humidity profile and power for humidity freeze test	32
	Figure 4 – Thermal cycling test – Temperature and output power profile	35
	Figure 5 – Damp heat test profile	39
	Figure 6 – Dry heat test – Temperature and input voltage profile	41
	Figure 7 – Reference for dust accumulation evaluation level	49
	Table 1 – Testing sample quantity	14
	Table 2 – Environmental condition classifications	15
	Table 3 – Summary of test levels (main test sequence)	19
	Table 4 – Summary of test levels (optional tests)	20
	Table 5 – Temperature and humidity limits for humidity freeze test	33
	Table 6 – Upper and lower temperature limits for thermal cycling test	36
	Table 7 – Temperature and humidity limits for damp heat test	39
	Table 8 – Temperature limits for dry heat test	42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC SYSTEM POWER CONVERSION EQUIPMENT – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

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 62093 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Title modified.
- b) This edition focusses on the design qualification of power conversion electronics (PCE), and eliminates the clauses associated with qualification testing of other balance of system components.
- c) While many clause titles remain the same as the first edition, substantial changes have been made.
- d) Whereas the first edition establishes requirements for the design qualification of balance-of-system components used in terrestrial photovoltaic (PV) systems, this edition is limited to power conversion equipment.

e) The test protocols have been changed.

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

Draft	Report on voting
82/1963/FDIS	82/1983/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/standardsdev/publications.

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.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM POWER CONVERSION EQUIPMENT – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

1 Scope

This document lays down IEC requirements for the design qualification of power conversion equipment (PCE) suitable for long-term operation in terrestrial photovoltaic (PV) systems.

This document covers electronic power conversion equipment intended for use in terrestrial PV applications. The term PCE refers to equipment and components for electronic power conversion of electric power into another kind of electric power with respect to voltage, current, and frequency. This document is suitable for PCE for use in both indoor and outdoor climates as defined in IEC 60721-3-3 and IEC 60721-3-4. Such equipment may include, but is not limited to, grid-tied and off-grid DC-to-AC PCEs, DC-to-DC converters, battery charger converters, and battery charge controllers.

This document covers PCE that is connected to PV arrays that do not nominally exceed a maximum circuit voltage of 1 500 V DC. The equipment may also be connected to systems not exceeding 1 000 V AC at the AC mains circuits, non-main AC load circuits, and to other DC source or load circuits such as batteries. If particular ancillary parts whereby manufacturers and models are specified in the manual for use with the PCE, then those parts are tested with the PCE.

Exceptions:

- a) This document does not address characteristics of power sources other than PV systems, such as wind turbines, fuel cells, rotating machine sources, etc.
- b) This document does not address the characteristics of power electronic conversion equipment fully integrated into photovoltaic modules. Separate standards exist or are in development for those types of devices. It is, however, applicable to devices where the manufacturer explicitly specifies the capability of full detachment from and subsequent reattachment to the PV module or if the input and output terminals can be accessed and a specification sheet for the PCE is available. Devices meeting these requirements may be tested as individual samples independent from the PV module.
- c) This document does not apply to power conversion equipment with integrated (built-in) electrochemical energy storage (e.g. lead acid or lithium-ion). It is, however, applicable to equipment where the manufacturer specifies and permits complete removal of the electrochemical energy storage from the PCE so that stand-alone assessment of the PCE with the storage removed becomes possible.

The object of the test sequences contained herein is to establish a basic level of durability and to show, as far as it is possible within reasonable constraints of cost and time, that the PCE is capable of maintaining its performance after prolonged exposure to the simulated environmental stresses described herein that are based on the intended use conditions specified by the manufacturer. Optional tests contained herein may be selected depending on the intended installation, market, or special environmental conditions that the PCE is anticipated to experience. The categorization imposes differentiated test sequences and test severity levels reflecting the different requirements of mechanical and electrical components in different environments.

PCEs are grouped into categories based on size and installation environment.

The actual life expectancy of components so qualified depends on their design, their environment, and the conditions under which they are operated. Estimation of a lifetime and wear out is not generally covered by this document.

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 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 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

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

IEC 60068-2-52, *Environmental testing – Part 2-52: Tests – Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium, chloride solution)*

IEC 60068-2-60:2015, *Environmental testing – Part 2-60: Tests – Test Ke: Flowing mixed gas corrosion test*

IEC 60068-2-68, *Environmental testing – Part 2-68: Tests – Test L: Dust and sand*

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

IEC 60068-3-5:2018, *Environmental testing – Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers*

IEC 60068-3-6, *Environmental testing – Part 3-6: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature/ humidity chambers*

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

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions – Part 3-3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at weather protected locations*

IEC 60721-3-4, *Classification of environmental conditions – Part 3-4: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at non-weather protected locations*

IEC 61000-3-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

IEC TR 61000-3-14, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-14: Assessment of emission limits for harmonics, interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to LV power systems*

IEC 61180, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment*

IEC 61557-1, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V AC and 1 500 V DC – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 1: General requirements*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

IEC 62109-1:2010, *Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements*

IEC 62116:2014, *Utility-interconnected photovoltaic inverters – Test procedure of islanding prevention measures*

IEC 62477-1:2012, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*
IEC 62477-1:2012/AMD1:2016

IEC 62716:2013, *Photovoltaic (PV) modules – Ammonia corrosion testing*

IEC 62852, *Connectors for DC-application in photovoltaic systems – Safety requirements and tests*

IEC 62894:2014, *Photovoltaic inverters – Data sheet and name plate*
IEC 62894:2014/AMD1:2016

IEC TS 63106-2, *Basic requirements for simulator used for testing of photovoltaic power conversion equipment – Part 2: DC power simulator*

ISO 4892-2, *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc lamps*

ISO 12103-1:2016, *Road vehicles – Test contaminants for filter evaluation – Part 1: Arizona test dust*

ISO 22479:2019, *Corrosion of metals and alloys – Sulfur dioxide test in a humid atmosphere (fixed gas method)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and the following apply.

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

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

NOTE Symbols and variable names for PCE input and output values follow the terminology of IEC 62894.

3.1

power conversion equipment

PCE

electrical device converting one kind of electrical power from a voltage or current source into another kind of electrical power with respect to voltage, current and frequency

Note 1 to entry: Examples include AC-DC converters, DC-AC inverters, DC-DC charge controllers, frequency converters, etc.

3.2

module-level power electronics: Category 1 PCE

MLPE

referring to PCE that is specified by the manufacturer to operate on a PV module basis, interfacing with up to four individual PV modules

3.3

string-level power electronics: Category 2 PCE

category comprising PCE that is designed to interface more than four series- and/or parallel-connected PV modules and not meeting the conversion power of the Category 3 PCE or Category 4 PCE definition

3.4

large-scale power electronics: Category 3 PCE

category comprising PCE predominantly in a single unit capable of power conversion equal to or greater than 100 kVA and less than 1 000 kVA

Note 1 to entry: This class of PCE may have multiple power conversion units built into the larger containing unit.

3.5

central large-scale power electronics: Category 4 PCE

category comprising PCE predominantly in a single enclosure capable of power conversion equal to or greater than 1 000 kVA

Note 1 to entry: This class of PCE may have multiple power conversion units built into the larger containing unit.

3.6

derating temperature

ambient temperature limit at which the PCE starts to actively curtail its input and output power to maintain a certain maximum operating temperature

Note 1 to entry: This temperature may also depend on input power and other electrical parameters, and thus may not be unique.

3.7

electrically independent inputs

ports for input of power to the PCE that are not ohmically connected to one another internally but serve to supply power to the PCE at different operating points of current and voltage at the same time provided by, for example, a boost converter stage in the PCE for each such electrically independent input

3.8

enclosure

part of the equipment which surrounds internal parts, intended to provide protection against external influences, against the spread of fire, or against access to hazards

Note 1 to entry: Enclosures may be free standing, wall, rack, ceiling, frame or skid mounted.

3.9

maximum total PV array short circuit current

$I_{sc \max}$

absolute maximum total PV array short circuit current (DC) that the PCE is rated to have connected to its PV input, under most severe-case conditions of ambient temperature, irradiance, etc.

Note 1 to entry: This rating of the PCE refers to the absolute maximum current the PV input to the PCE is designed for under conditions of expected use. This differs from the simple sum of the marked I_{sc} ratings of the connected PV modules, since those markings are based on short-circuit conditions under standard test conditions, and may be exceeded at high temperatures or with irradiance above the standard level.

3.10 rated

value assigned, generally by a manufacturer, to a specified operating condition of a component, device or equipment

3.11 rated input voltage

$V_{dc,r}$

rated input voltage specified by the manufacturer, or if not specified, the midpoint of the maximum power point (MPP) input voltage range of the PCE

3.12 rated power

P_r

maximum active power the PCE can deliver in continuous operation

3.13 maximum power point voltage maximum MPP voltage

$V_{mpp\ max}$

maximum voltage at the DC input port at which the inverter can deliver its rated power continuously without power curtailing

3.14 minimum MPP voltage

$V_{mpp\ min}$

minimum voltage at the DC input port at which the inverter can deliver its rated power continuously

3.15 port

location giving access to a device or network where electromagnetic energy or signals may be supplied or received or where the device or network variables may be observed or measured

3.16 photovoltaic array PV array

assembly of electrically interconnected PV modules, PV strings or PV sub-arrays

Note 1 to entry: For the purposes of this document a PV array is all components up to the DC input terminals of the inverter or other power conversion equipment or DC loads.

Note 2 to entry: A PV array does not include its foundation, tracking apparatus, thermal control, and other such components.

Note 3 to entry: A PV array may consist of a single PV module, a single PV string, or several parallel-connected strings, or several parallel-connected PV sub-arrays and their associated electrical components. For the purposes of this document the boundary of a PV array is the output side of the PV array disconnecting device.

3.17 printed circuit board PCB

electronic circuit consisting of thin strips of a conducting material such as copper, which have been etched from a layer fixed to a flat insulating sheet; integrated circuits and other components are attached

3.18 terminal

component provided for the connection of a device (equipment) to external conductors

3.19**capacitor temperature** T_C

measured capacitor temperature on its surface

3.20**maximum capacitor temperature** T_{C2} highest measured capacitor temperature, T_C **3.21****ambient setpoint for maximum capacitor temperature** $T_{amb, set C}$ ambient temperature of the test environment (as in the climatic chamber) at which the measured peak capacitor temperature T_{C2} is obtained**3.22****power transistor case or reference temperature** T_1

measured power transistor case or reference temperature

3.23**maximum power transistor case or reference temperature** T_{12}

highest measured power transistor case or reference temperature

3.24**ambient setpoint for maximum power transistor case or reference temperature** $T_{amb, set I}$ ambient temperature of the test environment (as in a climatic chamber) at which the measured highest power transistor case or reference temperature T_{12} is obtained**4 Sampling**

For the test procedure described in Clause 6, a number of test samples according to Table 1 shall be taken at random from a production batch or batches. The PCE samples shall have been manufactured from specified materials and components in accordance with the relevant drawings and process sheets and shall have been subjected to the manufacturer's normal inspection, quality control, and production acceptance procedures. The samples shall be complete in every detail and shall be accompanied by the manufacturer's product specifications, handling, mounting, and connection instructions. When the PCE to be tested are prototypes of a new design and not from production, this fact shall be noted in the test report (Clause 8).

If a Category 3 PCE or Category 4 PCE consists of identical parallel power converters within an enclosure, it is permitted to operate only one of those converters as a sample for testing in order to reduce the cooling requirements of the climate chamber. In such a case, any active cooling capability of the PCE common to the whole enclosure shall be proportionally reduced. For example, if there are three converters and only one is powered in the test, then fans common to all three units shall be blocked in area by two-thirds or powered intermittently only one-third of the time. Applied electrical power to the inputs of the main unit shall also be scaled to one-third.

Testing of PCE in Category 3 PCE and 4 PCE may involve the use of the same sample for the various test sequence if desired, therefore a range of sample count is given. Samples specified in Table 1 may be reused any number of times for optional tests described in Clause 7.

Alternatively, additional samples may be procured for use in optional tests if provided by the party submitting the PCE type for testing.

Table 1 – Testing sample quantity

	MLPE	String-level power electronics	Large-scale power electronics	Central large-scale power electronics
	Category 1 PCE	Category 2 PCE	Category 3 PCE	Category 4 PCE
Number of required samples	4	4 ¹	1-2	1-2
¹ For category 2 PCE with a rated output power of 50 kVA or above, the required number of test samples may be reduced by half.				

5 Testing requirements

5.1 General

This Clause describes the testing framework, including categories of environmental service condition that informs the stress level requirements for each test, a table summarizing the test requirements, and figures illustrating the sequence of tests. While test procedures given in the subsequent clauses describe specific restrictions and exception for differing PCE categories, an overview is given here. General testing requirements and apparatus common to the Clause 6 test procedures are described. Finally, the requirements for passing this international design qualification and type approval standard are given.

5.2 Environmental service conditions

5.2.1 General

The test severities are based on environmental service conditions for the PCE that are specified by the manufacturer. This document adopts the terminology used in IEC 62109-1 and IEC 62477-1 and on the classification of environmental conditions in IEC 60721-3-3 and IEC 60721-3-4.

The following environmental service condition classifications for the purpose of this document are summarized here and in Table 2 and are given as guidelines for selection of environmental service condition under which the PCE type will qualify. While it may be convenient for the user of this document to reference and maintain consistency with the table of environmental categories, environmental conditions, and test requirements listed in IEC 62109-1, it is not required by this document. Three environmental service condition categories with requirements for testing from most extreme to least extreme are: outdoor (5.2.2), indoor unconditioned (5.2.3); and indoor, conditioned (5.2.4). PCE qualified for a more extreme condition is implicitly qualified for the lesser extreme conditions.

5.2.2 Outdoor

PCE designed for climatic conditions 4K25 and 4K26 in IEC 60721-3-4 are categorized for Outdoor environments. This category refers to PCE intended for long-term operation in non-weather protected outdoor or general open-air climates. During normal operation, the PCE is fully or partially exposed to direct rain, sun, wind, dust, fungus, ice, radiation to the cold night sky, etc. Severe environmental stress is projected on PCE that fall into this category. The condition of IEC 60721-3-4 climatic condition 4K27, open-air placement in cold and polar climates, is not specifically covered in this document; however, testing to lower temperatures may be selected for testing and reported as specified in Annex A.

5.2.3 Indoor, unconditioned

PCE designed for climatic conditions 3K23 and 3K24 defined in IEC 60721-3-3 are categorized for indoor, unconditioned environments. In this category, the PCE can be localized in the same climates as designated in 5.2.2, but the PCE is fully enclosed by a building or ancillary enclosure to protect it from rain, sun, wind-blown dust, ice, fungus, and radiation to the cold night sky, etc. However, the building or climate is not systematically controlled for temperature and is not controlled for humidity. The equipment may experience condensation and the air may not be filtered.

5.2.4 Indoor, conditioned

PCE designed for climatic conditions 3K20, 3K21, and 3K22 defined in IEC 60721-3-3 are categorized for indoor, conditioned environments. In this category, the PCE is enclosed by a building or ancillary enclosure to protect it from rain, sun, wind-blown dust, fungus, and radiation to the cold night sky, etc. Additionally, the building or enclosure that incorporates the PCE is environmentally controlled for temperature. While humidity may not necessarily be controlled, condensed moisture does not normally occur, nor is it expected. Limited environmental stress is anticipated on PCE falling into this category. The extent of dust present in this environment depends on the level of air filtration.

Table 2 – Environmental condition classifications

	Environmental conditions		
	Outdoor	Indoor, unconditioned	Indoor, conditioned
Climatic class (IEC 60721-3-3 or 60721-3-4)	4K25 and 4K26	3K23 and 3K24	3K20, 3K21, and 3K22
Temperature ¹	-20 °C to +50 °C	-5 °C to +55 °C	5 °C to +40 °C
Humidity	4 % to 100 % RH (condensing)	5 % to 100 % RH (condensing)	5 % to 85 % RH (non-condensing)
Wet location	Yes	No	No
¹ Some provisions exist in the Clause 6 stress tests for PCE that claim environment condition classifications (environment temperature) that differ from those listed here.			

5.3 Test sequences

5.3.1 General

The test sequence with number of required samples and distribution of the samples among the test legs is illustrated in Figure 1. It is applicable for Category 1 PCE to Category 4 PCE. An alternative test sequence for Category 3 PCE and Category 4 PCE is given in Figure 2, which permits testing with a reduced number of samples. Table 3 summarizes the different tests. While an overview of the handling of the different PCE categories is given here, Clause 6 provides the descriptions of the required tests and test procedures, including initial and final measurements, requirements, and exceptions.

Table 4 provides a summary of optional tests that may be applied.

5.3.2 Test conditions for Category 1 PCE (Module level power electronics)

Unlike PCE of Categories 2, 3, and 4, the bus link capacitor and power transistor module thermal tests (6.5 and 6.6) are not implemented for determination of temperatures for performing the dry heat test and thermal cycling test for Category 1 PCE, for which the test temperatures are fixed.

5.3.3 Test conditions for Category 3 PCE—large scale and Category 4 PCE—central large scale power conversion equipment

An alternative test sequence for Category 3 PCE and Category 4 PCE with a minimum requirement of only one sample is shown in Figure 2 with the option for more units for optional tests.

5.3.4 Test conditions for Category 4 PCE (large central power conversion equipment)

Due to their size, weight, and greater power requirements, exceptions allowing for testing of components apply to large central inverters of Category 4 PCE.

The test procedures for 6.8 and 6.10 can be modified for the testing of Category 4 PCE by subdividing the unit into components instead of testing of the complete PCE unit if either the conditions a) or b) and additionally c) below are fulfilled:

- a) Each included main PCE component including but not limited to the reactor (AC choke), capacitors (DC link, DC input, and AC, as applicable), switchgear, surge protection devices, transistor (and its module), internal power, control power supply unit, user interface panel or displays, terminal blocks, and cables is tested separately or in assemblies with other components as listed here according to the test condition, including with representative electrical power and loading, indicated in the applicable subclauses of this document.
- b) The main circuit component listed in a) is tested, qualified, and approved according to the test condition indicated in the IEC product design qualification type approval standard for that component when it is used in the PCE under test within the qualified parameters and specifications applied in that component-specific standard.
- c) The control circuit boards, which consist of computer technology for operation and control of the inverter that interfaces with internal and external measurement points, switches, semiconductors, and similar equipment, shall be connected to a functional actual, simulated, or miniature size PCE with the main circuit inductor and capacitor components that may be proportionally scaled for rating, capacity, or quantity. The control circuit boards shall be installed and tested in the climate test chamber, and the actual, simulated, or miniature size PCE is operated so that the control circuit board is subjected to stress levels (environmental and electrical) as they would experience in the integrated unit according to the requirements of this document.

When using a simulated or miniature PCE, it shall accept or trigger all inputs and outputs to the control circuit board as if it was operated in the actual PCE as indicated in 6.8 and 6.10.

When the component testing is selected, additional exceptions and requirements listed in 6.5 and 6.6 apply.

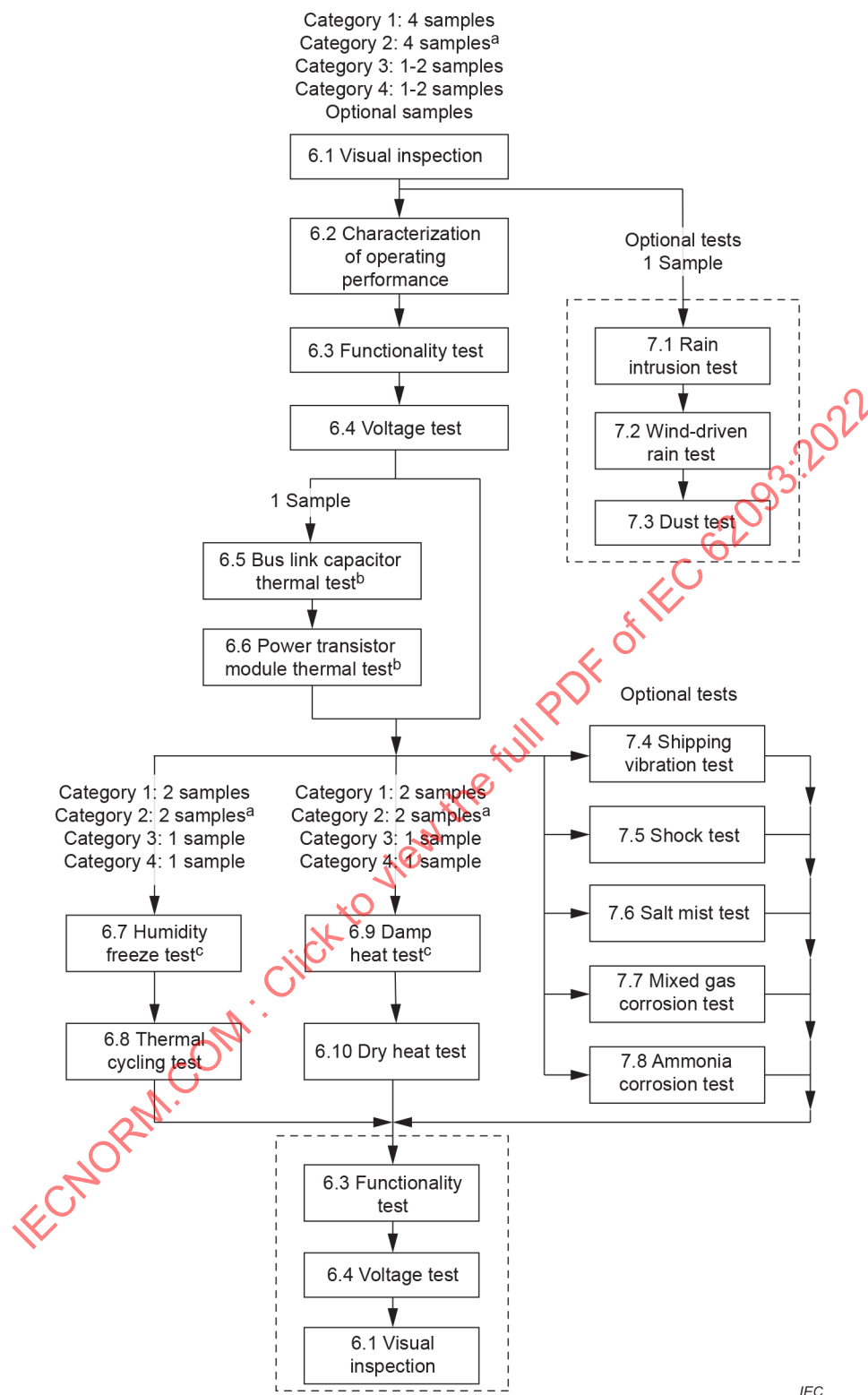
The following tests do not need to be performed for Category 4 PCE:

6.7 Humidity freeze test

6.9 Damp heat test

NOTE 1 In very large central inverters the high thermal masses result in an internal temperature that is usually above the ambient temperature minimizing condensation

NOTE 2 In very large PCE of Category 4 PCE, internal heating as well as dissipated heat from fans and auxiliary converters prevent freezing temperatures inside the PCE in usual operating conditions, resulting in the necessity and utility of the humidity freeze test being lower for Category 4 PCE.



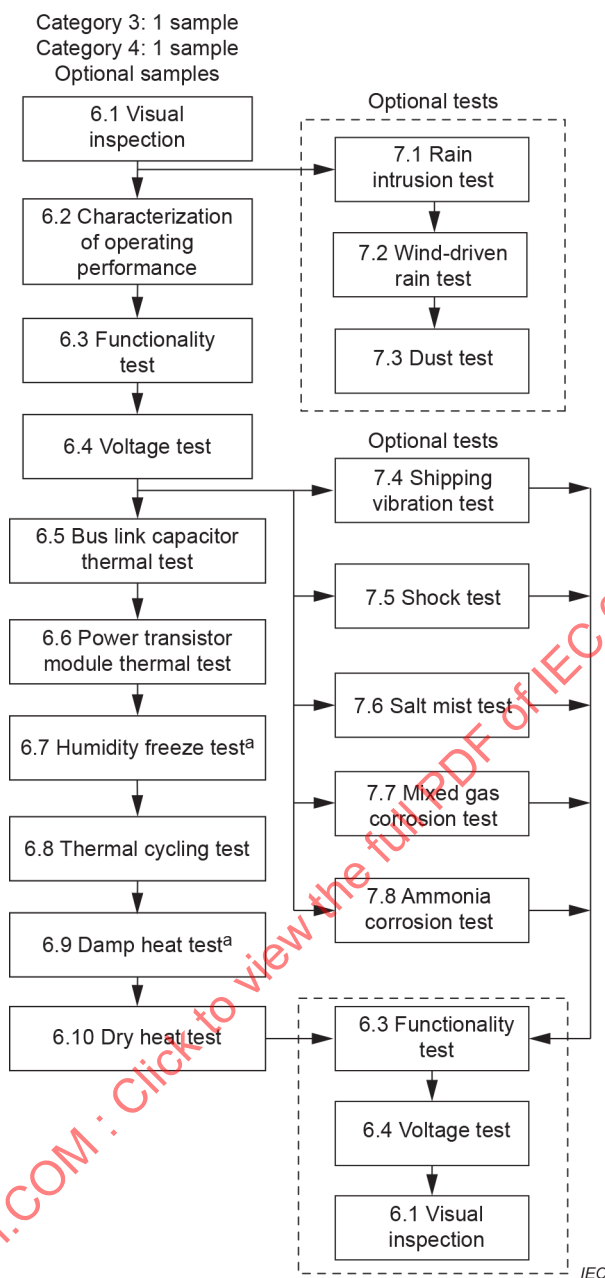
^a For PCE with a rated output power of 50 kVA or above, the indicated number of test samples may be reduced by half.

^b Not applicable for Category 1 PCE.

^c Not applicable for Category 4 PCE.

The optional test group beginning with the rain intrusion test may be performed with samples previously used for the required tests. UV stress tests for PCE parts and components sometimes required are not shown. Test grouped together in hashed line boxes are frequently performed together.

Figure 1 – Test sequence for PCEs of Categories 1 to 4



^a Not applicable for Category 4 PCE.

The optional test group beginning with the rain intrusion test may be performed with samples previously used for the required tests. UV stress tests for PCE parts and components sometimes required are not shown. Test grouped together in hashed line boxes are frequently performed together.

Figure 2 – Alternative test sequence for Category 3 PCE

Table 3 – Summary of test levels (main test sequence)

Subclause	Tests, Environmental condition	Test conditions			
		Category 1 PCE (MLPE)	Category 2 PCE (String-level power electronics)	Category 3 PCE (Large-scale power electronics)	Category 4 PCE (Large-scale power electronics)
6.1	Visual inspection	According to 6.1.4			
6.2	Characterization of operating performance	According to IEC 62894:2014, 4.5.3 Characterization of the operating performance			
6.3	Functionality test	Operation at 25° C ambient; P_r ; $V_{mpp\ min}$, $V_{mpp\ max}$, and $V_{dc,r}$			
6.4	Voltage (dielectric strength) test	Ambient conditions and test conditions according to the voltage test in IEC 62109-1			
6.5	Bus link capacitor thermal test				
	Indoor, conditioned	Not performed	2,5 °C/h ramp between max. rated ambient temperature and 25 °C, with $V_{mpp\ max}$ and P_r for determination of the maximum capacitor case temperature T_{C2} and corresponding ambient temperature $T_{amb,set\ I}$		
	Indoor, unconditioned				
	outdoor				
6.6	Power transistor module thermal test				
	Indoor conditioned	Not performed	2,5 °C/h ramp between max. rated ambient temperature and 25°C, with $I_{sc\ max}$ and P_r for determination of maximum power transistor case temperature T_{I2} and corresponding ambient temperature $T_{amb,set\ I}$		
	Indoor, unconditioned				
	outdoor				
6.7	Humidity freeze test				
	Indoor, conditioned	20 cycles, -40 °C ¹ to 85 °C, 85 % RH; $V_{mpp\ max}$ and $V_{mpp\ min}$ sequentially for multiple DC inputs, $\geq 0,5 P_r$ for +T ramp	Not required		Not required
	Indoor, unconditioned				
	Outdoor				
6.8	Thermal cycling test				
	Indoor, conditioned	400 cycles, - 40 °C to 85 °C; $I_{sc\ max}$ during +T ramp and high temperature dwell	400 cycles; -10 °C ¹ to T_{I2} ; with $I_{sc\ max}$ and P_r during + T ramp and high temperature dwell		
	Indoor, unconditioned				
	Outdoor				
6.9	Damp heat test				
	Indoor, conditioned	30 cycles at +85 °C, 85 % RH $V_{mpp\ max}$; 0,1 P_r (pulsed)	10 cycles at 35 °C, 85 % RH $V_{mpp\ max}$ (pulsed)		Not required
	Indoor, unconditioned		20 cycles at 60 °C, 93 % RH $V_{mpp\ max}$; 0,1 P_r (pulsed)		
	Outdoor		30 cycles at 60 °C, 93 % RH $V_{mpp\ max}$; 0,1 P_r (pulsed)		
6.10	Dry heat test				
	Indoor, conditioned /unconditioned	2 000 h at 85 °C,	T_{C2} , $V_{mpp\ max}$, $\geq 0,1 P_r$, 2 000 h		
	Outdoor	$V_{mpp\ max}$, $\geq 0,1 P_r$			

Subclause	Tests, Environmental condition	Test conditions			
		Category 1 PCE (MLPE)	Category 2 PCE (String-level power electronics)	Category 3 PCE (Large-scale power electronics)	Category 4 PCE (Large-scale power electronics)
6.11	UV Weathering test				
	Indoor, conditioned	Not required			
	Indoor, unconditioned	Not required			
	Outdoor	IEC 62852 test phase G1, Weather resistance: irradiance: 60 W/m ² , wave band: 300 nm to 400 nm, black panel standard temperature: 65 °C, relative humidity: 65 %, cycle: 18 min spraying, 102 min drying with Xenon-lamp, 500 h total; not required if material is qualified elsewhere			
+T ramp refers to a positive temperature ramp in thermal profiles of stress tests.					
¹ Alternatively, minimum specified use temperature.					

Table 4 – Summary of test levels (optional tests)

No.	Test	Test conditions All categories
7.2	Rain intrusion test	
	Indoor, conditioned	Not required
	Indoor, unconditioned	Not required
	Outdoor	1 h of water spray descending parallel to each face and 15 min of water spray at 45° downward tilt from each side. Water pressure at nozzle of 200 kPa ± 10 kPa
7.3	Wind driven rain test	
	Indoor, conditioned	Not required
	Indoor, unconditioned	Not required
	Outdoor	30 min of rainfall exposure per side at 15 cm/h rainfall rate and 31 m/s wind velocity
7.4	Dust test	
	Indoor, conditioned	Not required ¹
	Indoor, unconditioned	Not required ^{1,2}
	Outdoor	60 °C, 30 % RH and 75 % RH, fine dust transported by 26,8 m/s to 40,2 m/s peak windspeed, 2 h per vertical face
7.5	Shipping vibration test	10 Hz to 11,8 Hz; 11,9 Hz to 150 Hz Amplitude: 3,5 mm, acceleration: 2 g 1 octave/min, Duration on each axis: 2 h; overall: 6 h
7.6	Shock test	15 g, half-sine, Duration: 11 ms; Sequence: 1 s Number of shocks: 18 (6 × 3)
7.7	Salt mist test	According to 60068-2-52 Test method 1
7.8	Mixed gas corrosion test	According to IEC 60068-2-60
7.9	Ammonia corrosion test	According to IEC 62716
¹ Implement if PCE has door, fan, vent, window, etc.		
² Implement outdoor conditions where there is direct ventilation or ducts from PCE cabinet to outdoors.		

5.4 General testing requirements

5.4.1 Installation of testing sample

In general, the equipment shall be installed in accordance with the methods prescribed by the manufacturer in the equipment's installation manual. Deviations from the prescribed installation method are permitted if influence on the specified test requirements can be ruled out. If several configurations are allowed, the equipment shall be installed under the least favorable combination of test conditions to achieve reasonable worst-case conditions in each particular test. The selected installation method shall be documented for each test in the test report.

If an ancillary part is specified with manufacturer and model in the manual for use with the PCE, then that part shall be tested with the PCE. If ingress protection of the PCE is compromised by lack of connection of an ancillary part, then such ancillary part as specified by the manufacturer shall also be tested with the PCE

5.4.2 Peripherals

External peripherals required or recommended by the manufacturer for actual operation of the PCE in the field (such as transformers, monitoring system, etc.) may be included in the laboratory test setup outside of a climatic chamber if it does not conflict with other requirements in this document.

5.4.3 Connectors and wiring

Only the wires specified by the manufacturer shall be used for connection of the PCE's input and output terminals to external testing equipment. If the PCE comprises terminals requiring special connectors, the manufacturer's recommended mating connectors shall be used. Cables or connectors shall be through manufacture-specified cable entries. All terminals, covers, and cord grips should be implemented according to manufacture specifications before further testing.

5.4.4 Measuring instruments and monitoring equipment

Measuring instruments and monitoring equipment and methods shall be chosen in accordance with IEC 61557-1 and applicable parts referenced therein. If other measuring equipment is used, it shall provide an equivalent degree of performance and safety.

5.4.5 Electrical power sources

5.4.5.1 General

For tests during which the PCE sample requires operation under powered conditions, suitable electrical DC power source(s) shall be provided. If multiple input ports with independent power conversion circuitry are present, unique input power sources shall be connected to each input port. The following two options are permitted: a PV array simulator (IEC TS 63106-2) or a controllable DC power supply. In the case where a DC power supply does not provide characteristics for stable operation over the entire range of operation specified by the PCE documentation and in a manner consistent with real-world operation of the PCE, a suitable PV array simulator as described in 5.4.5.2 shall be used. For more information about simulators used for testing of photovoltaic power conversion equipment, see IEC TS 63106-2. In case of a conflict between IEC TS 63106-2 and this document, the requirements of this document shall be implemented.

5.4.5.2 PV array simulator

Refers to a special type of AC to DC power supply with variable output characteristics capable of simulating the IV-curve output characteristics of an actual PV array.

5.4.5.3 DC power supply

Refers to a source of DC current with constant voltage (CV) feedback control output and current limiting characteristics. Alternatively, may refer to a source of DC current with constant current (CC) feedback control output and voltage limitation. Both constant voltage and constant current power supplies are permitted if the input characteristics of the PCE under test permit the usage of those and if their limitations on the test results can be considered negligible. The DC power supply output impedance in constant voltage mode shall be low enough, so that the voltage ripple at the output terminals is within $\pm 0,1 \%$. For constant current power supplies, the output impedance shall be high enough so that the current ripple at the output terminals is within $\pm 0,2 \%$.

5.4.6 Electrical loads

5.4.6.1 General

For tests during which the PCE sample requires to be operated under powered conditions, a suitable electrical load shall be capable of absorbing the full electric power generated by the PCE. Where any influence on the results of a test can be excluded the below listed three options are permitted. Selected Clause 6 test procedures implement disconnection and connection of the electrical load over the course of the test.

5.4.6.2 Grid-tied operation

PCEs that are designed for grid-tied operation are permitted to be connected and operated at a suitably rated utility grid access point. In this case, a suitably sized transformer may be installed between PCE output terminals and grid access point for isolation and, if required, for voltage matching purposes. The load impedance as seen from the output terminals of the PCE shall be confirmed to be sufficiently low as not to impede with the PCE operation at rated conditions.

5.4.6.3 Active load

Active loads include electronic loads and regenerative power supplies that provide a stable and controlled sink for converted active power from the PCE. The active loading device shall be confirmed to be suitable and compatible with the PCE.

5.4.6.4 Passive load

Passive resistive loads are connected in parallel with a regulated voltage source. The load impedance of the PCE shall be set so that the passive load can absorb all active power when the PCE is operated at its rated power conditions.

5.4.7 Earthing terminals

A protective conductor terminal, if provided, shall be connected to earth.

5.4.8 Controls

Controls that the operator can adjust, unless otherwise specified in this document, shall be set as follows:

- in accordance with the operation manual provided by the manufacturer;
- in accordance with real operating conditions.

5.5 Pass criteria

The PCE design shall be judged to have passed the design qualification tests and therefore to be approved according to this document, if the PCE type meets all of the following criteria:

- a) There is no visual evidence of any major defect as defined in 6.1 initially and at all Clause 6 – specified visual inspection points.
- b) The testing samples pass the functionality test (6.3) initially and at all Clause 6 – specified test points.
- c) The voltage (dielectric strength) test requirements as defined in 6.4 are met initially and at all Clause 6 – specified test points.
- d) All specific requirements in subclauses of Clause 6 are fulfilled in the order shown in Figure 1 or Figure 2, and specific requirements in selected optional subclauses in Clause 7 are fulfilled.
- e) None of the tested samples exhibit any irreversible open-circuit, short-circuit, or ground fault during the tests, nor any suspensions of operation that require manual intervention on the PCE to resume full operability. Permitted are reversible situations which are triggered by the PCE for the purpose of protecting itself or any other connected device or load that self-corrects. There shall be no permanent damage to the PCE.
- f) If two or more PCEs are supplied for each Clause 6 test procedure and one unit fails, one PCE unit of the same design may be replaced for testing again at the start; (6.1) no more than one such equivalent unit may be replaced due to a failure in a Clause 6 or Clause 7 test procedure. If one PCE is supplied for each Clause 6 test procedure and it fails, the qualification test shall be repeated with the number of samples specified in Table 1.

6 Test procedures

6.1 Visual inspection

6.1.1 Purpose

The purpose of this test is to detect any visual defects in the PCE that may cause a risk of reliability loss.

6.1.2 Apparatus

- a) A light source capable of producing an illumination of greater than 1 000 lux.
- b) A magnifying glass or electronic magnifier tool with an optical magnification of at least 4 times.
- c) Photography equipment capable of resolving and recording results of the visual inspection.

6.1.3 Procedure

Carefully inspect the exterior and interior of each sample using a suitable light source with working illumination not less than 1 000 lux. Capture overview photographs of the PCE. The sample shall be opened for the purpose of inspecting its interior, applying the procedures and tools specified by the manufacturer. Use a magnifying glass for inspection and photograph smaller electronic components, such as those mounted on a PCB, that are suspect.

6.1.4 Requirements

Any findings in line with one or more of the criteria listed below constitute a FAIL of the respective test. For the purpose of design qualification, the following are considered to be major visual defects:

- broken, cracked, bent, displaced, torn or detached part of the PCE enclosure;
- broken or damaged wire, cable, busbars incorporated into the PCE;
- broken or cracked electronic and or electromechanical components;

- faulty contacts/leads, openly accessible live parts;
- corrosion of interior part of the PCE (e.g. housing, contacts/leads, on PCB, components);
- failure of adhesive material;
- burn marks, cracks, deformations or detached electrical or electronic components;
- expansion, venting, or gassing of capacitors;
- bubbles or delamination on PCB;
- visible solder defects such as solder joint cracks or solder corrosion;
- coolant leakage (for liquid cooled PCE designs);
- loss of mechanical integrity, to the extent that the installation and/or operation of the component could be impaired;
- any other states or conditions, which can affect the function, performance or safety of PCE.

Visible defects like scratches, rubbed off colour not affecting legibility of markings, or the like that are deemed not to cause a risk of reliability loss do not constitute a fail; however, such visible changes to the PCE shall be indicated in the report and the test after which it was observed.

6.2 Characterization of operating performance

6.2.1 Purpose

Evaluate the published parameters of the PCE at various output power levels

6.2.2 Apparatus

- a) PV module/array simulator or other suitable power source according to 5.4.5 which is capable of delivering the voltage versus current characteristic of the largest PV array for which the PCE is rated, with regard to open circuit voltage and short circuit current. For power conditioners operating with fixed input voltage, the DC power source shall be a storage battery or constant voltage power source to maintain the input voltage.
- b) Suitable electrical load according to 5.4.6 which is capable of receiving the full amount of produced power at both highest and lowest rated PCE output power.

6.2.3 Procedure

Perform according to IEC 62894:2014, 4.5.3.

6.2.4 Restrictions and exceptions

None.

6.2.5 Requirements

All manufacturer published parameters on the PCE nameplate and technical data sheets shall be within 3 % (relative) of that derived from the measurements performed herein.

NOTE This subclause does not specify what parameter fields the manufacturer shall place on the nameplate or publish, which is the scope of IEC 62894.

6.3 Functionality test

6.3.1 Purpose

This test is to verify the proper functioning of the PCE's power conversion functionality and that of integrated peripheral devices such as the display, user-interface controls and communication interface before and after environmental stress tests. The functionality tests will be performed before and after the environmental stress test sequences as indicated in Figure 1 and Figure 2 and as specified within the test procedures in Clause 6.

6.3.2 Apparatus

- a) PV module/array simulator or other suitable power source according to 5.4.5 which is capable of delivering the voltage versus current characteristic of the largest PV array for which the equipment is rated, with regard to open circuit voltage and short circuit current.
- b) Suitable electrical load according to 5.4.6 which is capable of receiving the full amount of produced power at both highest and lowest rated PCE output power.
- c) Means for measuring current and voltage at all power terminals of the PCE. For PCE with multi-phase AC output, the test and measurement equipment shall record each phase current and each phase-to-neutral or phase-to-phase RMS voltage. The measurement accuracy shall be 1 % or less of rated PCE rated input/output voltage and 1 % or less of rated PCE input/output current.
- d) Means for spot-measurements (at least 50 ms duration) of voltage waveforms with memory or waveform capture function at all connected input and output ports as specified in IEC 62116:2014, 5.1.
- e) Means (climatic chamber, test room) for equilibrating the PCE to ambient temperature of $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ for testing.
- f) Thermal camera for evaluating location of maximum heatsink temperature and temperature measurement device for continuously monitoring the temperature of that maximum heatsink location.

6.3.3 Procedure

- a) Supply any necessary auxiliary power to the control circuitry of the PCE according to the method specified by the manufacturer and verify the basic functioning of integrated peripheral devices. These should include, but are not limited to, any integrated display, user-interface controls and communication interfaces with external peripheral devices when present on the PCE. Establish a list of items to be tested that is based on the included functionality in the PCE. Use the same list for all subsequent tests of the same model.
- b) The PCE sample input terminals shall be connected to a suitable power source described in 6.3.2 a) and monitoring equipment to monitor the input current and voltage described in 6.3.2 c) shall be installed at all input terminals.
- c) The PCE sample AC or DC output terminals shall be connected to a suitable load as described in 6.3.2 b) and monitoring equipment to monitor the current and voltage terminals as described in 6.3.2 c) shall be installed.
- d) Connect measurement equipment described in 6.3.2 d) to perform spot measurements of input and output voltage waveforms.
- e) Stabilize the PCE in a $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ environment, monitoring the temperature at a heat sink of the PCE.
- f) Operate the PCE in steady state, applying input voltage $V_{dc,r}$ with sufficient current to achieve the maximum rated generator power conditions P_r for 2,5 h or greater. If the PCE turns off due to excess heat or power, restart the equipment at a lower DC input current after a period with the power off and repeat. If not previously performed for the PCE, evaluate location of maximum heatsink temperature with infrared thermography and apply heat measurement device at that location. Evaluate and note the conditions per h), below.
- g) Operate the PCE in steady state across the DC input power range in the $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ environment. For this, select $V_{mpp\ min}$ and $V_{mpp\ max}$, in addition to $V_{dc,r}$ per 6.3.3 f) and operate the PCE in each operating point at P_r of the PCE or as close to P_r as possible if limited by the specifications of the PCE (not the test equipment) after reaching temperature and electrical stabilization or 2,5 h, whichever is first, making note of the conditions per h) below. If the rated input voltage is equal to the minimum or maximum input voltage, then two operating points, $V_{mpp\ min}$, $V_{mpp\ max}$ are sufficient. For subsequent measurements after performing stress tests, choose the same operating points and test schedule (to achieve repeatable thermal conditions) for performing the functionality test on a given PCE type.

h) After each new setting within both f) and g), collect and record:

- 1) Input voltage
- 2) Input current
- 3) Input power
- 4) Output voltage
- 5) Output current
- 6) Output power
- 7) Waveform sample of voltage and current at each powered electrical port at 10 000 Hz or greater sample frequency
- 8) Heatsink temperature
- 9) Ambient temperature (°C)

Values of AC waveforms are reported as RMS.

6.3.4 Restrictions and exceptions

None.

6.3.5 Requirements

The PCE under this test procedure passed if the following items are satisfied:

- a) PCE can successfully operate under all DC input profiles in 6.3.3 f) and g).
- b) Functionality of auxiliary services and components (display, user-interface controls and communications, etc.) is not impaired as compared to initial measurements. Functioning is as described by the operation manual.
- c) When performed at the end of a test sequence; namely, after the test sequence of 6.8 or 6.10, and after optional testing of Clause 7
 - no major change in waveform is evident as compared to initial measurement, where in the case of AC connections to the PCE, a major change in waveform as obtained in 6.3.3 h)7) is defined as greater than a 2,5 % absolute change in total harmonic distortion (current and voltage) evaluated by the procedure in IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-12, IEC TR 61000-3-14, or applicable standard for current and power class of the PCE and,
 - no greater than 5 % reduction in P_r when implementing any of the 6.3.3 g) -specified input voltage levels.

6.4 Voltage (dielectric strength) test

6.4.1 Purpose

In general, dielectric withstand voltage testing is used to determine that the clearances and solid insulation of components and of assembled PCE, which provide protection against electric shock, have adequate dielectric strength to withstand the overvoltage conditions to which the PCE may be exposed in use.

This test is intended to verify that this protection against electric shock is not impaired through environmental and operational stresses.

This test is performed as an initial test and as part of the requirements for some of the stress tests.

6.4.2 Apparatus

A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to IEC 61180.

6.4.3 Procedure

The voltage test shall be performed in accordance with the test requirements of IEC 62109-1:2010. Voltage testing per 6.4 prior to performing the test sequence outlined in Figure 1 and Figure 2 is optional if the sample type is also subject to testing for safety and meeting the pass criteria of the voltage test of IEC 62109-1 separately.

The test is successfully passed if no electrical breakdown occurs during the test and there is no abnormal current flow during the test. Current is considered abnormal if it significantly exceeds the normal current flow expected with all insulation in place and undamaged, or if the current rapidly increases without control after the test voltage has reached the full voltage.

NOTE Some normal amount of current is expected during a test, particularly with an AC test voltage.

6.5 Bus link capacitor thermal test

6.5.1 Purpose

Assessment of the maximum operating case temperature of the bus link capacitors for use in the subsequently performed 6.10 and for evaluation of the adequacy of the bus link capacitors for thermal design and relative long-term reliability based on the maximum temperature exhibited at its operating bus voltage. See Bibliography [1]¹ for additional background about application of the bus link capacitor thermal test. This test is applicable to Categories 2, 3 and 4 PCE only.

6.5.2 Apparatus

- A chamber with automatic temperature control, capable of subjecting one or more PCE in the range of 25 °C to the maximum rated operating temperature of the PCE. Relative humidity control is not required; however, the 25 °C ambient relative humidity shall be less than 70 %. Reference IEC 60068-3-5:2018 for information about temperature chambers.
- Means for mounting or supporting the PCE in the chamber.
- Means for mitigating climatic chamber air circulating around the PCE and means to evaluate and maintain the air speed to 0,2 m/s $\pm$ 0,1 m/s around the PCE.
- Means for measuring the case temperature of multiple bus capacitors in aggregate, and means for recording the case temperature of two bus capacitors to an accuracy of $\pm$ 1 °C. Devices for measuring temperatures that will be useful include thermocouples, thermistors, resistance temperature detectors (RTDs), optical thermography sensors including fiber-optic based devices.
- A PV array simulator or a power supply in accordance with 5.4.5 capable of delivering the voltage versus current characteristic over the range for which the equipment is rated.
- An electrical load in accordance with 5.4.6.
- Means for monitoring the current and voltage (RMS) values at all connected input and output ports.
- Means for monitoring voltage with 10 000 Hz sampling frequency between the DC bus link and DC neutral.

6.5.3 Procedure

6.5.3.1 Determination of bus link capacitors of highest temperature

The purpose of this part of the procedure is to determine the bus capacitors operating at the highest temperatures. If there are fewer than three bus capacitors, this procedure may be omitted so as to start at 6.5.3.2 directly.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

- a) Instrument PCE so that capacitor temperature may be evaluated while minimally influencing the regular thermal characteristics of the PCE environment. Methods may include temperature measuring device affixed to each capacitor's case, according to the manufacturer's instructions for measuring capacitor temperature, thermography with use of a false enclosure panels with quickly removable portal or portals for line of sight view of the capacitors with apparatus specified in 6.5.3 d) that minimally interfere with intrinsic thermal characteristics, convection, radiative emission, etc., of the PCE. Alternatively, the two DC bus link capacitors exhibiting the highest temperature may be identified via a comprehensive calculation or simulation of the PCE, inclusive of consideration of power dissipation, conductive, convective, and radiative heat transfer, if provided by the manufacturer.
- b) Place PCE designed to be on the ground on the floor of the chamber. Mount other PCE to a solid electrical and thermally insulating wall.
- c) To the extent required so that wind speed does not exceed $0,2 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$ at all surfaces around the PCE in the unpowered state, place baffles in front and sides of mounted PCE at a distance of 30 cm to 60 cm from the PCE surfaces. If it can be ensured by adjusting the climate chamber (e.g. air circulation setting) that this air circulation does not exceed the air speed requirements, additional mitigation such as shielding and baffles is not required. Allow natural convection by providing chamber air using gaps in the baffles at their base and top or ducts so that the air temperature at the base of the PCE remains at the specified chamber setpoint temperature.
- d) Permit any active cooling (fans, air conditioning, water circulation) of the PCE to operate normally.
- e) Set the chamber temperature to 25°C . Connect the power supply and electrical load to the PCE. Set the power supply to provide $V_{\text{mpp max}}$ to the PCE input(s) and sufficient current to operate the PCE at P_r . Verify that any forced air ventilation or cooling system of the PCE is operational.
- f) After stable operation for at least 16 h, Evaluate and determine the two bus capacitors exhibiting the highest temperature using instrumentation discussed in 6.5.3.1a).

6.5.3.2 Evaluation of maximum temperature of bus link capacitors during operation

- a) Place temperature sensors on the capacitor case locations of two bus capacitors determined in 6.5.3.1 for measurement of T_C .
- b) Place PCE in the climatic chamber according to 6.5.3.1 b).
- c) Apparatus set for windspeed conditions in the climatic chamber according to 6.5.3.1 c).
- d) Connect the power supply and electrical load to the PCE. Close any enclosure doors of the PCE. Set the chamber temperature to the maximum rated ambient operating temperature of the PCE. Set power to supply the $V_{\text{mpp max}}$ of the PCE and maintain sufficient current to run the PCE at its rated operating power, P_r . Verify that any forced air ventilation or cooling system of the PCE is on and operating.
- e) Ramp the climatic chamber temperature at a maximum rate of $2,5^\circ\text{C/h}$ down to 25°C , monitoring T_C as instrumented in 6.5.3.2 a) and the PCE output power. If a peak temperature point in T_C is observed during the ramp (not including endpoints of the ramp), select and record this temperature as T_{C2} . Record the capacitor, measurement location, and climatic chamber setpoint temperature at which the PCE delivers T_{C2} and record it as, $T_{\text{amb,set C}}$.

If there is no peak in temperature observed during the ramp down in chamber temperature (not including endpoints of the ramp), increase the climatic chamber temperature at the end of the previous step (from 25°C) at a maximum rate of $2,5^\circ\text{C/h}$ up to the maximum operating temperature as defined by the manufacturer and select and record the maximum T_C observed during both ramps (including ramp endpoints), the capacitor, and measurement location, and record it as T_{C2} and record the corresponding climatic chamber setpoint temperature as $T_{\text{amb,set C}}$.

NOTE Maximum ramp rate is called out to allow for the selection of lower ramp rates in the case of very large inverters with large thermal masses, allowing the for measurements of temperature in conditions closer to equilibrium.

- f) Extrapolate the life of capacitor at the maximum temperature T_{C2} evaluated in e), with the rated life L_R at the manufacture-specified rated air temperature T_R either with the manufacturer-specified formula, or if not available, the formulas for electrolytic capacitors:

$$L_{n1} = L_R 2^{\frac{T_R - T_{C2}}{10}}$$

or for metal film capacitors,

$$L_{n1} = L_R \exp^{7000 \left(\frac{1}{273,15 + T_{C2}} - \frac{1}{273,15 + T_R} \right)}$$

and for either capacitor type,

$$L_{n2} = L_{n1} (V_r/V_o)^n$$

where

n is the manufacturer specified value to adjust the life of the capacitor to the nominal maximum bus voltage V_o with respect to the capacitor rated voltage V_R ;

V_o is the maximum voltage measured between the positive and negative terminals of the DC bus capacitor bank while applying $V_{mpp \max}$ to the DC inputs.

If not available from the manufacturer, use $n = 2,5$ for electrolytic capacitors and $n = 3,5$ for metallized film capacitors.

6.5.4 Restrictions and exceptions

6.5.4.1 Category 1 PCE

Not performed for Category 1 PCE.

6.5.4.2 Category 4 PCE

When opting for testing of components of category 4 PCE rather than the unit as a whole in the subsequently performed 6.10, record simultaneously the resulting temperature for each component listed in 5.3.4 a). Record the temperature of the individual components measured when the bus link capacitor temperature is T_{C2} . These recorded component temperatures occurring simultaneously with the observation of peak temperature T_{C2} will be referenced for selecting the temperature conditions in the Dry heat test 6.10.

6.5.5 Requirements

Requirement for the bus link capacitor thermal test is as follows:

- Evaluation of T_{C2} , the peak capacitor temperature observed during the ramp power and the corresponding climatic chamber setpoint temperature at which it occurs $T_{amb, set}$ for implementation as the peak temperature condition in 6.10. Noting the additional measurements specified in the case where 6.5.4.2 applies Category 4 PCE, a plot showing the temperature of the selected capacitors T_C , the climatic chamber temperature, and the input and output power of the PCE as a function of time will be useful for the evaluation of the requirements of this subclause.
- Extrapolated life of capacitor, L_{n2} evaluated in 6.5.3.2 f) greater than 17 500 h.

NOTE 17 500 value considers the PCE operating 40 % of the time under the maximum temperature found in 6.5.3.1.

6.6 Power transistor module thermal test

6.6.1 Purpose

The purpose of this procedure is to determine the maximum operating temperature of the power transistor module of the PCE running at rated power and environmental conditions at which it manifests. See Bibliography [1] for additional background about application of the power transistor module thermal test. This is performed for Categories 2, 3 and 4 PCE only. The results are used in the subsequent 6.8 Thermal cycling test.

6.6.2 Apparatus

The apparatus requirements follow those of 6.5.2.

6.6.3 Procedure

- a) Instrument the PCE so that the power transistor case or reference temperature T_1 may be evaluated while minimally influencing the regular thermal and electrical characteristics of the PCE environment. This is usually performed according to the manufacturer's instructions for measuring T_1 ; for example, using the manufacturer-included thermistor, or other temperature measuring device in conjunction with the manufacturer's recommendation for calculation of T_1 , and drilling a narrow diameter hole through the heat sink to place a temperature sensor on the power transistor surface, or if not possible, on the hottest portion of the heat sink as observed with an infrared thermographic imaging camera. If there are multiple such units, each should be examined, preliminarily, or during the course of this testing procedure, to determine which exhibits the highest temperature in operation.
- b) Place PCE in the climatic chamber according to 6.5.3.1 b).
- c) Set conditions for windspeed in the climatic chamber according to 6.5.3.1 c).
- d) Connect the power supply and electrical load to the PCE. Set the chamber temperature to the maximum rated operating temperature of the PCE. Set the input current to the PCE to $I_{sc \max}$ while limiting input voltage as necessary to obtain P_r . Verify that any forced air ventilation or cooling system of the PCE is functioning normally.
- e) Ramp the climatic chamber temperature at a maximum rate of 2,5 °C/h down to 25 °C, monitoring T_1 and the power at the PCE input and output terminals. If a peak temperature point in T_1 is observed during the ramp (not including endpoints of the ramp), select and record this temperature as T_{12} . Record the climatic chamber setpoint temperature at which T_{12} is observed as $T_{amb, set 1}$.
- f) If there is no peak in temperature observed during the ramp down in chamber temperature (not including endpoints of the ramp), increase the climatic chamber temperature again from 25 °C at a maximum rate of 2,5 °C/h up to the maximum operating temperature as defined by the manufacturer and select and record the maximum T_1 observed considering both ramps (including endpoints) and record it as T_{12} and record the corresponding climatic chamber setpoint temperature as $T_{amb, set 1}$.

NOTE Maximum ramp rate is called out to allow for the selection of lower ramp rates in the case of very large inverters with large thermal masses, allowing for the measurements of temperature in conditions closer to equilibrium.

6.6.4 Restrictions and exceptions

6.6.4.1 Category 1 PCE

Determination of maximum operating temperature of the power transistor module is not performed on Category 1 PCE samples.

6.6.4.2 Category 4 PCE

When opting for testing of components of category 4 PCE rather than the unit as a whole in the subsequently performed 6.8, record simultaneously the resulting temperature for each component listed in 5.3.4 a) selected to be individually tested in 6.8 while performing 6.6.3 of the Power transistor module thermal test. Record the temperature of the individual components seen when the reference temperature T_1 measured in 6.6.3 is T_{12} . These recorded component temperatures occurring simultaneous with the observation of peak temperature T_{12} will be referenced for setting maximum temperatures in 6.8 for the testing of those components.

6.6.5 Requirements

Evaluation of T_{12} , the maximum power transistor case or reference temperature and the corresponding climatic chamber setpoint temperature at which it occurs $T_{amb, set}$ for use in 6.8. Noting the additional measurements specified in the case where 6.6.4.2 applies, a plot showing the power transistor case or reference temperature T_1 , climatic chamber temperature, input and output power of the PCE as a function of time will be useful for the evaluation of the requirements of this subclause.

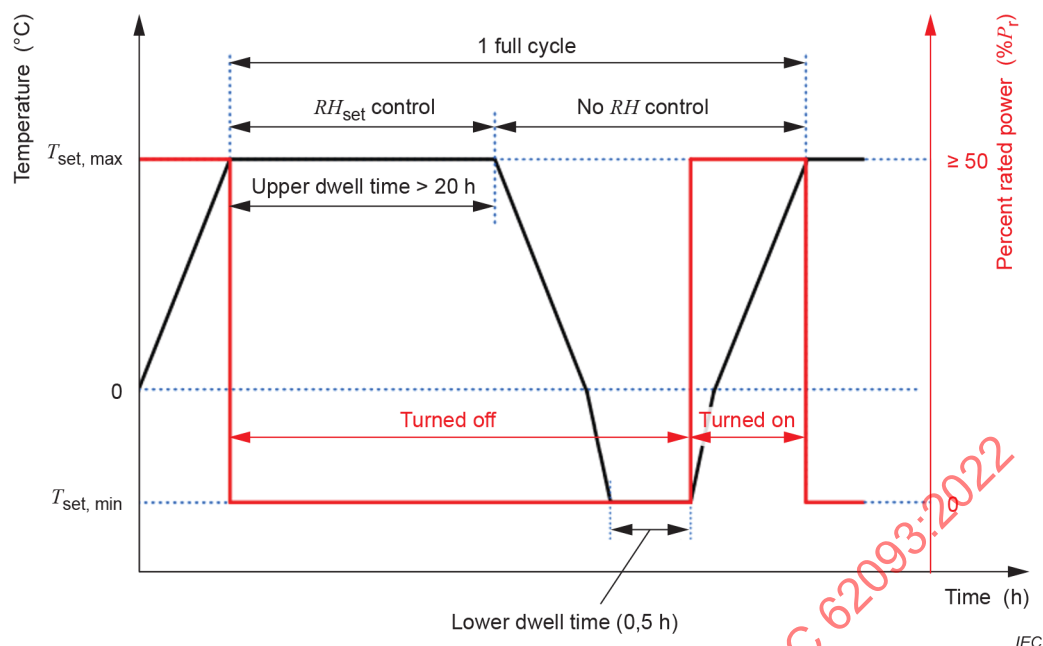
6.7 Humidity freeze test

6.7.1 Purpose

This test consists of exposure to combined elevated temperature and high humidity environment followed by a freeze cycle. In addition to replicating failures such as those listed in the damp heat section, electrical loading during a positive temperature ramp induces additional thermal- and voltage stress to active and passive components. Typical failures besides those listed in 6.1.4 include cracks, corrosion and deformation to the PCE enclosure and other mechanical components and insulation failure due to moisture ingress. This test also includes cold start conditions with differing input power if multiple electrically independent DC inputs exist as may occur due to, for example, snow on some PV module strings. This test also implements applied voltage to the PCE inputs while the load is disconnected, which may simulate a failure of the connected electrical grid.

6.7.2 Apparatus

- A climatic chamber with automatic temperature and humidity control, capable of subjecting the samples under test to the humidity freeze cycle specified in Figure 3 with levels specified in Table 5. A climatic test chamber which is capable of fulfilling the specifications of IEC 60068-3-6 will be suitable; however, tolerance of measured temperature from specified setpoints is $\pm 3^\circ\text{C}$;
- Means for mounting or supporting the PCE sample(s) in the chamber according to the method prescribed by the manufacturer. The installation shall allow free circulation of the surrounding air;
- PV array simulators or a DC power supplies in accordance with 5.4.5 capable of delivering the voltage and current to achieve the requirements of 6.7.2 e);
- An electrical load in accordance with 5.4.6;
- Means for monitoring the current and voltage (RMS) values at each connected input and output ports;
- Fuses or circuit breakers installed at the input and output terminals to protect against possible short circuit during the test;
- Electrical contactor at the electrical output or other means to physically connect and disconnect the PCE from the load repeatedly during the course of testing.



Refer to Table 5 for temperature (T_{set}) and relative humidity (RH) conditions.

Figure 3 – Chamber temperature/humidity profile and power for humidity freeze test

6.7.3 Procedure

- Install the PCE sample unit on a rigid mounting structure using the method prescribed by the manufacturer with maximum air circulation of the climatic chamber around the PCE.
- Connect each input of the PCE sample at the PV array side to a DC power source as described in 6.7.2 c). MPP tracking functionality of the PCE may be disabled if necessary to achieve a stable operating point at the DC input ports.
- Connect the PCE sample at the electric output terminal to a suitable load according to 6.7.2d) and as described in 5.4.6.
- Install current and voltage monitoring devices to all input and output ports according to relevant parts of 5.4.4 and 6.7.2 e).
- Monitor chamber air temperature and relative humidity reading from the environmental chamber controller. The test conditions are controlled on chamber temperature and relative humidity, not with the sample temperature.
- After closing the chamber, subject the component to complete cycles in accordance with Figure 3 and Table 5. The maximum and minimum temperatures shall be within $\pm 3^\circ\text{C}$ of the specified temperature levels in Table 5 and the relative humidity shall be maintained within $\pm 5\%$ of the specified relative humidity levels, RH_{set} , indicated in Table 5. Verify that any forced air ventilation or cooling system of the PCE is functional.

During the positive temperature ramp, the PCE sample shall be powered and operating. In the case of a single input PCE, apply a voltage as close as possible to $V_{mpp\ max}$ to achieve at least 50% of P_{Rated} output from the PCE.

If there are additional electrically independent inputs, to the second and all even numbered electrically independent inputs, apply minimum rated input voltage $V_{mpp\ min}$ (including, if necessary, a sufficient initial turn-on voltage pulse), and sufficient input current so that the PCE operates. All odd electrically independent inputs shall be connected to a voltage as close as possible to $V_{mpp\ max}$. Power to multiple electrically independent inputs is to be balanced so that all inputs run at non-zero power and the total output power of the PCE is at least 50 % of P_r .

The upper temperature dwell shall be 20 h. Ramp times between the temperature limits shall be as fast as equipment permits, but the durations are undefined. The cycle time is nominally 24 h, but because of various heat capacities of PCE, the cycle time is not constrained considering that the ramp times may be adjusted for the sample under test. Upper and lower dwell times start once the chamber conditions reach the respective dwell conditions according to Table 5. It is acceptable if the PCE normally derates or idles at the higher temperatures of the ramp. During the dwells and negative temperature ramp, the power output from the PCE under test to the load shall be disconnected by means of an electrical contactor while the electrical bias applied to the input of the PCE remains applied throughout the test.

NOTE Disconnection of the load simulates a grid failure or AC disconnection condition.

This test may be performed with doors of the PCE's enclosure opened and the cooling system of the PCE may be controlled independently only to assist in reducing transition times between dwells.

The lower temperature dwell shall be 30 min.

Table 5 – Temperature and humidity limits for humidity freeze test

PCE category	Environmental category	Dwell conditions		Cycles
		$T_{\text{set,min}}$	$T_{\text{set,max}}$, RH_{set}	
1	– all service categories	-40 °C ¹	85 °C /85 % RH	20
2, 3	– indoor, conditioned	Not required		20
	– indoor, unconditioned	-40 °C ¹	60 °C /85 % RH	
	– outdoor	-40 °C ¹	60 °C /85 % RH	

The test conditions are controlled on the basis of chamber air temperature and relative humidity. Acceptable tolerance for temperature is ± 3 °C. Acceptable tolerance for relative humidity is ± 5 %.

¹ Testing with a higher minimum temperature than $T_{\text{set,min}}$ shown above in this table is permitted, if the specifications of the PCE do not allow exposure to the above-specified $T_{\text{set,min}}$. In this case, the limit $T_{\text{set,min}}$ shall be adjusted according to the manufacturers lowest temperature specifications; however, highest value for $T_{\text{set,min}}$ shall be -10 °C.

The actual test conditions shall be documented in the test report.

- g) The PCE restart shall begin at the end of the low temperature dwell by reconnecting the load.

6.7.4 Restrictions and exceptions

Not required for PCE specified for use only in indoor conditions in the cases of Categories 2 and 3.

Not required for Category 4 PCE.

Automatic output power derating, discontinuous operation and temporary suspension of operation is permitted at all temperatures that exceed the manufacturer's specifications if for functional protection.

6.7.5 Final measurements

None.

6.7.6 Requirements

The requirements are as follows.

None of the testing samples exhibit any irreversible open-circuit, short-circuit, or ground fault during the tests, nor any suspensions of operation that require manual intervention on the PCE to correct. Permitted are reversible situations which are triggered by the PCE for the purpose of protecting itself or any other connected device or load that self-corrects. There shall be no permanent damage to the PCE. Record the nature and duration of any discontinuous or temporary suspension of normal operation of the PCE that may occur during the test.

6.8 Thermal cycling test

6.8.1 Purpose

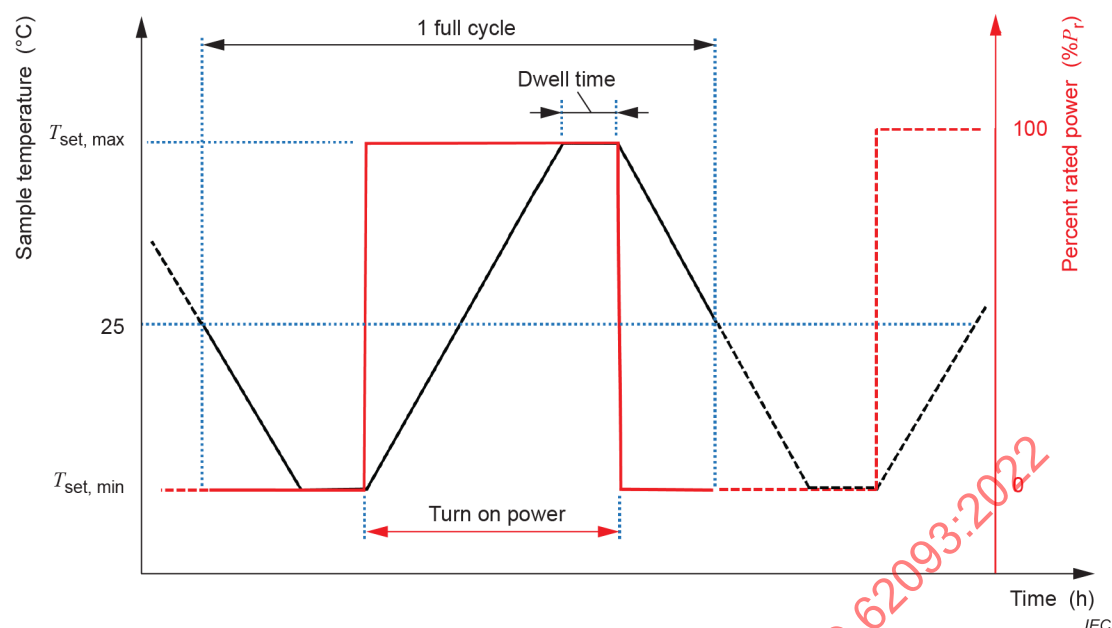
This test consists of repeated exposure to hot and cold temperature extremes with periods of powered operation to accelerate the daily temperature swings seen in field applications. In addition to the effects of electrical stresses applied, thermal cycling also induces thermo-mechanical strain as a result of differences in expansion coefficients between different materials used in PCEs and its components. Components in a PCE that are susceptible to accelerated thermal cycling include power semiconductor devices, integrated circuitry, capacitors, printed circuit boards, mechanical- enclosure and structures as well as wire terminals and connectors.

Typical failure mechanisms that are accelerated by thermal cycling include bond wire fatigue, base-plate solder and chip solder fatigue, interconnection failure, material deformation and cracks, delamination of conformal coat and potting interfaces, etc.

The upper temperature implemented in the thermal cycling test is based on actual upper temperature attained by the power transistor module of the PCE in 6.6. The stress level applied is thus related to the efficiency and thermal management exhibited by the PCE.

6.8.2 Apparatus

- a) A chamber with automatic temperature control of circulating air. The climatic chamber shall be sufficiently large to fit the PCE sample including required clearances or spacing as specified by the manufacturer and be capable of subjecting one or more samples to the thermal cycle profile shown in Figure 4 and parameters given in Table 6. A climatic chamber capable of fulfilling the specifications of IEC 60068-2-14, Test Nb will be suitable.
- b) Means for mounting or supporting the PCE sample(s) in the chamber according to the method prescribed by the manufacturer. The installation shall allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support structure shall be low (i.e., nonmetallic).
- c) Apparatus set for windspeed conditions in the climatic chamber according to 6.5.3.1c).
- d) Measurement instrumentation for achieving and recording the PCE power transistor case or reference temperature T_1 as in 6.6. Tolerance of measured temperature from specified setpoints is ± 3 °C.
- e) A PV array simulator or a DC power supply in accordance with 5.4.5 capable of delivering the voltage versus current characteristic of the largest PV array for which the equipment is rated, with regard to open circuit voltage and short circuit current.
- f) An electrical load in accordance with 5.4.6.
- g) Means for monitoring the current and voltage values (RMS) at all connected input and output ports.



Refer to Table 6 for temperature (T_{set}) and required dwell times.

Figure 4 – Thermal cycling test – Temperature and output power profile

6.8.3 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-14 with the following additional provisions:

- The PCE, shall be installed into the test chamber using a suitable mounting or supporting method as described in 6.8.2 a). The equipment is to be mounted in accordance with the manufacturer's instructions. To achieve faster ramp times, the test may be performed with doors of the electrical enclosure opened and during the transition times, the cooling system of the PCE may be used and adjusted as needed to reach the specified setpoints more quickly if agreed to by the manufacturer.

NOTE 1 If the PCE is internally cooled by fans, testing with open doors or open cover may influence the airflow and cause some components to become more overheated than normal.

- The PCE sample input terminals shall be connected to a suitable power source as described in 6.8.2 b).
- The PCE sample AC or DC output terminals shall be connected to a suitable load as described in 6.8.2 d).
- Install suitable current and voltage monitoring devices as described in 6.8.2 f) to all input and output ports.
- Connect or implement measurement of power transistor module case or reference temperature T_l as described in 6.8.2 d). In the case of category 1 PCE, monitor temperature at the attachment (mounting) point of the device while mounted. The test conditions are adjusted using this temperature measured on the sample.

- f) The PCE is to be subjected to a thermal cycle profile as shown in Figure 4 with specified sample-temperature limits, number of cycles, minimum dwell times, and with options for modification as described in Table 6. There is no limitation on how fast the chamber ambient temperature is allowed to transition during the positive and negative temperature ramp, but a ramp rate between 0,5 °C /min and 2 °C /min is recommended. If Table 6 $T_{\text{set,min}}$ values are below the PCE-specified minimum use temperatures, or the temperature range of the thermal cycling test shall be reduced for any reason, see the footer in Table 6 for how to increase the number of test cycles required based on the reduced temperature range for application of this clause. To reduce testing time, $T_{\text{set,max}}$ may be increased and the number of thermal cycles reduced. In this case, turn off derating if derating occurs at the higher, desired $T_{\text{set,max}}$, and have T_1 achieve this increased sample upper temperature limit by increasing power to the PCE by increasing input voltage, maintaining current at $I_{\text{sc max}}$. If the power reaches P_r and further acceleration with higher $T_{\text{set,max}}$ is sought, then increase chamber temperature, while ensuring power reaches P_r during the cycle.
- g) During the negative temperature ramp and the low temperature dwell, the power supply connected to the input of the PCE shall supply no power to the PCE. Forced air provided by the PCE's own cooling system, the climatic chamber's circulating air, or additional forced air may be introduced to achieve sample temperature $T_{\text{set,min}}$ more quickly.
- h) Maintain a dwell time of 20 min at each extreme.
- i) After the low temperature dwell at temperature $T_{\text{set,min}}$, a restart of the PCE is performed at the time of the start of temperature ramp up from the idle or off condition. At restart, set the input power to the PCE to $I_{\text{sc max}}$, limiting input voltage as necessary to obtain P_r . Toward the later portions of the ramp and during the upper temperature dwell, the chamber temperature shall be optimized such that $T_{\text{set,max}} = T_{12}$ is achieved at the measurement point on the sample.
- NOTE 2 In 6.6.3, the T_{12} relationship with chamber setpoint temperature $T_{\text{amb,set I}}$ was developed for quasi-equilibrium conditions.
- j) To account for any delay in the start of energy conversion by the PCE, the PCE may be energized before the end of the prescribed dwell such that the start of energy conversion is realized at the end of the prescribed 20 min. dwell and the start of ramp up in temperature.
- k) After the stress test, allow a minimum recovery time of 1 h at at $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ under unpowered conditions.

Table 6 – Upper and lower temperature limits for thermal cycling test

PCE category	Environmental category	Sample temperature limits ¹			Minimum dwell time	Test cycles ¹
		$T_{\text{set,min}}$ °C	$T_{\text{set,max}}$ °C	ΔT_{set} °C		
1	all service categories	-40	85	125 °C	20 min	400
2, 3, 4	indoor – conditioned	-10	T_{12}	$T_{12} + 10 ^\circ\text{C}$	20 min	400
	outdoor, indoor – unconditioned	-40	T_{12}	$T_{12} + 40 ^\circ\text{C}$		

The test conditions are adjusted using this temperature measured on the sample. Acceptable tolerance for temperature is $\pm 3 ^\circ\text{C}$.

¹ If the minimum rated use temperature as defined by the manufacturer is higher, that minimum rated use temperature may instead be implemented as $T_{\text{set,min}}$. This deviation from the values in the table shall be noted in the test report and a label indicating the higher minimum use temperature indicated on the PCE specification sheet according to Annex A. However, if for any reason, when using a different ΔT_{mod} value than ΔT_{set} specified in Table 6, the number of cycles (N_{mod}) shall be modified according to the following formula:

$$N_{\text{mod}} = 400 \times \left(\frac{\Delta T_{\text{set}}}{\Delta T_{\text{mod}}} \right)^{1,9}$$

where ΔT_{mod} is the temperature span between the implemented $T_{\text{set,min}}$ and $T_{\text{set,max}}$. This formula shall also apply if $T_{\text{set,max}}$ is increased beyond that in the above table for the purpose of reducing test time (cycles).

6.8.4 Restrictions and exceptions

MPP tracking functionality of the PCE may be disabled if necessary to achieve a stable operating point at the DC input ports.

Automatic output power derating, discontinuous operation and temporary suspension of operation is permitted at all temperatures that are outside of the manufacturer's use temperature levels for functional protection. The occurrence of these phenomena shall be noted in the test report.

In the case the thermal cycling test is done within the alternative qualification test sequence for Category 3 PCE and 4 PCE with reduced sample requirement described in 5.3.3, the following 6.8.5 Final measurements and 6.8.6 Requirements are omitted.

When testing Category 4 PCE in components instead of the integral unit, substitute for T_{12} in Table 6 the actual component temperature measured at the instant the reference temperature T_1 is maximum at T_{12} as described in 6.6.4.2. Perform the thermal cycling test for each component desired to be tested separately such that all components listed in 5.3.4 a) are tested. Use the same temperature measurement devices, mountings, and locations implemented in 6.6.

6.8.5 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h, perform 6.3, 6.4, and 6.1 in such order.

6.8.6 Requirements

The requirements are as follows:

- a) The PCE shall successfully operate within its specified operating range throughout the whole test period.
- b) None of the testing samples exhibit any irreversible open-circuit, short-circuit, or ground fault during the tests, nor any suspensions of operation that require manual intervention on the PCE to correct. Permitted are reversible situations which are triggered by the PCE for the purpose of protecting itself or any other connected device or load that self-corrects. There shall be no permanent damage to the PCE. Record the nature and duration of any discontinuous or temporary suspension of normal operation of the PCE that may occur during the test.
- c) The PCE shall meet the criteria defined in 5.5.

6.9 Damp heat test

6.9.1 Purpose

The damp heat test consists of exposure to combined elevated temperature and high humidity environments with voltage bias. It is intended to accelerate failure mechanisms that are activated by penetration of moisture vapor through protective materials and electric fields that are created by applied voltage to the internal circuitry. The damp heat test is intended to identify component failures that are induced through various forms of galvanic and electrochemical corrosion, electro migration, insulation degradation, etc. Potentially affected components include integrated circuits, power semiconductor devices, capacitors, printed circuit boards, interconnections, wiring and metallic parts such as frame, screws and enclosure. Levels of humidity experienced by the PCE are generally governed by the environmental use condition, thus temperature of the dwells of the thermal profile is controlled according the chamber air temperature in the damp heat test. The damp heat test is not implemented for Category 4 PCE and PCE in the Indoor, conditioned category.

6.9.2 Apparatus

- a) A climatic chamber suitable for application of IEC 60068-2-78 and temperature conditions as specified in Table 7. Acceptable tolerance for temperature is $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ from specified setpoint. Acceptable tolerance for relative humidity is $\pm 5\%$ (absolute) from specified setpoint.
- b) A PV array simulator or a DC power supply in accordance with 5.4.5 capable of applying the maximum rated input voltage to the PCE input terminals while sourcing current to achieve 10 % of P_r or the minimum operating power $P_{r\text{ min}}$ of the PCE, whichever is greater.
- c) An electrical load in accordance with 5.4.6.
- d) Means for monitoring of current and voltage (RMS) values at all connected input and output ports.
- e) Install fuses or circuit breakers at the input and output terminals to protect against possible short circuit during the test.

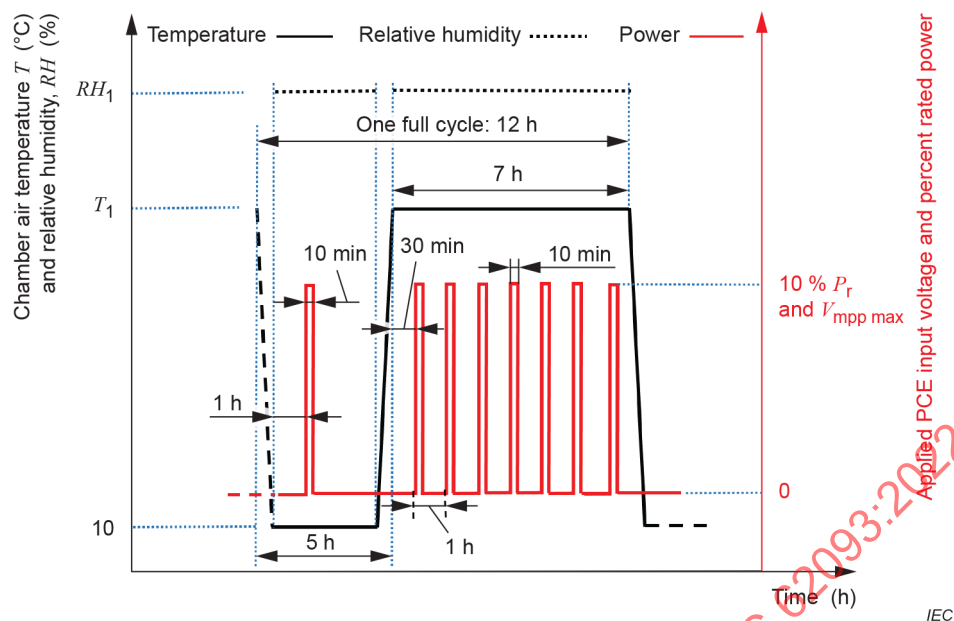
6.9.3 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 with the following provisions.

- a) The PCE with derating characteristics representative of production equipment not changed in any way for this test shall be introduced at room temperature into the test chamber and installed using a mounting or supporting structure in accordance with the manufacturer's instructions.
- b) The PCE sample input terminals shall be connected to a suitable DC voltage source specified in 6.9.2 b).
- c) The PCE sample output terminals shall be connected to a suitable electric load as described in 5.4.6.
- d) Suitable monitoring equipment as described in 6.9.2 f) shall be installed with the function of monitoring and logging the current and voltage at the electrical terminals of the PCE transmitting electrical power to and from the PCE. Monitor chamber temperature and air temperature reading from the environmental chamber controller. The test conditions are controlled on chamber temperature and relative humidity, not with the sample temperature.
- e) After closing the chamber, the PCE shall be subjected to 10 $^{\circ}\text{C}$ temperature. After equilibration, ramp humidity to RH_1 . Apply temperature and humidity to the PCE according to the profile shown in Figure 5 and conditions listed in Table 7. Relative humidity levels are not specified for periods of temperature ramps. When called for according to the timing indicated in Figure 5, apply $V_{\text{mpp max}}$ to the input ports of the PCE and sufficient current to achieve 10 % of P_r or the minimum operating power of the PCE when $V_{\text{mpp max}}$ bias is applied to the input terminals, whichever is greater. If the PCE derates to less than 10 % P_r , reduce the test temperature T_1 (upper dwell temperature) until 10 % of P_r is achieved and increase the test duration to t_2 rounding up to the next integer cycle of 12 h duration according to the footer in Table 7, where T_1 is the temperature listed in Table 7 for the appropriate PCE environmental category, T_2 is the temperature to which the climatic chamber was reduced for the upper temperature level dwell, and t_1 is the time listed in Table 7.

Figure 5 indicates duration of power applied to the PCE, 10 min pulses. Ensure the PCE is converting power nominally for 10 min by initiating applied power to the PCE earlier in the cycle if necessary, to account for start-up time of the PCE.

- f) The low temperature dwell conditions may be allowed to drift associated with the 10 min applied power to the PCE. Outside of this period, additional adjustments to the number of cycles shall be made according to Table 7 notes if 93 % RH cannot be maintained reliably according to IEC 60068-2-78 if and when called for.
- g) After the duration of the test specified in Table 7, ramp to ambient conditions by first turning off humidity generation then ramping temperature to $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Allow a recovery time between 2 h and 4 h at $(23 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ and a relative humidity less than 75 %. During recovery time, no voltage shall be applied to the input and output terminals.



Temperature and relative humidity levels are given in Table 7.

NOTE Refer to additional details of 6.9.3 e) when achieving 10 % of P_{rated} with $V_{mpp\ max}$ applied to the input terminals of the PCE cannot be sustained.

Figure 5 – Damp heat test profile

Table 7 – Temperature and humidity limits for damp heat test

PCE category	Environmental category	Upper dwell levels T_1, RH_1	Electrical conditions	Duration (number of 12 h full cycles) h
1	- all service categories	85 °C ¹ , 85 % RH	$V_{mpp\ max}$ $0,1 P_r$ ¹	360 (30)
2, 3	- indoor, conditioned	35 °C ¹ , 85 % RH		120 (10)
	- indoor, unconditioned	60 °C ¹ , 93 % RH		240 (20)
	- outdoor	60 °C ¹ , 93 % RH		360 (30)

Acceptable tolerance for temperature is ± 3 °C. Acceptable tolerances for relative humidity is ± 5 %. Control is performed based on the measurements of the test chamber air.

Maximum dwell level for temperature and relative humidity in the climatic test chamber for each PCE and environmental category is as shown in this table under Upper dwell levels T_1, RH_1 , whereas the lower dwell level for all PCE is RH_1 and 10 °C.

¹ Reduce temperature if required to maintain conversion for PCE at least 10 % of its nominal rated power, and increase test time according to:

$$t_2 = t_1 \times e^{6963 \times \left(\frac{1}{T_2 + 273\ K} - \frac{1}{T_1 + 273\ K} \right)}$$

where

T_1 is temperature listed in this table,

T_2 is the temperature to which the climatic chamber was reduced for the upper temperature level dwell,

t_1 is the duration without temperature reduction, number of cycles $\times$ 12 h, according to this table.

If it is deemed that the climatic chamber test equipment cannot maintain 93 % RH reliably according to IEC 60068-2-78 when called for, then use instead relative humidity of 85 % and further adjust the number of cycles up by 27 %, to the next highest 12 h cycle interval.

6.9.4 Restrictions and exceptions

MPP tracking and derating functionality of the PCE may be disabled if necessary to achieve a stable operating point at the DC input ports.

Not required for Category 4 PCE and PCE in the environment category of indoor, conditioned.

6.9.5 Final measurements

None.

6.9.6 Requirements

None of the testing samples exhibit any irreversible open-circuit, short-circuit, or ground fault during the tests, nor any suspensions of operation that require manual intervention on the PCE to correct. Permitted are reversible situations which are triggered by the PCE for the purpose of protecting itself or any other connected device or load that self-corrects. There shall be no permanent damage to the PCE. Record the nature and duration of any discontinuous or temporary suspension of normal operation of the PCE that may occur during the test.

6.10 Dry heat test

6.10.1 Purpose

This test consists of extended exposure to elevated temperature in combination with cyclic application of rated power to the PCE. Components in a PCE that are susceptible to heat include power semiconductor devices, film- and electrolyte capacitors, integrated circuitry, auxiliary circuitry, cooling fans, insulation material, wire terminals and connectors.

Typical failure mechanisms that are accelerated by dry heat testing with the PCE powered include dielectric breakdown, electromigration, insulation degradation, electrolyte evaporation, interconnection failure, fan bearing wear, etc.

The temperature implemented in the dry heat test is based on actual upper temperature attained by the capacitor reaching maximum temperature in 6.5, the bus link capacitor thermal test for PCE of Categories 2, 3 and 4. For these PCE types, the stress level applied is thus related to the efficiency and thermal management.

Derating of the PCE may optionally be shut off for this test and duration of the test shall be adjusted if a different temperature from that prescribed is selected.

6.10.2 Apparatus

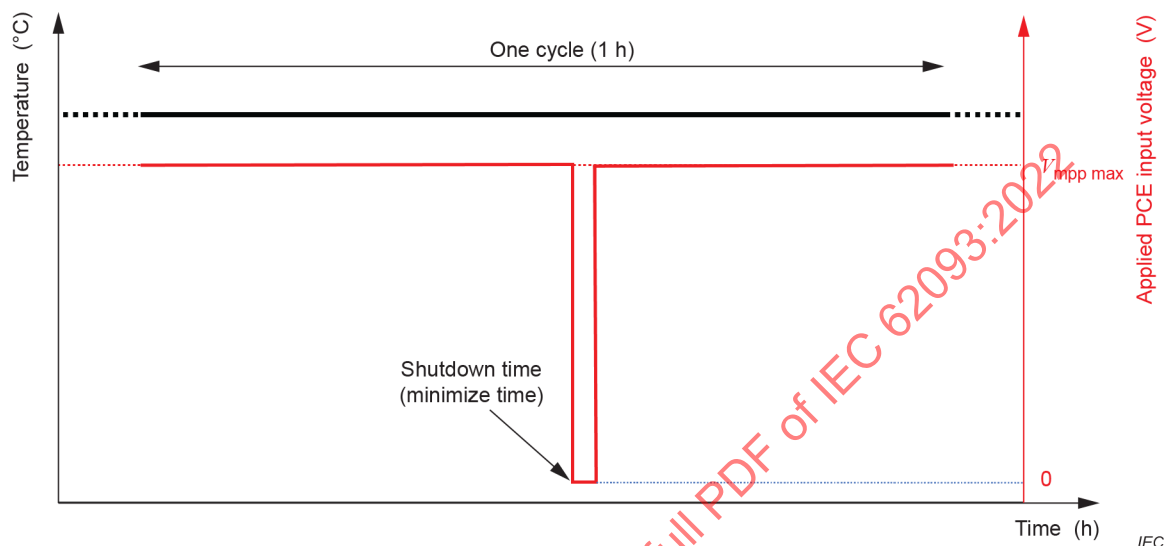
A climatic chamber with automatic temperature control or another suitable testing chamber where tolerances for temperature within $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ from the prescribed setpoint temperature can be maintained.

- a) The chamber shall be sufficiently large to fit the PCE sample including required clearances as specified by the manufacturer.
- b) Means for mounting or supporting the PCE sample according to, representative, and characteristic of the method prescribed by the manufacturer in the installation manual.
- c) Apparatus set for windspeed conditions in the climatic chamber according to 6.5.3.1c).
- d) Means for monitoring temperature T_C at location of highest measured capacitor temperature as acquired in 6.5.3.2, e). In the case of Category 1 PCE, monitor temperature at the attachment (mounting) point of the device.
- e) A PV array simulator or a DC power supply in accordance with 5.4.5 capable at delivering the voltage versus current characteristic of the largest PV array for which the equipment is rated with regard to voltage and current.

- f) An electrical load in accordance with 5.4.6.
- g) Means for monitoring the current and voltage values (RMS) at all connected input and output ports.

6.10.3 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-2:2007, 5.4 with the following provisions.



Temperature requirements are given in Table 8.

Figure 6 – Dry heat test – Temperature and input voltage profile

- a) The PCE, being at room temperature, shall be introduced and installed into the test chamber or test room using a suitable mounting or supporting structure as described in 6.10.2 b). The equipment is to be mounted in accordance with the manufacturer's instructions. Equipment with active cooling (air conditioning, water circulation) shall be active repeating the configuration used in 6.5.
- b) The PCE sample input terminals shall be connected to a suitable power source as described in 6.10.2 e). Suitable monitoring equipment as described in 6.10.2 g) shall be installed with the function of monitoring and logging the input current and voltage.
- c) The PCE sample AC or DC output terminals shall be connected to a suitable electric load introduced in 5.4.6. The PCE shall be set to operate at rated output voltage conditions and nominal unity power factor ($PF=1$) throughout the test. Suitable monitoring equipment as described in 6.10.2 g) shall be installed with the function of monitoring and logging the output current and voltage. The derating characteristics of the PCE shall be representative of production equipment and not changed in any way for this test, excepting if changing derating according to the condition in e), below.
- d) The PCE is to be subjected to a minimum number of hours at elevated ambient temperature to achieve capacitor temperature T_{C2} achieved with chamber temperature $T_{amb, set C}$ as evaluated in 6.5.3.2 at powered conditions. The chamber operating temperature levels and test durations are selected according to Table 8. All relevant electrical parameters during the test are to be monitored and documented in the test report.
- e) Within every hour during the test, the PCE shall be subjected to one power cycle—the restart introduced by an input voltage profile as shown in Figure 6. Specifically, after the power cycle maintaining the shutdown time only long enough to verify zero output power, input voltage shall be set to $V_{mpp max}$ with sufficient current supplied so that the PCE can sustain nominal rated power, P_r . Optimization of $T_{amb, set C}$ shall be made to achieve $T_C = T_{C2}$.

If under the specified test conditions, the power output of the PCE derates to less than 10 % of P_r . Reduce the test temperature $T_{amb, set C}$ until current output is at least 10 % of P_r and increase the test duration to $Duration_{adj}$ associated with the reduced test temperature, T_{adj} (measured at the same capacitor location as T_{C2}), according to the footnotes in Table 8.

Alternatively, to reduce testing time, the temperature T_C may be increased using a higher selected T_{adj} . In this case, turn off derating if derating occurs at the higher, desired capacitor temperature, and have T_C achieve this temperature by increasing power to the PCE by increasing input current, maintaining voltage at $V_{dc, r}$. If the power reaches P_{rated} and further acceleration with higher T_C is sought, then increase the chamber temperature, while ensuring power reaches P_r during the cycle.

Table 8 – Temperature limits for dry heat test

PCE category	Environmental category	Temperature setpoint	Electrical conditions	Duration h
1	all service categories	+85 °C ¹	$V_{mpp max} \geq 0,1 P_r$	2 000 ¹
2, 3, 4	indoor – conditioned	T_{C2} ¹	$V_{mpp max} \geq 0,1 P_r$	2 000 ¹
	outdoor and indoor – unconditioned	T_{C2} ¹	$V_{mpp max} \geq 0,1 P_r$	2 000 ¹

Temperature setpoint is evaluated on Category 1 PCE referencing the temperature measured on its mounting bracket, whereas for Categories 2, 3 and 4, it is on the capacitors' location of highest temperature as found in 6.5. The acceptable tolerances for measured temperature is ± 3 °C.

¹ Maintain sufficiently elevated temperature such that the PCE continues to convert at least 10 % P_r .

Testing at a lower temperature than the above specified setpoint is permitted. Testing at lower temperatures requires an increase of the testing duration according to the following formula:

$$Duration_{adj} = 1000h \times e^{6963 \times \left(\frac{1}{T_{adj} + 273K} - \frac{1}{T_{C2} + 273K} \right)}$$

Where T_{C2} was determined in 6.5 and T_{adj} is the modified test temperature. (This assumes an Arrhenius-relation with an activation energy of 0,6 eV)

This formula shall also apply if the $T_{adj} = T_C$ setpoint is increased beyond T_{C2} to achieve a reduced test duration.

6.10.4 Restrictions and exceptions

MPP tracking functionality of the PCE may be disabled if necessary to achieve a stable operating point at the DC input ports.

Derating of the PCE may optionally be defeated to achieve the specified test conditions.

When testing Category 4 PCE in components and not as a complete unit, substitute for T_{C2} in Table 8 the actual component temperature measured at the instant the reference temperature T_C is maximum at T_{C2} as described in 6.5.4.2. Perform the dry heat test for each component such that all components listed in 5.3.4 a) are tested. Use the same temperature measurement devices, mountings, and locations implemented in 6.5.

6.10.5 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h, perform 6.3, 6.4, and 6.1 in such order.

6.10.6 Requirements

The PCE shall meet the criteria defined in 5.5.

6.11 UV weathering test

6.11.1 Purpose

The weathering test is to evaluate the durability of organopolymeric enclosure materials and labels to UV light at elevated temperature.

6.11.2 Apparatus

Xenon arc lamp(s) in combination with the appropriate optical filter(s) to produce an irradiance spectrum simulating terrestrial sunlight according to the requirements of, and ability to control temperature and relative humidity of the test chamber according to IEC 62852, test phase G1, weather resistance and ISO 4892-2.

6.11.3 Procedure

- a) Collect two samples of at least 5 cm × 10 cm of each representative face material of the PCE enclosure or cabinet. Include samples with all marking label types and polymeric window materials. Test representative parts and components such as labels, cable grips, wire harnesses, and other accessories made of polymeric materials that have portions of them external to the enclosure and exposed to the weather mounted held on their enclosure parts with representative cables or wire held within them, if applicable. Gasket material having normally some exposed to sunlight shall be collected in 10 cm strips in the width used in the PCE in two replicas.
- b) Measure characteristic dimensions of polymeric parts to 0,1 mm accuracy at 22 °C ± 3 °C.
- c) Perform UV weathering test on parts according to requirements of IEC 62852 test phase G1 as follows:
 - Irradiance: 60 W/m²
 - Wave band: 300 nm to 400 nm
 - Black panel standard temperature: 65 °C
 - Relative humidity: 65 %
 - Cycle: 18 min spraying, 102 min drying with Xenon-lamp
 - Total duration: 500 h.
- d) Remeasure characteristic dimensions of polymeric parts to 0,1 mm accuracy at 22 °C ± 3 °C.

6.11.4 Restrictions and exceptions

Parts of materials that have been certified to pass requirements of IEC 62852 do not require the UV weathering test. In cases where compliance can be checked by examination of the construction and of available data regarding the UV resistance characteristics of the enclosure material and any associated protective coating for the intended application as described in IEC 62109-1:2010, 13.6.4, the component will not require the UV weathering test.

Parts without organopolymeric materials are excluded from the requirements of this subclause.

6.11.5 Requirements

The weathered samples shall not exhibit:

- reduction in legibility of printed material of test sample with respect to control (acceptable is a change in color without a change in legibility);
- corrosion of interior part of the sample (do not consider edge of the sample, if cut from the enclosure);
- burn marks, severe discoloration, cracks, crazing, comparing test sample to control;
- bubbles or delamination;

- loss of mechanical integrity;
- deformation and dimensional changes exceeding 2 %.

7 Optional tests

7.1 General

The following tests serve the purpose of additional quality assurance. They aim to address quality concerns that may arise in certain operating environments that introduce specific types of environmental stresses on the PCE and its components. Particular tests are recommended if the corresponding environmental conditions exist at the intended operating locations and if these conditions are permitted by the manufacturer in the specification sheet of the PCE. Pass criteria for each test are according to 5.5. When applied, the optional tests shall be applied on a minimum of one test specimen. The users of this document may optionally choose to reuse a given PCE unit for more than one optional test.

NOTE The optional rain intrusion test, wind driven rain test, and the dust test, 7.2, 7.3, and 7.4 respectively, were developed based on the needs of utility scale PV installations for performing together as a unit for the expressed needs of this market segment.

7.2 Rain intrusion test

7.2.1 Purpose

This test is to determine if the cabinet or enclosure entrances of the PCE (fans, vents, windows, cord grips, pass-throughs, removable panels) will sufficiently protect against water intrusion during rainstorms. This test examines provisions for rainstorm water to be properly guided away from, and not come in contact with, the electronics either during or after the rainstorm.

7.2.2 Apparatus

- The pressure in spray heads defined in IEC 60529:1989, Figure 5—second characteristic numerals 3 and 4 (spray nozzle)—at a distance of 710 mm from one another (center to center) of sufficient number to exceed the linear dimension of the horizontal enclosure edge of the PCE to be tested. Requirements for this test are in accordance with IEC 60529 second characteristic numeral 4; however, requirements of this document will supersede in case of conflict.
- The water line at each spray head shall be 200 kPa $\pm$ 10 kPa while spraying for all tests in this subclause.
- Materials and tools for detection of moisture presence and quantity of accumulated water: sponges, syringes, scales.
- Moisture sensitive colormetric developer or water leak detecting paint (aerosol) for water leak detection.

7.2.3 Procedure

- Measure the enclosure volume. Enclosure volume shall be based on overall outside dimensions.
- Spray inside of cabinet or enclosure (doors, interior bottom, interior top, and interior walls) with moisture sensitive colormetric developer or similar water-detecting paint.
- The enclosure shall be placed at the minimum height with respect to the ground level within the tolerance of the manufacturer's specified mounting instructions, and at the maximum allowable angle from horizontal that is specified by the instructions.
- For this test, the drain plugs or taps to discharge water accumulated on the bottom plate of PCE, shall be closed for keeping the water intrusion for this test.
- Perform eight enclosure door open and close cycles on each access panel or door that can be unlatched by hand or with a tool prior to the following spray procedure, finally placing the enclosure doors in their closed position. All fans and cooling systems shall be operating or in their functional open position (dampers, or movable flaps or louvers) during these tests.

- f) Spray water with water spray heads at each enclosure face for 1 h, one or more faces at a time. Each spray head shall be positioned 0,5 m from the closest point of the PCE enclosure and otherwise performed consistently with IEC 60529 second characteristic numeral 4. Immediately afterwards, the interior shall be examined and measured for water penetration. The doors of each side shall be opened, one at a time, and the interior shall be inspected. Document water found inside and its proximity (touching or nearly touching if not for surface tension of water) to the electronics with photographs. Water if found, should be collected and measured for volume.

If one face of the enclosure is done at a time, repeat for all essentially vertical PCE enclosure faces. The panels shall be dried out after each side is completed prior to going to the next side for exposure. Calculate the total volume of water measured at each step and repeat for all PCE enclosure faces.

- g) Rearrange the spray heads so that water contacts all door edges, handles, hinges, locking mechanisms, louvers, feed-through, removable or adhered panel seams of the enclosure, and any location where water ingress may be possible downward at an angle of 45° from horizontal. After spraying each enclosure face for 15 min, the interior shall be examined and measured for water penetration. The doors of each side shall then be opened, one at a time, and the interior shall be inspected. Document water found inside and its proximity to the electronics with photographs. Water if found, should be collected and measured for volume.

7.2.4 Restrictions and exceptions

This test is recommended for any PCE for use in the outdoors that has a door, fan, vent, window, etc. This test is not recommended for PCE classified for indoor environment, however ducting for direct transfer of air between PCE and vents to outdoors shall be included in the testing as part of the PCE. Air transfer, doors, windows, and filtration system of the PCE or housing allowing the PCE to be classified for indoor application shall be specified, designed, coordinated for testing, whether on the PCE, the housing, or the combination of the two.

7.2.5 Final measurements

Collect detailed photos, including linear distance scales in the image, of any water coming in contact or near proximity with electronic devices or components within the enclosure and of water on or near exposed conductors with aid of the moisture sensitive colormetric developer, and water accumulation observed.

Cumulatively calculate the total volume of water measured at each step of opening each enclosure doors or access panel that can be unlatched by hand or with a tool of the inverter for documentation in the test report.

7.2.6 Requirements

After each above-described exposure to water spray, there shall be no evidence of water coming in proximity (touching or potentially touching if not for surface tension of water) with electronic devices or components within the enclosure.

There shall be no evidence that water is impacting creepage requirements in critical areas, as in the case of moisture on circuit board between exposed conductors.

The total accumulation (sum of the measurements) of water in the enclosure shall be less than 1 cm³ per 0,025 m³ of enclosure volume.

7.3 Wind driven rain test

7.3.1 Purpose

This test is to determine if the enclosure is capable of preventing water ingress after exposure to rain and wind, any physical deterioration of the PCE caused by the rain, and the effectiveness of any water removal system in the PCE. This test is also to determine the enclosure's ability to protect from water coming into contact with the electronics inside the enclosure in conditions of wind driven rain.

7.3.2 Apparatus

- a) Apparatus with means for blowing air (wind) and a water distribution device within that produces droplets having a diameter range predominantly between 0,5 mm and 4,5 mm. The apparatus shall disperse water droplets completely over the test item when accompanied by the prescribed wind. For steady state rain, use spray nozzles or dispensers at a height sufficient to ensure the drops approach terminal velocity (about 9 m/s). It is not necessary to use de-ionized or distilled water for this test. A power source to heat the PCE or source of chilled water is required so that PCE under test has a temperature equilibrated at $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ above the temperature of the water used for the wind driven rain.
- b) The wind source shall be positioned with respect to the test item so that it will cause the rain to beat directly, with variations up to 45° from the horizontal, and uniformly against one side of the test item. Use a wind source that can produce horizontal wind velocities equal to and exceeding 31 m/s. Measure and confirm the required wind velocity at the position of the test item before placement of the test item in the chamber. As part of the apparatus setup, document the location of the wind speed sensor and the test device with photographs. Document the water droplet coverage over the entire exposure surface by means of a photograph. Document the direction of wind driven rain chosen relative to the surface of test item (directly or what variation of degrees from the horizontal).
- c) Means for mounting, temperature measurements, and applying electrical loads according to 6.4.2 b) through 6.4.2 f).
- d) Means to detect water, such as water detection stickers or other means shall be used to determine if sensitive components are exposed to water. A water-soluble dye such as fluorescein may be added to the water to aid in locating and analysing water leaks.
- e) Materials and tools for detection of moisture presence and quantity of accumulated water: sponges, syringes, scales.
- f) Moisture sensitive colormetric developer or water leak detecting paint (aerosol) for water leak detection.
- g) Instruments suitable for measuring wind driven rain (see Bibliography [2]) and an anemometer.

7.3.3 Procedure

The PCE enclosure shall be placed at the minimum height with respect to the ground level within the tolerance of the manufacturer's specified mounting instructions, and at the maximum allowable angle from horizontal that is specified by the instructions. All fans and cooling systems shall be operating and in their functional open position (dampers, or movable flaps or louvers) during these tests.

- a) Measure the enclosure volume. Enclosure volume shall be based on overall outside dimensions.
- b) Spray inside of enclosure (doors, interior bottom, interior top, and interior walls) with moisture sensitive colormetric developer or moisture detecting paint.
- c) Place means to detect water, such as water detection stickers or other means to determine if electrical and sensitive components will be exposed to water inside the enclosure.
- d) Perform eight enclosure door open and close cycles prior to the following spray procedure, finally placing the enclosure doors in their closed position.

- e) If the temperature of the water is less than 10 °C lower than the test item, either heat the test item to a higher temperature than the rainwater such that the test item temperature has been stabilized at 10 °C to 15 °C above the rainwater temperature at the start of each exposure period or cool the water. Restore the test item to its normal physical operating configuration (unpowered) immediately before testing if it had been changed to achieve the temperature requirements.
- f) With the test item in its normal physical operating configuration, adjust the rainfall rate and with the first face of the PCE perpendicular to the wind source, initiate the wind at the velocity specified as follows:
 - Rainfall 15,0 cm/h $\pm$ 2,5 cm/h
 - Wind velocity: 31 m/s $\pm$ 4 cm/h measured at the PCE within 0,3 m of where the water impacts the PCE under test
 - Exposure duration on each wall surface: 30 min.
- g) Rotate the test item to the rain and blowing wind source to a subsequent side of the test item or move the wind and rain sources to the next PCE face that could be exposed to blowing rain in deployment.
- h) Repeat until all essentially vertical surfaces have been tested.
- i) Conduct an inspection for water ingress. The doors or access panels shall be opened one at a time, and the interior shall be examined. Document water found inside and its proximity to the electronics with photographs.
- j) Measure any free water found inside the protected areas of the test item by means of weight change of sponge and with volumetric measurements and with documentation of any observed water collected. It may be necessary to empty water from the test item after the wind driven rain test to prevent a safety hazard.

7.3.4 Restrictions and exceptions

The text of 7.2.4 applies.

7.3.5 Final measurements

After test is completed, photographs of each open enclosure door or panel of the PCE shall be documented in test report along with detailed photos of any water accumulation observed.

7.3.6 Requirements

- a) The maximum total accumulation of water in the enclosure shall not exceed 1 cm³ per 0,025 m³ of enclosure volume.
- b) After each above-described exposure to water spray, there shall be no evidence of water coming in proximity (touching or potentially touching if not for surface tension of water) with electronic devices or components within the enclosure.
- c) There shall be no evidence that water is impacting creepage requirements in critical areas, as in the case of moisture on circuit board between exposed conductors.

7.4 Dust test

7.4.1 Purpose

Dust and soil depositing on electronic components can lead to development of static charge, alternative current paths, and ventilation blockage that can cause damage and failure of components including the electrical circuit boards, capacitors, terminations, power electronics and contactors.

This test exposes the factors of dust and sand to the PCE enclosure to evaluate its ability to withstand intrusion into the electrically active interior of the enclosure or chamber. This test also serves to evaluate the design for clogging of filters.

7.4.2 Apparatus

- a) The apparatus where the PCE is tested shall be capable of providing an air temperature of 60 °C and achieve relative humidity of the air of 30 % relative humidity and 75 % relative humidity and provide airspeed incident to the device under test in the range of 26,8 m/s to 40,2 m/s. Laminar flow is not required.
- b) Black high density conductive or antistatic foam tape (or black high density conductive or antistatic foam applied with antistatic or conductive adhesive) for dust collection. Dimensions of the foam shall be in the range of 1,75 cm × 1,75 cm to 2,25 cm × 2,25 cm.
- c) ISO 12103-1, A2, Fine test dust.

7.4.3 Procedure

This procedure references IEC 60068-2-68. In case of conflict, the methods explicitly listed here govern.

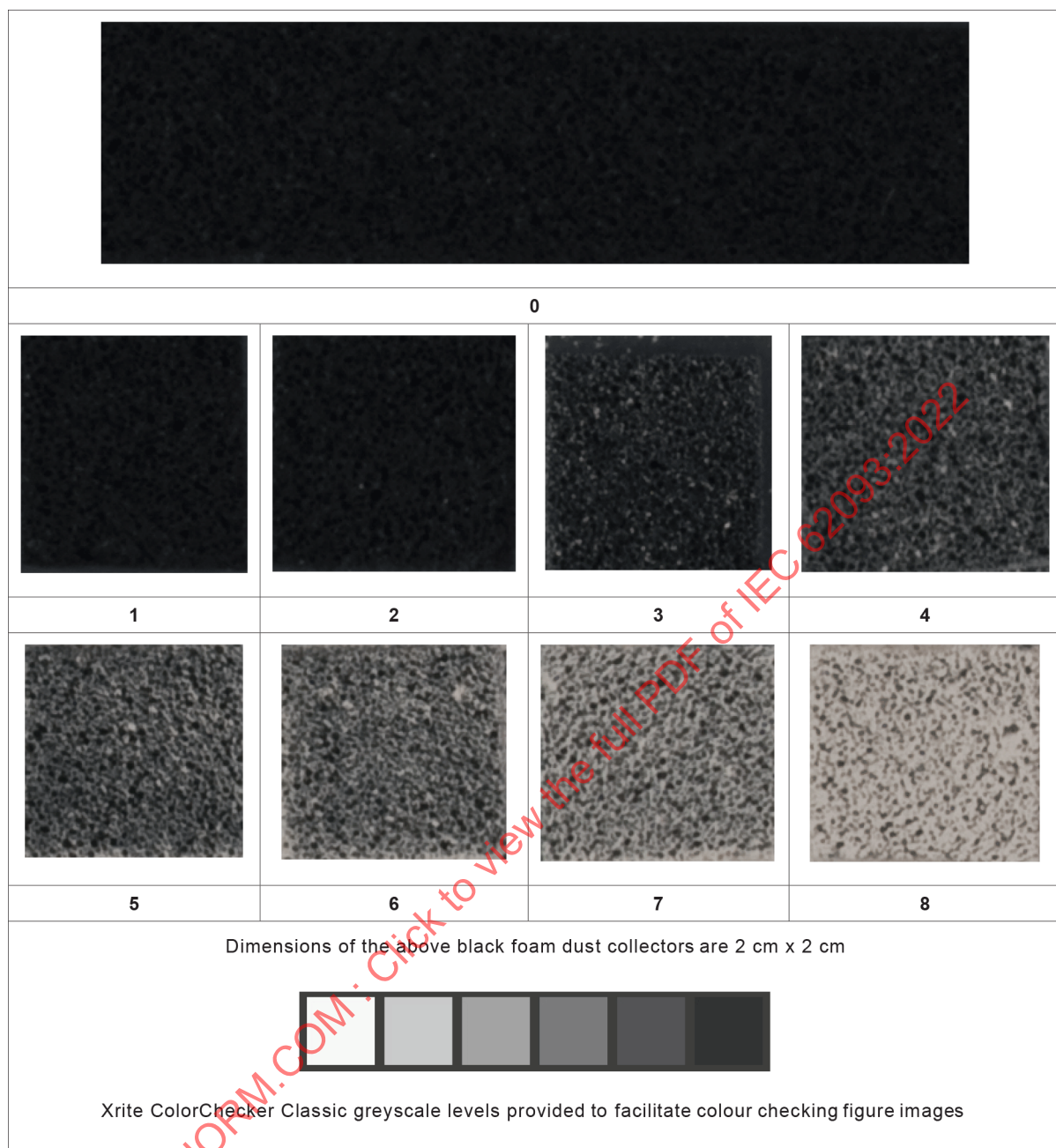
- a) Perform 6.1. Assure no damage is observed that would impair normal operation of the equipment such as doors, latches, and fan motors. Also ensure any fans are operational.
- b) Place black foam dust collectors on all horizontal or near horizontal surfaces inside the enclosure at all locations where dust entry is possible: at each seam edge, such as inside enclosure doors at each side and at the mid-point, and around any vents.
- c) Place all louvers and vents in their normally open position. Turn on interior and exterior fans for the entirety of the test duration application of dust and sand.
- d) Perform eight enclosure door open and close cycles, finally placing the enclosure doors in their closed position.
- e) Apply test procedures of IEC 60068-2-68 method Lc1 with ISO 12103-1, A2, Fine test dust with concentration $(10,6 \pm 7) \text{ g/m}^3$ and severities given in high temperature low humidity:
 - Temperature: 60 °C ± 3 °C
 - Relative humidity: 30 % ± 5 %
 - Wind speed: 26,8 m/s baseline to 40,2 m/s peak gusts
 - Duration: 2 h per vertical face.
- f) Apply test procedures of IEC 60068-2-68 method Lc1 with ISO 12103-1, A2, Fine test dust with concentration $(10,6 \pm 3,0) \text{ g/m}^3$ and severities given in high temperature high humidity:
 - Temperature: 60 °C ± 3 °C
 - Relative humidity: 75 % ± 5 %
 - Wind speed: 26,8 m/s baseline to 40,2 m/s peak
 - Duration: 2 h per vertical face.
- g) After 1 h settling time, examine each black foam dust collectors and rate on a 1-8 scale according to the observational standard for evaluating dust accumulation located in Figure 7.

7.4.4 Exceptions and restrictions

This optional test is proposed for any PCE for outdoor use that has a door, fan, vent, window, etc. PCE specified for indoor use is excluded, except where direct ducting from equipment to the outdoors exists or is specified.

7.4.5 Requirements

- a) Dust accumulation level according to Figure 7 of 4 or less.
- b) Interior and exterior fans function normally for the entirety of the test duration and after the procedure.



IEC

Figure 7 – Reference for dust accumulation evaluation level

7.5 Shipping vibration test

7.5.1 Purpose

The purpose of this test is to identify mechanical weak points and/or to ascertain any deterioration of the specified parameters. According to IEC 60068-2-6, it shall be conducted on structural elements or devices, which are exposed to harmonic vibrations during shipment, such as occur on ships, in aircraft and land vehicles.

7.5.2 Apparatus

Implement the apparatus in IEC 60068-2-6.

7.5.3 Procedure

Implement the procedure in IEC 60068-2-6 with the severities of:

- Frequency range: 10 Hz to 11,8 Hz; 11,9 Hz to 150 Hz
- Constant amplitude: 3,5 mm
- Constant acceleration: 2 g
- Cycling: 1 octave/min
- Duration on each axis: 2 h
- Total test duration: 6 h.

The specimens may be packaged or unpackaged during the test. For packaged testing, the specimen is tested in a condition including all packaging material that is specified by the manufacturer for transport and distribution of the PCE.

The specimens are not energised during the test.

7.5.4 Restrictions and exceptions

7.5.4.1 Category 1-2 PCE

No restrictions apply.

7.5.4.2 Category 3 PCE

May be performed on subassemblies. This fact shall be noted in the test report.

7.5.5 Final measurements

Perform in such order as listed, 6.3, functionality test; 6.4 voltage test; and 6.1, visual inspection.

7.5.6 Requirements

Requirements of 6.3, 6.4 and 6.1 shall be met.

Specify whether the specimens during the test were packaged, unpackaged, or if they were tested in both states in the test report.

7.6 Shock test

7.6.1 Purpose

In conjunction with the previous test, the purpose of this test is to discover mechanical weak points and/or to determine whether the specified parameters are maintained or deteriorate. The tests are conducted in conformance with IEC 60068-2-27.

7.6.2 Apparatus

Implement the apparatus in IEC 60068-2-27.

7.6.3 Procedure

Implement the procedure in IEC 60068-2-27 with severities as follows:

- Amplitude of acceleration: 15 g
- Type of shock: half-sine
- Duration of shock: 11 ms

Sequence of shocks: 1 s
Number of shocks: 18 (6 × 3).

The specimens may be packaged or unpackaged during the test. For packaged testing, the specimen is tested in a condition including all packaging material that is specified by the manufacturer for transport and distribution of the PCE.

The specimens are not energised during the test.

7.6.4 Restrictions and exceptions

7.6.4.1 Category 1-2 PCE

No restrictions apply.

7.6.4.2 Category 3 PCE

Not required.

7.6.5 Final measurements

Perform in such order as listed, 6.3, functionality test; 6.4, voltage test 6.1, visual inspection.

7.6.6 Requirements

Requirements of 6.3, 6.4 and 6.1 shall be met.

7.7 Salt mist test

7.7.1 Purpose

The salt mist test consists of extended exposure of combined high humidity and high atmospheric sodium chloride concentration. It is intended to simulate accelerated exposure in environments with changes between salt and dry atmospheres, such as coastal areas. The salt mist test is intended to produce a corrosive attack on the sample. The main target is to evaluate the integrity of the enclosure and its resistance against corrosive attacks. Components in a PCE that are typically affected by salt mist testing are the mechanical enclosure, and associated mechanical parts. Internal electric circuitry may also be affected if resistance to salt mist corrosion is insufficient or not present.

7.7.2 Apparatus

- a) A test chamber according to IEC 60068-2-52.
- b) Means for mounting or supporting the PCE sample according to the method prescribed by the manufacturer.

7.7.3 Procedure

- a) The tests shall be performed with the PCE fully assembled, and all covers in place and all doors of the enclosure closed. Apply to the test samples the salt mist test as described in IEC 60068-2-52, test method 1 following the general conditions, apparatus, and characteristics of the salt solution, severities and other specifications included. The severity of the salt mist test shall be chosen according to the atmospheric conditions prevailing in the place where the installation of the PCE is intended. Severity (2) is not suitable for PCEs as testing conditions are too weak and shall be avoided when applying this document.
- b) Severities are according to IEC 60068-2-52 test method 1; specifically 4, cycles of the following stages:
 - Salt mist 35 °C ± 2 °C, 2 h duration
 - Humid condition 40 °C ± 2 °C 93 % ± 3 % RH, 6 days and 22 h duration.

- c) The PCE sample is to be mounted or supported by a suitable structure inside the chamber according to the method prescribed by the manufacturer. The installation shall allow sufficient spacing between sample and chamber walls and uniform salt mist coverage on the sample.
- d) The test is to be performed under conditions with the PCE being turned off and no power source or sink being connected to any of its input and output ports.
- e) After the test, all samples shall be washed to remove the adherent salt from the exterior of the PCE enclosure using running tap water (not artificially pressurised) for a maximum time of 1 min per sample. Do not open the enclosure during the washing period. Alternatively, a wet cloth may be used to wipe off adherent salt if the IP rating does not permit the use of running water.
- f) Once the washing is finished, allow a minimum of 2 h of drying at room temperature. A dry cotton cloth may be used to wipe of remaining drops of water on the PCE exterior after the drying period.

7.7.4 Restrictions and exceptions

This test applies only to PCE intended for outdoor use.

7.7.5 Final measurements

After the drying period, perform in such order as listed, 6.3, functionality test; 6.4, voltage test; and 6.1, visual inspection.

7.7.6 Requirements

Requirements of 6.3, 6.4, and 6.1 shall be met.

7.8 Mixed gas corrosion test

7.8.1 General

The mixed gas corrosion test method 4 of IEC 60068-2-60 is applied for testing of electrotechnical products operated or stored in moderately corrosive environments. The PCE is not energized during the exposure to the corrosive gasses.

7.8.2 Apparatus

The test apparatus consists of a climatic system, test enclosure, gas delivery system and means for measuring gas concentration, in accordance with IEC 60068-2-60.

7.8.3 Procedure

Testing is performed according to IEC 60068-2-60:2015, Clause 7, test procedure 2, with the PCE unpowered. Severities applied are according to IEC 60068-2-60:2015, Table 1, Method 4, for the insertion of insertion of H_2S , NO_2 , Cl_2 , SO_2 , and H_2O into the test chamber. The duration is 21 days.

7.8.4 Restrictions and exceptions

None.

7.8.5 Final measurements

Perform in such order as listed, 6.3, functionality test; 6.4, voltage test; and 6.1 visual inspection.

7.8.6 Requirements

Requirements of 6.3, 6.4, and 6.1 shall be met.

7.9 Ammonia corrosion test

7.9.1 Purpose

This test is highly recommended for micro and string inverters, which shall be mounted in or close to animal farms, e.g. poultry or pig farms. The procedure implemented is according to IEC 62716 for PV modules. The PCE is not energized during the test.

7.9.2 Apparatus

As described in Clause 5 of ISO 22479:2019, modified for ammonia input.

7.9.3 Procedure

- a) Place or mount the PCE on an open rack such that air circulation around the PCE is unimpeded.
- b) Apply severities of IEC 62716:2013, 7.2, a sequence of 20 cycles each consisting of two test sections:
 - 1st test section
 - i) Time: 8 h
 - ii) NH_3 concentration 6 667 ppm
 - iii) Temperature $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - iv) Relative humidity: condensing
 - 2nd test section
 - i) Time: 16 h
 - ii) NH_3 concentration 0 ppm
 - iii) Temperature $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $28\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - iv) Relative humidity: 75 %, maximum.
- c) Clean residual ammonia on PCE with running water.

7.9.4 Final measurements

Perform in such order as listed, 6.3, functionality test; 6.4, voltage test; and 6.1, visual inspection.

7.9.5 Requirements

Requirement of 6.3, 6.4 and 6.1 shall be met.

8 Report

The report shall contain the detail specification for the PCE under test. Each test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested (product model number shall uniquely correspond to the optional parts of this document successfully passed);
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;

- h) identification of test method used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to specific tests, such as environmental conditions, additional testing peripherals such as transformers;
- k) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate including:
 - results of the characterization for ascertainment of performed tests;
 - any failures observed;
 - a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
 - a statement indicating if the samples met the requirements of the performed tests;
 - the results according to Annex A for inclusion in the report and specification sheet of the power conversion electronics;
- l) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- m) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- n) a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62093:2022

Annex A (normative)

Specification of tests performed for reporting

The following serves to clarify that the PCE has met the requirements of this document with respect to the various optional stress tests that the PCE has passed. Items in **bold** are normally transcribed to the products specification sheet. Items not in bold are instructional.

This power conversion equipment has met the requirements of IEC 62093: yyyy.

Category: (indicate **Category 1 PCE–Module-level power electronics** OR **Category 2 PCE–String-level power electronics** OR **Category 3 PCE–Large scale power electronics** OR **Category 4 PCE- central large-scale power electronics**).

Environment Category: (**Outdoor** OR **Indoor, unconditioned**, OR **Indoor conditioned**).

For the case of environment Category **outdoor** OR **indoor, unconditioned** AND IF value is less than or greater than -40 °C **Minimum operating temperature:** ($T_{\text{set min}}$ temperature [$T^{\circ}\text{C}$]; employed in 6.7 and 6.8; use the greater of the two if different).

List as applicable, consistent with the Clause 8 Report, the Clause 7 **Optional tests that have been performed and meeting IEC 62093 requirements:**

Rain intrusion test

Wind driven rain test

Dust test

Shipping vibration test

Shock test

Salt mist test

Mixed gas corrosion test

Ammonia corrosion test.

Bibliography

- [1] P. Hacke, D. Clemens, R. Thiagarajan, J. Flicker, and H. Igarashi, "Evaluation of the DC bus link capacitors and power transistor modules in the qualification testing of PV inverters", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 29 (7), 2021, pp. 675-683, <https://doi.org/10.1002/pip.3341>
- [2] B. Blocken and J. Carmeliet, "On the accuracy of wind-driven rain measurements on buildings", *Building and Environment* 41, 2006, pp.1798–1810

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62093:2022

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62093:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	62
1 Domaine d'application	64
2 Références normatives	65
3 Termes et définitions	66
4 Echantillonnage	70
5 Exigences d'essai	71
5.1 Généralités	71
5.2 Conditions d'environnement de service	71
5.2.1 Généralités	71
5.2.2 Extérieur	71
5.2.3 Intérieur, sans conditionnement	71
5.2.4 Intérieur, avec conditionnement	72
5.3 Séquences d'essais	72
5.3.1 Généralités	72
5.3.2 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 1 (électronique de puissance au niveau module)	72
5.3.3 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 3 (matériel de conversion de puissance à grande échelle) et les PCE de catégorie 4 (matériel de conversion de puissance centrale à grande échelle)	73
5.3.4 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 4 (matériel de conversion de puissance centrale à grande échelle)	73
5.4 Exigences d'essai générales	78
5.4.1 Installation des échantillons d'essai	78
5.4.2 Périphériques	78
5.4.3 Connecteurs et câblage	78
5.4.4 Instruments de mesure et matériel de surveillance	78
5.4.5 Sources d'énergie électrique	79
5.4.6 Charges électriques	79
5.4.7 Bornes de terre	80
5.4.8 Commandes	80
5.5 Critères de réussite	80
6 Procédures d'essai	81
6.1 Examen visuel	81
6.1.1 Objectif de l'essai	81
6.1.2 Appareillage	81
6.1.3 Procédure	81
6.1.4 Exigences	81
6.2 Caractérisation des performances de fonctionnement	82
6.2.1 Objectif de l'essai	82
6.2.2 Appareillage	82
6.2.3 Procédure	82
6.2.4 Restrictions et exceptions	82
6.2.5 Exigences	82
6.3 Essai de fonctionnalité	82
6.3.1 Objectif de l'essai	82
6.3.2 Appareillage	82
6.3.3 Procédure	83

6.3.4	Restrictions et exceptions	84
6.3.5	Exigences	84
6.4	Essai de tension (de tenue diélectrique)	84
6.4.1	Objectif de l'essai	84
6.4.2	Appareillage	84
6.4.3	Procédure	84
6.5	Essai thermique des condensateurs de bus	85
6.5.1	Objectif de l'essai	85
6.5.2	Appareillage	85
6.5.3	Procédure	86
6.5.4	Restrictions et exceptions	87
6.5.5	Exigences	88
6.6	Essai thermique des modules de transistor de puissance	88
6.6.1	Objectif de l'essai	88
6.6.2	Appareillage	88
6.6.3	Procédure	88
6.6.4	Restrictions et exceptions	89
6.6.5	Exigences	89
6.7	Essai d'humidité-gel	90
6.7.1	Objectif de l'essai	90
6.7.2	Appareillage	90
6.7.3	Procédure	91
6.7.4	Restrictions et exceptions	92
6.7.5	Mesures finales	93
6.7.6	Exigences	93
6.8	Essai cyclique thermique	93
6.8.1	Objectif de l'essai	93
6.8.2	Appareillage	93
6.8.3	Procédure	94
6.8.4	Restrictions et exceptions	96
6.8.5	Mesures finales	96
6.8.6	Exigences	97
6.9	Essai de chaleur humide	97
6.9.1	Objectif de l'essai	97
6.9.2	Appareillage	97
6.9.3	Procédure	97
6.9.4	Restrictions et exceptions	100
6.9.5	Mesures finales	100
6.9.6	Exigences	100
6.10	Essai de chaleur sèche	100
6.10.1	Objectif de l'essai	100
6.10.2	Appareillage	100
6.10.3	Procédure	101
6.10.4	Restrictions et exceptions	103
6.10.5	Mesures finales	103
6.10.6	Exigences	103
6.11	Essai de résistance aux UV	103
6.11.1	Objectif de l'essai	103
6.11.2	Appareillage	103

6.11.3	Procédure.....	103
6.11.4	Restrictions et exceptions.....	104
6.11.5	Exigences.....	104
7	Essais facultatifs	104
7.1	Généralités	104
7.2	Essai de pénétration d'eau pluviale.....	104
7.2.1	Objectif de l'essai	104
7.2.2	Appareillage	105
7.2.3	Procédure.....	105
7.2.4	Restrictions et exceptions.....	106
7.2.5	Mesures finales	106
7.2.6	Exigences.....	106
7.3	Essai de pluie chassée par le vent.....	106
7.3.1	Objectif de l'essai	106
7.3.2	Appareillage	106
7.3.3	Procédure.....	107
7.3.4	Restrictions et exceptions.....	108
7.3.5	Mesures finales	108
7.3.6	Exigences.....	108
7.4	Essai de poussières.....	108
7.4.1	Objectif de l'essai	108
7.4.2	Appareillage	108
7.4.3	Procédure.....	109
7.4.4	Restrictions et exceptions.....	109
7.4.5	Exigences.....	109
7.5	Essai de vibrations au transport.....	110
7.5.1	Objectif de l'essai	110
7.5.2	Appareillage	110
7.5.3	Procédure.....	111
7.5.4	Restrictions et exceptions.....	111
7.5.5	Mesures finales	111
7.5.6	Exigences.....	111
7.6	Essai de chocs.....	111
7.6.1	Objectif de l'essai	111
7.6.2	Appareillage	111
7.6.3	Procédure.....	111
7.6.4	Restrictions et exceptions.....	112
7.6.5	Mesures finales	112
7.6.6	Exigences.....	112
7.7	Essai au brouillard salin.....	112
7.7.1	Objectif de l'essai	112
7.7.2	Appareillage	112
7.7.3	Procédure.....	112
7.7.4	Restrictions et exceptions.....	113
7.7.5	Mesures finales	113
7.7.6	Exigences.....	113
7.8	Essai de corrosion dans un mélange de gaz	113
7.8.1	Généralités	113
7.8.2	Appareillage	113

7.8.3	Procédure.....	113
7.8.4	Restrictions et exceptions.....	113
7.8.5	Mesures finales	114
7.8.6	Exigences.....	114
7.9	Essai de corrosion à l'ammoniac.....	114
7.9.1	Objectif de l'essai	114
7.9.2	Appareillage	114
7.9.3	Procédure.....	114
7.9.4	Mesures finales	114
7.9.5	Exigences.....	114
8	Rapport	114
Annexe A (normative) Spécification des essais réalisés à des fins de consignation dans les rapports		116
Bibliographie.....		117
Figure 1 – Séquence d'essais pour les PCE des catégories 1 à 4		74
Figure 2 – Séquence d'essais en variante pour les PCE de catégorie 3		75
Figure 3 – Profil de température/humidité de la chambre climatique et puissance appliquée pour l'essai d'humidité-gel		91
Figure 4 – Essai cyclique thermique – Profil de température et de puissance de sortie		94
Figure 5 – Profil de l'essai de chaleur humide.....		99
Figure 6 – Essai de chaleur sèche – Profil de température et de tension d'entrée		101
Figure 7 – Niveaux de référence pour évaluer l'accumulation de poussière.....		110
Tableau 1 – Nombre d'échantillons pour les essais.....		70
Tableau 2 – Classification des conditions d'environnement.....		72
Tableau 3 – Résumé des niveaux d'essai (séquence d'essais principale)		76
Tableau 4 – Résumé des niveaux d'essai (essais facultatifs)		77
Tableau 5 – Limites de température et d'humidité pour l'essai d'humidité-gel		92
Tableau 6 – Limites de température supérieure et inférieure pour l'essai cyclique thermique		96
Tableau 7 – Limites de température et d'humidité pour l'essai de chaleur humide.....		99
Tableau 8 – Limites de température pour l'essai de chaleur sèche.....		102

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIEL DE CONVERSION DE PUISSANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET APPROBATION DE TYPE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document 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 62093 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2005. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) modification du titre;
- b) cette édition met l'accent sur la qualification de la conception de l'électronique de conversion de puissance (PCE), et élimine les articles et paragraphes associés aux essais de qualification d'autres composants d'équilibrage de système;
- c) bien que de nombreux titres d'articles et de paragraphes aient été conservés, des modifications significatives ont été apportées;

- d) la première édition établit les exigences relatives à la qualification de la conception des autres composants d'équilibrage utilisés dans les systèmes photovoltaïques (PV) terrestres, alors que cette édition se limite au matériel de conversion de puissance;
- e) modification des protocoles d'essai.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
82/1963/FDIS	82/1983/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 cette 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/standardsdev/publications.

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. A cette date, le document sera

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

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

MATÉRIEL DE CONVERSION DE PUISSANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET APPROBATION DE TYPE

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences de l'IEC relatives à la qualification de la conception du matériel de conversion de puissance (PCE) adapté pour un fonctionnement de longue durée des systèmes photovoltaïques (PV) terrestres.

Le présent document couvre le matériel électronique de conversion de puissance destiné à être utilisé dans les applications PV terrestres. Le terme PCE désigne le matériel et les composants de conversion de puissance électronique qui permettent de convertir l'énergie électrique en un autre type d'énergie électrique sur les critères de tension, de courant et de fréquence. Le présent document convient pour l'utilisation des PCE dans les conditions climatiques intérieures et extérieures définies dans l'IEC 60721-3-3 et l'IEC 60721-3-4. Un tel matériel peut comprendre, mais sans s'y limiter, les PCE de courant continu à alternatif sur réseau et hors réseau, les convertisseurs continu-continu, les convertisseurs de chargeur de batterie et les contrôleurs de charge de batterie.

Le présent document couvre les PCE connectés à des générateurs PV dont la tension nominale ne dépasse pas une tension de circuit maximale de 1 500 V en courant continu. Le matériel peut également être connecté à des systèmes ne dépassant pas 1 000 V au niveau des circuits du secteur alternatif, des circuits de charge en courant alternatif hors secteur et d'autres sources de courant continu ou circuits de charge tels que des batteries. Si des pièces auxiliaires particulières avec des fabricants et des modèles sont spécifiées dans le manuel d'utilisation du PCE, ces pièces sont alors soumises à essai avec le PCE.

Exceptions:

- a) le présent document ne spécifie pas les caractéristiques des sources d'énergie autres que les systèmes PV, telles que les éoliennes, les piles à combustible, les sources des machines tournantes, etc.;
- b) le présent document ne spécifie pas les caractéristiques du matériel de conversion électronique de puissance entièrement intégré dans des modules photovoltaïques. Il existe des normes distinctes ou en cours de développement pour ces types de dispositifs. Le présent document est toutefois applicable aux dispositifs lorsque le fabricant spécifie explicitement la possibilité de déconnexion complète et reconnexion ultérieure au module PV, ou si les bornes d'entrée et de sortie sont accessibles et qu'une notice technique est disponible pour le PCE. Les dispositifs satisfaisant à ces exigences peuvent être soumis à essai comme des échantillons individuels, indépendamment du module PV;
- c) le présent document ne s'applique pas au matériel de conversion de puissance qui utilise un processus électrochimique intégré pour le stockage de l'énergie (par exemple plomb-acide ou ions lithium). Il s'applique en revanche au matériel pour lequel le fabricant spécifie et autorise le retrait complet du dispositif de stockage électrochimique de l'énergie du PCE afin de permettre une évaluation séparée du PCE une fois le dispositif de stockage retiré.

Les séquences d'essais contenues dans le présent document ont pour but d'établir un niveau de durabilité de base et de montrer, en respectant des contraintes raisonnables de coût et de temps, que le PCE est capable de maintenir ses performances après une exposition prolongée aux contraintes d'environnement simulées décrites ici, qui reposent sur les conditions d'utilisation prévues spécifiées par le fabricant. Les essais facultatifs contenus dans le présent document peuvent être choisis en fonction de l'installation prévue, du marché ciblé ou des conditions d'environnement particulières attendues pour le PCE. La catégorisation impose des séquences d'essais différenciées et des niveaux de sévérité des essais reflétant les différentes exigences des composants mécaniques et électriques dans différents environnements.

Les PCE sont regroupés en catégories en fonction de leur taille et de leur environnement d'installation.

La durée de vie réelle attendue des composants ainsi qualifiés dépend de leur conception, de leur environnement et de leurs conditions de fonctionnement. Le présent document ne traite pas de l'estimation de la durée de vie et de l'usure générale.

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 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 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

IEC 60068-2-27, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-52, *Essais d'environnement – Partie 2-52 – Essais – Essai Kb: Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)*

IEC 60068-2-60:2015, *Essais d'environnement – Partie 2-60: Essais – Essai Ke: Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz*

IEC 60068-2-68, *Essais d'environnement – Partie 2-68: Essais – Essai L: Poussière et sable*

IEC 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60068-3-5:2018, *Essais d'environnement – Partie 3-5: Documentation d'accompagnement et guide – Confirmation des performances des chambres d'essai en température*

IEC 60068-3-6, *Essais d'environnement – Partie 3-6: Documentation d'accompagnement et guide – Confirmation des performances des chambres d'essai en température/humidité*

IEC 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60721-3-3, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries*

IEC 60721-3-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-4: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries*

IEC 61000-3-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-2: Limites – Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase)*

IEC 61000-3-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-12: Limites – Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé $> 16\text{ A}$ et $\leq 75\text{ A}$ par phase*

IEC TR 61000-3-14, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-14: Assessment of emission limits for harmonics, interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to LV power systems* (disponible en anglais seulement)

IEC 61180, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai*

IEC 61557-1, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension au plus égale à $1\,000\text{ V c.a.}$ et $1\,500\text{ V c.c.}$ – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 1: Exigences générales*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

IEC 62109-1:2010, *Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales*

IEC 62116:2014, *Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public – Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage*

IEC 62477-1:2012, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 1: Généralités*
IEC 62477-1:2012/AMD1:2016

IEC 62716:2013, *Modules photovoltaïques (PV) – Essai de corrosion à l'ammoniac*

IEC 62852, *Connecteurs pour applications en courant continu pour systèmes photovoltaïques – Exigences de sécurité et essais*

IEC 62894:2014, *Onduleurs photovoltaïques – Fiche technique et plaque d'identification*
IEC 62894:2014/AMD1:2016

IEC TS 63106-2, *Basic requirements for simulator used for testing of photovoltaic power conversion equipment – Part 2: DC power simulator* (disponible en anglais seulement)

ISO 4892-2, *Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire – Partie 2: Lampes à arc au xénon*

ISO 12103-1:2016, *Véhicules routiers – Poussière pour l'essai des filtres – Partie 1: Poussière d'essai d'Arizona*

ISO 22479:2019, *Corrosion des métaux et alliages – Essai au dioxyde de soufre en atmosphère humide (méthode avec volume fixe de gaz)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

NOTE Les symboles et les noms de variables pour les valeurs d'entrée et de sortie des PCE suivent la terminologie de l'IEC 62894.

3.1

matériel de conversion de puissance

PCE

dispositif électrique assurant la conversion d'un type d'énergie électrique provenant d'une source de tension ou de courant, en un autre type d'énergie électrique sur les critères de tension, de courant et de fréquence

Note 1 à l'article: Les convertisseurs alternatif-continu, les onduleurs continu-alternatif, les contrôleurs de charge continu-continu, les convertisseurs de fréquence, etc. sont des exemples de PCE.

Note 2 à l'article L'abréviation "PCE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Power Conversion Equipment".

3.2

électronique de puissance au niveau module: PCE de catégorie 1

MLPE

PCE dont le fonctionnement spécifié par le fabricant est basé sur un module PV et qui peut s'interfacer avec jusqu'à quatre modules PV individuels

Note 1 à l'article L'abréviation "MLPE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Module-Level Power Electronics".

3.3

électronique de puissance au niveau chaîne: PCE de catégorie 2

catégorie comprenant un PCE conçu pour s'interfacer avec plus de quatre modules PV raccordés en série et/ou en parallèle et ne satisfaisant pas à la puissance de conversion du PCE de catégorie 3 ou du PCE de catégorie 4

3.4

électronique de puissance à grande échelle: PCE de catégorie 3

catégorie comprenant des PCE essentiellement regroupés dans une seule unité capable d'assurer une conversion de puissance supérieure ou égale à 100 kVA et inférieure à 1 000 kVA

Note 1 à l'article: Cette catégorie de PCE peut comporter de multiples unités de conversion de puissance intégrées dans une unité de confinement de plus grande taille.

3.5

électronique de puissance centrale à grande échelle: PCE de catégorie 4

catégorie comprenant des PCE essentiellement regroupés dans une seule enveloppe capable d'assurer une conversion de puissance supérieure ou égale à 1 000 kVA

Note 1 à l'article: Cette catégorie de PCE peut comporter de multiples unités de conversion de puissance intégrées dans une unité de confinement de plus grande taille.

3.6

température de fonctionnement en charge partielle

limite de température ambiante à laquelle le PCE commence à réduire activement ses puissances d'entrée et de sortie afin de maintenir une certaine température maximale de fonctionnement

Note 1 à l'article: Cette température peut également dépendre de la puissance d'entrée et d'autres paramètres électriques, et peut donc ne pas être unique.

3.7

entrées électriquement indépendantes

accès d'entrée de puissance du PCE qui ne sont pas ohmiquement reliés à un autre accès interne, mais qui servent à fournir simultanément de l'énergie au PCE à différents points de fonctionnement en courant et tension fournis, par exemple, par un étage de convertisseur élévateur dans le PCE pour chaque entrée électriquement indépendante de ce type

3.8

enveloppe

partie du matériel qui entoure des parties internes, destinée à assurer la protection contre des influences externes, la propagation du feu ou l'accès à des phénomènes dangereux

Note 1 à l'article: Les enveloppes peuvent être sans support ou montées sur un mur, un bâti, un plafond, un cadre ou une glissière.

3.9

courant de court-circuit total maximal d'un générateur PV

$I_{sc \text{ max}}$

courant (continu) de court-circuit total maximal absolu d'un générateur PV, assigné au PCE pour sa connexion à son entrée PV, dans les conditions les plus défavorables de température ambiante, d'éclairement énergétique, etc.

Note 1 à l'article: Cette caractéristique assignée du PCE se rapporte au courant maximal absolu pour lequel l'entrée PV du PCE est conçue dans les conditions d'utilisation attendues. Ce courant diffère de la simple somme des courants assignés I_{sc} marqués sur les modules PV connectés, car ces marquages reposent sur des conditions de court-circuit en conditions d'essai normales, et peuvent être dépassés à des températures élevées ou lorsque l'éclairement énergétique est supérieur au niveau normal.

3.10

valeur assignée

valeur fixée, généralement par un fabricant, pour une condition de fonctionnement spécifiée d'un composant, dispositif ou matériel

3.11

tension d'entrée assignée

$V_{dc,r}$

tension d'entrée assignée spécifiée par le fabricant, ou si elle n'est pas spécifiée, point médian de la plage de tensions d'entrée de point de puissance maximale (MPP) du PCE

3.12

puissance assignée

P_r

puissance active maximale que le PCE peut fournir en fonctionnement continu

3.13

tension de point de puissance maximale

tension MPP maximale

$V_{mpp \text{ max}}$

tension maximale à l'accès d'entrée en courant continu, à laquelle l'onduleur peut fournir sa puissance assignée en continu, sans baisse de puissance

Note 1 à l'article L'abréviation "MPP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Maximum Power Point".

3.14

tension MPP minimale

$V_{mpp \text{ min}}$

tension minimale à l'accès d'entrée en courant continu, à laquelle l'onduleur peut fournir sa puissance assignée en continu

3.15**accès**

emplacement permettant d'accéder à un dispositif ou réseau, où de l'énergie électromagnétique ou des signaux peuvent être fournis ou reçus, ou permettant d'observer ou de mesurer les variables du dispositif ou réseau en question

3.16**générateur photovoltaïque****générateur PV**

ensemble de modules PV, de chaînes PV ou de sous-générateurs PV électriquement interconnectés

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, un générateur PV regroupe tous les composants allant jusqu'aux bornes d'entrée de courant continu de l'onduleur ou d'un autre matériel de conversion de puissance ou de charges en courant continu.

Note 2 à l'article: Les fondations, l'appareillage de conversion, le contrôle thermique et autres composants de ce type sont exclus du générateur PV.

Note 3 à l'article: Un générateur PV peut être constitué d'un seul module PV, d'une seule chaîne PV ou de plusieurs chaînes connectées en parallèle, ou de plusieurs sous-générateurs PV connectés en parallèle et de leurs composants électriques associés. Pour les besoins du présent document, la frontière d'un générateur PV est le côté sortie du dispositif de déconnexion du générateur PV.

3.17**carte à circuit imprimé****PCB**

circuit électronique constitué de fines bandes d'un matériau conducteur tel que le cuivre, qui ont été gravées à partir d'une couche fixée sur une feuille isolante plane; les circuits intégrés et autres composants sont attachés

Note à l'article: L'abréviation "PCB" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Printed Circuit Board".

3.18**borne**

composant permettant le raccordement d'un dispositif (matériel) à des conducteurs externes

3.19**température du condensateur** T_C

température mesurée à la surface du condensateur

3.20**température maximale du condensateur** T_{C2}

plus haute température mesurée du condensateur, T_C

3.21**valeur de consigne ambiante pour la température maximale du condensateur** $T_{amb,set C}$

température ambiante de l'environnement d'essai (chambre climatique, par exemple) à laquelle la température de crête mesurée du condensateur T_{C2} est obtenue

3.22**température de référence ou température du boîtier de transistor de puissance** T_I

température de référence ou température mesurée du boîtier de transistor de puissance

3.23**température de référence maximale ou température maximale du boîtier de transistor de puissance** T_{12}

plus haute température de référence ou température mesurée du boîtier de transistor de puissance

3.24**valeur de consigne ambiante pour la température de référence maximale ou la température maximale du boîtier de transistor de puissance** $T_{amb, set I}$

température ambiante de l'environnement d'essai (chambre climatique, par exemple) à laquelle la plus haute température de référence ou température mesurée du boîtier de transistor de puissance T_{12} est obtenue

4 Echantillonnage

Pour la procédure d'essai décrite à l'Article 6, un certain nombre d'échantillons d'essai conformes au Tableau 1 doivent être prélevés de manière aléatoire à partir d'un ou plusieurs lots de production. Les PCE échantillons doivent avoir été fabriqués à partir des matériaux et composants spécifiés, conformément aux plans et fiches de fabrication concernés, et doivent avoir été soumis aux procédures normales d'inspection, de contrôle de la qualité et de réception en production du fabricant. Les échantillons doivent être entièrement finis et accompagnés des spécifications du produit ainsi que des instructions de manipulation, de montage et de raccordement du fabricant. Lorsque les PCE à soumettre à essai sont des prototypes d'un nouveau modèle et ne sont pas issus de la production, ce fait doit être consigné dans le rapport d'essai (Article 8).

Si un PCE de catégorie 3 ou un PCE de catégorie 4 est constitué de convertisseurs de puissance identiques connectés en parallèle à l'intérieur d'une enveloppe, il est admis de ne faire fonctionner qu'un seul de ces convertisseurs faisant office d'échantillon d'essai, afin de réduire les exigences de refroidissement de la chambre climatique. Dans ce cas, toute capacité de refroidissement actif des PCE commune à la totalité de l'enveloppe doit être réduite de manière proportionnelle. Par exemple, si l'enveloppe contient trois convertisseurs et qu'un seul est alimenté pour l'essai, les ventilateurs communs aux trois unités doivent alors être bloqués à hauteur des deux tiers de la zone couverte, ou être alimentés par intermittence pendant seulement un tiers du temps. La puissance électrique appliquée aux entrées de l'unité principale doit également être ajustée à un tiers.

Les essais de PCE de catégories 3 et de PCE de catégorie 4 peuvent nécessiter l'utilisation du même échantillon pour les différentes séquences d'essais, si cela est souhaité; par conséquent, une plage de nombres d'échantillons est indiquée. Les échantillons spécifiés dans le Tableau 1 peuvent être réutilisés un nombre illimité de fois pour les essais facultatifs décrits à l'Article 7. En variante, des échantillons supplémentaires peuvent être prévus pour les essais facultatifs, s'ils sont fournis par la partie soumettant le type de PCE à essai.

Tableau 1 – Nombre d'échantillons pour les essais

	MLPE	Electronique de puissance au niveau chaîne	Electronique de puissance à grande échelle	Electronique de puissance centrale à grande échelle
	PCE de catégorie 1	PCE de catégorie 2	PCE de catégorie 3	PCE de catégorie 4
Nombre d'échantillons exigés	4	4 ¹	1-2	1-2
¹ Pour les PCE de catégorie 2 dont la puissance de sortie assignée est supérieure ou égale à 50 kVA, le nombre exigé d'échantillons d'essai peut être réduit de moitié.				

5 Exigences d'essai

5.1 Généralités

Le présent article décrit le cadre d'essai comprenant les catégories de conditions d'environnement de service qui indiquent les exigences relatives au niveau de contrainte pour chaque essai, un tableau récapitulant les exigences d'essai et des figures représentant la séquence d'essais. Le présent paragraphe donne une vue d'ensemble des procédures d'essai, alors que les paragraphes suivants décrivent des restrictions et exceptions spécifiques concernant les différentes catégories de PCE. Les exigences d'essai générales et l'appareillage commun aux procédures d'essai de l'Article 6 sont décrits. Enfin, les exigences de qualification de la conception et d'approbation de type conformément à la présente Norme internationale sont spécifiées.

5.2 Conditions d'environnement de service

5.2.1 Généralités

Les sévérités des essais reposent sur les conditions d'environnement de service applicables aux PCE, qui sont spécifiées par le fabricant. Le présent document reprend la terminologie employée dans l'IEC 62109-1 et l'IEC 62477-1, ainsi que la classification des conditions d'environnement de l'IEC 60721-3-3 et de l'IEC 60721-3-4.

Les classifications suivantes des conditions d'environnement de service pour les besoins du présent document sont résumées ici et dans le Tableau 2, et sont fournies à titre de lignes directrices pour le choix de la condition d'environnement de service utilisée pour la qualification du type de PCE. Bien qu'il puisse s'avérer pratique pour l'utilisateur du présent document de se référer et de maintenir la cohérence par rapport au tableau de l'IEC 62109-1 énumérant les catégories d'environnement, conditions d'environnement et exigences d'essai, cela n'est pas exigé par le présent document. Les trois catégories de conditions d'environnement de service ainsi que les exigences d'essai applicables dans les cas allant du plus extrême au moins extrême sont: extérieur (5.2.2), intérieur sans conditionnement (5.2.3) et intérieur, avec conditionnement (5.2.4). Un PCE qualifié pour une condition plus extrême l'est implicitement pour les conditions moins extrêmes.

5.2.2 Extérieur

Les PCE conçus pour les conditions climatiques 4K25 et 4K26 de l'IEC 60721-3-4 sont classés pour les environnements extérieurs. Cette catégorie désigne les CPE destinés à un fonctionnement de longue durée dans des climats extérieurs non protégés contre les intempéries ou des climats généraux à l'air libre. En fonctionnement normal, le PCE est directement exposé, en tout ou partie, à la pluie, au soleil, au vent, à la poussière, aux moisissures, à la glace, au rayonnement nocturne du ciel par temps froid, etc. Les PCE relevant de cette catégorie sont soumis à une contrainte d'environnement sévère. La condition climatique 4K27 de l'IEC 60721-3-4, à savoir la mise à l'air libre dans les climats froid et polaire, n'est pas spécifiquement traitée dans le présent document; il est toutefois permis de sélectionner des essais à des températures inférieures et de consigner les résultats conformément à l'Annexe A.

5.2.3 Intérieur, sans conditionnement

Les PCE conçus pour les conditions climatiques 3K23 et 3K24 de l'IEC 60721-3-3 sont classés pour les environnements intérieurs, sans conditionnement. Dans cette catégorie, le PCE peut être localisé dans les mêmes climats que ceux désignés en 5.2.2, mais le PCE est entièrement entouré d'un bâtiment ou d'une enveloppe auxiliaire qui le protège de la pluie, du soleil, de la poussière portée par le vent, de la glace, des moisissures, du rayonnement nocturne du ciel par temps froid, etc. Cependant, la température du bâtiment ou du climat ne fait pas l'objet d'une régulation systématique, et l'humidité du bâtiment ou du climat ne fait l'objet d'aucune régulation. Le matériel peut être soumis à la condensation et l'air peut ne pas être filtré.

5.2.4 Intérieur, avec conditionnement

Les PCE conçus pour les conditions climatiques 3K20, 3K21 et 3K22 de l'IEC 60721-3-3 sont classés pour les environnements intérieurs, avec conditionnement. Dans cette catégorie, le PCE est entouré d'un bâtiment ou d'une enveloppe auxiliaire qui le protègent de la pluie, du soleil, de la poussière portée par le vent, de la glace, des moisissures, du rayonnement nocturne du ciel par temps froid, etc. De plus, la température de l'environnement du bâtiment ou de l'enveloppe qui contient le PCE fait l'objet d'une régulation. Bien qu'une régulation de l'humidité ne soit pas nécessairement obligatoire, aucune humidité de condensation n'apparaît normalement ou n'est attendue. Une contrainte d'environnement limitée est anticipée pour les PCE relevant de cette catégorie. La quantité de poussière présente dans cet environnement dépend du niveau de filtration de l'air.

Tableau 2 – Classification des conditions d'environnement

	Conditions d'environnement		
	Extérieur	Intérieur, sans conditionnement	Intérieur, avec conditionnement
Catégorie climatique (IEC 60721-3-3 ou IEC 60721-3-4)	4K25 et 4K26	3K23 et 3K24	3K20, 3K21 et 3K22
Température ¹	-20 °C à +50 °C	-5 °C à +55 °C	5 °C à +40 °C
Humidité	4 % à 100 % HR (avec condensation)	5 % à 100 % HR (avec condensation)	5 % à 85 % HR (sans condensation)
Emplacement humide	Oui	Non	Non
¹ Les essais sous contrainte de l'Article 6 contiennent plusieurs dispositions relatives aux PCE qui revendiquent des classifications de condition d'environnement (température de l'environnement) qui diffèrent de celles indiquées dans ce tableau.			

5.3 Séquences d'essais

5.3.1 Généralités

La Figure 1 représente la séquence d'essais avec le nombre d'échantillons exigé et la répartition des échantillons entre les différents essais. Elle s'applique aux PCE de catégorie 1 et aux PCE de catégorie 4. Une séquence d'essais en variante pour les PCE de catégorie 3 et les PCE de catégorie 4, qui permet de réduire le nombre d'échantillons soumis à essai, est représentée à la Figure 2. Le Tableau 3 récapitule les différents essais. Bien qu'une vue d'ensemble de l'utilisation des différentes catégories de PCE soit donnée ici, l'Article 6 fournit les descriptions des essais exigés et des procédures associées, y compris les mesures initiales et finales, les exigences et les exceptions.

Le Tableau 4 résume les essais facultatifs pouvant être appliqués.

5.3.2 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 1 (électronique de puissance au niveau module)

Contrairement aux PCE de catégories 2, 3 et 4, les essais thermiques des condensateurs de bus et des modules de transistor de puissance (6.5 et 6.6) ne sont pas mis en œuvre pour déterminer les températures nécessaires à la réalisation de l'essai de chaleur sèche et de l'essai cyclique thermique pour les PCE de catégorie 1, pour lesquels les températures d'essai sont fixées.

5.3.3 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 3 (matériel de conversion de puissance à grande échelle) et les PCE de catégorie 4 (matériel de conversion de puissance centrale à grande échelle)

Une séquence d'essais en variante pour les PCE de catégorie 3 et les PCE de catégorie 4 avec une exigence minimale d'un seul échantillon est représentée à la Figure 2, avec l'option de plusieurs unités pour les essais facultatifs.

5.3.4 Conditions d'essai pour les PCE de catégorie 4 (matériel de conversion de puissance centrale à grande échelle)

Du fait de leur taille, de leur poids et des exigences de puissance plus élevées, des exceptions s'appliquent aux gros onduleurs centraux des PCE de catégorie 4 afin de pouvoir soumettre leurs composants à essai.

Les procédures d'essai de 6.8 et 6.10 peuvent être modifiées pour les essais des PCE de catégorie 4, en subdivisant l'unité en composants au lieu de soumettre la totalité du PCE à essai si l'une des conditions a) ou b) et, en plus, c) ci-dessous sont remplies:

- a) chaque composant principal de PCE inclus comprenant, entre autres, la bobine d'inductance (inductance à courant alternatif), les condensateurs (liaison à tension continue, entrée de courant continu, et courant alternatif — suivant le cas), l'appareillage de connexion, les dispositifs de protection contre les chocs de tension, le transistor (et son module), la puissance interne, le bloc d'alimentation de contrôle, le panneau d'interface utilisateur ou les affichages, les répartiteurs et les câbles, est soumis à essai séparément ou dans des ensembles incluant d'autres composants tels qu'ils sont énumérés ici, conformément à la condition d'essai, avec une puissance électrique et une charge représentatives, indiquées dans les paragraphes applicables du présent document;
- b) le composant de circuit principal indiqué en a) est soumis à essai, qualifié et approuvé conformément à la condition d'essai indiquée dans la norme IEC de qualification de la conception et d'approbation de type de produit applicable à ce composant lorsqu'il est utilisé dans le PCE soumis à essai, dans les limites des paramètres qualifiés et des spécifications appliquées dans la norme spécifique à ce composant;
- c) les cartes de circuits de commande, qui utilisent l'informatique pour le fonctionnement et la commande de l'onduleur qui s'interface avec les points de mesure internes et externes, les commutateurs, les semiconducteurs et les matériels similaires, doivent être connectées à un PCE fonctionnel réel, simulé ou miniaturisé avec les principaux composants de circuits inductifs et capacitifs dont les caractéristiques assignées, la capacité ou la quantité peuvent être proportionnellement ajustées. Les cartes de circuits de commande doivent être installées et soumises à essai dans la chambre d'essai climatique, et le PCE réel, simulé ou miniaturisé fonctionne afin que la carte de circuits de commande soit soumise à des niveaux de contraintes (d'environnement et électriques) équivalant à ceux qui seraient obtenus dans l'unité intégrée conformément aux exigences du présent document.

En cas d'utilisation d'un PCE simulé ou miniaturisé, ce dernier doit accepter ou déclencher toutes les entrées et sorties vers la carte de circuits de commande comme s'il fonctionnait dans le PCE réel selon les indications de 6.8 et 6.10.

Une fois l'essai de composant choisi, les exceptions et exigences supplémentaires énumérées en 6.5 et 6.6 s'appliquent.

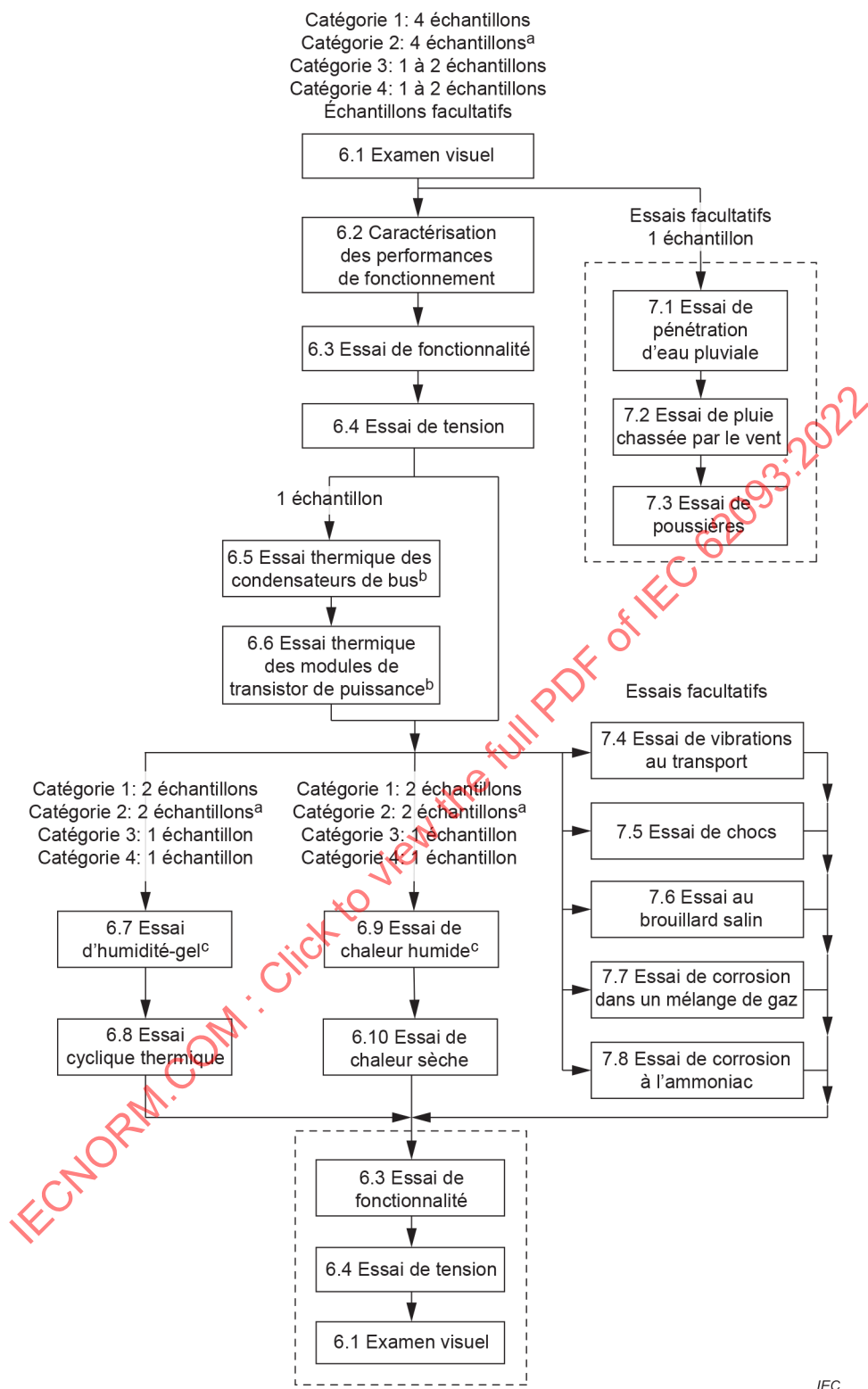
Il n'est pas nécessaire de procéder aux essais suivants pour les PCE de catégorie 4:

6.7 Essai d'humidité-gel

6.9 Essai de chaleur humide

NOTE 1 Dans les très gros onduleurs centraux, les masses thermiques élevées engendrent une température interne qui est généralement supérieure à la température ambiante, ce qui réduit la condensation.

NOTE 2 Dans les très gros PCE de catégorie 4, l'échauffement interne ainsi que la chaleur dissipée à partir des ventilateurs et des convertisseurs auxiliaires empêchent d'atteindre les températures de congélation à l'intérieur des PCE dans les conditions de fonctionnement habituelles. Il est alors nécessaire et utile d'abaisser la température de l'essai d'humidité-gel pour les PCE de catégorie 4.



^a Pour les PCE dont la puissance de sortie assignée est supérieure ou égale à 50 kVA, le nombre d'échantillons d'essai indiqué peut être réduit de moitié.

^b Non applicable aux PCE de catégorie 1.

^c Non applicable aux PCE de catégorie 4.

Le groupe d'essais facultatifs débutant par l'essai de pénétration d'eau pluviale peut être réalisé avec les échantillons précédemment utilisés pour les essais exigés. Les essais de résistance aux UV parfois exigés pour les pièces et les composants des PCE ne sont pas indiqués. Les essais regroupés dans les cadres en pointillés sont souvent réalisés en même temps.

Figure 1 – Séquence d'essais pour les PCE des catégories 1 à 4

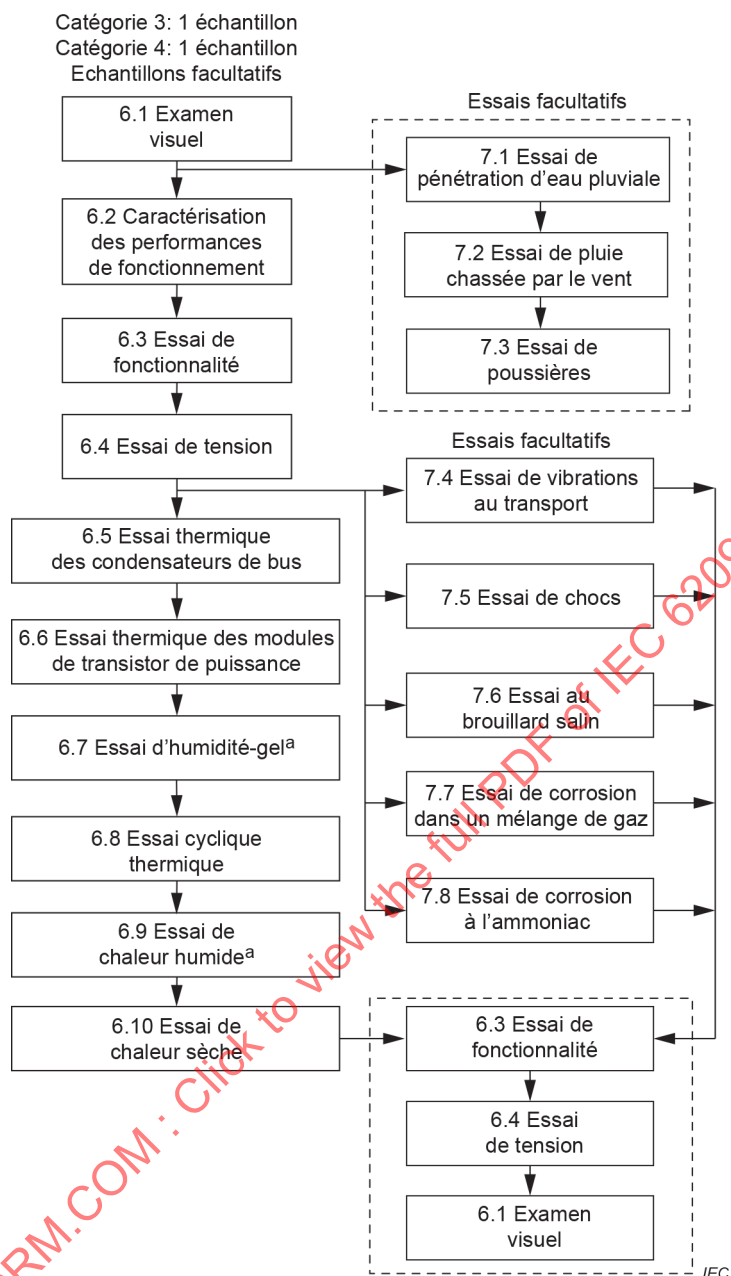


Figure 2 – Séquence d'essais en variante pour les PCE de catégorie 3

Tableau 3 – Résumé des niveaux d'essai (séquence d'essais principale)

Paragraphe	Essais, Condition d'environnement	Conditions d'essai			
		PCE de catégorie 1 (MLPE)	PCE de catégorie 2 (électronique de puissance au niveau chaîne)	PCE de catégorie 3 (électronique de puissance à grande échelle)	PCE de catégorie 4 (électronique de puissance à grande échelle)
6.1	Examen visuel	Conformément au 6.1.4			
6.2	Caractérisation des performances de fonctionnement	Conformément au 4.5.3 de l'IEC 62894:2014 (Caractérisation des performances de fonctionnement)			
6.3	Essai de fonctionnalité	Fonctionnement à une température ambiante de 25 °C; P_r ; $V_{mpp \min}$, $V_{mpp \max}$ et $V_{dc,r}$			
6.4	Essai de tension (de tenue diélectrique)	Conditions ambiantes et conditions d'essai conformément à l'essai de tension de l'IEC 62109-1			
6.5	Essai thermique des condensateurs de bus				
	Intérieur, avec conditionnement	Non réalisé	Rampe de 2,5 °C/h entre la température ambiante assignée maximale et 25 °C, avec $V_{mpp \max}$ et P_r pour déterminer la température maximale du boîtier de condensateur T_{C2} et la température ambiante correspondante $T_{amb, set C}$.		
	Intérieur, sans conditionnement				
	Extérieur				
6.6	Essai thermique des modules de transistor de puissance				
	Intérieur, avec conditionnement	Non réalisé	Rampe de 2,5 °C/h entre la température ambiante assignée maximale et 25 °C, avec $I_{sc \max}$ et P_r , pour déterminer la température maximale du boîtier de transistor T_{I2} et la température ambiante correspondante $T_{amb, set I}$.		
	Intérieur, sans conditionnement				
	Extérieur				
6.7	Essai d'humidité-gel				
	Intérieur, avec conditionnement	20 cycles, - 40 °C ¹ à 85 °C, 85 % HR; $V_{mpp \max}$ et $V_{mpp \min}$ séquentiellement pour de multiples entrées de courant continu, ≥ 0,5 P_r pendant rampe + T .	Non exigé		
	Intérieur, sans conditionnement		20 cycles, -40 °C ¹ à 60 °C, 85 % HR; $V_{mpp \max}$ et $V_{mpp \min}$ séquentiellement pour de multiples entrées de courant continu, ≥ 0,5 P_r pendant rampe + T .		
	Extérieur				
6.8	Essai cyclique thermique				
	Intérieur, avec conditionnement	400 cycles, -40 °C à 85 °C; $I_{sc \max}$ pendant rampe + T et maintien à température élevée	400 cycles; -10 °C ¹ à T_{I2} ; avec $I_{sc \max}$ et P_r pendant rampe + T et maintien à température élevée		
	Intérieur, sans conditionnement		400 cycles; -40 °C ¹ à T_{I2} ; avec $I_{sc \max}$ et P_r pendant rampe + T et maintien à température élevée		
	Extérieur				
6.9	Essai de chaleur humide				
	Intérieur, avec conditionnement	30 cycles à +85 °C, 85 % HR $V_{mpp \max}$; 0,1 P_r (pulsée)	10 cycles à 35 °C, 85 % HR $V_{mpp \max}$ (pulsée)		Non exigé
	Intérieur, sans conditionnement		20 cycles à 60 °C, 93 % HR $V_{mpp \max}$; 0,1 P_r pulsée)		
	Extérieur		30 cycles à 60 °C, 93 % HR $V_{mpp \max}$; 0,1 P_r pulsée)		

Paragraphe	Essais, Condition d'environnement	Conditions d'essai			
		PCE de catégorie 1 (MLPE)	PCE de catégorie 2 (électronique de puissance au niveau chaîne)	PCE de catégorie 3 (électronique de puissance à grande échelle)	PCE de catégorie 4 (électronique de puissance à grande échelle)
6.10	Essai de chaleur sèche				
	Intérieur, avec/sans conditionnement	2 000 h à 85 °C, $V_{\text{mpp max'}}$	$T_{\text{C2}}, V_{\text{mpp max'}} \geq 0,1 P_r, 2\ 000\text{ h}$		
	Extérieur	$\geq 0,1 P_r$			
6.11	Essai de résistance aux UV				
	Intérieur, avec conditionnement	Non exigé			
	Intérieur, sans conditionnement	Non exigé			
	Extérieur	IEC 62852, phase d'essai G1, résistance aux intempéries, éclairement énergétique: 60 W/m ² , longueur d'onde: 300 nm - 400 nm, température de corps noir normale: 65 °C, humidité relative: 65 %, cycle: 18 min de pulvérisation, 102 min de séchage à la lampe au xénon, durée totale: 500 h; non exigé si le matériau est qualifié à un autre endroit			
La rampe +T désigne une rampe de température positive dans les profils thermiques des essais sous contrainte.					
¹ En variante, température d'utilisation minimale spécifiée.					

Tableau 4 – Résumé des niveaux d'essai (essais facultatifs)

N°	Essai	Conditions d'essai Toutes les catégories
7.2	Essai de pénétration d'eau pluviale	
	Intérieur, avec conditionnement	Non exigé
	Intérieur, sans conditionnement	Non exigé
	Extérieur	1 h de pulvérisation d'eau descendant parallèlement à chaque face et 15 min de pulvérisation d'eau à 45° vers le bas à partir de chaque côté. Pression d'eau au niveau de la buse de 200 kPa $\pm$ 10 kPa
7.3	Essai de pluie chassée par le vent	
	Intérieur, avec conditionnement	Non exigé
	Intérieur, sans conditionnement	Non exigé
	Extérieur	30 min d'exposition à la pluie par côté à une intensité de précipitation de 15 cm/h et une vitesse de vent de 31 m/s
7.4	Essai de poussières	
	Intérieur, avec conditionnement	Non exigé ¹
	Intérieur, sans conditionnement	Non exigé ^{1,2}
	Extérieur	60 °C, 30 % HR et 75 % HR, poussière fine portée par le vent à une vitesse maximale de 26,8 m/s à 40,2 m/s, 2 h par face verticale
7.5	Essai de vibrations au transport	10 Hz à 11,8 Hz; 11,9 Hz à 150 Hz Amplitude: 3,5 mm, accélération: 2 g 1 octave/min, durée sur chaque axe: 2 h; durée totale: 6 h
7.6	Essai de chocs	15 g, choc demi-sinusoïdal, durée: 11 ms; séquence: 1 s Nombre de chocs: 18 (6 $\times$ 3)
7.7	Essai au brouillard salin	Conformément à l'IEC 60068-2-52, méthode d'essai 1

N°	Essai	Conditions d'essai Toutes les catégories
7.8	Essai de corrosion dans un mélange de gaz	Conformément à l'IEC 60068-2-60
7.9	Essai de corrosion à l'ammoniac	Conformément à l'IEC 62716
¹ A mettre en œuvre si le PCE comprend une porte, un ventilateur, un événement, une fenêtre, etc. ² Mettre en œuvre les conditions extérieures en cas de ventilation directe ou de conduits reliant la baie du PCE à l'extérieur.		

5.4 Exigences d'essai générales

5.4.1 Installation des échantillons d'essai

En général, le matériel doit être installé conformément aux méthodes prescrites dans le manuel d'installation du fabricant. Des écarts par rapport à la méthode d'installation prescrite sont admis s'ils n'ont aucun impact sur les exigences d'essai spécifiées. Si plusieurs configurations sont autorisées, le matériel doit être installé dans la combinaison de conditions d'essai la moins favorable, afin d'obtenir les conditions raisonnablement les plus défavorables pour chaque essai particulier. La méthode d'installation choisie pour chaque essai doit être documentée dans le rapport d'essai.

Si une pièce auxiliaire est spécifiée avec le fabricant et le modèle dans le manuel d'utilisation du PCE, cette pièce doit alors être soumise à essai avec le PCE. Si la protection du PCE contre l'entrée de corps étrangers est compromise par l'absence de connexion d'une pièce auxiliaire, alors cette dernière doit également être soumise à essai avec le PCE, tel que spécifié par le fabricant.

5.4.2 Périphériques

Les périphériques externes exigés ou recommandés par le fabricant pour le fonctionnement effectif des PCE sur le terrain (tels que les transformateurs, les systèmes de surveillance, etc.) peuvent être inclus dans le montage d'essai en laboratoire à l'extérieur d'une chambre climatique si ce montage n'est pas contraire aux exigences du présent document.

5.4.3 Connecteurs et câblage

Seuls les fils spécifiés par le fabricant doivent être utilisés pour raccorder les bornes d'entrée et de sortie du PCE au matériel d'essai externe. Si le PCE est équipé de bornes exigeant des connecteurs spéciaux, les connecteurs d'accouplement recommandés par le fabricant doivent être utilisés. Les câbles ou connecteurs doivent passer par des entrées de câbles spécifiées par le fabricant. Il convient que tous les capots, bornes et chaussettes de tirage soient mis en œuvre conformément aux spécifications du fabricant, avant de procéder à des essais supplémentaires.

5.4.4 Instruments de mesure et matériel de surveillance

Les instruments de mesure et le matériel et les méthodes de surveillance doivent être choisis conformément à l'IEC 61557-1 et aux parties applicables référencées dans le présent document. Si un autre matériel de mesure est utilisé, il doit fournir un niveau de performance et de sécurité équivalent.

5.4.5 Sources d'énergie électrique

5.4.5.1 Généralités

Pour les essais pendant lesquels le PCE échantillon exige de fonctionner avec une alimentation électrique, une ou plusieurs sources d'énergie électrique en courant continu adaptées doivent être prévues. Si plusieurs accès d'entrée avec des circuits de conversion de puissance indépendants sont présents, des sources d'énergie d'entrée uniques doivent être raccordées à chaque accès d'entrée. Les deux options suivantes sont admises: un simulateur de générateur PV (IEC TS 63106-2) ou une alimentation en courant continu commandable. Lorsque les caractéristiques d'une alimentation en courant continu n'assurent pas un fonctionnement stable sur toute la plage de fonctionnement spécifiée par la documentation du PCE et de manière cohérente avec le fonctionnement réel du PCE, un simulateur de générateur PV adapté, tel que celui décrit en 5.4.5.2, doit être utilisé. Pour plus d'informations sur les simulateurs utilisés pour les essais du matériel de conversion de puissance photovoltaïque, voir l'IEC TS 63106-2. En cas de conflit entre l'IEC TS 63106-2 et le présent document, les exigences du présent document doivent être mises en œuvre.

5.4.5.2 Simulateur de générateur PV

Désigne un type spécial d'alimentation en courant alternatif à continu, dont les caractéristiques de sortie variables permettent de simuler les caractéristiques de sortie de courbe IV d'un générateur PV réel.

5.4.5.3 Alimentation en courant continu

Désigne une source de courant continu avec sortie de commande à tension constante (CV, Constant Voltage) et caractéristiques de limitation du courant. Peut également désigner une source de courant continu avec sortie de commande à courant constant (CC, Constant Current) et limitation de la tension. Les deux alimentations stabilisées en tension et en courant sont admises si les caractéristiques d'entrée du PCE soumis à essai permettent leur utilisation et si leurs limitations sur les résultats de l'essai peuvent être considérées comme négligeables. L'impédance de sortie de l'alimentation en courant continu en mode de tension constante doit être suffisamment faible pour que l'ondulation de tension aux bornes de sortie ne dépasse pas $\pm 0,1 \%$. Pour les alimentations stabilisées en courant, l'impédance de sortie doit être suffisamment élevée pour que l'ondulation de courant aux bornes de sortie ne dépasse pas $\pm 0,2 \%$.

5.4.6 Charges électriques

5.4.6.1 Généralités

Pour les essais pendant lesquels le PCE échantillon exige de fonctionner avec une alimentation électrique, une charge électrique adaptée doit être capable d'absorber la totalité de l'énergie électrique générée par le PCE. Si toute influence sur les résultats d'un essai peut être exclue, les trois options indiquées ci-dessous sont admises. Les procédures d'essai choisies dans l'Article 6 assurent la connexion et la déconnexion de la charge électrique au cours de l'essai.

5.4.6.2 Fonctionnement sur réseau

Il est admis de raccorder et de faire fonctionner les PCE conçus pour fonctionner sur réseau, à un point d'accès du réseau public assigné de manière adaptée. Dans ce cas, un transformateur correctement dimensionné peut être installé entre les bornes de sortie du PCE et le point d'accès au réseau pour l'isolement et, si cela est exigé, à des fins d'adaptation de la tension. La valeur suffisamment basse de l'impédance de charge relevée aux bornes de sortie du PCE doit être confirmée afin qu'elle n'interfère pas avec le fonctionnement du PCE dans les conditions assignées.

5.4.6.3 Charges actives

Les charges actives comprennent les charges électroniques et les alimentations régénératives qui assurent une dissipation stable et contrôlée de la puissance active convertie du PCE. L'adéquation et la compatibilité du dispositif de chargement actif avec le CPE doivent être confirmées.

5.4.6.4 Charges passives

Les charges résistives passives sont montées en parallèle à une source de tension régulée. L'impédance de charge du PCE doit être fixée afin que la charge passive soit capable d'absorber la totalité de la puissance active lorsque le PCE fonctionne dans ses conditions de puissance assignée.

5.4.7 Bornes de terre

Une borne de conducteur de protection, si elle est prévue, doit être mise à la terre.

5.4.8 Commandes

Sauf spécification contraire dans le présent document, les commandes réglables par l'opérateur doivent être réglées comme suit:

- conformément au mode d'emploi fourni par le fabricant;
- conformément aux conditions de fonctionnement réelles.

5.5 Critères de réussite

Les résultats des essais de qualification de la conception du PCE doivent être jugés concluants, la conception étant de ce fait approuvée conformément au présent document, si le type de PCE satisfait à tous les critères suivants.

- a) Il n'apparaît aucun signe visuel d'un quelconque défaut majeur tel que défini en 6.1, initialement et à tous les points d'examen visuel spécifiés à l'Article 6.
- b) Les échantillons d'essai réussissent l'essai de fonctionnalité (6.3) initialement et à tous les points d'essai spécifiés à l'Article 6.
- c) Les exigences de l'essai de tension (de tenue diélectrique) définies en 6.4 sont satisfaites, initialement et à tous les points d'essai spécifiés à l'Article 6.
- d) Toutes les exigences spécifiques des paragraphes de l'Article 6 sont satisfaites dans l'ordre indiqué à la Figure 1 ou la Figure 2, et les exigences spécifiques dans les paragraphes facultatifs choisis à l'Article 7 sont satisfaites.
- e) Aucun des échantillons soumis à essai ne présente de circuit ouvert, de court-circuit ou de défaut de masse irréversible pendant les essais, ni aucune suspension de fonctionnement exigeant une intervention manuelle sur le PCE pour rétablir son efficacité opérationnelle totale. Sont autorisées les situations réversibles qui sont déclenchées par le PCE dans le but d'assurer son autoprotection ou par tout autre dispositif ou charge connecté pour son autocorrection. Le PCE ne doit avoir subi aucun dommage permanent.
- f) Si deux PCE ou plus sont fournis pour chaque procédure d'essai de l'Article 6 et qu'une unité tombe en panne, une unité PCE de conception identique peut être remplacée pour reprendre l'essai au début (6.1); une seule unité équivalente de ce type peut être remplacée à la suite d'une défaillance dans une procédure d'essai de l'Article 6 ou de l'Article 7. Si un PCE est fourni pour chaque procédure d'essai de l'Article 6 et s'il tombe en panne, l'essai de qualification doit être renouvelé avec le nombre d'échantillons spécifié dans le Tableau 1.

6 Procédures d'essai

6.1 Examen visuel

6.1.1 Objectif de l'essai

Cet essai est destiné à détecter tout défaut visuel du PCE susceptible de créer un risque de perte de fiabilité.

6.1.2 Appareillage

- a) Source de lumière capable de produire un éclairage supérieur à 1 000 lux.
- b) Loupe ou outil de grossissement électronique ayant un pouvoir grossissant d'au moins 4 fois.
- c) Matériel de photographie ayant des capacités de résolution et d'enregistrement des résultats de l'examen visuel.

6.1.3 Procédure

Examiner méticuleusement l'extérieur et l'intérieur de chaque échantillon, en utilisant une source de lumière adaptée produisant un éclairage de travail non inférieur à 1 000 lux. Prendre des photographies d'ensemble du PCE. Pour les besoins de l'examen, l'échantillon doit être ouvert, en appliquant les procédures et outils spécifiés par le fabricant. Utiliser une loupe pour l'examen et photographier les petits composants électroniques, tels que ceux montés sur une carte à circuit imprimé (PCB), qui semblent suspects.

6.1.4 Exigences

Tout résultat concordant avec un ou plusieurs des critères indiqués ci-dessous constitue un motif de REJET de l'essai respectif. Pour les besoins de la qualification de la conception, les éléments suivants sont considérés comme des défauts visuels majeurs:

- partie cassée, fissurée, pliée, déplacée, tordue ou détachée de l'enveloppe du PCE;
- fil, câble ou barres omnibus incorporés dans le PCE cassés ou endommagés;
- composants électroniques et/ou électromécaniques cassés ou fissurés;
- contacts/conducteurs défectueux, parties actives librement accessibles;
- corrosion de la partie intérieure du PCE (par exemple enceinte, contacts/conducteurs, composants sur le PCB);
- rupture d'adhésif;
- marques de brûlure, fissures, déformations ou composants électriques ou électroniques détachés;
- dilatation, dégazage ou gazéification des condensateurs;
- formation de bulles ou déstratification sur le PCB;
- défauts de soudure visibles tels que des fissures au niveau des joints à brasure ou une corrosion des soudures;
- fuites de fluide de refroidissement (pour les modèles de PCE refroidis par un liquide);
- perte d'intégrité mécanique, dans la mesure où l'installation et/ou le fonctionnement du composant seraient altérés;
- tout autre état ou condition susceptible d'affecter la fonction, les performances ou la sécurité du PCE.

Les défauts visibles tels que les rayures, les décolorations n'affectant pas la lisibilité des marquages, ou des défauts analogues qui ne sont pas censés entraîner un risque de perte de fiabilité, ne constituent pas une cause de rejet; cependant, de tels changements visibles du PCE doivent être indiqués dans le rapport ainsi que l'essai à l'issue duquel ils ont été observés.

6.2 Caractérisation des performances de fonctionnement

6.2.1 Objectif de l'essai

Evaluer les paramètres publiés du PCE à différents niveaux de puissance de sortie.

6.2.2 Appareillage

- a) Simulateur de module/générateur PV ou autre source d'énergie adaptée conforme au 5.4.5, capable de délivrer la caractéristique de tension en fonction du courant du plus gros générateur PV pour lequel le PCE est dimensionné, en ce qui concerne la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit. Pour les alimentations fonctionnant avec une tension d'entrée fixe, la source d'énergie en courant continu doit être une batterie rechargeable ou une source d'énergie stabilisée en tension capable de maintenir la tension d'entrée.
- b) Charge électrique adaptée conforme au 5.4.6, capable de recevoir la totalité de la charge produite aux puissances de sortie assignées maximale et minimale du PCE.

6.2.3 Procédure

Procéder conformément au 4.5.3 de l'IEC 62894:2014.

6.2.4 Restrictions et exceptions

Aucune.

6.2.5 Exigences

Tous les paramètres publiés par le fabricant sur la plaque d'identification et les fiches techniques du PCE doivent être à 3 % (en valeur relative) des valeurs obtenues par les mesures réalisées dans le cadre de cet essai.

NOTE Le présent paragraphe ne précise pas les champs de paramètres que le fabricant doit indiquer sur la plaque d'identification ou doit publier, ce qui relève du domaine d'application de l'IEC 62894.

6.3 Essai de fonctionnalité

6.3.1 Objectif de l'essai

Cet essai est destiné à vérifier le fonctionnement correct de la fonctionnalité de conversion de puissance du PCE et des dispositifs périphériques intégrés tels que l'affichage, les commandes d'interface utilisateur et l'interface de communication avant et après les essais de contrainte d'environnement. Les essais de fonctionnalité sont réalisés avant et après les séquences d'essais de contrainte d'environnement selon les indications de la Figure 1 et de la Figure 2 et tel que spécifié dans les procédures d'essai de l'Article 6.

6.3.2 Appareillage

- a) Simulateur de module/générateur PV ou autre source d'énergie adaptée conforme au 5.4.5, capable de délivrer la caractéristique de tension en fonction du courant du plus gros générateur PV pour lequel le matériel est dimensionné, en ce qui concerne la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit.
- b) Charge électrique adaptée conforme au 5.4.6, capable de recevoir la totalité de la charge produite aux puissances de sortie assignées maximale et minimale du PCE.
- c) Instruments de mesure de courant et de tension à toutes les bornes d'alimentation du PCE. Pour les PCE à sortie en courant alternatif multiphasé, le matériel d'essai et de mesure doit enregistrer chaque courant de phase et chaque tension efficace simple et composée. L'exactitude de mesure doit être de 1 % ou moins de la tension d'entrée/sortie assignée du PCE, et de 1 % ou moins du courant d'entrée/sortie assigné du PCE.
- d) Dispositif de mesure ponctuelle (pendant une durée minimale de 50 ms) des formes d'onde de tension avec fonction de mémorisation ou fonction d'acquisition de forme d'onde à tous les accès d'entrée et de sortie connectés, tel que spécifié au 5.1 de l'IEC 62116:2014.

- e) Dispositif (chambre climatique, local d'essai) permettant d'équilibrer le PCE jusqu'à la température ambiante de 25 ± 3 °C pour les essais.
- f) Caméra thermique pour évaluer l'emplacement de température maximale des radiateurs, et dispositif de mesure de température pour surveiller en continu la température de cet emplacement de radiateur maximal.

6.3.3 Procédure

- a) Fournir toute l'énergie auxiliaire nécessaire aux circuits de commande du PCE conformément à la méthode spécifiée par le fabricant, et vérifier le fonctionnement de base des dispositifs périphériques intégrés. Il convient que ces dispositifs incluent, mais sans s'y limiter, tous les affichages intégrés, les commandes d'interface utilisateur et les interfaces de communication avec des dispositifs périphériques externes lorsqu'ils sont présents sur le PCE. Établir une liste des éléments à soumettre à essai, sur la base de la fonctionnalité incluse dans le PCE. Utiliser cette liste pour tous les essais ultérieurs du même modèle.
- b) Les bornes d'entrée du PCE échantillon doivent être raccordées à une source d'énergie adaptée décrite en 6.3.2 a) et le matériel destiné à surveiller le courant et la tension d'entrée décrit en 6.3.2 c) doit être installé à toutes les bornes d'entrée.
- c) Les bornes de sortie en courant alternatif ou continu du PCE échantillon doivent être raccordées à une charge adaptée comme décrit en 6.3.2 b) et le matériel destiné à surveiller les bornes de courant et de tension comme décrit en 6.3.2 c) doit être installé.
- d) Raccorder le matériel de mesure décrit en 6.3.2 d) de manière à réaliser des mesures ponctuelles des formes d'onde des tensions d'entrée et de sortie.
- e) Stabiliser le PCE dans un environnement à 25 ± 3 °C, en surveillant la température sur un radiateur du PCE.
- f) Faire fonctionner le PCE en régime établi, en appliquant une tension d'entrée $V_{dc,r}$ avec un courant suffisant pour obtenir les conditions de puissance assignée maximale du générateur P_r pendant au moins 2,5 h. Si le PCE s'éteint en raison d'une chaleur ou puissance excessive, redémarrer le matériel à un courant d'entrée continu inférieur après une période de coupure d'énergie, et répéter la procédure. Si cette évaluation n'a pas été précédemment effectuée pour le CPE, évaluer l'emplacement de la température maximale du radiateur par thermographie infrarouge et appliquer un dispositif de mesure de chaleur à cet emplacement. Évaluer et noter les conditions selon h) ci-dessous.
- g) Faire fonctionner le PCE en régime établi dans la plage de puissance d'entrée en courant continu dans un environnement à 25 ± 3 °C. A cet effet, sélectionner $V_{mpp\ min}$ et $V_{mpp\ max}$, en plus de $V_{dc,r}$, selon 6.3.3 f), et faire fonctionner le PCE à chaque point de fonctionnement à la valeur P_r du PCE, ou aussi près de P_r que possible en cas de limitation due aux spécifications du PCE (et non du matériel d'essai), après atteinte de la température et stabilisation électrique ou 2,5 h, l'événement survenant en premier étant retenu, en notant les conditions selon h) ci-dessous. Si la tension d'entrée assignée est égale à la tension d'entrée minimale ou maximale, deux points de fonctionnement, $V_{mpp\ min}$ et $V_{mpp\ max}$, sont alors suffisants. Pour les mesures ultérieures après les essais sous contrainte, choisir les mêmes points de fonctionnement et le même programme d'essais (pour obtenir des conditions thermiques répétables) pour réaliser l'essai de fonctionnalité sur un type de PCE donné.
- h) Après chaque nouveau réglage aux deux étapes f) et g), relever et consigner:
 - 1) la tension d'entrée,
 - 2) le courant d'entrée,
 - 3) la puissance d'entrée,
 - 4) la tension de sortie,
 - 5) le courant de sortie,
 - 6) la puissance de sortie,
 - 7) l'échantillon de forme d'onde de tension et de courant à chaque accès électrique alimenté à 10 000 Hz ou à une fréquence d'échantillonnage supérieure,

- 8) la température du radiateur,
- 9) la température ambiante (°C).

Les valeurs des formes d'onde en courant alternatif sont consignées en valeur efficace.

6.3.4 Restrictions et exceptions

Aucune.

6.3.5 Exigences

Le PCE soumis à cette procédure réussit l'essai si les conditions suivantes sont remplies:

- a) Le PCE peut fonctionner avec succès sous tous les profils d'entrée en courant continu de 6.3.3 f) et g).
- b) La fonctionnalité des services et composants auxiliaires (affichage, commandes d'interface utilisateur et communications, etc.) n'est pas dégradée par rapport aux mesures initiales. Le fonctionnement est conforme à la description donnée dans le mode d'emploi.
- c) Lorsque l'essai est réalisé à la fin d'une séquence, c'est-à-dire après la séquence d'essais de 6.8 ou 6.10, et après l'essai facultatif de l'Article 7:
 - aucun changement majeur de la forme d'onde n'est évident par rapport à la mesure initiale, lorsque dans le cas de connexions en courant alternatif au PCE, un changement majeur de forme d'onde comme obtenu en 6.3.3 h) 7) est défini comme étant supérieur à une variation absolue de 2,5 % du taux de distorsion harmonique (courant et tension) évaluée selon la procédure de l'IEC 61000-3-2, l'IEC 61000-3-12, l'IEC TR 61000-3-14 ou toute norme applicable pour la catégorie de courant et de puissance du PCE et;
 - pas plus de 5 % de réduction de P_r lors de l'application de l'un des niveaux de tension d'entrée spécifiés au 6.3.3 g).

6.4 Essai de tension (de tenue diélectrique)

6.4.1 Objectif de l'essai

En général, l'essai de tension de tenue diélectrique permet de déterminer que les distances d'isolement et l'isolation solide des composants et des PCE assemblés, qui assurent la protection contre les chocs électriques, ont une rigidité diélectrique adaptée pour résister aux conditions de surtension auxquelles les PCE peuvent être exposés en utilisation.

Cet essai est destiné à vérifier que cette protection contre les chocs électriques n'est pas altérée par les contraintes d'environnement et les contraintes fonctionnelles.

Il est réalisé à titre d'essai initial et dans le cadre des exigences applicables à certains essais sous contrainte.

6.4.2 Appareillage

Une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 A conformément à l'IEC 61180.

6.4.3 Procédure

L'essai de tension doit être réalisé conformément aux exigences d'essai de l'IEC 62109-1:2010. Les essais de tension selon 6.4 avant la réalisation de la séquence d'essais décrite à la Figure 1 et à la Figure 2 sont facultatifs si le type d'échantillon est également tenu, indépendamment, de faire l'objet d'essais de sécurité et de satisfaire aux critères de réussite de l'essai de tension de l'IEC 62109-1.

L'essai est réussi si aucun claquage électrique ne se produit et qu'aucun courant anormal ne circule pendant l'essai. Un courant est considéré anormal s'il dépasse nettement la circulation de courant normale attendue avec la totalité de l'isolation en place et non endommagée, ou si le courant augmente rapidement sans contrôle après que la tension d'essai a atteint la pleine tension.

NOTE Une certaine quantité normale de courant est attendue pendant un essai, en particulier avec une tension d'essai alternative.

6.5 Essai thermique des condensateurs de bus

6.5.1 Objectif de l'essai

Cet essai est destiné à évaluer la température de fonctionnement maximale du boîtier des condensateurs de bus en vue d'une utilisation ultérieure pour 6.10, et pour l'évaluation de l'adéquation des condensateurs de bus pour la conception thermique et la fiabilité relative à long terme basée sur la température maximale présentée à sa tension de bus de service. Voir la Bibliographie [1]¹ pour des informations supplémentaires sur l'application de l'essai thermique des condensateurs de bus. Cet essai s'applique seulement aux PCE de catégories 2, 3 et 4.

6.5.2 Appareillage

- a) Chambre automatiquement régulée en température, capable de soumettre un ou plusieurs PCE dans la plage de 25 °C à la température maximale de fonctionnement assignée du PCE. Le contrôle de l'humidité relative n'est pas exigé; cependant, l'humidité relative ambiante à 25°C doit être inférieure à 70 %. Se reporter à l'IEC 60068-3-5:2018 pour obtenir des informations sur les chambres d'essai en température.
- b) Système de montage ou de support du PCE dans la chambre.
- c) Système pour atténuer la circulation d'air dans la chambre climatique autour du PCE et dispositif pour évaluer et maintenir la vitesse de l'air à $0,2 \pm 0,1$ m/s autour du PCE.
- d) Système pour mesurer la température de boîtier des multiples condensateurs de bus agrégés, et système pour enregistrer la température de boîtier de deux condensateurs de bus avec une précision de ± 1 °C. Les dispositifs de mesure de températures qui s'avèrent utiles comprennent les thermocouples, les thermistances, les capteurs de température à résistance (RTD, Resistance Temperature Detector) et les capteurs thermographiques optiques incluant les dispositifs à fibres optiques.
- e) Simulateur de générateur PV ou alimentation conforme au 5.4.5, capable de délivrer la caractéristique de tension en fonction du courant sur la plage pour laquelle le matériel est dimensionné.
- f) Charge électrique conforme au 5.4.6.
- g) Système de surveillance des valeurs (efficaces) de courant et de tension à tous les accès d'entrée et de sortie connectés.
- h) Système de surveillance de tension avec une fréquence d'échantillonnage de 10 000 Hz entre la liaison bus en courant continu et le neutre en courant continu.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

6.5.3 Procédure

6.5.3.1 Détermination des condensateurs de bus ayant la température la plus élevée

Cette partie de la procédure a pour but de déterminer les condensateurs de bus fonctionnant aux températures les plus élevées. S'il y a moins de trois condensateurs de bus, cette procédure peut être omise de manière à commencer directement par 6.5.3.2.

- Equiper le PCE afin de pouvoir évaluer la température des condensateurs tout en ayant une influence minimale sur les caractéristiques thermiques conventionnelles de l'environnement du PCE. Les méthodes peuvent comprendre un dispositif de mesure de température fixé sur chaque boîtier de condensateur, conformément aux instructions du fabricant pour mesurer la température du condensateur, ou une thermographie utilisant des faux panneaux d'enveloppe avec un ou plusieurs portiques rapidement amovibles pour une visibilité directe des condensateurs avec l'appareillage spécifié en 6.5.3 d) qui interfèrent le moins possible avec les caractéristiques thermiques intrinsèques, la convection, l'émission radiative, etc., du PCE. En variante, les deux condensateurs de bus en courant continu qui présentent la température la plus élevée peuvent être identifiés par un calcul complet ou une simulation du PCE, prenant en compte la puissance dissipée et les transferts de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement, s'ils sont fournis par le fabricant.
- S'il est conçu pour reposer sur le sol, placer le PCE sur le plancher de la chambre. Monter les autres PCE sur une paroi pleine électriquement et thermiquement isolante.
- Dans la mesure exigée pour que la vitesse du vent ne dépasse pas $0,2 \pm 0,1$ m/s sur toutes les surfaces autour du PCE à l'état non alimenté, placer des déflecteurs devant et sur les côtés du PCE, montés à une distance de 30 cm à 60 cm des surfaces du PCE. S'il est possible de s'assurer, par un réglage de la chambre climatique (circulation de l'air, par exemple) que cette circulation d'air ne dépasse pas les exigences relatives à la vitesse de l'air, aucune mesure d'atténuation supplémentaire, comme par exemple des écrans et des déflecteurs, n'est exigée. Créer une convection naturelle en fournissant de l'air à la chambre en ménageant des espaces au niveau de la base et du dessus des déflecteurs ou en utilisant des conduites pour que la température de l'air à la base du PCE reste à la température de consigne spécifiée de la chambre.
- Laisser fonctionner normalement tous les dispositifs de refroidissement actif (ventilateurs, climatisation, circulation d'eau) du PCE.
- Régler la température de la chambre à 25 °C. Raccorder l'alimentation et la charge électrique au PCE. Régler l'alimentation pour délivrer une tension $V_{mpp\ max}$ à l'entrée ou aux entrées du PCE et un courant suffisant pour faire fonctionner le PCE à P_r . Vérifier que tout éventuel système de ventilation forcée ou de refroidissement du PCE est opérationnel.
- Après un fonctionnement stable pendant une durée minimale de 16 h, évaluer et déterminer les deux condensateurs de bus qui présentent la température la plus élevée, en utilisant l'appareillage décrit en 6.5.3.1a).

6.5.3.2 Evaluation de la température maximale des condensateurs de bus pendant leur fonctionnement

- Placer les capteurs de température aux emplacements des boîtiers des deux condensateurs de bus déterminés en 6.5.3.1 pour la mesure de T_C .
- Placer le PCE dans la chambre climatique conformément à 6.5.3.1 b).
- Régler l'appareillage pour établir les conditions de vitesse de vent dans la chambre climatique conformément à 6.5.3.1 c).
- Raccorder l'alimentation et la charge électrique au PCE. Fermer les portes de l'enveloppe du PCE. Régler la température de la chambre à la température de fonctionnement ambiante assignée maximale du PCE. Régler la puissance pour fournir la tension $V_{mpp\ max}$ du PCE et maintenir un courant suffisant pour faire fonctionner le PCE à sa puissance de fonctionnement assignée, P_r . Vérifier que tout éventuel système de ventilation forcée ou de refroidissement du PCE est en marche et opérationnel.

- e) Réduire progressivement jusqu'à 25 °C la température de la chambre climatique, à une vitesse maximale de 2,5 °C/h, en surveillant T_C au moyen de l'appareillage de 6.5.3.2 a) et la puissance de sortie du PCE. Si un pic de température en T_C est observé pendant la réduction progressive (à l'exclusion des points d'extrémité de la rampe), sélectionner cette température et la consigner comme étant T_{C2} . Consigner le condensateur, l'emplacement de mesure et la température de consigne de la chambre climatique à laquelle le PCE délivre T_{C2} et consigner cette dernière comme étant $T_{amb,set C}$.

Si aucun pic de température n'est observé pendant la réduction progressive de la température de la chambre (à l'exclusion des points d'extrémité de la rampe), augmenter la température de la chambre climatique à la fin de l'étape précédente (à partir de 25 °C) à une vitesse maximale de 2,5 °C/h jusqu'à la température maximale de fonctionnement définie par le fabricant, et sélectionner et consigner la valeur T_C maximale observée pendant les deux rampes (y compris leurs points d'extrémité), le condensateur et l'emplacement de mesure, la consigner comme étant T_{C2} et consigner la température de consigne correspondante de la chambre climatique comme étant $T_{amb,set C}$.

NOTE La vitesse de rampe maximale est exigée pour permettre la sélection de vitesses de rampe moins élevées dans le cas de très gros onduleurs ayant d'importantes masses thermiques, en permettant ainsi la mesure de température dans des conditions plus proches de l'équilibre.

- f) Extrapoler la durée de vie du condensateur à la température maximale T_{C2} évaluée en e), en utilisant la durée de vie assignée L_R à la température assignée de l'air spécifiée par le fabricant, T_R , en appliquant la formule spécifiée par le fabricant ou, si elle n'est pas disponible, les formules pour les condensateurs électrolytiques:

$$L_{n1} = L_R 2^{\frac{T_R - T_{C2}}{10}}$$

ou pour les condensateurs à film métallisé,

$$L_{n1} = L_R \exp^{7000 \left(\frac{1}{273,15 + T_{C2}} - \frac{1}{273,15 + T_R} \right)}$$

et l'un ou l'autre type de condensateur,

$$L_{n2} = L_{n1} (V_r/V_o)^n$$

où:

n est la valeur spécifiée par le fabricant pour ajuster la durée de vie du condensateur à la tension de bus maximale nominale V_o par rapport à la tension assignée du condensateur V_R ;

V_o est la tension maximale mesurée entre les bornes positive et négative de la batterie de condensateurs de bus à courant continu tout en appliquant $V_{mpp \max}$ aux entrées de courant continu.

Si ces valeurs ne sont pas fournies par le fabricant, utiliser $n = 2,5$ pour les condensateurs électrolytiques et $n = 3,5$ pour les condensateurs à film métallisé.

6.5.4 Restrictions et exceptions

6.5.4.1 PCE de catégorie 1

Essai non réalisé pour les PCE de catégorie 1.

6.5.4.2 PCE de catégorie 4

S'il a été choisi de soumettre à essai les composants d'un PCE de catégorie 4 plutôt que l'unité dans son ensemble, pour l'essai ultérieur de 6.10, consigner simultanément la température résultante pour chaque composant énuméré au 5.3.4 a). Consigner la température des composants individuels mesurée lorsque la température du condensateur de bus est T_{C2} . Ces températures consignées des composants apparaissant simultanément lorsque la température de crête T_{C2} est observée sont utilisées pour choisir les conditions de température de l'essai de chaleur sèche de 6.10.

6.5.5 Exigences

Les exigences relatives à l'essai thermique des condensateurs de bus sont les suivantes.

- a) Evaluation de T_{C2} , le pic de température du condensateur observé pendant la rampe de puissance et de la température de consigne correspondante de la chambre climatique à laquelle il apparaît, $T_{amb, set}$, pour l'application en tant que condition de pic de température en 6.10. Le relevé des mesures supplémentaires spécifiées dans le cas où 6.5.4.2 s'applique (PCE de catégorie 4), sous forme de tracé représentant la température des condensateurs sélectionnés, T_C , la température de la chambre climatique et les puissances d'entrée et de sortie du PCE en fonction du temps, est utile pour l'évaluation des exigences du présent paragraphe.
- b) Durée de vie extrapolée du condensateur, L_{n2} , évaluée au 6.5.3.2 f), supérieure à 17 500 h.

NOTE La valeur 17 500 sous-entend que le PCE fonctionne pendant 40 % du temps à la température maximale déterminée en 6.5.3.1.

6.6 Essai thermique des modules de transistor de puissance

6.6.1 Objectif de l'essai

Cet essai est destiné à déterminer la température maximale de fonctionnement du module de transistor de puissance du PCE fonctionnant à la puissance assignée, ainsi que les conditions d'environnement dans lesquelles elle se manifeste. Voir la Bibliographie [1] pour des informations supplémentaires sur l'application de l'essai thermique des modules de transistor de puissance. Cet essai est seulement réalisé pour les PCE de catégories 2, 3 et 4. Les résultats sont utilisés ultérieurement au 6.8 (Essai cyclique thermique).

6.6.2 Appareillage

Les exigences relatives à l'appareillage sont identiques à celles de 6.5.2.

6.6.3 Procédure

- a) Equiper le PCE afin de pouvoir évaluer la température de référence ou la température du boîtier de transistor de puissance T_1 tout en ayant une influence minimale sur les caractéristiques thermiques et électriques conventionnelles de l'environnement du PCE. Cette opération est généralement effectuée conformément aux instructions du fabricant concernant la mesure de T_1 ; par exemple, en utilisant la thermistance incluse par le fabricant ou un autre dispositif de mesure de température conjointement avec les recommandations du fabricant concernant le calcul de T_1 , et en perçant un trou de petit diamètre dans le radiateur afin de placer un capteur de température sur la surface du transistor de puissance, ou si cela est impossible, sur la partie la plus chaude du radiateur observé à l'aide d'une caméra d'imagerie thermographique infrarouge. Si les unités de ce type sont multiples, il convient d'examiner chacune d'elles, préalablement ou au cours de cette procédure d'essai, afin de déterminer celle qui présente la température la plus élevée en fonctionnement.
- b) Placer le PCE dans la chambre climatique conformément à 6.5.3.1 b).
- c) Régler les conditions de vitesse de vent dans la chambre climatique conformément à 6.5.3.1 c).

- d) Raccorder l'alimentation et la charge électrique au PCE. Régler la température de la chambre à la température de fonctionnement assignée maximale du PCE. Régler la courant d'entrée du PCE à $I_{sc \max}$ tout en limitant la tension d'entrée si nécessaire pour obtenir P_r . Vérifier que tout éventuel système de ventilation forcée ou de refroidissement du PCE fonctionne normalement.
- e) Réduire progressivement jusqu'à 25 °C la température de la chambre climatique, à une vitesse maximale de 2,5 °C/h, en surveillant T_1 et la puissance aux bornes d'entrée et de sortie du PCE. Si un pic de température en T_1 est observé pendant la réduction progressive (à l'exclusion des points d'extrémité de la rampe), sélectionner cette température et la consigner comme étant T_{12} . Consigner la température de consigne de la chambre climatique à laquelle T_{12} est observée comme étant $T_{amb, set 1}$.
- f) Si aucun pic de température n'est observé pendant la réduction progressive de la température de la chambre (à l'exclusion des points d'extrémité de la rampe), augmenter de nouveau la température de la chambre climatique à partir de 25 °C, à une vitesse maximale de 2,5 °C/h, jusqu'à la température maximale de fonctionnement définie par le fabricant, et sélectionner et consigner la valeur T_1 maximale observée pendant les deux rampes (y compris leurs points d'extrémité), la consigner comme étant T_{12} et consigner la température de consigne correspondante de la chambre climatique comme étant $T_{amb, set 1}$.

NOTE La vitesse de rampe maximale est exigée pour permettre la sélection de vitesses de rampe moins élevées dans le cas de très gros onduleurs ayant d'importantes masses thermiques, en permettant ainsi des mesures de température dans des conditions plus proches de l'équilibre.

6.6.4 Restrictions et exceptions

6.6.4.1 PCE de catégorie 1

La détermination de la température maximale de fonctionnement du module de transistor de puissance n'est pas réalisée sur les PCE échantillons de catégorie 1.

6.6.4.2 PCE de catégorie 4

S'il a été choisi de soumettre à essai les composants d'un PCE de catégorie 4 plutôt que l'unité dans son ensemble, pour l'essai ultérieur de 6.8, consigner simultanément la température résultante pour chaque composant énuméré au 5.3.4 a), sélectionné pour être individuellement soumis à essai en 6.8 tout en appliquant 6.6.3 de l'Essai thermique des modules de transistor de puissance. Consigner la température des composants individuels observée lorsque la température de référence T_1 mesurée en 6.6.3 est T_{12} . Ces températures enregistrées des composants apparaissant simultanément à l'observation du pic de température T_{12} sont utilisées pour fixer les températures maximales de 6.8 pour les essais de ces composants.

6.6.5 Exigences

Evaluation de T_{12} , la température de référence ou la température maximale du boîtier de transistor de puissance, ainsi que la température de consigne correspondante de la chambre climatique à laquelle elle apparaît, $T_{amb, set 1}$, en vue d'une utilisation en 6.8. Le relevé des mesures supplémentaires spécifiées dans le cas où le paragraphe 6.6.4.2 s'applique, sous forme de tracé représentant la température de référence ou la température du boîtier de transistor de puissance, ainsi que la température de consigne T_I , la température de la chambre climatique et les puissances d'entrée et de sortie du PCE en fonction du temps, est utile pour l'évaluation des exigences du présent paragraphe.

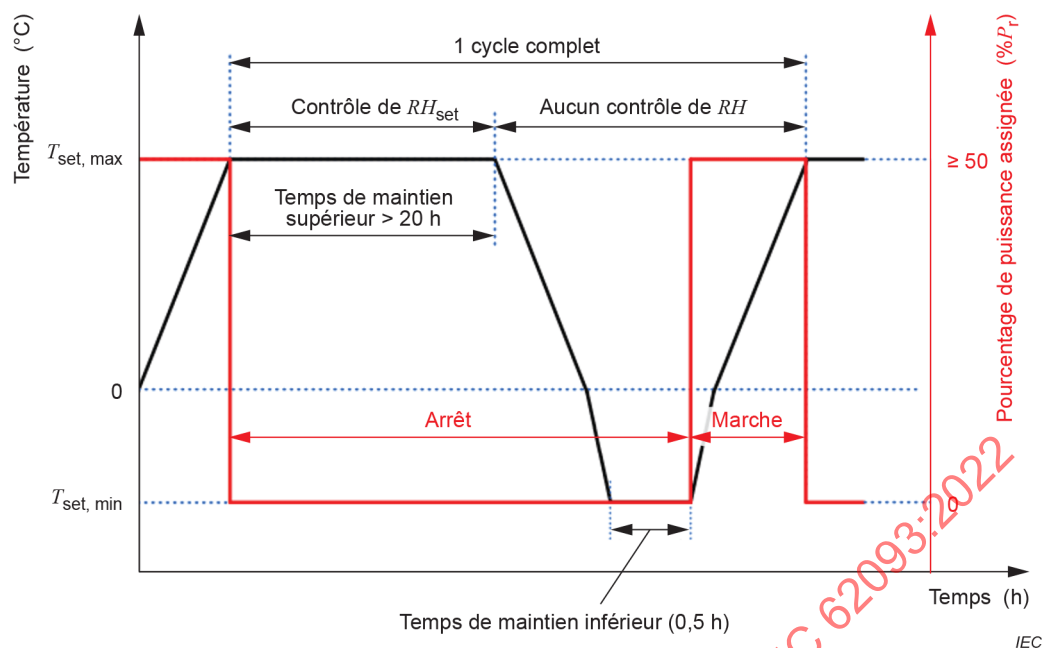
6.7 Essai d'humidité-gel

6.7.1 Objectif de l'essai

Cet essai comprend une exposition à un environnement combinant une température et une humidité élevées, puis à un cycle de gel. En plus de reproduire les défaillances telles que celles énumérées dans le paragraphe relatif à la chaleur humide, la charge électrique pendant une rampe de température positive impose une contrainte de tension et une contrainte thermique supplémentaires aux composants actifs et passifs. Les défaillances types en plus de celles énumérées en 6.1.4 comprennent les fissures, la corrosion et la déformation de l'enveloppe du PCE et des autres composants mécaniques, ainsi qu'un défaut d'isolement dû à l'entrée d'humidité. Cet essai inclut également des conditions de démarrage à froid avec différentes puissances d'entrée lorsqu'il existe plusieurs entrées de courant continu électriquement indépendantes, tel que cela peut se produire en raison, par exemple, de la présence de neige sur plusieurs chaînes de modules PV. Cet essai applique également une tension aux entrées des PCE alors que la charge est déconnectée, ce qui peut simuler une défaillance du réseau électrique connecté.

6.7.2 Appareillage

- a) Chambre climatique automatiquement réglée en température et en humidité, capable de soumettre les échantillons en essai au cycle d'humidité-gel spécifié à la Figure 3 avec les niveaux spécifiés dans le Tableau 5. Une chambre d'essai climatique conforme aux spécifications de l'IEC 60068-3-6 convient; cependant, la tolérance de la température mesurée par rapport aux points de consigne spécifiés est de ± 3 °C.
- b) Système de montage ou de support du ou des PCE échantillons dans la chambre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. L'installation doit permettre une libre circulation de l'air ambiant.
- c) Simulateurs de générateurs PV ou alimentations en courant continu conformes au 5.4.5, capables de fournir la tension et le courant nécessaires pour satisfaire aux exigences du 6.7.2 e).
- d) Charge électrique conforme au 5.4.6.
- e) Système de surveillance des valeurs (efficaces) de courant et de tension sur chacun des accès d'entrée et de sortie connectés.
- f) Fusibles ou disjoncteurs installés aux bornes d'entrée et de sortie pour protéger d'éventuels courts-circuits pendant l'essai.
- g) Contacteur électrique à la sortie électrique ou autre système permettant de connecter et de déconnecter physiquement le PCE de la charge plusieurs fois au cours de l'essai.



Se reporter au Tableau 5 pour les conditions de température (T_{set}) et d'humidité relative (RH).

Figure 3 – Profil de température/humidité de la chambre climatique et puissance appliquée pour l'essai d'humidité-gel

6.7.3 Procédure

- Installer le PCE échantillon sur une structure de montage rigide en appliquant la méthode prescrite par le fabricant, avec une circulation maximale de l'air de la chambre climatique autour du PCE.
- Raccorder chaque entrée du PCE échantillon côté générateur PV à une source d'énergie en courant continu telle que décrite en 6.7.2 c). La fonctionnalité de conversion optimale d'énergie (MPPT, Maximum Power Point Tracking) du PCE peut être désactivée, si nécessaire, pour obtenir un point de fonctionnement stable aux accès d'entrée en courant continu.
- Raccorder la borne de sortie électrique du PCE échantillon à une charge adaptée conformément au 6.7.2d) et tel que décrit en 5.4.6.
- Installer des dispositifs de surveillance du courant et de la tension à tous les accès d'entrée et de sortie conformément aux parties concernées de 5.4.4 et du 6.7.2 e).
- Surveiller les valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la chambre affichées par le contrôleur d'environnement de la chambre. Les conditions d'essai sont régulées par rapport à la température et l'humidité relative de la chambre, et non la température de l'échantillon.
- Une fois la chambre fermée, soumettre le composant à des cycles complets conformément à la Figure 3 et au Tableau 5. Les températures maximale et minimale doivent être à $\pm 3^\circ\text{C}$ des niveaux de température spécifiés dans le Tableau 5 et l'humidité relative doit être maintenue à $\pm 5\%$ des niveaux d'humidité relative spécifiés, RH_{set} , indiqués dans le Tableau 5. Vérifier que tout éventuel système de ventilation forcée ou de refroidissement du PCE est fonctionnel.

Pendant la rampe de température positive, le PCE échantillon doit être alimenté et fonctionner. Dans le cas d'un PCE à une seule entrée, appliquer une tension aussi proche que possible de $V_{\text{mpp max}}$ afin d'obtenir au moins 50% de P_{Rated} en sortie de PCE.

S'il y a d'autres entrées électriquement indépendantes, appliquer à la deuxième entrée puis à toutes les entrées électriquement indépendantes paires, la tension d'entrée assignée minimale $V_{\text{mpp min}}$ (incluant, si nécessaire, une impulsion de tension de déblocage initiale suffisante) ainsi qu'un courant d'entrée suffisant pour que le PCE fonctionne. Toutes les entrées électriquement indépendantes impaires doivent être connectées à une tension aussi proche que possible de $V_{\text{mpp max}}$. L'alimentation des multiples entrées électriquement indépendantes est à équilibrer afin que toutes les entrées fonctionnent à puissance non nulle et que la puissance de sortie totale du PCE représente au moins 50 % de P_r .

Le temps de maintien à la température supérieure doit être de 20 h. Les temps de rampe entre les limites de température doivent être aussi rapides que le matériel le permet, mais les durées sont indéfinies. Le temps de cycle nominal est de 24 h mais, du fait des différentes capacités thermiques du PCE, ce temps de cycle n'est pas imposé sachant que les temps de rampe peuvent être ajustés pour l'échantillon soumis à essai. Les temps de maintien aux températures supérieure et inférieure débutent une fois que les conditions dans la chambre ont atteint les conditions de maintien respectives, conformément au Tableau 5. Un fonctionnement normal du PCE en charge partielle ou au ralenti aux températures plus élevées de la rampe est acceptable. Pendant les temps de maintien et la rampe de température négative, la sortie de puissance du PCE en essai à la charge doit être déconnectée au moyen d'un contacteur électrique, tandis que la polarisation électrique appliquée à l'entrée du PCE reste appliquée tout au long de l'essai.

NOTE La déconnexion de la charge simule une panne de réseau ou un état de déconnexion du courant alternatif.

Cet essai peut être réalisé en laissant les portes de l'enveloppe du PCE ouvertes et le système de refroidissement du PCE peut être commandé indépendamment uniquement pour réduire les temps de transition entre les temps de maintien.

Le temps de maintien à la température inférieure doit être de 30 min.

Tableau 5 – Limites de température et d'humidité pour l'essai d'humidité-gel

Catégorie de PCE	Catégorie d'environnement	Conditions de maintien		Cycles
		$T_{\text{set,min}}$	$T_{\text{set,max}}, RH_{\text{set}}$	
1	– Toutes les catégories de service	-40 °C ¹	85 °C /85 % HR	20
2, 3	– Intérieur, avec conditionnement	Non exigé		
	– Intérieur, sans conditionnement	-40 °C ¹	60 °C /85 % HR	20
	- Extérieur	-40 °C ¹	60 °C /85 % HR	
Les conditions d'essai sont régulées sur la base de la température et de l'humidité relative de l'air de la chambre. La tolérance acceptable pour la température est de ±3 °C. La tolérance acceptable pour l'humidité relative est de ±5 %. ¹ Un essai avec une température minimale supérieure à $T_{\text{set,min}}$ indiquée ci-dessus dans ce tableau est admis si les spécifications du PCE ne permettent pas une exposition à la valeur $T_{\text{set,min}}$ spécifiée ci-dessus. Dans ce cas, la limite $T_{\text{set,min}}$ doit être ajustée en fonction des spécifications de températures les plus basses du fabricant; cependant, la valeur maximale pour $T_{\text{set,min}}$ doit être -10 °C. Les conditions d'essai effectives doivent être mentionnées dans le rapport d'essai.				

- g) Le redémarrage du CPE doit débuter à la fin du temps de maintien à la température inférieure, en reconnectant la charge.

6.7.4 Restrictions et exceptions

Non exigé pour les PCE spécifiés pour une utilisation uniquement à l'intérieur dans les cas des catégories 2 et 3.

Non exigé pour les PCE de catégorie 4.

Une réduction automatique de la puissance de sortie, un fonctionnement discontinu et une suspension temporaire du fonctionnement sont admis à toutes les températures qui dépassent les spécifications du fabricant, s'ils sont destinés à assurer la protection fonctionnelle.

6.7.5 Mesures finales

Aucune.

6.7.6 Exigences

Les exigences sont les suivantes.

Aucun des échantillons d'essai ne présente de circuit ouvert, de court-circuit ou de défaut de masse irréversible pendant les essais, ni aucune suspension de fonctionnement exigeant une intervention manuelle sur le PCE pour corriger son fonctionnement. Sont autorisées les situations réversibles qui sont déclenchées par le PCE dans le but d'assurer son autoprotection ou par tout autre dispositif ou charge connecté pour son autocorrection. Le PCE ne doit avoir subi aucun dommage permanent. Consigner la nature et la durée de toute interruption discontinue ou temporaire du fonctionnement normal du PCE pouvant se produire pendant l'essai.

6.8 Essai cyclique thermique

6.8.1 Objectif de l'essai

Cet essai comprend une exposition répétée à des extrêmes de températures chaude et froide avec des périodes d'alimentation afin d'accélérer les variations de température quotidiennes observées dans les applications de terrain. En plus des effets des contraintes électriques appliquées, le cycle thermique induit également une déformation thermomécanique qui résulte des différences de coefficients de dilatation entre les différents matériaux utilisés dans les PCE et leurs composants. Les composants d'un PCE qui sont sensibles aux cycles thermiques accélérés comprennent les dispositifs à semiconducteurs de puissance, les circuits intégrés, les condensateurs, les cartes à circuit imprimé, les enveloppes et les structures mécaniques ainsi que les bornes et les connecteurs.

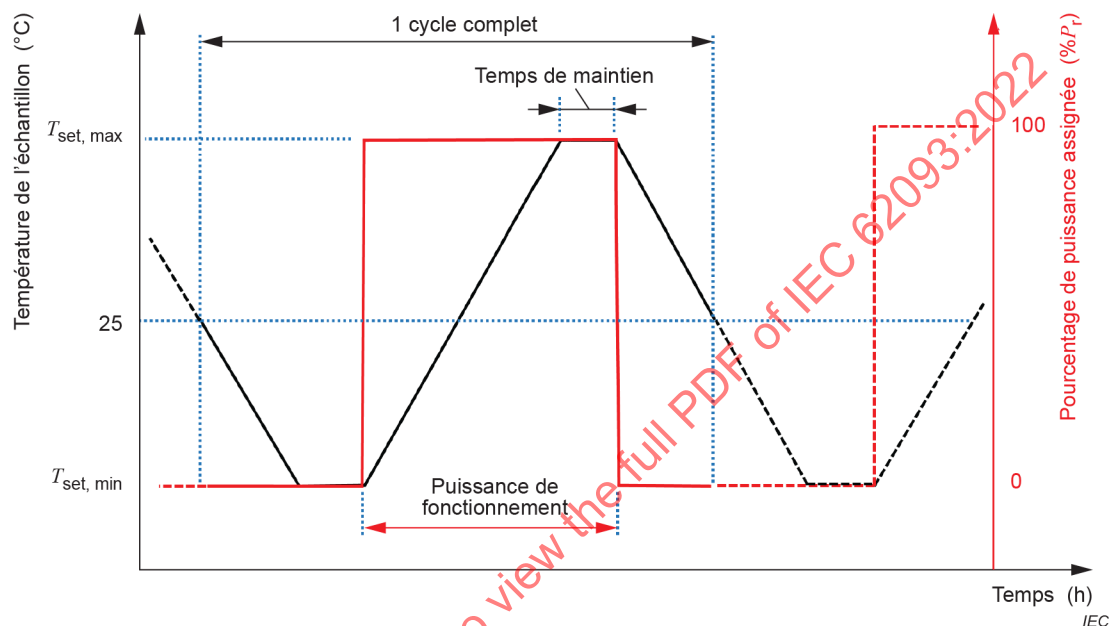
Les mécanismes de défaillance types qui sont accélérés par les cycles thermiques comprennent la fatigue des fils de connexion, des soudures de platines et des soudures de puces, les défauts d'interconnexion, la déformation des matériaux et les fissures, la déstratification du revêtement conformé et des interfaces d'empotage, etc.

La température supérieure appliquée lors de l'essai cyclique thermique est basée sur la température supérieure réelle atteinte par le module de transistor de puissance du PCE en 6.6. Le niveau de contrainte appliqué est donc lié au rendement et à la gestion thermique du PCE.

6.8.2 Appareillage

- a) Chambre avec circulation d'air automatiquement réglée en température. La chambre climatique doit être suffisamment grande pour recevoir le PCE échantillon en tenant compte de l'espacement ou des distances d'isolement exigés, tels qu'ils sont spécifiés par le fabricant, et capable de soumettre un ou plusieurs échantillons au profil de cycle thermique représenté à la Figure 4 et conformément aux paramètres indiqués dans le Tableau 6. Une chambre climatique conforme aux spécifications de l'IEC 60068-2-14, Essai Nb, est appropriée.
- b) Système de montage ou de support du ou des PCE échantillons dans la chambre conformément à la méthode prescrite par le fabricant. L'installation doit permettre une libre circulation de l'air ambiant. La conduction thermique du montage ou de la structure de support doit être faible (c'est-à-dire non métallique).
- c) Appareillage réglé pour établir les conditions de vitesse de vent dans la chambre climatique conformément au 6.5.3.1c).

- d) Instrument de mesure permettant d'obtenir et d'enregistrer la température de référence ou la température du boîtier de transistor de puissance du PCE, T_I , comme en 6.6. La tolérance de la température mesurée par rapport aux points de consigne spécifiés est de $\pm 3^\circ\text{C}$.
- e) Simulateur de générateur PV ou alimentation en courant continu conforme au 5.4.5, capable de délivrer la caractéristique de tension en fonction du courant du plus gros générateur PV pour lequel le matériel est dimensionné, en ce qui concerne la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit.
- f) Charge électrique conforme au 5.4.6.
- g) Système de surveillance des valeurs (efficaces) de courant et de tension à tous les accès d'entrée et de sortie connectés.



Se reporter au Tableau 6 pour la température (T_{set}) et les temps de maintien exigés.

Figure 4 – Essai cyclique thermique – Profil de température et de puissance de sortie

6.8.3 Procédure

L'essai doit être réalisé conformément à l'IEC 60068-2-14, avec les dispositions supplémentaires suivantes.

- a) Le PCE doit être installé dans la chambre d'essai en appliquant une méthode de montage ou de support adaptée, telle que décrite au 6.8.2 a). Le matériel est à monter conformément aux instructions du fabricant. Pour obtenir des temps de rampe plus rapides, l'essai peut être réalisé en laissant les portes de l'enveloppe électrique ouvertes et pendant les temps de transition, le système de refroidissement du PCE peut être utilisé et ajusté en fonction des besoins pour atteindre plus rapidement les points de consigne spécifiés, après accord du fabricant.

NOTE 1 Si le PCE est équipé de ventilateurs de refroidissement internes, un essai avec portes ouvertes ou capot ouvert peut influencer sur l'écoulement d'air et entraîner une surchauffe de certains composants par rapport à la normale.

- b) Les bornes d'entrée du PCE échantillon doivent être raccordées à une source d'énergie adaptée, telle que celle décrite au 6.8.2 b).
- c) Les bornes de sortie en courant alternatif ou continu du PCE échantillon doivent être raccordées à une charge adaptée telle que celle décrite au 6.8.2 d).
- d) Installer des dispositifs adaptés de surveillance du courant et de la tension, tels que ceux décrits au 6.8.2 f), à tous les accès d'entrée et de sortie.

- e) Connecter ou mettre en œuvre une mesure de la température de référence ou de la température du boîtier de transistor de puissance T_1 tel que décrit au 6.8.2 d). Dans le cas des PCE de catégorie 1, surveiller la température au niveau du point de fixation (montage) du dispositif pendant le montage. Les conditions d'essai sont ajustées en utilisant cette température mesurée sur l'échantillon.
- f) Le PCE est à soumettre à un profil de cycle thermique tel que celui représenté à la Figure 4 avec les limites de température d'échantillon, le nombre de cycles et les temps de maintien minimaux spécifiés, ainsi qu'avec les options de modification décrites dans le Tableau 6. Aucune limite n'est spécifiée quant à la rapidité admise pour la transition de température ambiante de la chambre climatique pendant les rampes de température positive et négative, mais une vitesse de rampe comprise entre 0,5 °C/min et 2 °C/min est recommandée. Si les valeurs $T_{\text{set,min}}$ du Tableau 6 sont inférieures aux températures d'utilisation minimales spécifiées pour le PCE, ou si la plage de températures de l'essai cyclique thermique doit être réduite pour une quelconque raison, voir la note au bas du Tableau 6 concernant la méthode à suivre pour augmenter le nombre de cycles d'essai exigés sur la base de la plage de températures réduite en vue d'une application du présent paragraphe. Pour réduire le temps d'essai, il est permis d'augmenter $T_{\text{set,max}}$ et de diminuer le nombre de cycles thermiques. Dans ce cas, arrêter le fonctionnement en charge partielle si ce fonctionnement se produit à la valeur $T_{\text{set,max}}$ souhaitée plus élevée et laisser T_1 atteindre cette limite de température supérieure augmentée de l'échantillon en augmentant la puissance fournie au PCE par l'intermédiaire de la tension d'entrée appliquée, tout en maintenant le courant à $I_{\text{sc max}}$. Si la puissance atteint P_r et qu'une accélération supplémentaire est recherchée avec une valeur $T_{\text{set,max}}$ plus élevée, augmenter alors la température de la chambre, tout en s'assurant que la puissance atteint P_r pendant le cycle.
- g) Pendant la rampe de température négative et le temps de maintien à la température inférieure, l'alimentation connectée à l'entrée du PCE ne doit fournir aucun courant au PCE. De l'air forcé fourni par le propre système de refroidissement du PCE, de l'air circulant dans la chambre climatique ou de l'air forcé supplémentaire peut être introduit pour atteindre plus rapidement la température $T_{\text{set,min}}$ de l'échantillon.
- h) Maintenir un temps de maintien de 20 min à chaque extrême.
- i) Après le temps de maintien à la température inférieure $T_{\text{set,min}}$, un redémarrage du PCE est effectué au début de la rampe croissante de température à partir de l'état ralenti ou arrêté. Au redémarrage, régler la puissance d'entrée du PCE à $I_{\text{sc max}}$ tout en limitant la tension d'entrée si nécessaire pour obtenir P_r . Dans les dernières portions de la rampe et pendant le temps de maintien à la température supérieure, la température de la chambre doit être optimisée pour obtenir $T_{\text{set,max}} = T_{12}$ au point de mesure sur l'échantillon.
- NOTE 2 En 6.6.3, la relation de T_{12} avec la température de consigne $T_{\text{amb,set I}}$ de la chambre a été établie pour des conditions de quasi-équilibre.
- j) Pour tenir compte de tout retard au début de la conversion d'énergie par le PCE, ce dernier peut être alimenté avant la fin du temps de maintien prescrit de sorte que le début de la conversion d'énergie soit obtenu à la fin du temps de maintien de 20 min prescrit et au début de la rampe croissante de température.
- k) Après l'essai sous contrainte, laisser un temps de rétablissement minimal de 1 h à $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sans alimentation.