

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Extended thermal cycling of PV modules – Test procedure

Cycle thermique étendu de modules PV – Procédure d'essai

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Extended thermal cycling of PV modules – Test procedure

Cycle thermique étendu de modules PV – Procédure d'essai

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-6598-7

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.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Sampling	7
5 Marking and documentation.....	7
6 Modifications	8
7 Test procedure	8
7.1 Initial evaluations.....	8
7.2 Thermal cycling test.....	8
7.2.1 Purpose.....	8
7.2.2 Apparatus.....	8
7.2.3 Procedure.....	8
7.3 Final evaluations.....	9
7.4 Requirements	10
8 Reporting.....	10
Annex A (normative) Calculation of the required number of thermal cycles	11
Annex B (informative) Acceleration factors based on deployed climate	14
Bibliography.....	17
Figure A.1 – Number of equivalent cycles as a function of maximum cycle temperature over maximum module operating temperature.....	11
Figure A.2 – Survivorship plot for a Weibull distribution with a shape parameter of 6 and a survivorship probability of 95% at 500 cycles	12
Figure B.1 – Plot of module cell temperature over the course of one day to illustrate the maximum temperature, maximum temperature change and temperature reversal terms	14
Figure B.2 – Combination of factors that indicate extended thermal cycling is advised for a specific location.....	15
Table 1 – Number of required thermal cycles, N_R	9
Table A.1 – Effect of sample size on test time.....	13
Table B.1 – Cell temperature factors.....	15
Table B.2 – Module and mounting specific model parameters	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EXTENDED THERMAL CYCLING OF PV MODULES –
TEST PROCEDURE****FOREWORD**

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

International Standard IEC 62892 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/1537/FDIS	82/1560/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

INTRODUCTION

The IEC 61215 series defines test requirements for the design qualification of flat-plate PV modules for long-term operation in general open-air climates. IEC TS 62941 provides technical guidance in application of the type-approval testing.

This document, IEC 62892, supplements IEC 61215 by providing an extended thermal cycling test intended to differentiate PV modules with improved durability to thermal cycling and evaluate modules for deployment in locations most susceptible to thermal cycling type stress.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

EXTENDED THERMAL CYCLING OF PV MODULES – TEST PROCEDURE

1 Scope

This document defines a test sequence that extends the thermal cycling test of IEC 61215-2. It is intended to differentiate PV modules with improved durability to thermal cycling and evaluate modules for deployment in locations most susceptible to thermal cycling type stress¹. This document is based on the ability for 95 % of the modules represented by the samples submitted for this test to pass an equivalency of 500 thermal cycles, as defined in IEC 61215-2:2016, 4.11.3, with a maximum power degradation of less than 5 %. Provisions are also provided to reduce overall test time by increasing the maximum cycle temperature and/or the number of modules submitted for test.

The test procedure in this document was developed based on analysis of the stress on tin-lead solder bonds on crystalline silicon solar cells in a glass superstrate type package. Changes to lead-free solder have an effect on the acceleration factors but not enough to change the overall results of this test. Monolithic type modules with integral cell interconnection do not suffer from this specific type of stress but there are still electrical connections within the module, for example between the integrated cell circuit and the module bus bars, that may be subject to wear out from thermal cycling. Flexible modules (without glass) are not stressed in the same way as those with glass superstrates or substrates, therefore use of the equivalency factor employed in this document may not be applicable to these modules.

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 61215-1:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

IEC 61215-1-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules*

IEC 61215-1-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1-2: Special requirements for testing of thin-film Cadmium Telluride (CdTe) based photovoltaic (PV) modules*

IEC 61215-1-3, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1-3: Special requirements for testing of thin-film amorphous silicon based photovoltaic (PV) modules*

IEC 61215-1-4, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1-4: Special requirements for testing of thin-film Cu(In,Ga)(S,Se)₂ based photovoltaic (PV) modules*

¹ Guidance is provided in Annex B to assess if this test is warranted for the targeted deployment location.

IEC 61215-2:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures*

IEC 61730-1, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

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

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting*

IEC TS 62941:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guideline for increased confidence in PV module design qualification and type approval*

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

equivalent cycles

number of thermal cycles that imparts the same amount of solder fatigue damage

4 Sampling

Modules for these tests shall be taken at random from a production batch or batches of a module type that is already certified to IEC 61215, IEC 61730-1 and IEC 61730-2. The modules shall have been manufactured from specified materials and components in accordance with the relevant drawings and process sheets and have been subjected to the manufacturer's normal inspection, quality control and production acceptance procedures. The modules shall be complete in every detail and shall be accompanied by the manufacturer's handling, mounting and connection instructions.

The relation between the number of modules submitted for testing and the required number of cycles is detailed Table 1 and Annex A. A minimum of three modules shall be submitted for testing, two for the actual testing and one as control.

Because these tests are designed for accelerated stress testing of production modules, engineering samples are not allowed.

5 Marking and documentation

Each module shall include clear and indelible markings as defined in IEC 61215-1. Modules shall be supplied with documentation conforming to the requirements in IEC 61215-1. Documentation consistent with the requirements of Clause 4 of IEC TS 62941:2016 shall also be available for inspection by the test agency to ensure adequacy of the Quality Management System.

6 Modifications

Changes in material selection, components and manufacturing process that would trigger retesting of the 200 thermal cycles leg in IEC TS 62915 would also require retest to this document.

7 Test procedure

7.1 Initial evaluations

- a) Visual inspection in accordance with IEC 61215-2 Module Qualification Test (MQT) 01.
- b) Maximum power determination in accordance with IEC 61215-2 MQT 02.
- c) Insulation test in accordance with IEC 61215-2 MQT 03.
- d) Wet current leakage test in accordance with IEC 61215-2 MQT 15.

7.2 Thermal cycling test

7.2.1 Purpose

The purpose of the thermal cycling test is to determine the ability of the PV modules to withstand thermal mismatch, fatigue, and other stresses caused by rapid, non-uniform or repeated changes of temperature.

7.2.2 Apparatus

In accordance with IEC 61215-2:2016, 4.11.2.

7.2.3 Procedure

In accordance with IEC 61215-2:2016, 4.11.3 with the following modifications:

- a) The maximum temperature of the cycle (T_{MAX}) may be increased above 85 °C to reduce the number of required cycles according to Table 1. (T_{MAX}) shall be specified by the submitting party and recorded in the test report.
- b) During the thermal cycling test set the continuous current flow during the heat up cycle to the technology specified current in IEC 61215-2 at temperature from –40 °C to (T_{MAX}) –5 °C. During cool down, the –40 °C dwell phase and temperatures above (T_{MAX}) –5 °C the continuous current shall be reduced to no more than 1,0 % of the measured STC peak power current to measure continuity.
- c) The number of cycles shall be as shown in Table 1. Annex A may be used to calculate the required number of thermal cycles when more than 10 modules are submitted for test or when $T_{MAX}-85\text{ °C}>25\text{ °C}$.

Table 1 – Number of required thermal cycles, N_R

$T_{MAX}-85$ °C	Number of modules submitted for test								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	731	683	651	627	609	593	580	569	559
1	711	665	634	611	592	577	565	554	544
2	693	647	617	594	577	562	550	539	530
3	674	630	601	579	562	547	535	525	516
4	657	614	585	564	547	533	521	511	502
5	640	598	570	549	533	519	508	498	489
6	623	583	555	535	519	506	495	485	477
7	608	568	541	521	506	493	482	473	465
8	592	553	528	508	493	481	470	461	453
9	577	539	514	495	481	468	458	449	441
10	563	526	501	483	469	457	447	438	430
11	549	513	489	471	457	445	436	427	420
12	535	500	477	459	446	434	425	417	409
13	522	488	465	448	435	424	414	406	399
14	509	476	454	437	424	413	404	396	390
15	497	465	443	427	414	403	394	387	380
16	485	453	432	416	404	394	385	378	371
17	473	443	422	406	394	384	376	368	362
18	462	432	412	397	385	375	367	360	353
19	451	422	402	387	376	366	358	351	345
20	441	412	393	378	367	358	350	343	337
21	430	402	383	369	358	349	342	335	329
22	420	393	375	361	350	341	334	327	321
23	411	384	366	353	342	333	326	320	314
24	401	375	358	344	334	326	319	312	307
25	392	367	349	337	327	318	311	305	300

NOTE The relationship employed to calculate the number of required cycles in Table 1 is based on a Coffin-Manson style empirical relationship for solder thermal fatigue and a one-parameter Weibull analysis and dictates that 95 % of the modules represented by the samples submitted for this test will pass an equivalency of 500 qualification level thermal cycles [1, 2]². This relationship is applicable for both PbSn and Pb-free solders. FEM simulations of a PV module have demonstrated that this relationship results in a conservative estimate for equivalency [3]. These simulations show that softening of the module's encapsulant at high temperatures will result in a faster rate of solder damage accumulation. Therefore, while prescribing a higher maximum cycle temperature will reduce the overall test time, the equivalency of that test, or overall stress, may be greater than intended.

7.3 Final evaluations

- Visual inspection in accordance with IEC 61215-2 MQT 01.
- Maximum power determination in accordance with IEC 61215-2 MQT 02.
- Insulation test in accordance with IEC 61215-2 MQT 03.
- Wet leakage current test in accordance with IEC 61215-2 MQT 15.
- Bypass diode functionality test in accordance with IEC 61215-2 MQT 18.2.

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

When implementing the tests from IEC 61215-2, the requirements of the technology specific standards (IEC 61215-1-1, IEC 61215-1-2, IEC 61215-1-3 and IEC 61215-1-4) shall be taken into account.

7.4 Requirements

The requirements are as follows:

- no interruption of current flow during the test;
- no evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2016, Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- any by-pass diodes shall still function as diodes.

NOTE Electroluminescence imaging may be a useful technique to image the location of failed, or failing, solder bonds.

8 Reporting

Following completion of the testing, a report of the tests, with measured performance characteristics and details of any failures and re-tests, shall be prepared by the test agency. The report shall contain the detail specification for the module. 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;
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) reference to sampling procedure;
- i) any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to a specific tests, such as environmental conditions and the test procedure used to validate that the by-pass diodes were functional at the end of the test sequence;
- j) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate including maximum power loss observed after all of the tests, dry and wet insulation resistance changes due to the tests and evidence of changes that might ultimately lead to performance degradation;
- k) a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
- 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.

A copy of this report shall be kept by the manufacturer for reference purposes.

Annex A (normative)

Calculation of the required number of thermal cycles

There are two factors that together determine the required number of thermal cycles, N_R , as tabulated in Table 1:

- a) Maximum cycle temperature, T_{MAX} (°C).
- b) Number of modules submitted for test, n .

The first step is to determine the equivalent number of cycles, N_e . It is a function of T_{MAX} . This number of cycles will impart an equivalent amount of solder fatigue damage as 500 qualification level cycles (–40 °C to 85 °C) as defined in IEC 61215-2, MQT 11. The relationship between T_{MAX} and N_e is:

$$N_e = 150470(T_{MAX} + 40)^{-2} \exp\left(\frac{1414}{T_{MAX} + 273}\right) \quad (\text{A.1})$$

Formula (A.1) defines how increasing the maximum cycle temperature over 85 °C can reduce the potential number of cycles and therefore overall test time, Figure A.1. This formula is based on a Coffin-Manson style empirical relationship for solder thermal fatigue [1, 2]. This relationship is applicable for both PbSn and Pb-free solders. FEM simulations of a PV module have demonstrated that this relationship results in a conservative estimate for equivalency [3]. These simulations show that softening of the module's encapsulant at high temperatures will result in a faster rate of solder damage accumulation. Therefore, while prescribing a higher maximum cycle temperature will reduce the overall test time, the equivalency, or overall stress, of that test may be greater than intended.

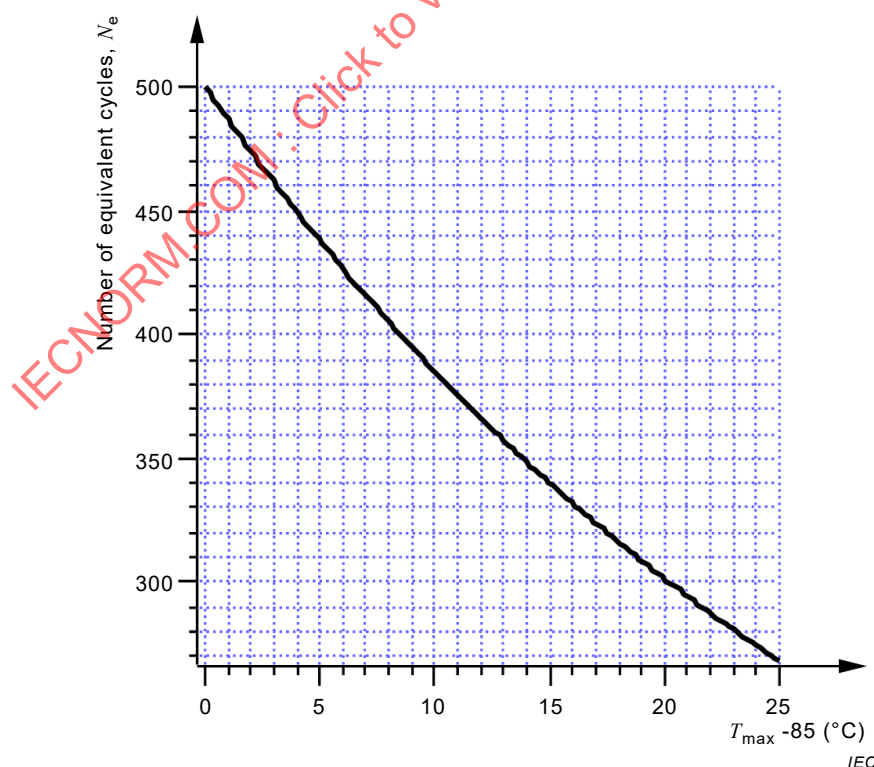


Figure A.1 – Number of equivalent cycles as a function of maximum cycle temperature over maximum module operating temperature

The number of samples submitted for test, n , and the number of equivalent thermal cycles, N_e , determine the number of required thermal cycles, N_R :

$$N_R = \left[\frac{-N_e^6}{n \ln(0,95)} \right]^{1/6} \quad (\text{A.2})$$

This formula is derived from a one-parameter Weibull analysis and dictates that 95 % of the modules represented by the samples submitted for this test will pass an equivalency of 500 qualification level thermal cycles with a relative maximum power degradation of less than 5 %. The Weibull shape parameter is chosen to be 6 [1]. A survivorship plot with a Weibull parameter of 6 and a survivorship probability of 95 % at 500 cycles is presented in Figure A.2 to illustrate the assumed distribution. In this distribution the characteristic lifetime (63,5 % failure probability) is 820 cycles, a 1 % failure (a relative power degradation > 5 %) is observed by 378 cycles, and 99 % failure by 1 057 cycles.

The result of formula (A.2), N_R , is the number of thermal cycles the sample size of n modules is required to pass this document.

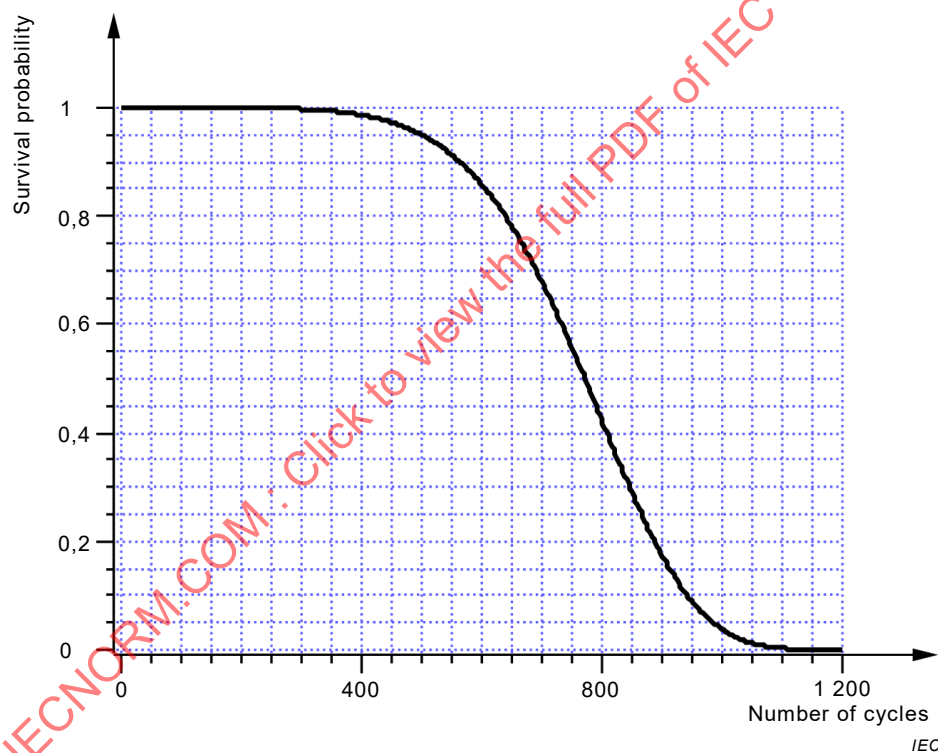


Figure A.2 – Survivorship plot for a Weibull distribution with a shape parameter of 6 and a survivorship probability of 95 % at 500 cycles

The following is an example of how to calculate the number of required thermal cycles:

- c) Chose thermal cycling parameters:

$$T_{\text{MAX}} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$n = 2 \text{ modules}$$

- d) Calculate the equivalent number of cycles:

$$N_e = 150470(95 + 40)^{-2} \exp\left(\frac{1414}{95 + 273}\right) = 385$$

- e) Calculate the number of required thermal cycles

$$N_R = \left[\frac{-385^6}{2 \cdot \ln(0,95)} \right]^{1/6} = 563$$

Table A.1 is included to illustrate the effect of sample size on the number of required cycles and consequential test time.

Table A.1 – Effect of sample size on test time

Number of modules n	Required number of cycles N_R	Overall test time days
2	563	69,9
3	526	65,3
4	501	62,2
5	483	60,0
6	469	58,2
7	457	56,7

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

Annex B (informative)

Acceleration factors based on deployed climate

Analysis has shown that certain climates tend to be more damaging to the PV module's solder bonds [3]. These climates are typically characterized by high ambient temperatures and partly cloudy days. The purpose of this Annex is to provide guidance on how to assess if a specific deployment location warrants extended thermal cycling to properly evaluate a module's durability against solder bond thermomechanical fatigue.

The rate of solder fatigue damage has been demonstrated to depend on three factors of a module's temperature history:

$\overline{T}_{cmax}$ = mean daily maximum cell temperature;

$\overline{\Delta T}$ = mean daily maximum cell temperature change;

$r(55)$ = temperature reversal term.

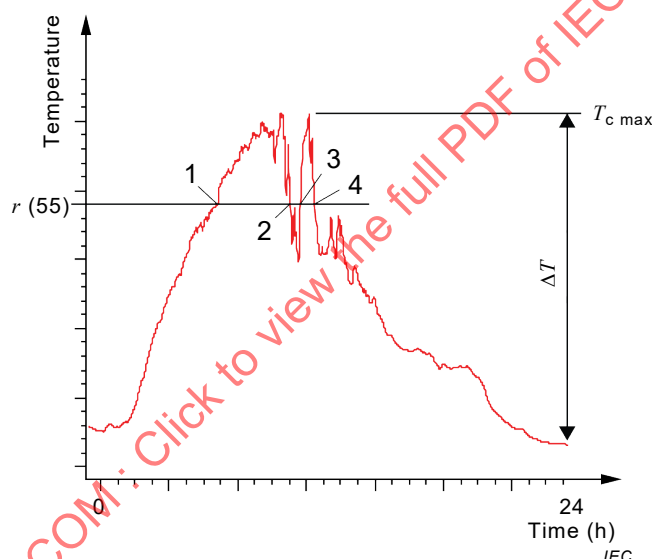


Figure B.1 – Plot of module cell temperature over the course of one day to illustrate the maximum temperature, maximum temperature change and temperature reversal terms

These factors are illustrated on a representative plot of module cell temperature over the course of one day in Figure B.1. The temperature reversal term, $r(55)$, is the number of times the cell temperature history increases and decreases across 55 °C (in Figure B.1, $r(55)=4$).

To determine if a specific location warrants extended thermal cycling these three factors shall be evaluated, over the course of one-year, for that location from 60 min time-averaged module cell temperature data. Higher resolution temperature data shall be down sampled to a 60 min time average for this analysis to be accurate. While the $\overline{T}_{cmax}$ and $\overline{\Delta T}$ terms are the average of the daily values observed for the year, the $r(55)$ term is the sum for the entire year. The plot in Figure B.2 illustrates the combination of factors that indicate extended thermal cycling is advised for that location. It is based on FEM simulations that equate the solder fatigue damage accumulated through accelerated thermal cycling to that accumulated through on-sun deployment in a variety of climates [3]. The defined regions in the plot represent climate characteristics where a 25-year on sun deployment exceeds the equivalent solder fatigue damage imparted by 200 to 250 accelerated thermal cycles.

To use the plot, find the intersection of the $\overline{T}_{c\max}$ and $\overline{\Delta T}$ values determined from the analyzed module cell temperature history. If the $r(55)$ factor is greater than the value indicated in that shaded region of the plot, the weather pattern for the specific location analyzed is particularly damaging and extended thermal cycling is advised.

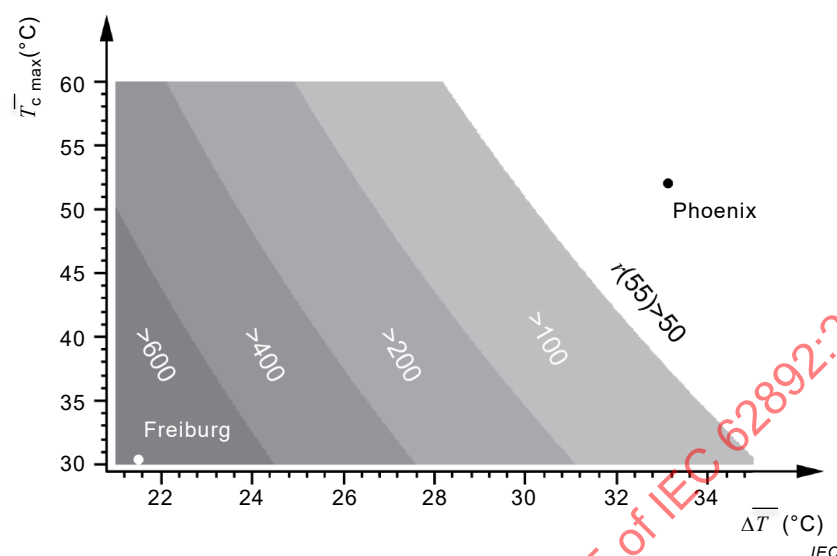


Figure B.2 – Combination of factors that indicate extended thermal cycling is advised for a specific location

For illustrative purposes, the factors for two cities, Freiburg Germany and Phoenix Arizona, are plotted in Figure B.2. The three terms for these cities are presented in Table B.1. Because $r(55)=396$ for Phoenix, extended thermal cycling is advised. For Freiburg ($r(55)=38$), however, extended thermal cycling may not be required to properly assess a modules thermomechanical fatigue resistance in that location.

Table B.1 – Cell temperature factors

City	$\overline{T}_{c\max}$ °C	$\overline{\Delta T}$ °C	$r(55)$
Phoenix, AZ	52,1	33,2	396
Freiburg, DE	30,2	21,5	38

In the absence of one-year's worth of module cell temperature data, a one-year history of module cell temperature may be synthesized by examining meteorological data for a specific location. If developed, it is encouraged to use a manufacture's model specific to the module and intended mounting configuration. Alternatively, the following generic method may be employed:

- Collect a dataset containing one-year's worth of ambient temperature, T_{amb} , wind speed, WS , and total global irradiance, E , recorded at regular intervals.
- Down sample that data to 60 min time averaged values.
- Calculate the 60 min time average module cell temperature for an entire year:

$$T_{cell} = T_{amb} + C \cdot E \exp(a + b \cdot WS) + E \frac{\Delta T}{E_o}$$

where E_0 is the reference solar irradiance of 1 000 W/m², ΔT represents the temperature difference between the cell and module at this reference irradiance and C a prefactor of 1 with units of °Cm²/W . The coefficients a and b depend on the module type and mounting configuration and are provided for a number of configurations in Table B.2[4].

Table B.2 – Module and mounting specific model parameters

Module type	Mount	a	b	ΔT °C
glass/cell/glass	open rack	-3,47	-0,0594	3
glass/cell/glass	close roof	-2,98	-0,0471	1
glass/cell/polymer	open rack	-3,56	-0,075	3
glass/cell/polymer	insulated back	-2,81	-0,0455	0

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

Bibliography

- [1] R. B. Abernethy, *The New Weibull Handbook—Fifth Edition*, 2007
- [2] K. C. Norris and A. H. Landzberg, "Reliability of Controlled Collapse Interconnections", *IBM Journal of Research and Development*, vol. 13, pp. 266-271, 1969
- [3] N. Bosco, T. Silverman, and S. Kurtz, "Climate Specific Solder Thermal Fatigue Damage in PV Modules", *Microelectronics Reliability*, vol. 62, pp. 124-129, July 2016
- [4] D. L. King, W. E. Boyson, and J. A. Kratochvil, "Photovoltaic array performance model", Sandia National Laboratories SAND2004-3535, 2004

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Termes et définitions	23
4 Echantillonnage	23
5 Marquage et documentation	24
6 Modifications	24
7 Procédure d'essai	24
7.1 Evaluations initiales	24
7.2 Essai de cycle thermique	24
7.2.1 Objet	24
7.2.2 Appareillage	24
7.2.3 Procédure.....	24
7.3 Evaluations finales.....	25
7.4 Exigences	26
8 Rapports.....	26
Annexe A (normative) Calcul du nombre de cycles thermiques exigés	27
Annexe B (informative) Facteurs d'accélération en fonction du climat du site de déploiement.....	31
Bibliographie.....	34
Figure A.1 – Nombre de cycles équivalents en fonction de la différence entre la température maximale du cycle et la température maximale de fonctionnement du module.....	28
Figure A.2 – Courbe de survie pour une distribution de Weibull avec un paramètre de forme de 6 et une probabilité de survie de 95 % pour 500 cycles	29
Figure B.1 – Courbe de la température des cellules d'un module sur une journée, montrant la température maximale, la variation de la température maximale et les termes d'inversion de la température	31
Figure B.2 – Combinaison de facteurs indiquant qu'il est conseillé de pratiquer des cycles thermiques étendus pour un lieu spécifique.....	32
Tableau 1 – Nombre de cycles thermiques exigés, N_R	25
Tableau A.1 – Effet de la taille d'échantillon sur la durée des essais.....	30
Tableau B.1 – Facteurs de température de cellule	32
Tableau B.2 – Paramètres de modèle spécifiques au montage et au module	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CYCLE THERMIQUE ÉTENDU DE MODULES PV –
PROCÉDURE D'ESSAI****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 62892 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

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

FDIS	Rapport de vote
82/1537/FDIS	82/1560/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

INTRODUCTION

La série IEC 61215 définit les exigences d'essai pour la qualification de la conception des modules photovoltaïques à plaque plane pour une utilisation de longue durée dans les climats généraux à l'air libre. L'IEC TS 62941 donne des recommandations techniques relatives à la mise en œuvre des essais d'homologation.

Le présent document IEC 62892 complète l'IEC 61215 en introduisant un essai de cycle thermique étendu destiné à différencier les modules photovoltaïques avec une meilleure durabilité par rapport au cycle thermique et à évaluer les modules pour un déploiement dans les lieux plus exposés aux contraintes de cycle thermique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62892:2019

CYCLE THERMIQUE ÉTENDU DE MODULES PV – PROCÉDURE D'ESSAI

1 Domaine d'application

Le présent document définit une séquence d'essais qui étend l'essai de cycle thermique de l'IEC 61215-2. Il est destiné à différencier les modules photovoltaïques avec une meilleure durabilité par rapport au cycle thermique et à évaluer les modules pour un déploiement dans les lieux plus exposés aux contraintes de cycle thermique¹. Le présent document repose sur l'aptitude pour 95 % des modules représentés par les échantillons soumis à cet essai à supporter avec succès l'équivalent de 500 cycles thermiques, conformément à la procédure définie dans l'IEC 61215-2:2016, 4.11.3, avec une dégradation maximale de puissance inférieure à 5 %. Des dispositions sont également fournies pour réduire la durée totale des essais en augmentant la température maximale du cycle et/ou le nombre de modules soumis à l'essai.

La procédure d'essai décrite dans le présent document a été élaborée sur la base d'une analyse des contraintes exercées sur des assemblages soudés en alliage plomb-étain sur des cellules solaires en silicium cristallin au sein d'un ensemble de type superstrat de verre. Des modifications apportées à une soudure sans plomb ont un effet sur les facteurs d'accélération, mais pas de manière suffisante pour modifier les résultats globaux de cet essai. Les modules de type monolithique avec interconnexion intégrale des cellules ne souffrent pas de ce type de contrainte spécifique, mais il persiste des connexions électriques à l'intérieur du module, par exemple entre le circuit intégré de la cellule et les barres omnibus du module, qui peut subir une usure due aux cycles thermiques. Les modules souples (sans verre) ne subissent pas les mêmes contraintes que ceux qui comportent des superstrats ou des substrats de verre. Par conséquent, l'utilisation du facteur d'équivalence employé dans le présent document peut ne pas convenir à ces modules.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61215-1:2016, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai*

IEC 61215-1-1, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-1: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin*

IEC 61215-1-2, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-2: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au tellure de cadmium (CdTe) à couches minces*

IEC 61215-1-3, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-3: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au silicium amorphe à couches minces*

¹ L'Annexe B donne des recommandations afin de déterminer si cet essai est garanti pour le lieu de déploiement envisagé.

IEC 61215-1-4, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-4: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au Cu(In,Ga)(S,Se)_2 à couches minces*

IEC 61215-2:2016, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 2: Procédures d'essai*

IEC 61730-1, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Exigences pour la construction*

IEC 61730-2, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais*

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

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting* (disponible en anglaise uniquement)

IEC TS 62941:2016, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guideline for increased confidence in PV module design qualification and type approval* (disponible en anglais uniquement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans 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>

3.1

cycles équivalents

nombre de cycles thermiques provoquant le même niveau de dommages dus à la fatigue des soudures

4 Echantillonnage

Pour ces essais, les modules doivent être prélevés de façon aléatoire parmi un ou plusieurs lots de production d'un type de module déjà certifié selon l'IEC 61215, l'IEC 61730-1 et l'IEC 61730-2. Les modules doivent avoir été fabriqués à partir des matériaux et composants spécifiés conformément aux schémas et fiches de procédés correspondants, et avoir été soumis aux procédures normales d'examen, de contrôle qualité et de réception en production du fabricant. Les modules doivent être complets jusque dans les moindres détails et doivent être accompagnés des instructions de manipulation, de montage et de connexion du fabricant.

La relation entre le nombre de modules soumis à l'essai et le nombre de cycles exigés est décrite dans le Tableau 1 et à l'Annexe A. Trois modules au minimum doivent être soumis à l'essai: deux modules pour les essais effectifs et un module témoin pour le contrôle.

Etant donné que ces essais sont conçus pour effectuer des essais de contrainte accélérés des modules de production, l'utilisation d'échantillons prototypes n'est pas admise.

5 Marquage et documentation

Chaque module doit comporter des marquages clairs et indélébiles, comme défini dans l'IEC 61215-1. Les modules doivent être accompagnés d'une documentation conforme aux exigences de l'IEC 61215-1. Une documentation conforme aux exigences de l'Article 4 de l'IEC TS 62941:2016 doit également être disponible en cas d'examen à l'initiative de l'organisme d'essai afin d'assurer que le système de management de la qualité est approprié.

6 Modifications

Toutes modifications dans le choix des matériaux, les composants et le procédé de fabrication conduisant à refaire les essais de la branche des 200 cycles thermiques de l'IEC TS 62915 nécessiteraient également une nouvelle réalisation des essais selon le présent document.

7 Procédure d'essai

7.1 Evaluations initiales

- Examen visuel conformément à l'IEC 61215-2 Essai de qualification du module (MQT) 01.
- Détermination de la puissance maximale conformément à l'IEC 61215-2 MQT 02.
- Essai diélectrique conformément à l'IEC 61215-2 MQT 03.
- Essai de courant de fuite en milieu humide conformément à l'IEC 61215-2 MQT 15.

7.2 Essai de cycle thermique

7.2.1 Objet

L'objet de l'essai de cycle thermique est de déterminer l'aptitude des modules PV à supporter des contraintes de déséquilibre thermique, de fatigue ou autres, causées par des variations de température rapides, non uniformes ou répétées.

7.2.2 Appareillage

Conformément à l'IEC 61215-2:2016, 4.11.2.

7.2.3 Procédure

Conformément à l'IEC 61215-2:2016, 4.11.3, avec les modifications suivantes:

- la température maximale du cycle (T_{MAX}) peut être augmentée au-dessus de 85 °C afin de réduire le nombre de cycles exigés conformément au Tableau 1. La température (T_{MAX}) doit être spécifiée par le demandeur et être consignée dans le rapport d'essai.
- au cours de l'essai de cycle thermique, régler la circulation de courant continu pendant le cycle de réchauffement au courant spécifié pour la technologie PV donné dans l'IEC 61215-2, à une température comprise entre –40 °C et (T_{MAX}) –5 °C. Pendant le refroidissement et la phase de stabilisation à –40 °C, et aux températures supérieures à (T_{MAX}) –5 °C, le courant continu doit être réduit à une valeur de 1,0 % au maximum de l'intensité à la puissance de crête STC mesurée pour mesurer la continuité;
- le nombre de cycles doit être conforme aux indications du Tableau 1. L'Annexe A peut être utilisée pour calculer le nombre de cycles thermiques exigés lorsque plus de 10 modules sont soumis à l'essai ou lorsque $T_{MAX}-85\text{ °C} > 25\text{ °C}$.

Tableau 1 – Nombre de cycles thermiques exigés, N_R

T_{MAX-85} °C	Nombre de modules soumis à l'essai								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	731	683	651	627	609	593	580	569	559
1	711	665	634	611	592	577	565	554	544
2	693	647	617	594	577	562	550	539	530
3	674	630	601	579	562	547	535	525	516
4	657	614	585	564	547	533	521	511	502
5	640	598	570	549	533	519	508	498	489
6	623	583	555	535	519	506	495	485	477
7	608	568	541	521	506	493	482	473	465
8	592	553	528	508	493	481	470	461	453
9	577	539	514	495	481	468	458	449	441
10	563	526	501	483	469	457	447	438	430
11	549	513	489	471	457	445	436	427	420
12	535	500	477	459	446	434	425	417	409
13	522	488	465	448	435	424	414	406	399
14	509	476	454	437	424	413	404	396	390
15	497	465	443	427	414	403	394	387	380
16	485	453	432	416	404	394	385	378	371
17	473	443	422	406	394	384	376	368	362
18	462	432	412	397	385	375	367	360	353
19	451	422	402	387	376	366	358	351	345
20	441	412	393	378	367	358	350	343	337
21	430	402	383	369	358	349	342	335	329
22	420	393	375	361	350	341	334	327	321
23	411	384	366	353	342	333	326	320	314
24	401	375	358	344	334	326	319	312	307
25	392	367	349	337	327	318	311	305	300

NOTE La relation employée pour calculer le nombre de cycles exigés dans le Tableau 1 repose sur une relation empirique de type Coffin-Manson pour la fatigue thermique des soudures et une analyse de Weibull à un paramètre. Elle impose que 95 % des modules représentés par les échantillons soumis à cet essai supportent avec succès l'équivalent de 500 cycles thermiques de niveau qualification [1, 2]². Cette relation est applicable aux soudures PbSn et sans Pb. Les simulations d'un module PV par la méthode des éléments finis ont montré que cette relation conduisait à une estimation prudente pour l'équivalence [3]. Ces simulations montrent qu'un ramollissement de l'encapsulant du module à des températures élevées entraîne un endommagement plus rapide des soudures. Par conséquent, bien que le fait de prescrire une température maximale de cycle supérieure conduise à une réduction de la durée totale des essais, l'équivalence de cet essai, ou la contrainte globale, peut être plus importante que prévu.

7.3 Evaluations finales

- Examen visuel conformément à l'IEC 61215-2 MQT 01.
- Détermination de la puissance maximale conformément à l'IEC 61215-2 MQT 02.
- Essai diélectrique conformément à l'IEC 61215-2 MQT 03.
- Essai de courant de fuite en milieu humide conformément à l'IEC 61215-2 MQT 15.

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

e) Essai fonctionnel de la diode de dérivation conformément à l'IEC 61215-2 MQT 18.2.

Lors de la réalisation des essais de l'IEC 61215-2, les exigences des normes technologiques spécifiques (IEC 61215-1-1, IEC 61215-1-2, IEC 61215-1-3 et IEC 61215-1-4) doivent être prises en compte.

7.4 Exigences

Les exigences sont les suivantes:

- aucune interruption de la circulation de courant pendant l'essai;
- aucun signe des défauts visuels majeurs définis dans l'IEC 61215-1:2016, Article 7;
- la dégradation de la puissance de sortie maximale ne doit pas dépasser 5 % de la valeur mesurée avant l'essai;
- la résistance d'isolement doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesures initiales;
- toutes les diodes de dérivation doivent encore fonctionner comme des diodes.

NOTE L'imagerie par électroluminescence peut constituer une méthode pertinente pour révéler l'emplacement d'assemblages soudés défectueux.

8 Rapports

A la suite des essais, un rapport d'essais, incluant les caractéristiques de performance mesurées ainsi que le détail de chaque défaillance et contre-essai, doit être élaboré par l'organisme d'essai. Le rapport doit contenir la spécification particulière du module. Chaque rapport d'essai doit comprendre au minimum les informations suivantes:

- a) un titre;
- b) le nom et l'adresse du laboratoire d'essai, ainsi que le lieu où les essais ont été réalisés;
- c) l'identification unique du rapport et de chaque page;
- d) le nom et l'adresse du client, s'il y a lieu;
- e) la description et l'identification de l'élément soumis à l'essai;
- f) la caractérisation et la condition de l'élément d'essai;
- g) la date de réception de l'élément d'essai, ainsi que la ou les dates de l'essai, s'il y a lieu;
- h) une référence à la procédure d'échantillonnage;
- i) tout écart, ajout ou exclusion par rapport à la méthode d'essai ainsi que toute autre information pertinente concernant des essais spécifiques, comme les conditions d'environnement et la procédure d'essai utilisée pour valider le bon fonctionnement des diodes de dérivation à la fin de la séquence d'essai;
- j) les mesures, examens et résultats dérivés corroborés par des tableaux, graphiques, croquis et photographies selon les cas, y compris la perte de puissance maximale observée après l'ensemble des essais, les variations de la résistance d'isolement en milieu sec et humide dues aux essais et la preuve des modifications susceptibles de conduire à une dégradation des performances;
- k) une indication de l'incertitude estimée des résultats d'essai (s'il y a lieu);
- l) une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personnes assumant la responsabilité du contenu du rapport, ainsi que la date d'édition;
- m) s'il y a lieu, une déclaration indiquant que les résultats ne se rapportent qu'aux éléments soumis aux essais;
- n) une spécification indiquant que le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans sa totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

Une copie de ce rapport doit être conservée par le fabricant pour des besoins de référence.

Annexe A (normative)

Calcul du nombre de cycles thermiques exigés

Deux facteurs permettent de déterminer le nombre de cycles thermiques exigés, N_R , à partir des valeurs du Tableau 1:

- a) la température maximale du cycle T_{MAX} (°C);
- b) le nombre de modules soumis à l'essai n .

La première étape consiste à déterminer le nombre de cycles équivalents N_e . Il s'agit d'une fonction de T_{MAX} . Ce nombre de cycles génère une quantité équivalente de dommages par fatigue de soudures correspondant à 500 cycles de niveau qualification (–40 °C à 85 °C), comme défini dans l'IEC 61215-2, MQT 11. Relation entre T_{MAX} et N_e :

$$N_e = 150470(T_{MAX} + 40)^{-2} \exp\left(\frac{1414}{T_{MAX} + 273}\right) \quad (A.1)$$

La formule (A.1) définit dans quelle mesure l'augmentation de la température maximale de cycle supérieure à 85 °C peut réduire le nombre potentiel de cycles et, par conséquent, la durée totale des essais (voir Figure A.1). Cette formule est basée sur une relation empirique de type Coffin-Manson pour la fatigue thermique des soudures [1, 2]. Cette relation est applicable aux soudures PbSn et sans Pb. Les simulations d'un module PV par la méthode des éléments finis ont montré que cette relation conduisait à une estimation prudente pour l'équivalence [3]. Ces simulations montrent qu'un ramollissement de l'encapsulant du module à des températures élevées entraîne un endommagement plus rapide des soudures. Par conséquent, bien que le fait de prescrire une température maximale de cycle supérieure conduise à une réduction de la durée totale des essais, l'équivalence, ou la contrainte globale, de cet essai peut être plus importante que prévu.

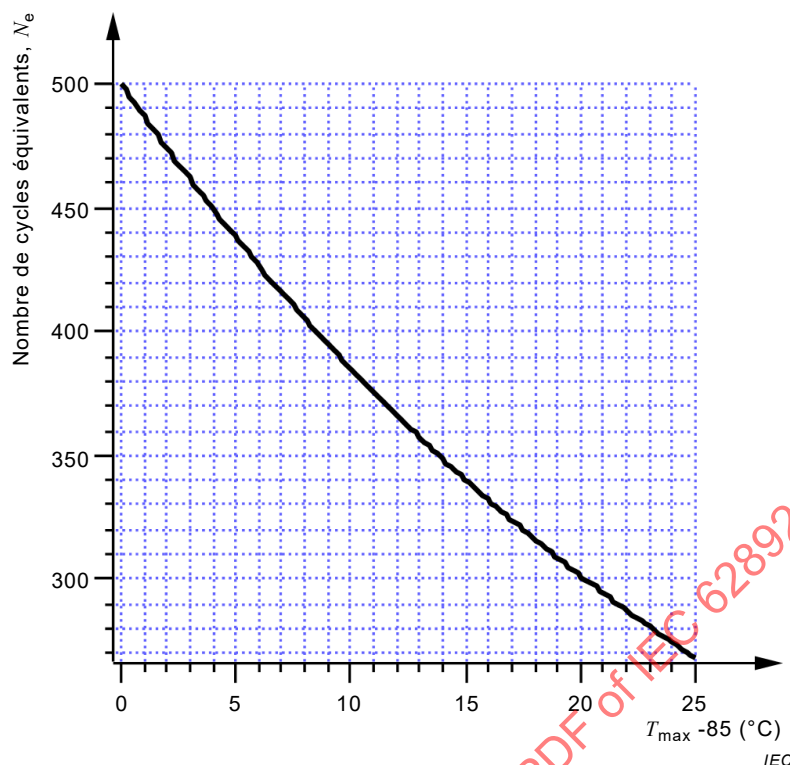


Figure A.1 – Nombre de cycles équivalents en fonction de la différence entre la température maximale du cycle et la température maximale de fonctionnement du module

Le nombre d'échantillons soumis à l'essai, n , et le nombre de cycles thermiques équivalents, N_e , déterminent le nombre de cycles thermiques exigés, N_R :

$$N_R = \left[\frac{-N_e^6}{n \ln(0,95)} \right]^{1/6} \quad (\text{A.2})$$

Cette formule repose sur une analyse de Weibull à un paramètre et impose que 95 % des modules représentés par les échantillons soumis à cet essai supportent avec succès l'équivalent de 500 cycles thermiques de niveau qualification avec une dégradation relative de la puissance maximale inférieure à 5 %. La valeur choisie pour le paramètre de forme de Weibull est de 6 [1]. La courbe de survie avec un paramètre de Weibull de 6 et une probabilité de survie de 95 % pour 500 cycles est représentée à la Figure A.2 qui montre l'hypothèse de distribution retenue. Dans cette distribution, la durée de vie caractéristique (63,5 % de probabilité de défaillance) est de 820 cycles, un taux de défaillance de 1 % (dégradation relative de la puissance > 5 %) est observé pour 378 cycles et un taux de défaillance de 99 % pour 1 057 cycles.

Le résultat de la formule (A.2), N_R , correspond au nombre de cycles thermiques exigés pour la taille d'échantillon de n modules pour les besoins de conformité du présent document.