

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Photovoltaic power systems – DC arc detection and interruption

Systèmes photovoltaïques – Détection et interruption d'arc en courant continu

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Photovoltaic power systems – DC arc detection and interruption

Systèmes photovoltaïques – Détection et interruption d'arc en courant continu

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-6743-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Classification.....	12
4.1 General.....	12
4.2 Protection coverage.....	13
4.3 Method of implementation	13
4.3.1 PCE integrated device (I).....	13
4.3.2 Stand-alone device (S)	14
4.3.3 Distributed detection system (D).....	14
4.4 Functionality	14
4.4.1 AFPE: Detection and interruption capability provided.....	14
4.4.2 AFD: Only detection / no interruption capability provided.....	14
4.5 Number of monitored strings (S)	14
4.5.1 Single string	14
4.5.2 Parallel string	14
4.6 Number of input ports (I).....	14
4.7 Number of monitored channels (C).....	14
4.7.1 Single channel.....	14
4.7.2 Multi channel	15
4.8 Reconnection method	15
4.8.1 General	15
4.8.2 Manual reconnection	15
4.8.3 Remote manual reconnection	15
4.8.4 Automatic reconnection	15
5 Ratings of AFPEs and AFDs	15
5.1 General.....	15
5.2 PCE integrated AFPEs and AFDs	15
5.2.1 Rated and limiting values.....	15
5.3 Stand-alone AFPEs and AFDs	16
5.3.1 Rated and limiting values.....	16
5.3.2 Utilization category	17
6 Product information	17
6.1 General.....	17
6.2 PCE integrated devices.....	17
6.3 Stand-alone devices	18
6.3.1 Nature of information	18
6.3.2 Marking	18
6.3.3 Instructions for installation, operation and maintenance.....	18
7 Normal service, mounting and transport conditions.....	18
7.1 PCE integrated AFPEs.....	18
7.2 Stand-alone AFPEs.....	18
8 Construction and performance requirements.....	19

8.1	General requirements for PCE integrated AFDs/AFPEs and stand-alone AFDs/AFPEs	19
8.1.1	General	19
8.1.2	Construction requirements	19
8.1.3	Operation in case of series arc fault event	19
8.1.4	Reconnection capability of AFPE	19
8.1.5	Self-test function	20
8.2	PCE integrated AFDs and AFPEs	21
8.3	Stand-alone AFDs and AFPEs	21
9	Tests	21
9.1	General	21
9.2	Series arc fault test	21
9.2.1	General	21
9.2.2	Arc generator	22
9.2.3	DC source	23
9.2.4	Array line impedance network	24
9.2.5	Line impedance network	24
9.2.6	Test procedure	25
9.2.7	Arc energy and response time measurement	27
9.2.8	Self-test function	27
9.2.9	Reconnection test	28
Annex A (informative)	String and channel examples	29
A.1	General	29
A.2	PCE integrated AFDs and AFPEs	29
A.3	Stand-alone AFPEs	30
A.4	Distributed AFPEs	31
Annex B (normative)	Test setups following different application cases	32
B.1	General	32
B.1.1	Overview	32
B.1.2	PV source models	33
B.1.3	Flow chart for test selection	34
B.2	Application string inverter	36
B.3	Application micro inverter	37
B.4	Application module level DC/DC conversion	39
B.4.1	Input setups	39
B.4.2	Output setups	42
B.5	Application external combined strings	44
B.5.1	Input setups	44
B.5.2	Output setups	45
Annex C (informative)	Application examples	47
C.1	General	47
C.2	Example 1: String inverter with integrated AFPE (F-I-AFPE)	47
C.3	Example 2: Module level inverter with integrated AFPE (F-I-AFPE)	48
C.4	Example 3: External AFPE (P-S-AFPE)	49
C.5	Example 4: Module level DC-DC converter system with AFPE integrated (F-I-AFPE)	52
C.6	Example 5: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)	55
C.7	Example 6: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)	57
C.8	Example 7: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)	59

Annex D (informative) Cross reference application and test setup.....	64
Bibliography.....	65
Figure 1 – Schematic of the arc generator	22
Figure 2 – Dimensions of arc generator electrodes	23
Figure 3 – DC source decoupling network.....	24
Figure 4 – Array line impedance network	24
Figure 5 – Line impedance network.....	24
Figure 6 – Limitation input current.....	26
Figure A.1 – Schematic of string setting of PCE integrated AFDs and AFPEs	29
Figure A.2 – Schematic of parallel setting of PCE integrated AFDs and AFPEs.....	29
Figure A.3 – Schematic of string setting of stand-alone AFPEs	30
Figure A.4 – Schematic of parallel setting of stand-alone AFPEs	30
Figure A.5 – Schematic of single string, single channel distributed AFPEs.....	31
Figure A.6 – Schematic of single string, single channel (Inverter integrated AFD and controller)	31
Figure B.1 – PV source model	33
Figure B.2 – Flow chart to select applicable test cases	35
Figure B.3 – Single string test setup (tests 1, 2, 4).....	36
Figure B.4 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	36
Figure B.5 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	36
Figure B.6 – Single string test setup (tests 1 and 2).....	37
Figure B.7 – Single string test setup (tests 1 and 2) – series modules.....	37
Figure B.8 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	37
Figure B.9 – Parallel string test setup (tests 1 and 2) – series modules.....	38
Figure B.10 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	38
Figure B.11 – Single string test setup (tests 1, 2, 4).....	39
Figure B.12 – Single string test setup (tests 1, 2, 4) – series modules	39
Figure B.13 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	40
Figure B.14 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	41
Figure B.15 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	42
Figure B.16 – Single string test setup (tests 1, 2, 4).....	42
Figure B.17 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	43
Figure B.18 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	43
Figure B.19 – Single string test setup (tests 1, 2, 4).....	44
Figure B.20 – Parallel string test setup (tests 1 and 2).....	44
Figure B.21 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	45
Figure B.22 – Single string test setup (test 1 and 2).....	45
Figure B.23 – Parallel string test setup (tests 3 and 5).....	46
Figure C.1 – Example of a string inverter with single input	47
Figure C.2 – Example of a module level inverter with single input	48
Figure C.3 – Example of an external AFPE with multiple input ports	50
Figure C.4 – Example of a module level DC-DC converter system	52

Figure C.5 – Example of a string inverter with multiple input ports	55
Figure C.6 – Example string inverter with multiple inputs	58
Figure C.7 – Example string inverter with different channel classification	60
Table 1 – Classification of protection coverage	13
Table 2 – Combined classification of AFPEs and AFDs	17
Table 3 – Marking and documentation requirements	17
Table 4 – Requirements for documentation, marking and position of marking	18
Table 5 – Arcing test conditions	25
Table B.1 – General LRC component parameters	33
Table B.2 – LCR component parameters for different module configurations	34
Table C.1 – Overview tests F-I-AFPE string inverter	48
Table C.2 – Overview tests F-I-AFPE module level inverter	49
Table C.3 – Overview tests P-S-AFPE stand-alone AFPE	51
Table C.4 – Overview tests F-I-AFPE	55
Table C.5 – Overview tests F-I-AFPE	57
Table C.6 – Overview tests F-I-AFPE	59
Table C.7 – Overview tests F-I-AFPE	63
Table D.1 – Cross reference application and test setup	64

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS – DC ARC DETECTION AND INTERRUPTION

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 63027 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
82/2112/FDIS	82/2133/RVD

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

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023

INTRODUCTION

This document provides requirements and testing procedures for arc-fault protection devices used in PV systems to reduce the risk of igniting an electrical fire.

A PV system contains a number of distributed DC sources (PV modules) and circuits. In AC systems series arc durations are limited by the alternating current crossing through zero ampere twice per cycle. In DC systems the arcing current may be constant and longer arc durations are expected. In contrast to a centralized power supply, where in case of a fault the circuit is disconnected at the connection to the supply, a PV system is made up of distributed power supplies which cannot disconnect circuits in a single location. For extinguishing series arcs, however, the location of the arc within the circuit is irrelevant as long as the current is interrupted. This arc fault protection may be located inside the inverter, on array circuits, subarray circuits, string circuits, or at the module level. Therefore, this document provides a range of test setups to cover the expected system topologies.

In PV systems earth fault protection is required according to the IEC installation standards. Moreover, single core cables with double or reinforced insulation are required (except ELV systems). Consequently, the risk of parallel arcs is quite low because in most cases an earth fault occurs first. As such, this document does not address requirements or testing for parallel arc detection. The larger risk for PV systems comes from series arcs, therefore the focus of this document is to provide requirements and tests for arc fault protection equipment to ensure that most series arcs in a PV system will be detected.

Many arc fault detectors detect arcs by analyzing and comparing the arc's HF signal emission. These devices may trip due to external disturbances from other equipment connected to the PV array, e.g. the inverter. Therefore, interoperability needs to be evaluated. Other external influences such as radio signals, sparks from trams, and load switching, among others, may also cause nuisance tripping. These causes are a performance issue and therefore not addressed by this document.

Arc fault detectors for PV systems have been introduced as a requirement in the USA since the 2011 U.S. National Electrical Code was published. This led to the development of a PV arc-fault protection product standard, UL 1699B. Experience derived from these documents and their application in the USA has been used as a basis for this document. This document was written in parallel to the maintenance of UL 1699B. Both writing teams considered the work of each other and aligned requirements as much as possible, including the dimensions of the electrodes.

Arc fault detectors have been mandatory for many years in the USA for certain AC installations. Within the IEC, arc fault detectors required according to IEC 62606 have been introduced for certain locations for AC circuits. For PV circuits there was no IEC product standard available. This document therefore now provides test procedures for PV system arc fault detectors, where required by installation standards.

This document was written for the special needs and characteristics of PV systems. The unique aspects of PV DC sources (group of distributed sources, current behavior, dependency to irradiance, system impedance, etc.) differ considerably from other DC sources and applications. Therefore, this PV specific standard was necessary, and equipment compliant to this document is not suitable for other DC sources and applications.

PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS – DC ARC DETECTION AND INTERRUPTION

1 Scope

This document applies to equipment used for the detection and optionally the interruption of electric DC arcs in photovoltaic (PV) system circuits. The document covers test procedures for the detection of series arcs within PV circuits, and the response times of equipment employed to interrupt the arcs.

The document defines reference scenarios according to which the testing is conducted. This document covers equipment connected to systems not exceeding a maximum PV source circuit voltage of 1 500 V DC.

The detection of parallel circuit arcs is not covered in this document. This document is not applicable to DC sources or applications other than PV DC sources.

NOTE Parallel arc detection may be considered for a future edition.

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 60730-1:2013, *Automatic electrical controls – Part 1: General requirements*

IEC 60730-1:2013/AMD1:2015

IEC 60730-1:2013/AMD2:2020

IEC 60947-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 60947-3:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC TS 61836:2016, *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*

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

arc

arcing

self-maintained gas conduction for which most of the charge carriers are electrons supplied by primary-electron emission

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-12]

3.2

arc fault

arcing fault

dangerous unintentional parallel or series arc between conductors

[SOURCE: IEC 62606:2013, 3.2, modified – "parallel or series" and "between conductors" has been added]

3.3

arc fault detector

AFD

device or group of devices to detect arcs

3.4

arc fault interrupter

AFI

device triggered by an AFD and able to interrupt an arc

3.5

arc fault protection equipment

AFPE

combination of AFD and AFI to detect and interrupt arc faults

3.6

arc detection

function of sensing the presence of an arc fault

[SOURCE: IEC 62606:2013, 3.5, modified – "consisting in" has been replaced by "of"]

3.7

arc interruption

function of extinguishing the arc by de-energizing it, achieved by e.g. opening the circuit using a mechanical contact set with an air gap or a solid state switching device

3.8

series arc fault

arcing that is in series with the load and is the result of a failure in the intended continuity of a conductor, connection, module or other system components in the direct current PV circuit

3.9**open-circuit voltage** V_{oc}

voltage at the output terminals of a PV device at a particular temperature and irradiance when the output electric current of the PV device is zero, defining a voltage input parameter of the AFPE or AFD

[SOURCE: IEC TS 61836:2016, 3.4.56, modified – "defining a voltage input parameter of the AFPE or AFD" has been added]

3.10**current at maximum power point** I_{mpp}

current at the output terminals of a PV device at a particular temperature and irradiance at the conditions of maximum power of the PV device, defining a current input parameter of the AFPE or AFD

3.11**voltage at maximum power point** V_{mpp}

voltage at the output terminals of a PV device at a particular temperature and irradiance at the conditions of maximum power of the PV device, defining a voltage input parameter of the AFPE or AFD

3.12**rated channel current**

current the AFPE or AFD channel can carry. This corresponds to the sum of all currents carried by a channel

3.13**rated interruption current**

current the AFI or AFPE can interrupt

3.14**maximum rated current per input port** I_{pA}

current that one input port of an AFD or AFPE is limited to

Note 1 to entry: The maximum current per input port is typically identical to the maximum arc current.

3.15**power conversion equipment****PCE**

device or equipment able to convert electric power from one form to another

3.16**string**

circuit of one or more series-connected PV modules

3.17**PCE integrated device**

AFD or AFI or AFPE which are integrated into the PCE

3.18**stand-alone device**

AFD or AFI or AFPE which are separated and independent from the PCE

3.19

distributed detection system

AFPE which is distributed within the PV system

3.20

single channel device

device which has one sensor circuit for arc detection

3.21

multi channel device

device which has two or more independent sensor circuits for arc detection

3.22

device under test

DUT

particular sample that is being measured or observed

3.23

photovoltaic

PV

relating to the conversion of light directly into electrical energy

[SOURCE: IEC 62109-1:2010, 3.55]

3.24

short-circuit current

I_{sc}

electric current at the output terminals of a PV device at a particular temperature and irradiance when the device output voltage is equal to or close to zero

[SOURCE: IEC 61836:2016, 3.4.80, modified – Note 1 has been deleted]

4 Classification

4.1 General

This clause gives an overview of the classifications used for AFD and AFPEs in this document. The classification scheme describes the equipment type and considers the important aspects relevant for testing and installation. Installation standards can refer to this classification to specify requirements for arc fault protection.

Protection coverage: Defines which parts of a PV system or installation are covered by the AFD or AFPE.

Method of implementation: Defines the type and design of the AFD or AFPE. The method of implementation especially impacts construction requirements and testing.

Functionality: Indicates whether an equipment or device is an AFD or AFPE.

Number of monitored strings, inputs and channels: The maximum number of connected PV strings, inputs and measurement channels that can be supported by the AFD or AFPE, and for which it is tested.

Reconnection method: Defines which reconnection methods are supported by the product.

Annex B provides additional information and introduces measures to group the following classifications into various use cases.

AFPE may have more than one classification, and different ratings may apply for each classification. In this case the manufacturer shall document the installation and connection requirements for each classification.

NOTE One example is an inverter that allows for the direct connection of PV strings or the connection of one DC main cable. For direct string connections the classification could be F-I-AFPE-1-4-1 and for the main cable connection the classification could be P-I-AFPE-6-1-1.

AFPE may provide input ports with different ratings (e.g. number of strings per input port, current rating). In this case the tests shall be performed in the worst-case configuration.

4.2 Protection coverage

The protection coverage defines which circuits and components of the PV system are covered by the AFD or AFPE.

Two types of classifications are defined, see Table 1.

Table 1 – Classification of protection coverage

System	Code	Description
	F	Arc fault protection is provided from the PV modules up to the inverter input terminals. (Full coverage)
	P	Arc fault protection is provided from the PV modules up to the parallel connection of the strings. No arc fault protection is provided for wiring between the parallel connection and the inverter input terminals. (Partial coverage)

NOTE Typically full coverage (F) is hard to achieve for high currents in DC main cables. Also, the 750 J protection threshold may be difficult to achieve because of the high currents and the physical limits in interruption times. Fire hazard protection may be provided by means of installation.

4.3 Method of implementation

4.3.1 PCE integrated device (I)

The AFPE is implemented within a PCE connected to the PV array and makes use of the housing and terminals of the PCE.

4.3.2 Stand-alone device (S)

The AFPE is a single device, that works independently and makes use of its own enclosure or other dedicated enclosures.

4.3.3 Distributed detection system (D)

The AFPE comprises more than one device. The devices may be stand-alone devices or integrated within a PCE.

4.4 Functionality

4.4.1 AFPE: Detection and interruption capability provided

The device incorporates AFD and AFI for full AFPE functionality.

4.4.2 AFD: Only detection / no interruption capability provided

The device only detects the arc. An AFD without a dedicated AFI does not fulfill the requirements of an AFPE according to this document. Such devices may be used to indicate arc events, e.g. in connection with a fire alarm system.

4.5 Number of monitored strings (S)

4.5.1 Single string

The AFD or AFPE are designed in a way that only one string of the array or one module may be connected to one input port for detection and, in the case of AFPE, interruption.

4.5.2 Parallel string

The AFD or AFPE are designed in a way that multiple strings or modules may be connected for detection and, in the case of AFPE, interruption. The maximum number of strings for one input port shall be defined by the manufacturer. Parallel strings may be connected directly to the device or at a junction external to the device.

NOTE Refer to Annex A for various string configurations.

4.6 Number of input ports (I)

An AFD or AFPE may be provided with one or more input ports per monitored channel. In case of more than one input port typically the maximum arc current is lower than the rated sensing current of the channel. The number of input ports per channel shall be defined by the manufacturer, together with the maximum rated current per input port (I_{pA}).

Parallel connection of strings outside the equipment enclosure or cabinet are not considered input ports.

NOTE Refer to Annex A for various input configurations.

4.7 Number of monitored channels (C)

4.7.1 Single channel

The AFD or AFPE is designed in a way that only one sensing channel is provided to detect arcs.

4.7.2 Multi channel

The AFD or AFPE has two or more independent sensing channels to detect arcs. The number of channels shall be defined by the manufacturer.

NOTE Refer to Annex A for various channel configurations.

4.8 Reconnection method

4.8.1 General

Installation standards can choose from the following reconnection methods in order to define adequate response requirements after arc interruption by the AFPE.

4.8.2 Manual reconnection

After arc interruption the reconnection can only be performed manually.

4.8.3 Remote manual reconnection

After arc interruption the reconnection can be performed via remote access to the AFPE.

4.8.4 Automatic reconnection

After arc interruption the AFPE provides means to automatically reconnect following measures described in 8.1.4.4.

5 Ratings of AFPEs and AFDs

5.1 General

This clause identifies the ratings to be defined for AFPEs and AFDs by their classification. These ratings impact the selection of tests to be performed according to this document.

For integrated AFPEs correlations between the AFPE ratings and product ratings are described.

5.2 PCE integrated AFPEs and AFDs

5.2.1 Rated and limiting values

5.2.1.1 Rated channel current

The maximum rated detection current of a channel.

5.2.1.2 Maximum current per input port

The maximum rated current an input port can carry.

For PCE the maximum current per input port corresponds to the maximum power point (MPP) current of the related input port. This current may be limited by a power conversion stage or a terminal rating.

5.2.1.3 Rated interruption current

The maximum rated DC current the PCE is able to interrupt.

NOTE For PCE integrated AFPE the maximum rated interruption current typically corresponds to the I_{pA} of the PCE. Although for inverters interruption may be provided by the AC bridge or on the AC side, the current is defined by I_{pA} .

5.2.1.4 Other ratings

Other ratings of the AFPE or AFD correspond to the input characteristics of the PCE according to IEC 62109-1.

5.3 Stand-alone AFPEs and AFDs

5.3.1 Rated and limiting values

5.3.1.1 General

Rated values are assigned by the manufacturer. They shall be stated in accordance with IEC 60947-1, however it may not be necessary to establish all of the rated values listed.

5.3.1.2 Rated voltages

5.3.1.2.1 Rated operational voltage (U_e)

Subclause 5.3.1.1 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.1.2.2 Rated insulation voltage (U_i)

Subclause 5.3.1.2 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.1.2.3 Rated impulse withstand voltage (U_{imp})

Subclause 5.3.1.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

5.3.1.3 Currents

5.3.1.3.1 General

AFPE is defined by the following currents.

5.3.1.3.2 Rated channel current

The maximum rated detection current of a channel.

5.3.1.3.3 Maximum current per input port

The maximum rated current an input port can carry.

This current may be limited by a terminal rating.

5.3.1.3.4 Rated interruption current

The maximum rated DC current the AFI or AFPE is able to interrupt, usually corresponding to the breaking current as described in IEC 60947-1:2020.

5.3.1.4 Rated duty

Subclause 5.3.5 of IEC 60947-3:2020 applies.

NOTE In most cases AFPEs either fall under IEC 60947-3:2020, 5.3.5.2, 8 h duty or 5.3.5.3, uninterrupted duty.

5.3.2 Utilization category

Stand-alone AFPEs shall be rated either DC-PV1 or DC-PV2 according to IEC 60947-3:2020.

NOTE The selection depends on the location in the system.

6 Product information

6.1 General

AFPEs and AFDs may be designed in many different ways. Table 2 defines a classification of various products. It shall be used to distinguish the different designs by indicating the different parameters, separated by '-'.

Table 2 – Combined classification of AFPEs and AFDs

Protection coverage (according to 4.2)	Method of implementation (according to 4.3)	Functionality (according to 4.4)	Monitored strings (according to 4.5)	Input ports (according to 4.6)	Monitored channels (according to 4.7)
- Full coverage (F) - Partial coverage (P)	- Integrated (I) - Stand-alone (S) - Distributed (D)	- AFPE - AFD	Number of strings	Number of input ports	Number of monitored channels

NOTE Following Table 2, an integrated AFPE providing full coverage for 4 monitored strings with 1 input port and one monitored channel will be characterized by F-I-AFPE-4-1-1.

The documentation of the product shall include information how to install the equipment correctly to comply with the provided classification.

6.2 PCE integrated devices

IEC 62109-1 applies with the following additions.

In addition to the relevant product information according to IEC 62109-1:2010, Clause 5, the following information shall be provided.

- Protection coverage (F for "full" or P for "partial")
- Method of implementation (D for "distributed" or I for fully "integrated" systems)
- Maximum number of strings per input or input port (derived from number of channels and maximum number of monitored strings per channel)
- Reconnection method
- Functionality (AFD, AFPE).

In addition to the marking and documentation requirements described in IEC 62109-1:2010, 5.1, Table 3 requirements apply.

Table 3 – Marking and documentation requirements

	Marking or information item	Visible on product when installed	In a manual
a	Classification according to Table 2	x	x
b	Reconnection method		x

6.3 Stand-alone devices

6.3.1 Nature of information

Subclause 6.1 of IEC 60947-1:2020 applies as appropriate for a particular design with the following additions.

- Protection coverage (F for "full" or P for "partial")
- Method of implementation (D for 'distributed' or S for stand-alone device)
- Maximum number of strings per input or input port (derived from number of channels and maximum number of monitored strings per channel).
- Functionality (AFD, AFPE)
- Rated interruption current (where applicable)
- Reconnection method
- Information regarding compatibility with specific PCE models and other components according to 8.3 and 9.2.1.

6.3.2 Marking

Subclause 6.2 of IEC 60947-1:2020 applies as appropriate for characteristics defined in Table 4.

Table 4 – Requirements for documentation, marking and position of marking

	Marking or information item	Position of the marking or information		
		Visible on product when installed	On the product	In a leaflet
a	Classification according to Table 2	x	x	x
b	Rated current	x	x	x
c	Maximum number of strings per input or input port		x	x
d	Orientation		x	x
e	Reconnection method			x
f	Information regarding compatibility			x

6.3.3 Instructions for installation, operation and maintenance

Subclause 6.3 of IEC 60947-1:2020 applies.

7 Normal service, mounting and transport conditions

7.1 PCE integrated AFPEs

For PCE integrated AFPEs the normal service, mounting and transport conditions of IEC 62109-1 apply.

In case a manual test function is incorporated, the frequency of manual operation shall be stated in the product manual.

7.2 Stand-alone AFPEs

Clause 7 of IEC 60947-1:2020 applies with the following addition.

Unless otherwise stated by the manufacturer, the equipment is intended for installation under environmental conditions of pollution degree 3.

In case a manual test function is incorporated, the frequency of manual operation shall be stated in the product manual.

8 Construction and performance requirements

8.1 General requirements for PCE integrated AFDs/AFPEs and stand-alone AFDs/AFPEs

8.1.1 General

This clause defines requirements which are identical for PCE integrated AFDs/AFPEs and stand-alone AFDs/AFPEs. Additional specific requirements are included in 8.2 and 8.3.

8.1.2 Construction requirements

8.1.2.1 Annunciator of arc fault events

AFDs and AFPEs shall be provided with an annunciator (local or remote) that provides a visual indication that the device has operated when an arc fault is detected.

Where the reconnection is required to be performed manually, this indication shall not reset automatically. This applies to manual reconnection, remote manual reconnection and also in case automatic reconnection after the fifth interruption within a 24 h period.

8.1.2.2 Programmable circuit components

Any circuit that employs a programmable circuit component shall comply with IEC 61508, IEC 60730-1:2013, Annex H or IEC 62109-1:2010, Annex B.

8.1.3 Operation in case of series arc fault event

The AFD shall detect the arc within 2,5 s or before the arc energy exceeds 750 J, whichever occurs first.

The AFPE shall detect the arc and interrupt it within 2,5 s or before the arc energy exceeds 750 J, whichever occurs first.

If the AFPE can extinguish the arc before exceeding 200 J and within 2,5 s, then annunciation of an arc detection is not required. Those events are not considered disconnection and therefore reconnection requirements according to 8.1.4 do not apply.

The arc energy is measured during testing for the arc itself. The DUT is not required to measure the arc energy, neither during testing nor in field operation.

Annunciation of arcs below 200 J are not required for technical reasons but can provide useful information for the operator to raise his attention and should be provided where possible.

8.1.4 Reconnection capability of AFPE

8.1.4.1 General

After detecting an arc the circuits shall remain interrupted even in case of loss of power supply. For restart the following restart methods apply.

8.1.4.2 Manual reconnection

To restart the AFPE and close circuits a manual procedure is required (button or external signal, triggered by manual operation on-site). This manual procedure requirement shall be maintained after loss of supply power to the AFPE.

NOTE The intended use for manual restart is where the operator prefers a system inspection before reconnection.

8.1.4.3 Remote manual reconnection

To restart the AFPE and close circuits a manual procedure is required (button or external signal, triggered by manual operation on-site or remote activation). This manual procedure requirement shall be maintained after loss of supply power to the AFPE.

NOTE The intended use is where a PV system is under supervision via remote control and the operator prefers to check the system remotely before reconnection.

8.1.4.4 Automatic reconnection

Adjustable automatic reconnection times are allowed for compliance with local installation standards or owner/operator preferences, provided that a minimum reconnection delay is ensured. In case the reconnection times are adjustable, this shall be done via adjustable setup parameters or manual switches (e.g. rotary switches).

NOTE The intended use for adjustable settings is to allow more sensitive arc fault detection where deemed appropriate, and to enable system checks to differentiate between nuisance tripping and real arcs.

To restart the AFPE no manual procedure is required if a minimum interruption time of 5 min is ensured before continuing operation of the array.

When interrupting the fifth time within a 24 h period, the AFPE is only allowed to be reset manually according to 8.1.4.2 or 8.1.4.3 before the AFPE does reconnect. Afterwards the AFPE may return to automatic reconnection mode.

8.1.5 Self-test function

AFDs and AFPEs shall be provided with a manually or an automatically initiated test function or both that allows for regular checks of the arc detection circuit.

The test function shall

- simulate an arc such that the arc detection circuit or software is caused to detect the simulated arc, or
- perform another safety check routine such that a fault in the arc detection circuit or software is detected.

The manual test function shall allow for periodic testing of the device by manual means that does not require the use of a tool or key. For an AFD a successful test shall be indicated after manual initiation.

An AFD or AFPE may be provided with a means to actuate the test remotely. If such a feature is provided, a remote visual indication of the results of the test and the means for remote manual reset shall be provided.

The automatic test function shall be performed before starting operation and at least once in a 24 h period.

During automatic testing the AFPE is not required to interrupt.

In case of manual test, the AFPE shall interrupt.

In case a malfunction of the AFD or AFPE is detected during the manual or automatic test, the AFD shall indicate the fault and the AFPE shall interrupt and indicate the fault according to 8.1.2.1.

8.2 PCE integrated AFDs and AFPEs

For PCE integrated AFDs and AFPEs, the normal service, mounting and transport conditions of IEC 62109-1:2010 with the additional requirements defined under 8.1 apply.

8.3 Stand-alone AFDs and AFPEs

Stand-alone AFDs and AFPEs shall comply with 8.1 of IEC 60947-1:2020 in addition to the requirements described below and in 8.1. Stand-alone AFPEs shall also comply with 8.1 of IEC 60947-3:2020.

AFDs and AFPEs shall be compatible with the PCE and their power line communication devices. AFD and AFPE functionality shall not be compromised by the PCE or power line communication.

9 Tests

9.1 General

The tests defined in this clause are broadly applicable to all AFD and AFPE devices. Additional specific requirements apply as follows:

- Stand-alone AFDs and AFPEs: Clause 9 of IEC 60947-1:2020.
- Stand-alone AFPEs: IEC 60947-3:2020.
- PCE integrated devices: Clause 4 of IEC 62109-1:2010.

9.2 Series arc fault test

9.2.1 General

The general test set up consist of 6 major elements:

- Arc generator
- DC source
- Decoupling network
- Impedance network
- Device under test (DUT)
- Load.

The AFD and AFPE may be used within different array topologies. To ensure that detection is achieved in all application cases defined by the manufacturer, different test scenarios shall be applied. The major distinctions are related to:

- single string case;
- parallel string case;
- single channel case;
- multi-channel case;
- single module case.

Accordingly, the AFD and AFPE shall be tested for all applicable scenarios following the procedures described below. Annex A provides illustrative examples for setting up the different test cases.

NOTE 1 This document can be applied to systems including overcurrent protection devices and blocking diodes.

The detection capability of stand-alone devices shall not be compromised by expected internal or external interference.

Therefore, the compliance of stand-alone and distributed AFPEs and AFDs to this document shall only apply to the combination of the specific PCE models with which the devices have been tested.

NOTE 2 Switch mode PCEs generate electromagnetic noise during operation. Experience has shown that the detection of arcs can be affected by this interference.

NOTE 3 Nuisance tripping is not a safety issue but rather a quality concern for AFD and AFPE. Simulating cloud movement of e.g. 300 W/m²/s based on Clause B.3 of IEC 62891:2020 and startup/shutdown tests according to Clause B.4 of IEC 62891:2020 may help to reveal device susceptibilities to nuisance tripping in actual installations.

9.2.2 Arc generator

The arc generator shall consist of tungsten alloy ball-ring electrodes and a movable slide as illustrated in Figure 1 and Figure 2. The test is initiated with the electrodes in contact with each other (shorted) and then separated at a controlled rate to the specified gaps defined in Table 5. The positive pole of the test circuit shall be connected to the ring of the assembly shown in Figure 1.

Special care shall be taken to a correct positioning of the electrodes to each other in order to achieve a contact area over the full circumference.

Figure 2 defines the relevant dimensions for the electrodes. Parts of the drawing where no dimensions or requirements are defined are considered not to influence the outcome of the test. For these locations individual design and dimensions are allowed for supporting mounting means like brackets or screws

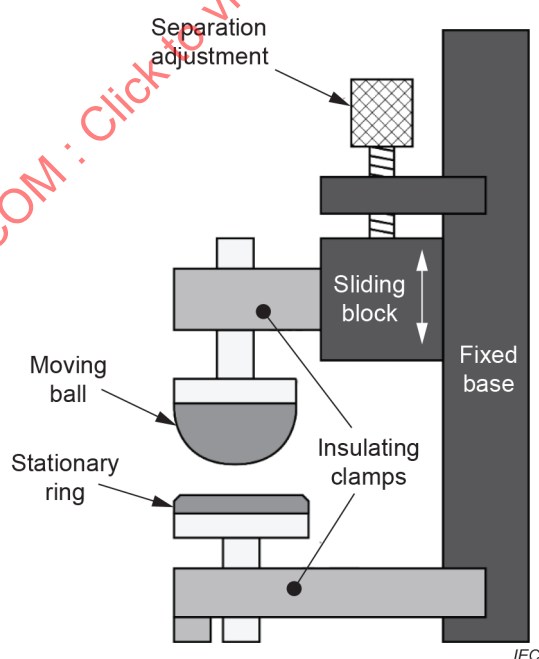
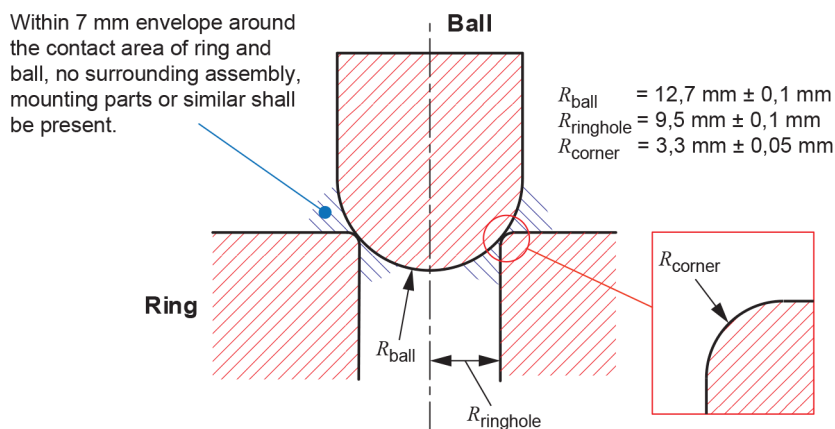


Figure 1 – Schematic of the arc generator



Surface finish: All ball and corner surfaces of the ring, roughness min. 0,1 μm (polished).
 Material: Class 1 tungsten nickel copper alloy (90 % tungsten, 10 % nickel copper)

Figure 2 – Dimensions of arc generator electrodes

9.2.3 DC source

9.2.3.1 General

The source required for testing shall consist of a DC power source, either:

- a constant voltage source with additional resistance to simulate PV specific IV-characteristics, or
- a PV simulator. Since a PV simulator may produce unwanted tripping or may inhibit the AFPE from detecting arcing, reference tests should be made using a suitable array of PV modules when deemed necessary.

9.2.3.2 Constant voltage source

Where tests are specified to be conducted at maximum power, the DC source shall be adjusted for its Maximum Power Point (MPP) as follows:

- a) The constant voltage of the supply shall correspond to the V_{OC} as defined in Table 5.
- b) The current limitation of the source shall be set to 1,1 times the I_{mpp} value given in Table 5.
- c) R_{tot} shown in Table 5 shall be used to calculate R_1 and R_2 (see 9.2.3.4) following the formula $R_1 = R_2 = R_{tot} / 2 \times k - R_3$. Where k represents the number of decoupling or PV-networks used within one string. E.g. two half strings $k = 2$, full string $k = 1$.

9.2.3.3 PV simulator

Where tests are specified to be conducted at maximum power, the PV simulator shall be adjusted for its Maximum Power Point (MPP) as described in Table 5, with the short circuit current value set to 1,1 times the I_{mpp} value.

For all tests using a PV simulator, the resistance values $R_1 = R_2 = 0$.

9.2.3.4 Decoupling network

The network decouples the source and the DUT to avoid potential influence on the test. It shall be designed according to the topology shown in Figure 3. The parameters for the respective components shall be calculated according to Annex B.

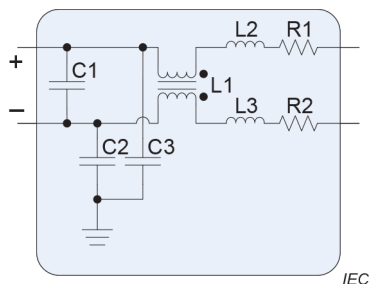


Figure 3 – DC source decoupling network

9.2.4 Array line impedance network

The DUT shall be connected to the DC source and the arc generator using a network which accounts for the various line impedances found in different array configurations. The general layout of the network is shown in Figure 4.

The parameters of the components of the line impedance network for the specific application cases are further specified in Annex B.

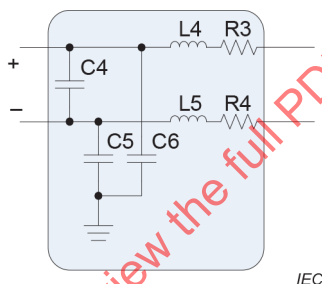


Figure 4 – Array line impedance network

NOTE The array line impedance network is parameterized to reflect typical PV field installations. Nevertheless, the array impedances depend on numerous factors such as module technology, length and routing of the DC cabling, etc. A robust AFD may be achieved by in-field arc fault tests in many different PV installations or by recording DC and high frequency noise signals during field tests and replaying them later on a DUT.

9.2.5 Line impedance network

Cabling between a PV string combiner or DC/DC converter and an inverter is not covered by the array line impedance network and shall be simulated by an additional line impedance (Figure 5).

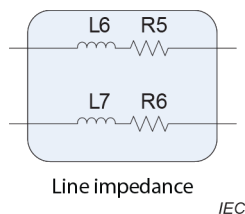


Figure 5 – Line impedance network

The parameters of the components of the line impedance are specified in Annex B.

9.2.6 Test procedure

Table 5 lists all arcing test conditions. The applicable test conditions shall be selected based on the DUT ratings and the test configurations. The maximum rated current per input port I_{pA} is used to select suitable tests. The I_{pA} is defined either by the maximum input current of the DUT or the maximum input current per channel or the current at maximum power point of the PCE or a single input stage of the PCE.

In the situation where the classification is partial coverage, the maximum arc current cannot directly be referred to the I_{pA} . In this case the arcing current needs to be selected according to the sub string currents. As an example, use 15 A as illustrated in Figure 6b).

Table 5 – Arcing test conditions

Test	Minimum I_{arc}	I_{mpp}	Sep. rate	V_{mpp}	V_{oc}	R_{tot}	Gap
#	A*	A	mm/s	V	V	Ω	mm
1	2,5	3,0	2,5	312,0	480,0	56,0	0,8
2	7,0	8,0	5,0	318,0	490,0	21,0	0,8
3	14,0	16,0	5,0	318,0	490,0	11,0	1,1
4	7,0	8,5	5,0	607,0	810,0	24,0	2,5
5	$0,9 \times I_{pA}$	I_{pA}	5,0	318,0	490,0	$(V_{oc} - V_{mpp}) / I_{pA}$	2,5
* Values given shall provide an indication of currents that likely occur. The actual value depends on several factors.							

Tests 1 to 5 shall be performed as follows:

For testing purposes, the applicable number of full string models defined in B.1.2 shall be connected in parallel. Alternatively, a full string model and a parallel string model may be used, where n in the parallel string model is defined by the input port current divided by 10 A. The value of n shall be rounded up to the nearest integral value. If the DUT is not able to operate at 318 V, the closest possible voltage shall be used. See also Note 4 in B.1.2.

Test 1: This test shall be applied to all DUTs. In case there is an uncertainty whether a low current arc was extinguished by the AFPE or by an inadequate test setup, the test setup including the DC source settings shall be reviewed and the result of the review shall be documented.

NOTE 1 This test is intended to address low currents at which arcs become possible to form.

Test 2: This test shall be applied where the maximum rated current per input port of the DUT is 8 A or higher.

Test 3: This test shall be applied where the maximum rated current per input port of the DUT is 16 A or higher.

Test 4: This test shall be applied where the maximum input voltage of the DUT is 810 V or higher.

Test 5: This test shall be applied where the maximum rated sensing current of a single channel of the DUT is 24 A or higher and where the maximum arcing current is not limited by the input ratings of the DUT to less than 24 A (see Figure 6). Test 5 is intended especially for detecting arcs on the main cable of systems where the parallel connection of PV strings is external to the device or equipment enclosure.

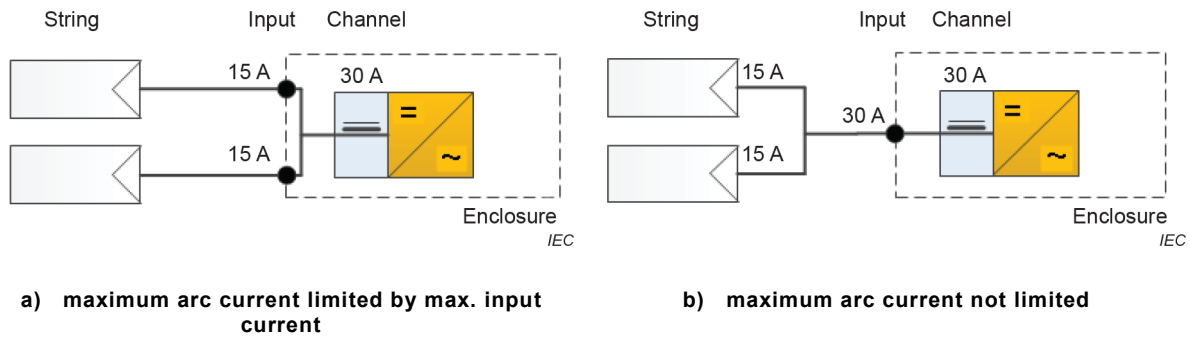


Figure 6 – Limitation input current

For tests 1 through 3 and 5 the following applies: If the maximum rated voltage of the DUT is less than the value for V_{OC} in Table 5, V_{OC} shall be replaced by the maximum rated voltage of the DUT, and V_{mpp} shall be replaced by 0,65 times the maximum rated voltage.

For tests 1 through 5 the following applies: If the minimum V_{mpp} of the DUT is higher than the value for V_{mpp} in Table 5, V_{mpp} shall be replaced by the minimum V_{mpp} of the DUT. V_{OC} is then calculated by V_{mpp} divided by 0,65.

For configurations with parallel modules or strings the current for the parallel strings in the parallel test setup shall be calculated as follows:

Test 1: $I_{T1} = (n-1) \times 3 \text{ A}$

In case the calculated current of the parallel non-arcing strings I_{T1} plus 3 A is higher than the maximum arcing current of the DUT, the parallel non-arcing current shall be reduced such that the total current matches the input of the DUT.

NOTE 2 As an example, for $n = 6$ the calculation will result in 15 A as parallel current. The total current, including the arc current of 3 A, will be 18 A. The input current of the DUT is limited by ratings to a maximum of 15 A, which is equal to the maximum arcing current. In this case the parallel current for test 1 will be reduced to 12 A.

Test 2: $I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A}$ for input setup

$I_{T2} = (m-1) \times I_{input}$ for output setup

For DUTs with multiple inputs per Channel the calculated parallel current for Test 1 and 2 shall be divided between the inputs according to the product classification (see Clause 4) and with respect to the maximum input current limits per input port. Refer to Annex C for examples for applying the parallel current and its distribution over several inputs.

where

- n is the number of strings per channel;
- m is the number of input ports per channel;
- I_{ch} is the maximum current per channel;
- I_{input} is the maximum current per input port;
- I_{T1} or I_{T2} is the current of the parallel non-arcing strings.

NOTE 3 For detailed definition of input, output and parallel setup refer to Annex B and Annex D.

For test 3 and test 5 the currents from the DC sources can be differentiated according to the number of represented strings per DC source.

Test 4 is not required to be tested with parallel test configurations.

For string output test configurations (Figure B.16 to Figure B.18) the following applies:

- Where constant voltages are present in the output circuit the tests shall be performed using the arc current values defined in Table 5.
- The maximum output current of the DC/DC converter is considered the maximum input current of the DUT for selection of applicable test according to Table 5.

For module level input test setups (Figure B.11 to Figure B.15) the maximum input current of the DC/DC converter is considered the maximum input current of the DUT for the purpose of selecting the applicable tests from Table 5.

The arc generator shall be positioned as shown in the applicable figures in Annex B.

In general, the arc generator shall be positioned close to the PV terminal (positive or negative) of the DUT that creates the most severe condition. If more than one PV module can be connected in series to the DUT input, an additional test shall be performed with the arc generator in the middle of the series connected modules.

As two different values of parameter C4 are defined in Table B.2 each test (arc-gap and current combination) results in two test runs. Testing may be reduced to the worst-case scenario. To determine the worst-case scenario five measurements at each of the two values for C4 shall be conducted with selected test setups. The capacitor value resulting in the highest average detection time shall represent the worst case.

Each test run shall be performed two times.

For multi-channel devices each channel shall be tested according to the single channel setups. Where the same hardware and software modules are used for each channel, the number of tests may be reduced as follows: Test one channel according to the full set of applicable tests required for one channel. Test the remaining channels only with the most adverse arc location determined in the original tests, evaluated according to highest average arc energy or longest detection time.

9.2.7 Arc energy and response time measurement

The voltage across the arc gap, the arc duration, and the current through the arc shall be measured and recorded. These measurements are then used to calculate the total energy generated by the arc prior to detection or interruption. For arc duration measurements,

- The arc period for AFPEs begins when the arc voltage reaches 10 V and ends when the arc current falls below 250 mA.
- The arc period for AFDs begins when the arc voltage reaches 10 V and ends at the indication of an arc event.

9.2.8 Self-test function

9.2.8.1 General

The test function of the AFD or AFPE is required to demonstrate the operational readiness of the AFD or AFPE during operation. Two cases shall be evaluated here, 'test function without malfunction of the AFD or AFPE' and 'test function with malfunction of the AFD or AFPE'. The first case defines the normal operation of the DUT where 'test function with malfunction of the AFD or AFPE' defines a case which has to be constructed by manipulation of the device.

9.2.8.2 Test function without malfunction of the AFD or AFPE

For an AFPE providing a manual test function, the test shall be initiated and the interruption shall be verified.

For an AFD providing a manual test function, the test shall be initiated and the indication of the successful test shall be verified.

9.2.8.3 Test function with malfunction of the AFD or AFPE

9.2.8.3.1 Detection malfunction

A fault shall be introduced into the AFD or AFPE in a way to cause a malfunction of the detection mechanism.

The test function shall be initiated and the malfunction of the detection mechanism shall be indicated.

9.2.8.3.2 Automatic test function before starting operation

The AFD or AFPE shall be modified in a way to cause a malfunction of the AFD or AFPE detection.

The operation of the AFD or AFPE shall be initiated and the indication of a malfunction shall be verified.

9.2.8.3.3 Automatic test function during operation

A fault shall be introduced into the AFD or AFPE in a way to cause a malfunction of the detection mechanism during operation.

It shall be verified that the AFD or AFPE indicates a malfunction within 25 h.

NOTE The pass/fail criteria of 25 h allows for tolerances on the 24 h timer.

9.2.9 Reconnection test

9.2.9.1 Manual reconnection

After arc-fault interruption, the AFPE shall neither reconnect automatically nor shall remote reconnection be possible.

Compliance shall be demonstrated by tripping the AFPE three times.

9.2.9.2 Remote manual reconnection

After arc-fault interruption, the AFPE shall not reconnect automatically.

Compliance shall be demonstrated by tripping the AFPE three times.

9.2.9.3 Automatic reconnection

After arc-fault interruption, the AFPE shall reconnect automatically within the limitations described in 8.1.4.4.

Compliance shall be demonstrated by tripping the AFPE at least five times within a 24 h period to demonstrate the manual reconnection state.

Annex A (informative)

String and channel examples

A.1 General

The following schematics illustrate the range of string and channel examples of AFPEs and AFDs, see Figure A.1, Figure A.2, Figure A.3, Figure A.4, Figure A.5 and Figure A.6.

A.2 PCE integrated AFDs and AFPEs

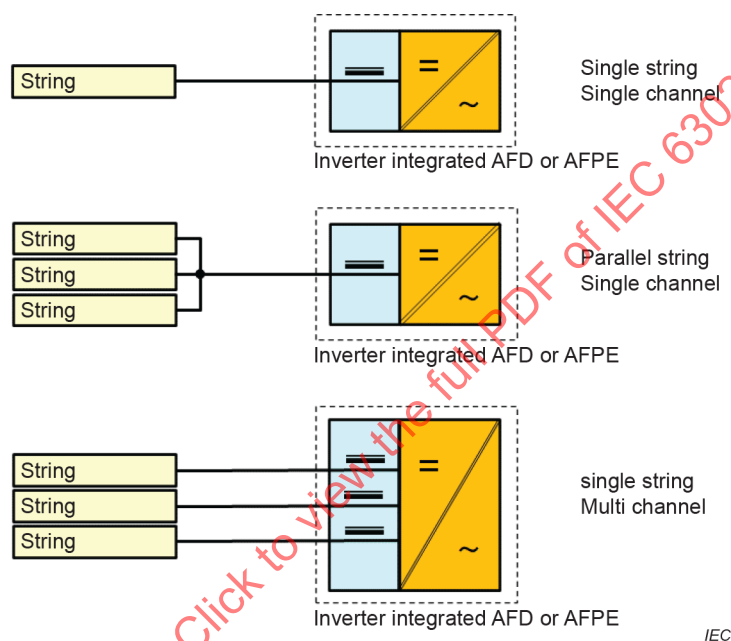


Figure A.1 – Schematic of string setting of PCE integrated AFDs and AFPEs

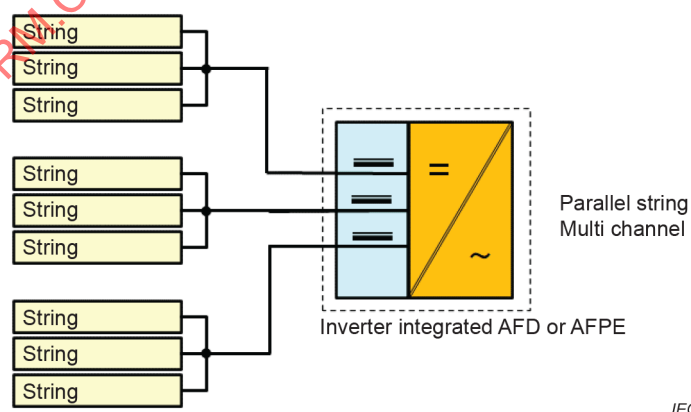


Figure A.2 – Schematic of parallel setting of PCE integrated AFDs and AFPEs

A.3 Stand-alone AFPEs

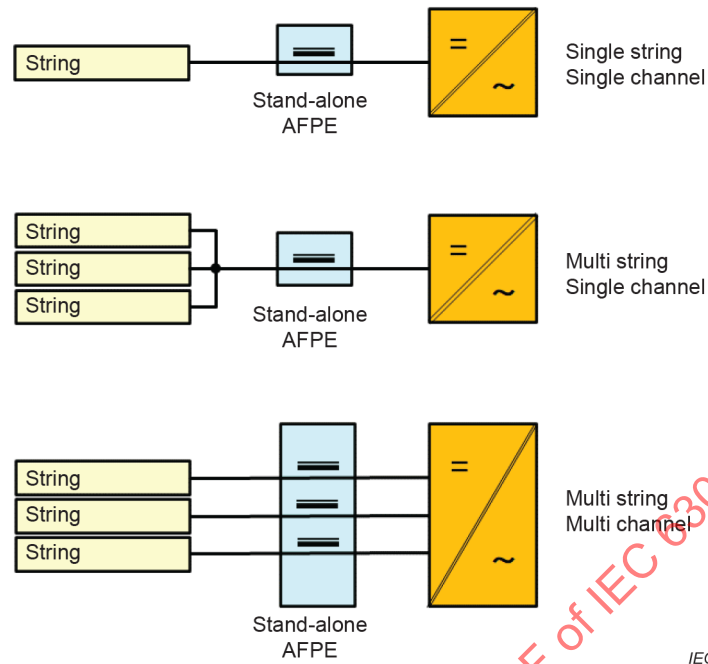


Figure A.3 – Schematic of string setting of stand-alone AFPEs

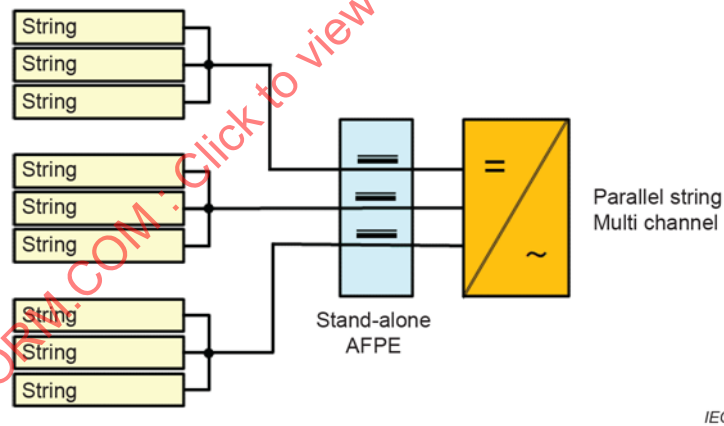


Figure A.4 – Schematic of parallel setting of stand-alone AFPEs

A.4 Distributed AFPEs

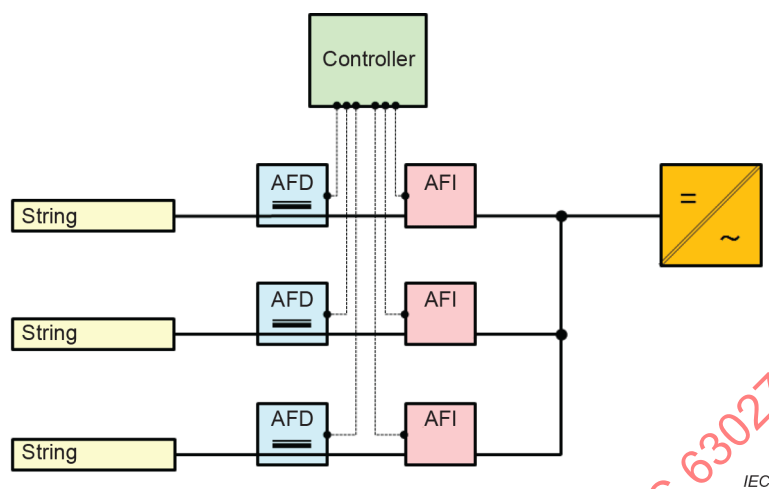


Figure A.5 – Schematic of single string, single channel distributed AFPEs

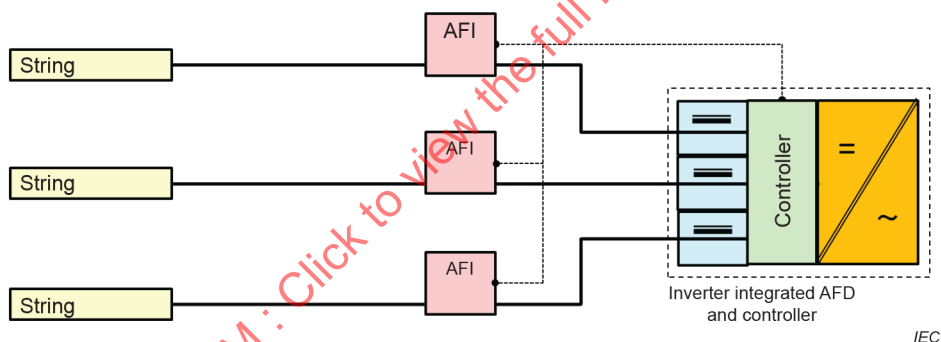


Figure A.6 – Schematic of single string, single channel
(Inverter integrated AFD and controller)

Annex B

(normative)

Test setups following different application cases

B.1 General

B.1.1 Overview

This annex gives an overview of the different test setups for AFPE and provides guidance for selecting the appropriate test setups based on the equipment classifications.

Subclause B.1.2 defines the PV source models that are used in the different test setups.

Clauses B.2, B.3 and B.4 define test setups for typical application cases for string inverter, micro-inverter and DC/DC converter-based systems. Clause B.5 mainly defines setups for systems where AFPE is integrated within combiner boxes or where strings are otherwise combined external to the AFPE devices. Clauses B.4 and B.5 differentiate between input and output setups. This differentiation is not necessarily related to the location of the AFD or AFPE within the system. Instead, it refers to the transition point where DC/DC conversion or parallel connection leads to different arcing scenarios. For Clause B.4 the transition point for input and output is the DC/DC converter, for Clause B.5 the transition point is the combiner.

Test setups according to Clause B.2 (Figure B.3, Figure B.4 and Figure B.5) shall be performed for AFPE with method of implementation classified as I for:

- Inverter integrated AFPE, except micro-inverters
- Stand-alone AFPE with one input port per channel.

NOTE Stand-alone AFPEs with more than one input port are covered by test setups defined in Clause B.5.

Test setups according to Clause B.3 (Figure B.6, Figure B.7, Figure B.8, Figure B.9 and Figure B.10) shall be performed for AFPE with system integration classified as I for:

- Micro-inverter integrated AFPE.

Test setups according to Clause B.4 (Figure B.11, Figure B.12, Figure B.13, Figure B.14, Figure B.15, Figure B.16, Figure B.17 and Figure B.18) shall be performed for AFPE with system integration classified as I or D for:

- AFPE for DC-DC converter systems.

Test setups according to Clause B.5 (Figure B.19, Figure B.20, Figure B.21, Figure B.22 and Figure B.23) shall be performed for AFPE with system integration classified as S for:

- AFPE integrated in combiner boxes
- Stand-alone AFPE with more than one input port per channel.

B.1.2 PV source models

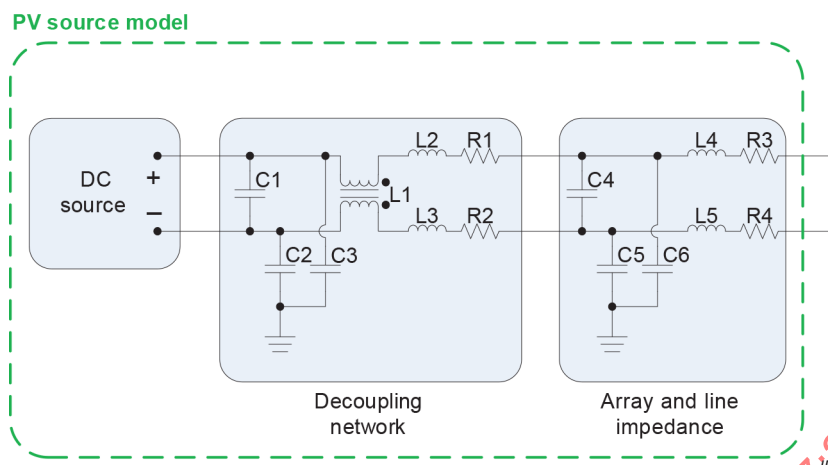


Figure B.1 – PV source model

The PV source model represents the combination of DC source, decoupling network and array and line impedance (see Figure B.1). Depending on the application and the test setup, four different PV source models are defined with the respective parameter values for the LRC components in Table B.1 and Table B.2:

- (1) Half string model.
- (2) Full string model.
- (3) Module based model.
- (4) Parallel string model.

In the following test setups placeholders for the PV source model are indicated with the respective numbers of the required PV source model. They are used in Clauses B.2, B.3, B.4 and B.5 in different settings in order to reflect the different application cases.

Table B.1 – General LRC component parameters

Parameter	Value	Comment
	(All test setups)	
$C1$	Min. 20 μF	Value shall dominate the output capacity of the DC source
$C2, C3$	22 nF	
$L1$	12 mH	Common Mode (CM)-Filter, minimal DC flux
$L2, L3$	Min. 60 μH	Saturation at high currents or frequencies shall be avoided
$R1, R2$	$(R_{\text{Tot}} / 2 \times k) - R3$	k : Number of decoupling networks
$L6, L7$	30 μH	Air core; values for line impedance defined in 9.2.5
$R5, R6$	0,4 Ω	Wire resistance; values for line impedance defined in 9.2.5

Table B.2 – LCR component parameters for different module configurations

Parameter	Half string	Full string	Module level	Parallel strings	Comment
$C4$	300 nF and 20 μ F	150 nF and 10 μ F	1,5 μ F and 100 μ F	150 nF $\times (n-1)$ and 10 μ F $\times (n-1)$	See note 3
$C5, C6$	0,5 nF	1 nF	100 pF	1 nF $\times (n-1)$	
$L4, L5$	25 μ H	50 μ H	3 μ H	50 μ H / $(n-1)$	Saturation at high currents or frequencies shall be avoided, L4 + L5: approximately 0,75 μ H / m approximately 4 μ H / module
$R3, R4$	Max. 0,5 Ω	Max. 1 Ω	Max. 0,5 Ω	Max. 1 Ω	

Nominal component parameters of resistors and inductances shall be within a 10 % range of the values demanded in Table B.1 and Table B.2. Nominal component parameters of capacitors shall be within a 20% range of the demanded values.

The parameter values are critical over a wide frequency range. The nominal value of all inductances shall be measured at 10 kHz and shall not decrease by more than 40 % at 300 kHz

NOTE 1 The n in the parallel strings column equals the maximum number of parallel strings that can be connected to one channel of the DUT. As an example, if there are a total of 8 strings being monitored by a single AFPE, a series arc fault test with a parallel string setup has to be conducted and $n-1$ would equal 7.

NOTE 2 Connecting several half string or full string models including DC source, decoupling network and array line impedance network in parallel will also form a parallel string model.

NOTE 3 Two values are given for $C4$ to represent different framing and module technologies, whereby no combination of different frame and module technologies needs to be tested. Depending on the AFD one of these values may pose a worst-case scenario.

NOTE 4 The parameters for the full string column in Table B.2 represent a string with 10 modules with approximately 10 A. Using the same parameters for significantly higher currents leads to a mismatch with respect to the realistic impedances of typical strings. This also applies to the parallel string.

NOTE 5 Resistors with high stray inductances may reduce arcing signals at high frequencies more than intended by the parameter setting of Table B.2.

NOTE 6 The parameters for the full string column in Table B.2 represent a total conductor length of 80 m.

B.1.3 Flow chart for test selection

The applicable test cases relevant for testing shall be selected according to the flow chart in Figure B.2. All possible configurations shall be taken into account to find all required test set-ups. As a result, it may be necessary to go through the flow chart several times.

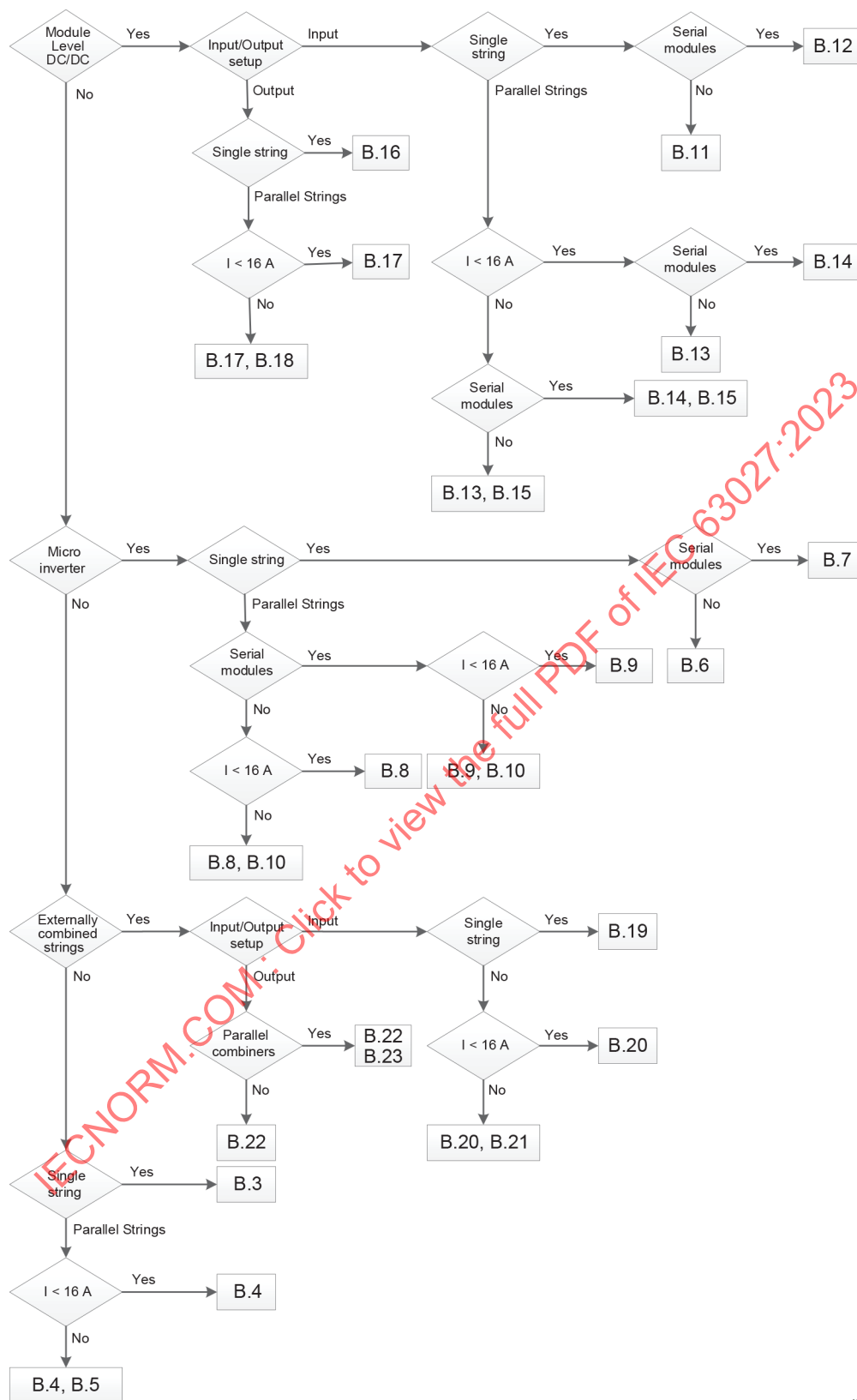


Figure B.2 – Flow chart to select applicable test cases

B.2 Application string inverter

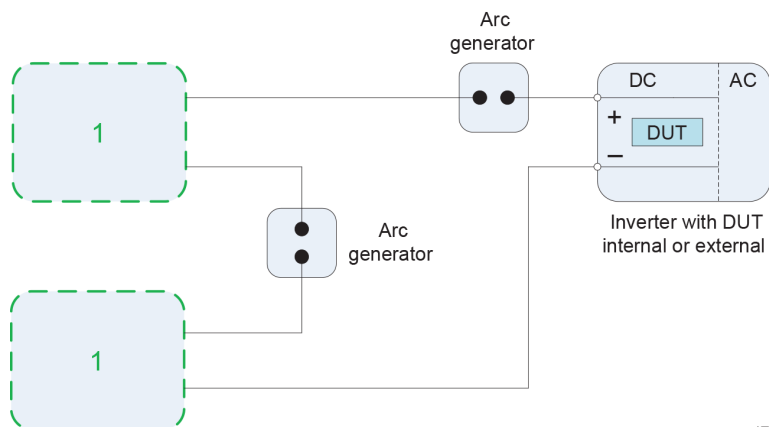


Figure B.3 – Single string test setup (tests 1, 2, 4)

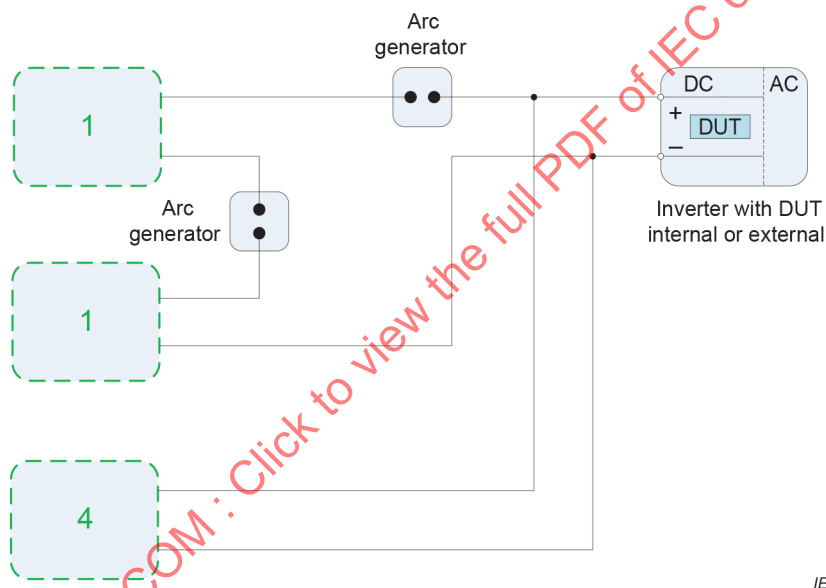


Figure B.4 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)

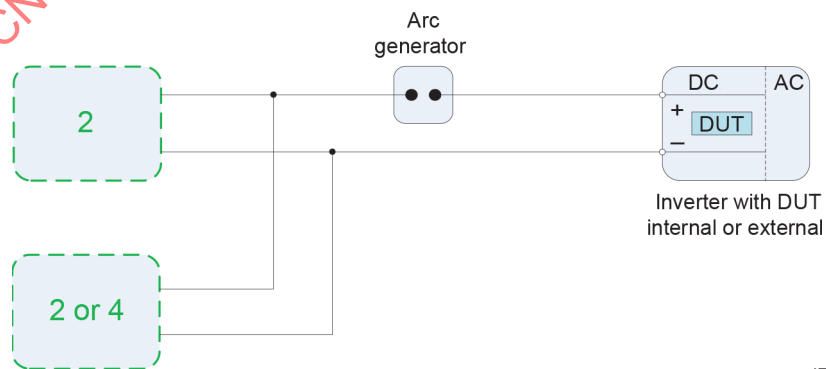


Figure B.5 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

B.3 Application micro inverter

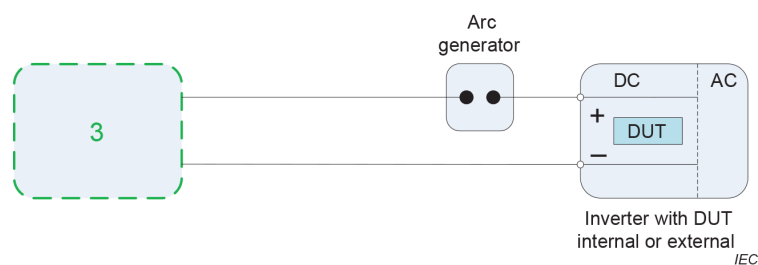


Figure B.6 – Single string test setup (tests 1 and 2)

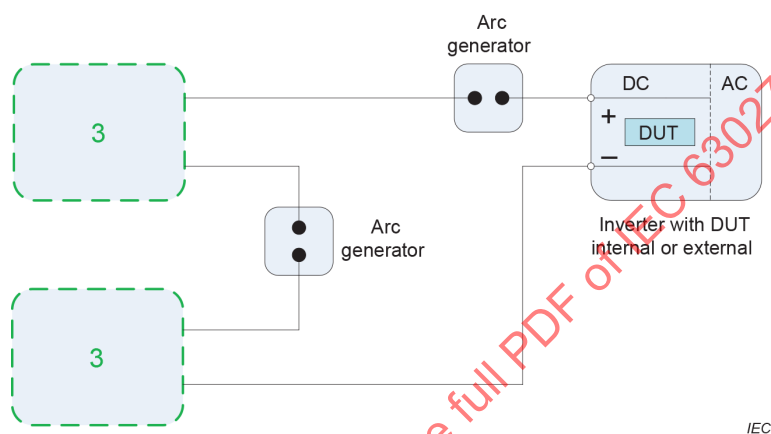


Figure B.7 – Single string test setup (tests 1 and 2) – series modules

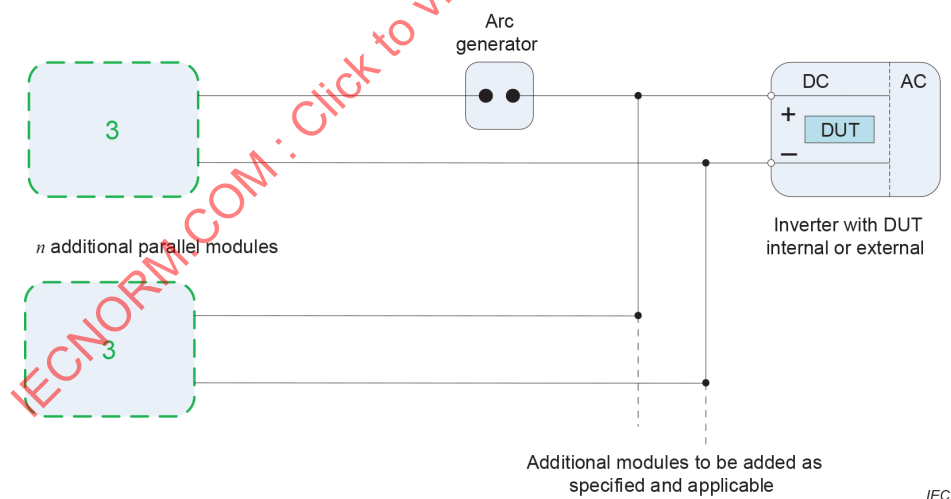


Figure B.8 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)

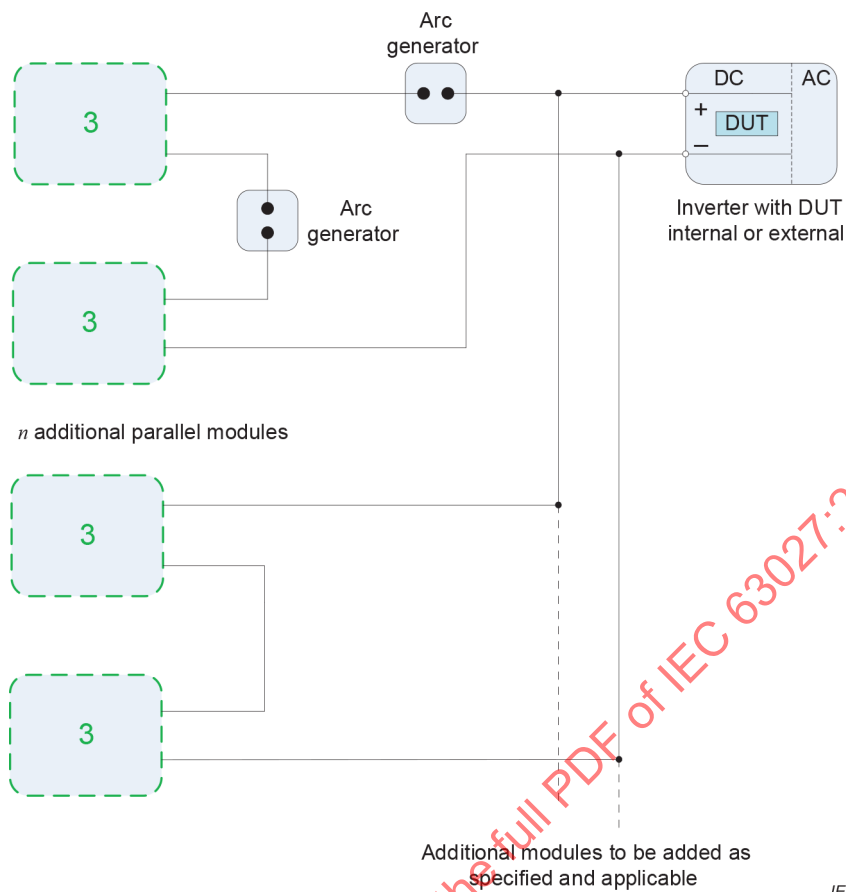


Figure B.9 – Parallel string test setup (tests 1 and 2) – series modules

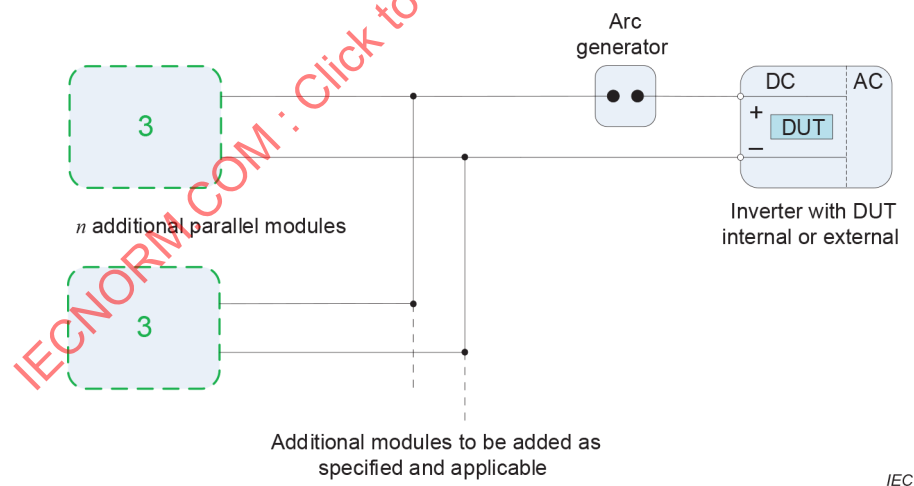


Figure B.10 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

B.4 Application module level DC/DC conversion

B.4.1 Input setups

A) Module Level Based PV String – single module

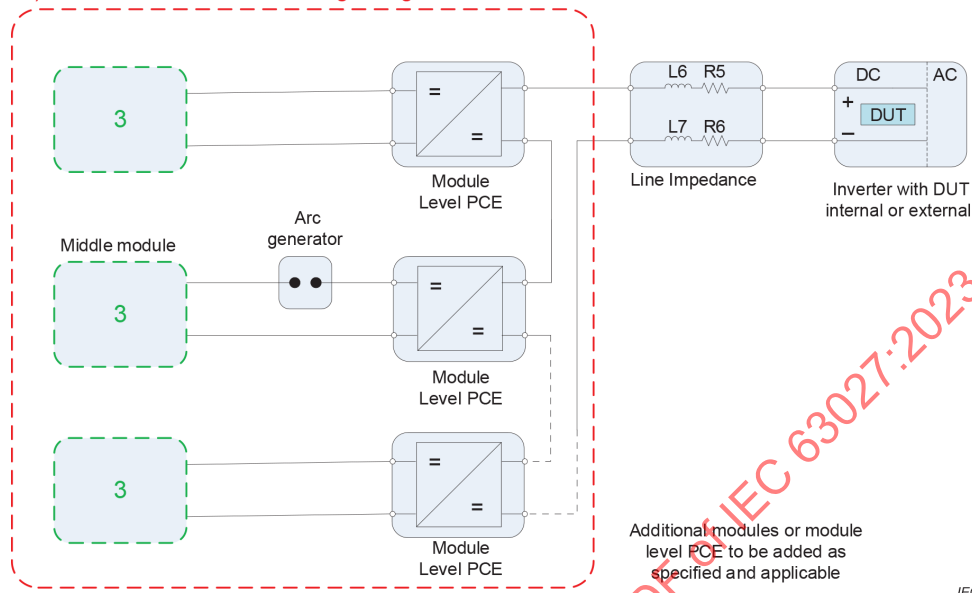


Figure B.11 – Single string test setup (tests 1, 2, 4)

B) Module Level Based PV String – serial modules

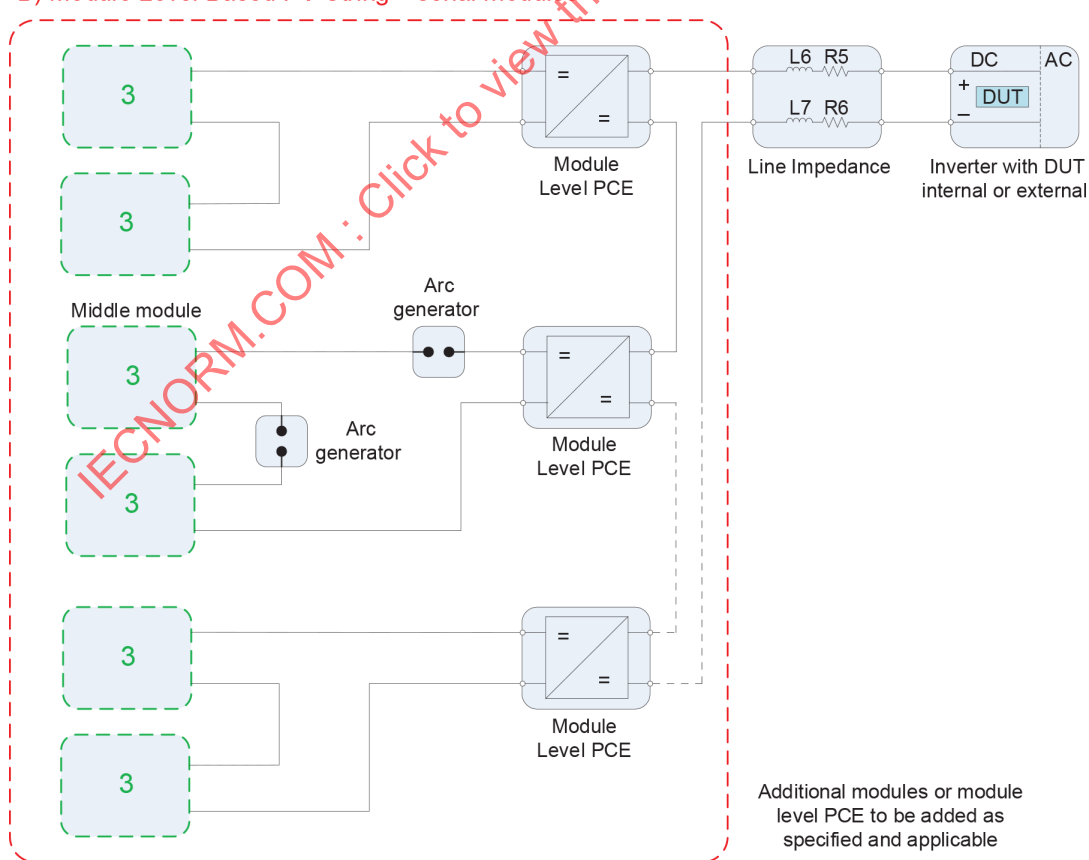
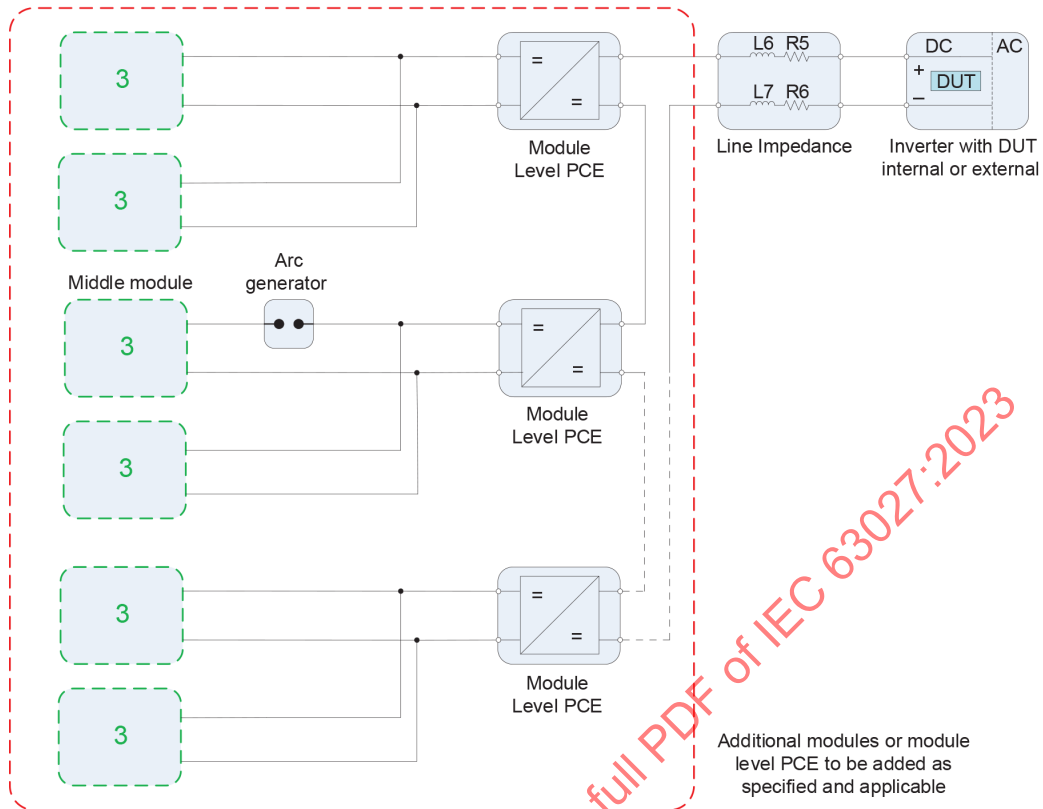


Figure B.12 – Single string test setup (tests 1, 2, 4) – series modules

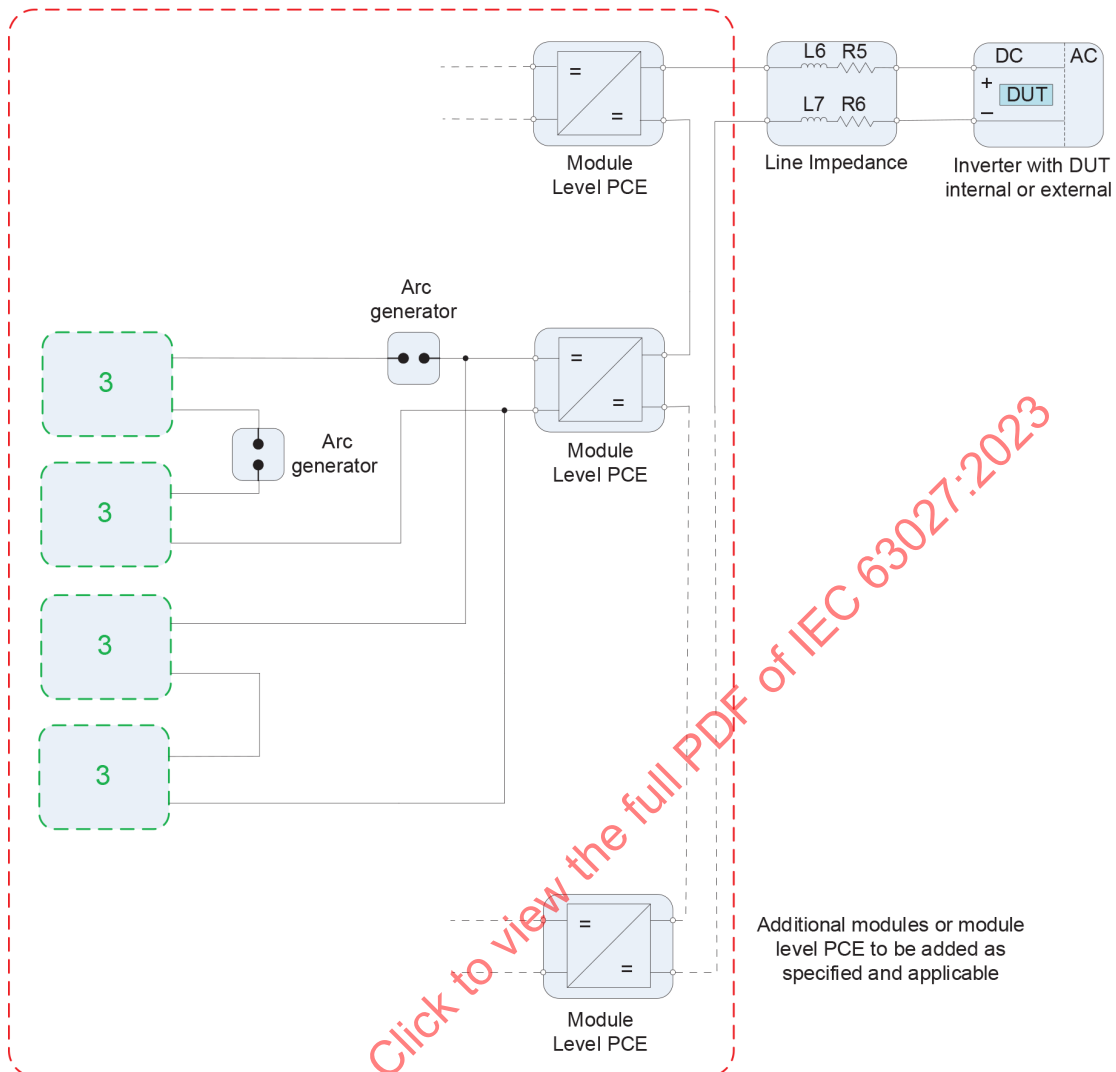
C) Module Level Based PV string – Parallel Modules



IEC

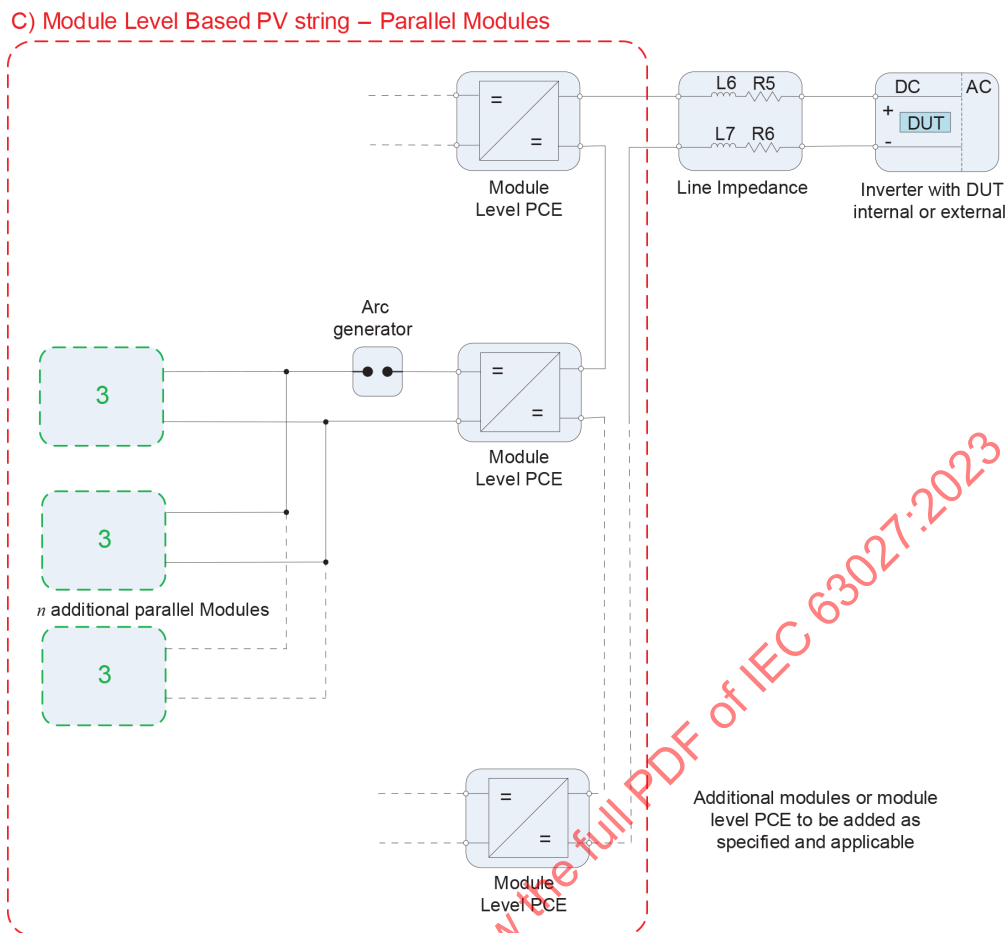
Figure B.13 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)

D) Module Level Based PV string – Serial and Parallel Modules



IEC

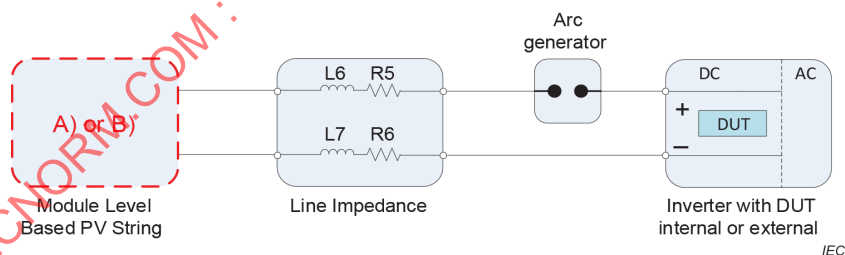
Figure B.14 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)



IEC

Figure B.15 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

B.4.2 Output setups



IEC

Figure B.16 – Single string test setup (tests 1, 2, 4)

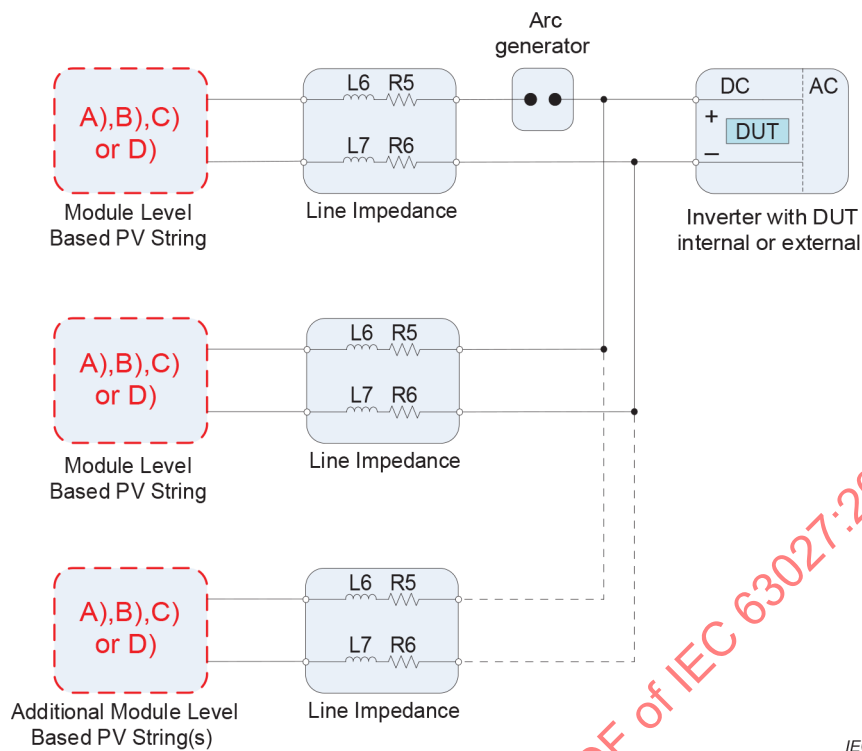


Figure B.17 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)

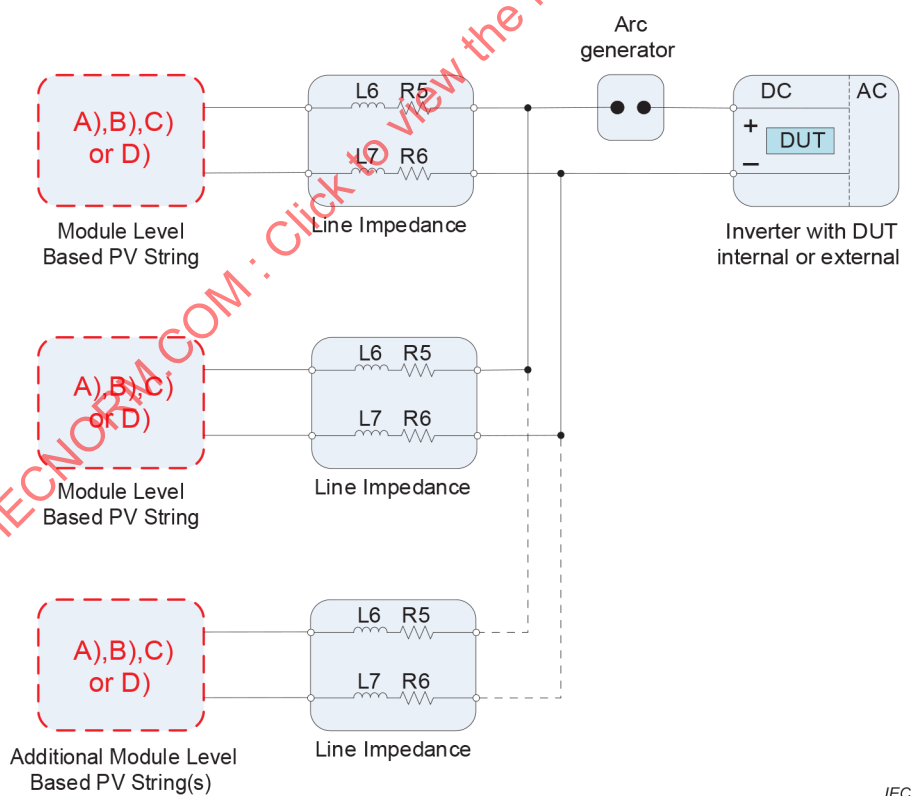
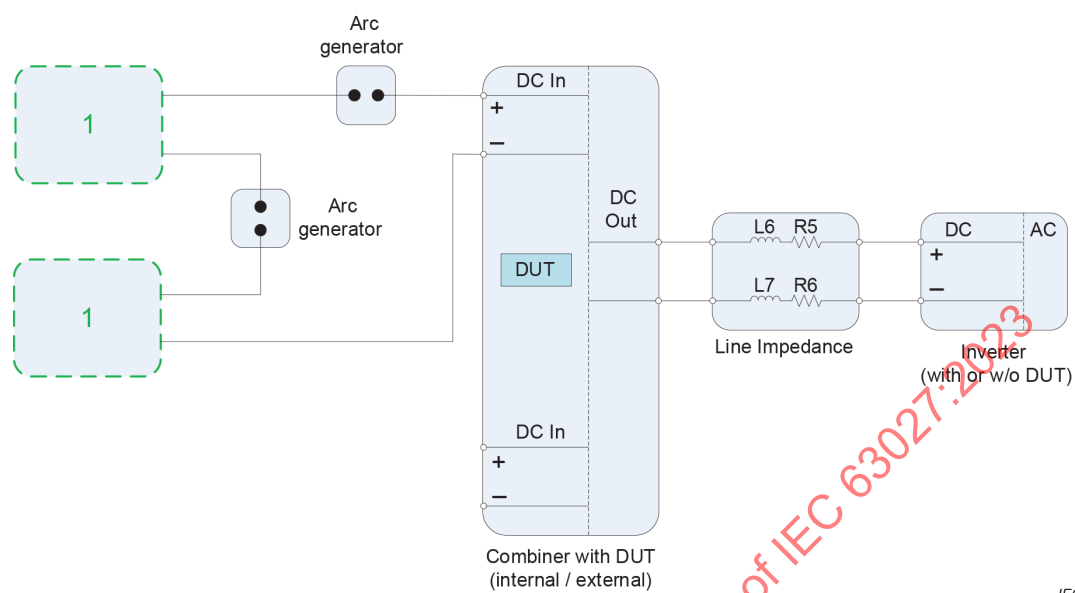


Figure B.18 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

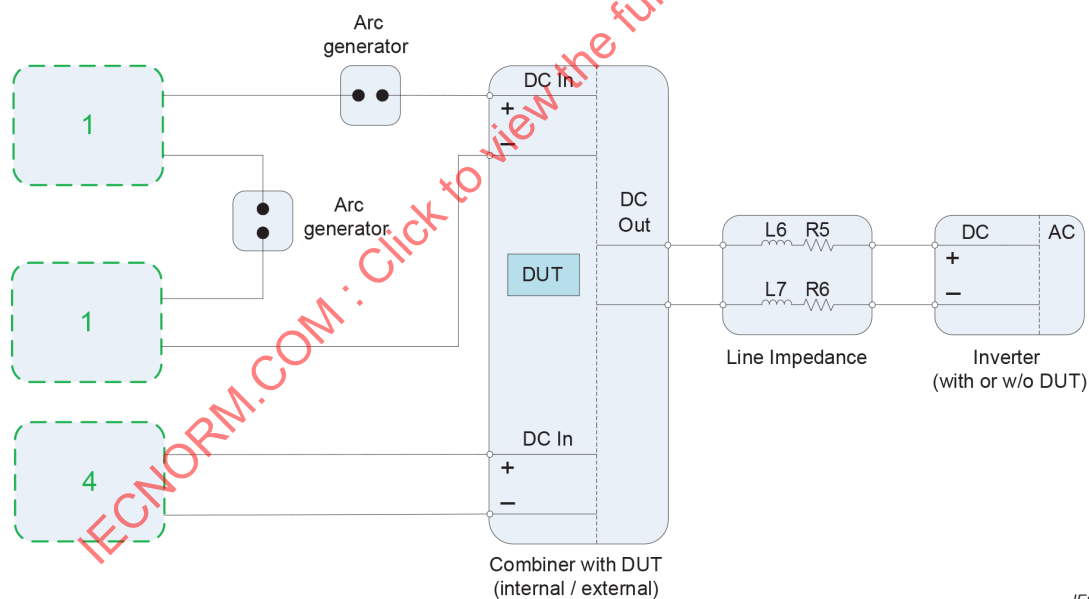
B.5 Application external combined strings

B.5.1 Input setups



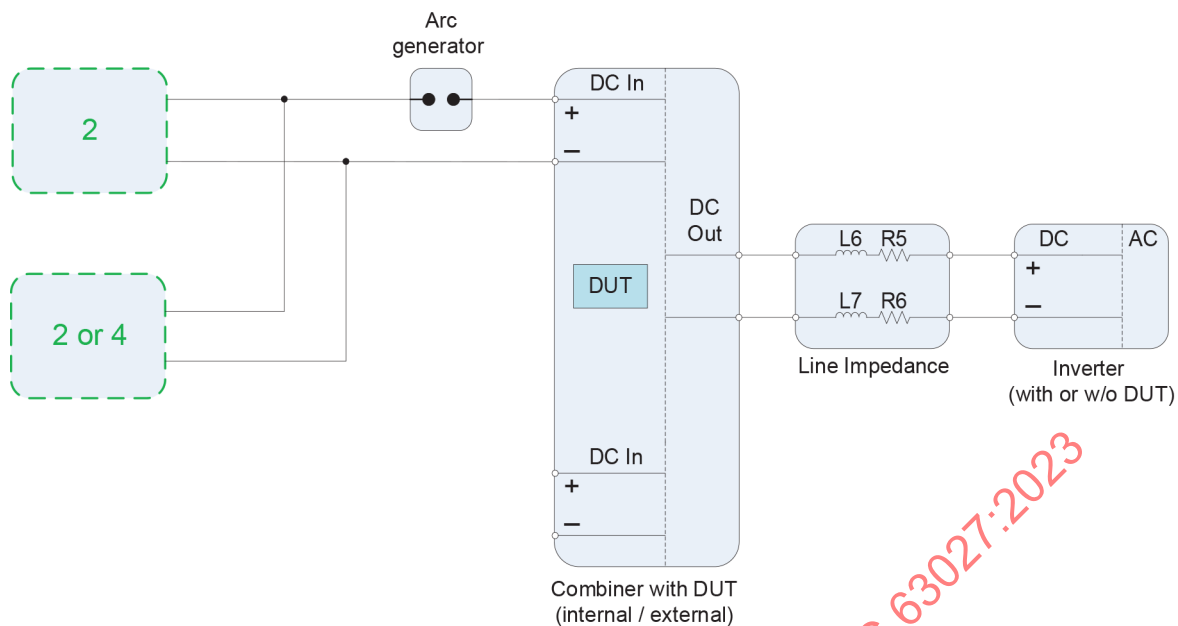
IEC

Figure B.19 – Single string test setup (tests 1, 2, 4)



IEC

Figure B.20 – Parallel string test setup (tests 1 and 2)

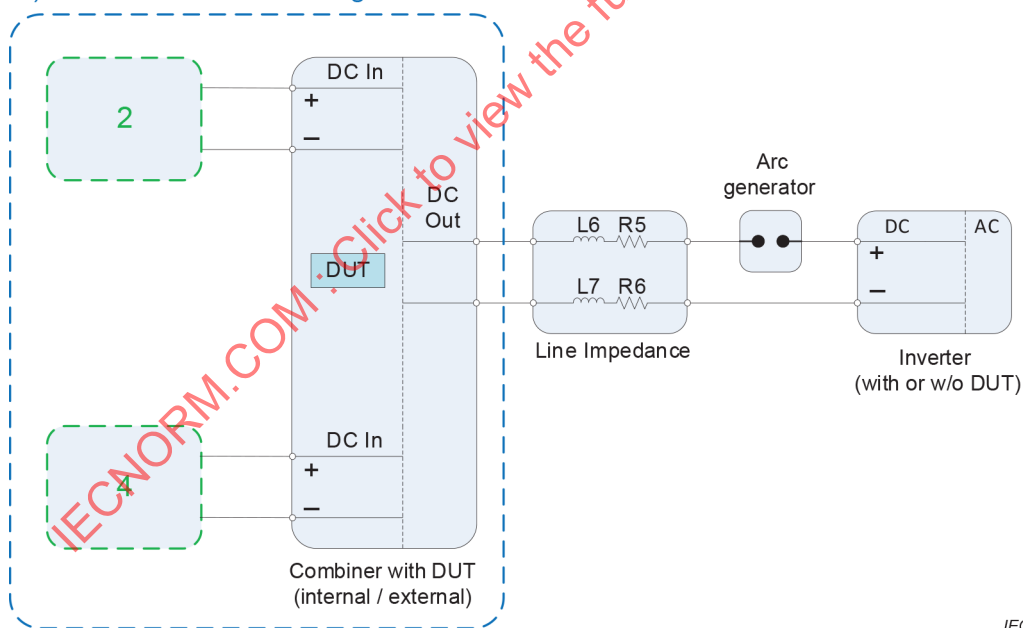


IEC

Figure B.21 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

B.5.2 Output setups

H) Combiner Based PV String



IEC

Figure B.22 – Single string test setup (test 1 and 2)

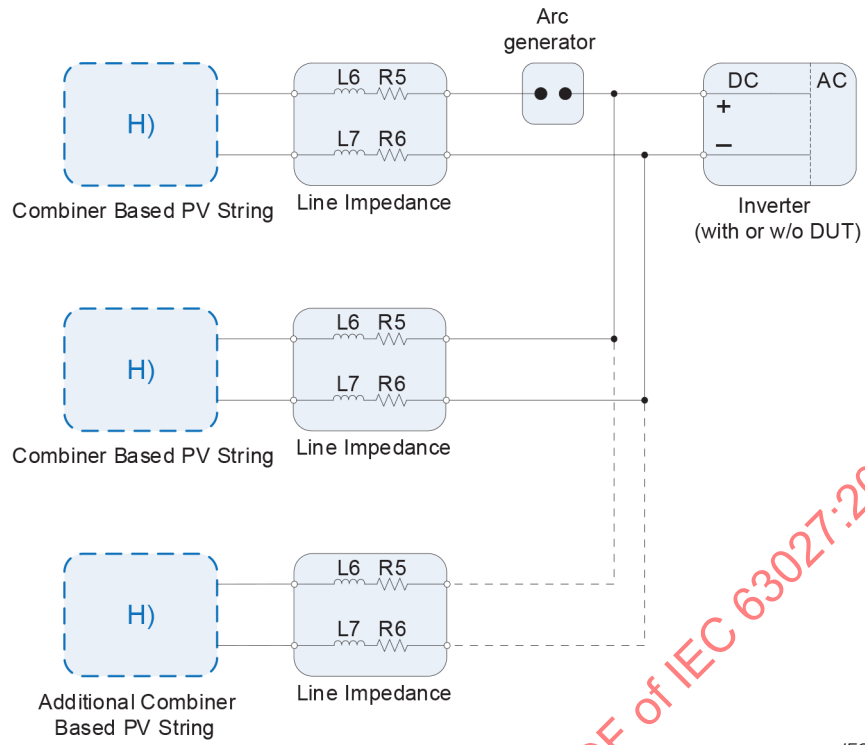


Figure B.23 – Parallel string test setup (tests 3 and 5)

NOTE For the DUT position in Figure B.23 refer to Figure B.22, where the combiner based PV string H) is defined. Typically for the application externally combined strings the DUT is located in the combiner.

Annex C (informative)

Application examples

C.1 General

This Annex C uses AFPE application examples to provide guidance for selecting test configurations and setups according to AFPE equipment classifications and manufacturer data..

C.2 Example 1: String inverter with integrated AFPE (F-I-AFPE)

The inverter has one input port to connect a PV string. The manufacturer's instructions allow only one single string to be connected to the input port. Parallel string connections external to the inverter are also not permitted. The input port is monitored by a single arc fault detector. See Figure C.1 for details.

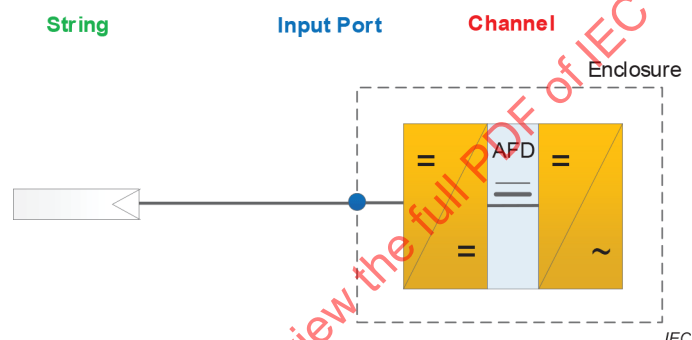


Figure C.1 – Example of a string inverter with single input

Inverter parameters:

$I_{\max \text{ mpp}} = 10 \text{ A}$ (maximum operating PV input current).

$V_{\max \text{ PV}} = 1\,000 \text{ V}$ (maximum rated PV input voltage).

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-1-1-1

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 1 monitored string per input port,
- 1 input port per monitored channel,
- 1 monitored channel.

Because the input is limited to a single string only the single string setup of Figure B.3 applies.

The maximum operating PV input current of the inverter is 10 A. Therefore tests 1 and 2 shall be applied. In addition, test 4 shall be performed to address the max input voltage of 1 000 V.

Test 3 and test 5 are not applicable.

For each test, the arc generator is placed in both positions shown in Figure B.3.

Table C.1 gives an overview of the respective tests to be conducted:

Table C.1 – Overview tests F-I-AFPE string inverter

Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	I_{parallel} A (as calculated according to 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1	2,5	NA	312	Figure B.3	4
Test 2	7	NA	318	Figure B.3	4
Test 4	7	NA	607	Figure B.3	4
NA: not applicable.					

NOTE Tests to be conducted two times with two different arc generator locations. Therefore, number of tests is at least 4. The test number can reach a maximum of 8 when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

C.3 Example 2: Module level inverter with integrated AFPE (F-I-AFPE)

The module level inverter provides one input port to connect a PV string (module). The manufacturer instructions allow only a single string to be connected to the input port. Parallel connections external to the inverter are also not allowed. The input port is monitored by a single arc fault detector. See Figure C.2 for details.

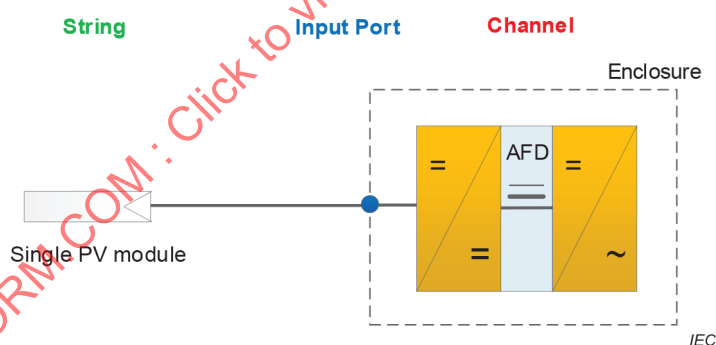


Figure C.2 – Example of a module level inverter with single input

Module level inverter parameters:

$$I_{\text{max mpp}} = 10 \text{ A (maximum operating PV input current).}$$

$$V_{\text{max PV}} = 100 \text{ V (maximum rated PV input voltage).}$$

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-1-1-1

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 1 monitored string per input port,

- 1 input port per monitored channel,
- 1 monitored channel .

Because the input is limited to a single string (module) the test setup in Figure B.8 does not apply. Because the maximum input voltage is 100 V, a series connection of more than one module is possible. Therefore, the test setup in Figure B.7 applies in addition to that of Figure B.6.

The maximum operating PV input current of the inverter is 10 A. Therefore, only tests 1 and 2 are applicable. In order to address the input voltage of 100 V the MPP test voltage in Table 5 shall be modified to 65 V.

Table C.2 gives an overview of the respective tests to be conducted.

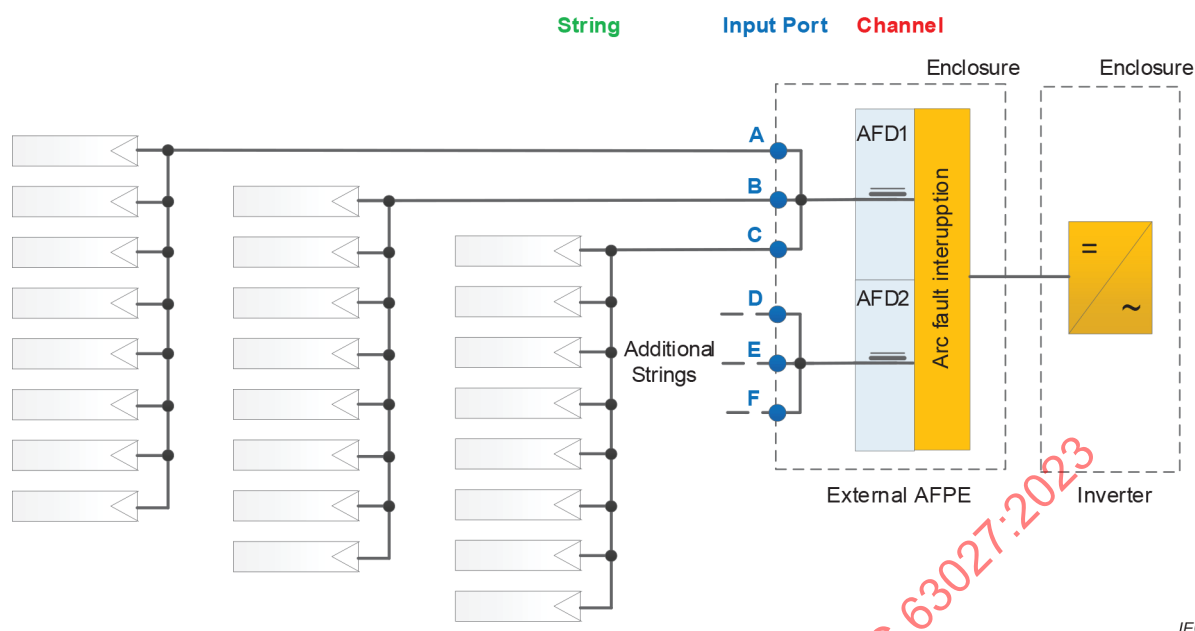
Table C.2 – Overview tests F-I-AFPE module level inverter

Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	$I_{parallel}$ A (as calculated to 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1	2,5	NA	65	Figure B.6	2
Test 2	7	NA	65	Figure B.6	2
Test 1	2,5	NA	65	Figure B.7	4
Test 2	7	NA	65	Figure B.7	4
NA: not applicable.					

NOTE Tests to be conducted two times with two different or one arc generator locations. Therefore, number of tests is at least 2 or 4. The test number is doubled when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

C.4 Example 3: External AFPE (P-S-AFPE)

The external AFPE is located in a separate enclosure. The manufacturer's instructions allow a maximum of 8 strings to be connected in parallel to each input of the 6 input ports of the AFPE. The AFPE consists of two detector channels monitoring 3 input ports each. All 3 input ports per channel are directly parallel connected, without the use of a power conversion stage. The AFPE uses the same hardware and software boards for each detector channel. See Figure C.3 for details.



IEC

Figure C.3 – Example of an external AFPE with multiple input ports

External AFPE parameters:

$I_{\max \text{ mpp}}$ per input port = 20 A (maximum operating PV input current).

$V_{\max \text{ PV}}$ = 600 V (maximum rated PV input voltage).

Classification according to Clause 4:

P-S-AFPE-8-3-2

- Partial coverage
- Stand-alone
- AFPE
- 8 monitored strings per input port,
- 3 input ports per channel,
- 2 monitored channels

Because the device allows up to 8 strings to be connected to each input port and 3 input ports are assigned to each channel, the single string setup in Figure B.19 and the parallel string setups in Figure B.20 and Figure B.21 apply.

The maximum operating PV input current of each input port is limited to 20 A. As a result, the channel detector current is limited to a maximum of 60 A (as not otherwise specified by the manufacturer). Therefore, tests 1 to 3 shall be applied. Because the input voltage is limited to 600 V, test 4 is not applicable. Test 5 also does not apply because the maximum arcing current is limited by the input ratings of the AFPE to 20 A.

For each test, the arc generator is placed at the respective positions defined in the test setups.

NOTE 1 In this example the maximum channel current is calculated from the maximum input port ratings. In case the manufacturer specifies a lower maximum channel current this lower value would be applicable for the tests.

The parallel string currents for tests 1 and 2 are calculated as follows:

$n = 24$ (3 input ports per channel with 8 strings per input port).

$I_{ch} = 60$ A (3 input ports per channel limited to 20 A each).

Test 1: $(I_{T1} = (n-1) \times 3 \text{ A})$

$I_{T1} = 69$ A. This current is reduced to 57 A to be able to reach the MPP current of 3 A for the arcing string. The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 2$ or one full string model for input port A. For each port B and C, a parallel string model with $n = 3$ or two full string models can be used. The parallel current is divided over the three input ports.

(Input port A: 2,5 A arcing current; Input port A: 15 A parallel current; Input port B, C: 20 A parallel current each).

Test 2: $(I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A})$

$$I_{T2} = 52 \text{ A}$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 2$ or one full string model for input port A. For each port B and C a parallel string model with $n = 3$ or two full string models can be used. The parallel current is divided over the three input ports.

(Input port A: 7 A arcing current; Input port A: 12 A parallel current; Input port B, C: 20 A parallel current each).

Test 3:

Test 3 is performed with the test setup in Figure B.21 using two full string PV models and an arcing current of 14 A. For this test the models may be connected to any input port A, B or C that is connected to the detector channel under test.

Tests for the output configuration in this case are not required since the device is classified for partial detection only.

Table C.3 gives an overview of the respective tests to be carried out for one channel:

Table C.3 – Overview tests P-S-AFPE stand-alone AFPE

Test number	I_{arc}	$I_{parallel}$	V_{mpp}	Test setup	Number of tests
	A (as defined by Table 5)	A (as calculated according to 9.2.6)	V (as defined by Table 5 or calculated)		
Test 1	2,5	NA	312	Figure B.19	4
Test 2	7	NA	318	Figure B.19	4
Test 1	2,5	57	312	Figure B.20	4
Test 2	7	52	318	Figure B.20	4
Test 3	14	NA	318	Figure B.21	2
NA: not applicable.					

NOTE 2 Tests to be conducted two times with two different or one arc generator locations. Therefore, number of tests is at least 2 or 4. The test number is doubled when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

Since both detectors in this example consist of the same hardware and software boards it is sufficient for the second channel to repeat only the test with the most adverse arc location as determined in the previous tests of the first channel, evaluated according to highest average arc energy or longest detection time.

C.5 Example 4: Module level DC-DC converter system with AFPE integrated (F-I-AFPE)

The PV system comprises an inverter and DC-DC converters.

The inverter provides two input ports to connect two DC-DC converter strings with fixed voltage. Both input ports of the inverter are monitored by a single arc fault detector. The manufacturer's instructions allow only a single module to be connected to the input port of one DC-DC converter. See Figure C.4 for details.

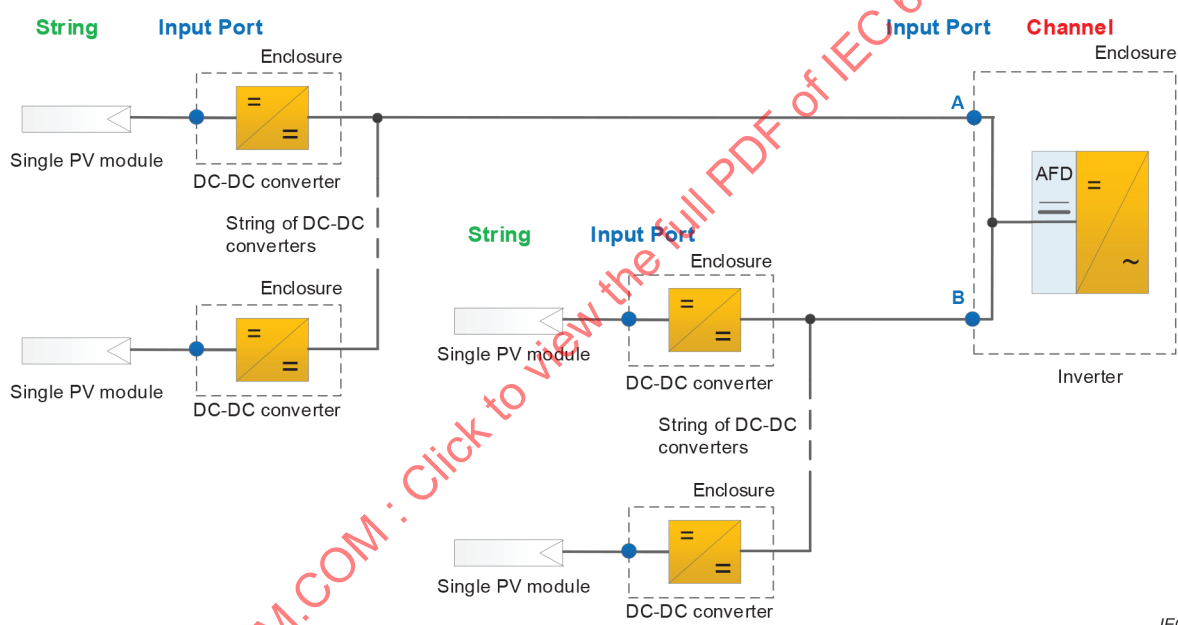


Figure C.4 – Example of a module level DC-DC converter system

System parameters:

DC-DC converter input:

$I_{\max \text{ mpp}} = 10 \text{ A}$ (maximum operating PV input current),

$V_{\max \text{ PV}} = 60 \text{ V}$ (maximum PV input voltage).

Inverter input and DC-DC converter output:

$I_{\max \text{ input DC string}} = 16 \text{ A}$ (maximum operating PV input current per input port of the inverter).

$I_{\max \text{ output DC string}} = 16 \text{ A}$ (maximum operating PV output current per DC-DC converter).

$V_{\max \text{ DC string}} = 600 \text{ V}$ (maximum fixed DC system voltage).

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-1-2-1

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 1 monitored string per input port (of the DC-DC converter)
- 2 input ports per channel (of the inverter)
- 1 monitored channel.

The inverter based AFPE has two input ports and two monitored strings to correspond with the inverter's input ports and connected DC strings. Nevertheless, the DC-DC converter input limits defined in the manufacturer's instructions will also be considered for testing, because they are part of the system.

Input setup:

Because only 1 module is allowed to be connected to the input port of one DC-DC-converter the single string setup in Figure B.11 applies for the PV input. The parallel string setups for the PV input do not apply.

The maximum operating PV input current of each input port of the DC-DC converters is 10 A. Therefore, only tests 1 and 2 are applied to the PV input. To address the maximum input voltage of 60 V the MPP test voltage in Table 5 shall be modified to 39 V. Test 4 is not applicable.

Output setup:

Two input ports of the inverter are assigned to the detector channel. Therefore, the single string output setup in Figure B.16 and the parallel string output setups in Figure B.17 and Figure B.18 apply.

The parameters for the output tests can be derived from the inverter input and DC-DC converter output values. Each input port of the inverter is rated for 16 A, which limits the maximum arcing current to 16 A, because the system operates with a fixed DC voltage. The detector current is limited to a maximum of 32 A (as not otherwise specified by the manufacturer). The output current of the DC-DC converter matches the input current of a single inverter input port and therefore does not impact the maximum arcing current value of 16 A.

NOTE 1 In this example the maximum channel current is calculated from the maximum input port ratings. In case the manufacturer specifies a lower maximum channel current this lower value would be applicable for the tests.

Consequently, tests 1 to 3 shall be applied. Because the DC string system voltage is limited to 600 V test 4 is not applicable. Test 5 also does not apply since the maximum arcing current is limited to 16 A.

For each test the arc generator is placed at the respective positions defined in the test setups.

For the output tests 1 to 3 the system shall be parameterized to achieve the respective arcing current according to Table 5, Column 2.

Calculation of the parallel string currents for the parallel output test setup Figure B.17 is as follows:

$n = 2$ (2 input ports per channel with 1 string per input port).

$m = 2$ (2 input ports per channel).

$I_{\text{input}} = 16 \text{ A}$ (2 Input ports per channel limited to 16 A each).

Test 1: $(I_{T1} = (n-1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{T1} = 3 \text{ A}$$

The arcing current is applied on the inverter input port A, using the module level based PV string type A). The parallel current is applied on the inverter input port B), by the module level based PV string type A).

(Input port A: 2,5 A arcing current; Input port B: 3 A parallel current.)

Test 2: $(I_{T2} = (m-1) \times I_{\text{input}})$

$$I_{T2} = 16 \text{ A}$$

The arcing current is applied on the inverter input port A, using the the module level based PV string type A). The parallel current is applied on the inverter input port B, by using the module level based PV string type A).

(Input port A: 7 A arcing current; Input port B: 16 A parallel current.)

Test 3:

Test 3 is performed with the test setup in Figure B.18 using two module level based PV strings type A) and an arcing current of 14 A on input port A or B.

Table C.4 gives an overview of the respective tests to be carried out:

Table C.4 – Overview tests F-I-AFPE

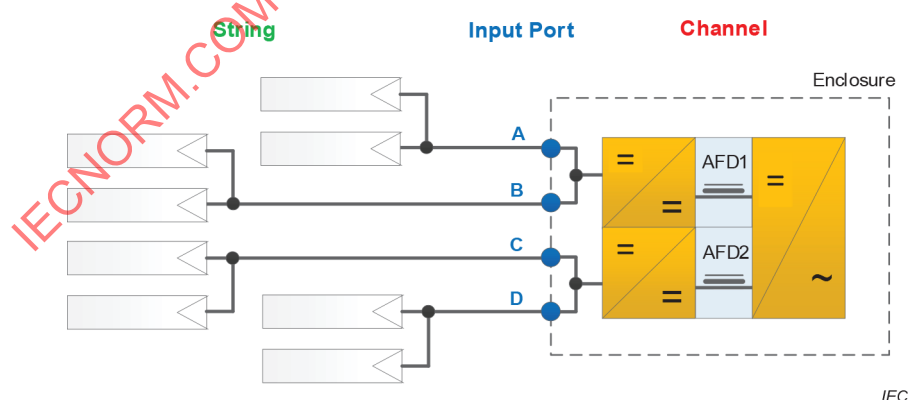
Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	$I_{parallel}$ A (as calculated according to 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1 (single/input)	2,5	NA	39	Figure B.11	2
Test 2 (single/input)	7	NA	39	Figure B.11	2
Test 1 (single/output)	2,5	NA	600	Figure B.16	2
Test 2 (single/output)	7	NA	600	Figure B.16	2
Test 1 (parallel/output)	2,5	3	600	Figure B.17	2
Test 2 (parallel/output)	7	16	600	Figure B.17	2
Test 3 (parallel/output)	14	NA	600	Figure B.18	2

NA: not applicable.

NOTE 2 Tests are to be conducted two times with one arc generator location. Therefore, the number of tests is 2. The test number is 4 when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

C.6 Example 5: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)

The inverter has four input ports monitored by two internal arc fault detectors (two channels). Two input ports are connected to one internal DC-DC converter (MPP-Tracker). The manufacturer's instructions allow a maximum of 2 strings to be connected to each input port. See Figure C.5 for details.

**Figure C.5 – Example of a string inverter with multiple input ports**

Inverter parameters:

$I_{\max \text{ mpp}}$ per input port (A, B, C or D) = 25 A (maximum operating PV input current per input port).

$I_{\max \text{ mpp}}$ per MPP Tracker (A+B or C+D) = 25 A (maximum current per MPP-Tracker).

$I_{\max}$ per channel = 30 A.

$V_{\max \text{ OC PV}}$ = 1 500 V (maximum rated PV input voltage).

$V_{\min \text{ mpp PV}}$ = 700 V (minimum rated MPP PV input voltage).

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-2-2-2

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 2 monitored strings per input port
- 2 input ports per channel
- 2 monitored channels.

In this example, a single string or parallel strings can be connected to one input port.

The maximum operating PV input current of the inverter per input port is 25 A. Each channel monitors 2 input ports that would lead to a maximum channel detection current of 50 A. The rated channel current of each detector is 30 A and the current of the MPP tracker is 25 A. Therefore, the maximum arcing current for testing is limited to 25 A in this example.

The maximum PV input voltage is 1 500 V and the minimum rated MPP voltage of the inverter is 700 V. For all the tests V_{mpp} should be according to the values in Table 5 (312 V for test 1, 318 V for tests 2, 3 and 5 and 607 V for test 4). However, the minimum rated PV input voltage in this example is 700 V and greater than the V_{mpp} indicated in Table 5. Thus, the V_{mpp} considered for the tests is 700 V and the V_{OC} in this case is calculated by $V_{\text{mpp}} / 0,65$ to 1 077 V.

Considering those two values ($I_{\max}$ per channel above 24 A and maximum input voltage over 810 V) in the test description provided in 9.2.6, all tests (1 to 5) shall be carried out for this example. The single string setup shown in Figure B.3 and the parallel string setups shown in Figure B.4 and Figure B.5 apply.

The parallel string currents for tests 1 and 2 and the arcing current for test 5 are calculated as follows:

- $n = 4$ (2 input ports per channel with 2 strings per input port).
- $I_{\text{ch}} = 25$ A (each channel limited to 25 A).

Test 1: $(I_{\text{T1}} = (n-1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{\text{T1}} = 9 \text{ A}$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 2$ or one full string model for input port B.

(Input port A: 2,5 A arcing current; Input port B: 9 A parallel current.)

Test 2: $(I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A})$

I_{ch} limited to 25 A.

$$I_{T2} = 25 \text{ A} - 8 \text{ A} = 17 \text{ A}.$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 3$ or two full string model for input port B. (Input port A: 7 A arcing current; Input port B: 17 A parallel current.)

Test 5: $(I_{arc} = 0,9 \times I_{pA})$

The I_{pA} , maximum current per input port, in this case is 25 A. Thus, I_{arc} will be $0,9 \times 25 \text{ A} = 22,5 \text{ A}$ and $I_{mpp} = 25 \text{ A}$.

In this case, there are two possible options to connect the strings to the inverter. Input A current = 25 A with no strings connected to input B and vice versa.

In any case it is recommended to balance the MPP current to 12,5 A for each string, because this will be the realistic installation scenario.

Table C.5 gives an overview of the respective tests to be carried out on each channel:

Table C.5 – Overview tests F-I-AFPE

Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	$I_{parallel}$ A (as calculated according to 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1	2,5	NA	700	Figure B.3	4
Test 2	7	NA	700	Figure B.3	4
Test 1	2,5	9	700	Figure B.4	4
Test 2	7	17	700	Figure B.4	4
Test 4	7	NA	700	Figure B.3	4
Test 3	14	NA	700	Figure B.5	2
Test 5	22,5	NA	700	Figure B.5	2
NA: not applicable.					

NOTE For each test the arc generator is placed at the respective positions defined in the test setups. Tests to be conducted two times with two different or one arc generator location. Therefore, number of tests is at least 2 or 4. The test number is doubled when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

C.7 Example 6: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)

The inverter has four input ports monitored by a single arc fault detector. The manufacturer's instructions allow a maximum of 2 strings to be connected to each input port. Two input ports are connected to one internal DC-DC converter (MPP-Tracker). See Figure C.6 for details.

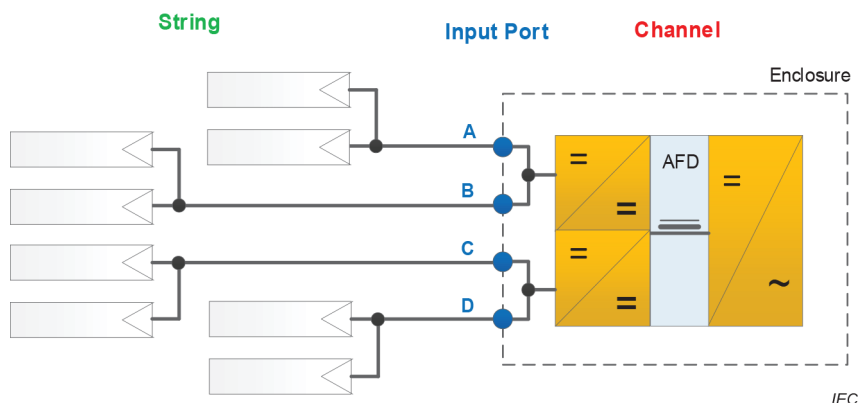


Figure C.6 – Example string inverter with multiple inputs

Inverter parameters:

$I_{\max \text{ mpp}}$ per input port (A, B, C or D) = 12,5 A (maximum operating PV input current per input port).

$I_{\max \text{ mpp}}$ per MPP Tracker (A+B or C+D) = 25 A (maximum current per MPP-Tracker).

$V_{\max \text{ PV}}$ = 1000 V (maximum rated PV input voltage).

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-2-4-1

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 2 monitored strings per input port
- 4 input ports per channel
- 1 monitored channel.

A maximum of 2 parallel strings can be connected to each input port in this example. The maximum operating PV input current of the inverter per input port is 12,5 A, which is also the maximum arcing current. The detector channel monitors all 4 input ports leading into a maximum channel current of 50 A. The maximum total current of both MPP-Tracker is not limiting the current to a lower value.

Because a single string or parallel strings can be connected, the single string setup in Figure B.3 and the parallel string setup in Figure B.4 apply. The maximum operating PV input current of each input port is 12,5 A. Therefore, test 1 and 2 shall be applied for single and parallel setup. Test 3 and 5 are not applicable. The maximum PV input voltage is 1 000 V. Therefore, test 4 is applicable with the single setup in Figure B.3.

The parallel string currents for tests 1 and 2 are calculated as follows:

$n = 8$ (4 input ports per channel with 2 strings per input port).

$I_{\text{ch}} = 50$ A (4 input ports per channel limited to 12,5 A each, or 2 MPP trackers per channel limited to 25 A each).

Test 1: $(I_{T1} = (n-1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{T1} = 21 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 2$ for the input port B. For the other input ports C and D two full string models each or one full string model in combination with a parallel string model ($n=2$) is connected.

(Input port A: 2,5 A arcing current; input port B, C, D: 7 A parallel current each.)

Test 2: $(I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A})$

$$I_{T2} = 42 \text{ A } (\rightarrow 33 \text{ A}).$$

The current limitation of the input ports of 12,5 A does not allow a parallel connection of two strings with 8 A. Therefore, no parallel string model needs to be connected in addition to the input port A, that is connected to the arc generator. This also applies to input port B, because it is directly connected with port A. The arcing current is applied on input port A, using two half string models. For the other input ports B, C and D one full string model is connected to each input.

(Input port A: 7 A arcing current; Input port B: 8 A parallel current; Input port C, D: 12,5 A parallel current each). The calculated parallel current cannot be achieved in this case and is reduced to 33 A for testing.

NOTE The allowance to use only one string at port A and B does not apply to ports C and D because other types of PV modules with smaller current ratings may be connected to those ports with their own MPP Tracker. This would allow 2 strings with a total current of 12,5 A for each input C and D under worst case conditions.

Table C.6 gives an overview of the respective tests to be carried out:

Table C.6 – Overview tests F-I-AFPE

Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	$I_{parallel}$ A (as calculated according 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1	2,5	NA	312	Figure B.1	4
Test 2	7	NA	318	Figure B.1	4
Test 1	2,5	21	312	Figure B.2	4
Test 2	7	33	318	Figure B.2	4
Test 4	7	NA	607	Figure B.1	4
NA: not applicable.					

NOTE For each test the arc generator is placed at the respective positions defined in the test setups. Tests to be conducted two times with two different arc generator locations. Therefore, number of tests is at least 4. The test number is doubled when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

C.8 Example 7: String inverter with multiple Inputs (F-I-AFPE)

The inverter has fourteen input ports monitored by three internal arc fault detectors (three channels). However, the number of input ports per channel (AFD) is different, as the AFD1 monitors 4 input ports, the AFD2 monitors 3 input ports and the AFD3 monitors 7 input ports.

According to the manufacturers documentation the same hardware and software modules are used for each channel. The manufacturer's instructions allow a maximum of 1 string to be connected to each input port. See Figure C.7 for details.

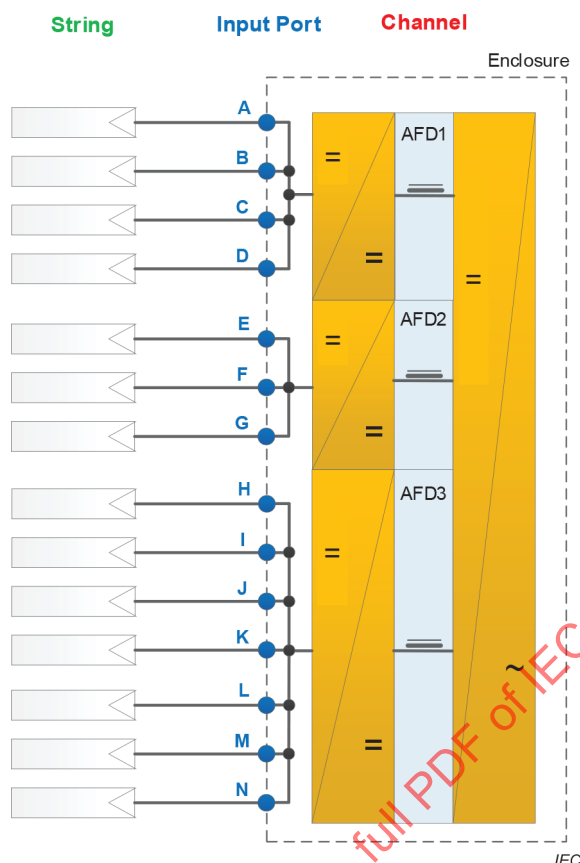


Figure C.7 – Example string inverter with different channel classification

Inverter parameters:

$I_{\max}$ per input port (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N) = 14,5 A (maximum operating PV input current per input port).

$I_{\max}$ per MPP Tracker 1 and 2 (A+B+C+D or E+F+G) = 36 A (maximum current per MPP-Tracker).

$I_{\max}$ per MPP Tracker 3 (H+I+J+K+L+M+N) = 72 A (maximum current per MPP-Tracker).

$I_{\max}$ per channel 1 and 2 = 36 A each.

$I_{\max}$ per channel 3 = 72 A.

$V_{\max \text{ OC PV}}$ = 1 000 V (maximum rated PV input voltage).

$V_{\min \text{ PV}}$ = 400 V (minimum rated MPP PV input voltage).

Classification according to Clause 4:

F-I-AFPE-1-4/3/7-3 (one classification for whole inverter)

- Full coverage
- Integrated
- AFPE
- 1 monitored string per input port
- 4/3/7 input ports per channel (AFD1: 4, AFD2: 3, AFD3: 7)
- 3 monitored channels.

A maximum of 1 string can be connected to each input port in this example. The maximum operating PV input current of the inverter per input port is 14,5 A, which is also the maximum arcing current. The detector channels monitor a different number of input ports. The first one monitors 4 input ports, the second one monitors 3 input ports and the third one monitors 7 input ports. The maximum channel current is different. Channels 1 and 2 have a maximum channel current of 36 A and channel 3 has a maximum channel current of 72 A. Because a single string or parallel strings can be connected to the same channel the single string setup in Figure B.3 and the parallel string setup in Figure B.4 apply.

The maximum operating PV input current of each input port is 14,5 A. Therefore, test 1 and 2 shall be applied. Test 3 and 5 are not applicable. The maximum PV input voltage is 1 000 V. Therefore, test 4 is applicable with the single setup in Figure B.3.

The parallel string currents for tests 1, 2 and 4 are calculated as follows:

$$n = 4 \text{ (4 input ports per channel with 1 string per input port) (Channel 1)}$$

$$n = 3 \text{ (3 input ports per channel with 1 string per input port) (Channel 2)}$$

$$n = 7 \text{ (7 input ports per channel with 1 string per input port) (Channel 3)}$$

$$I_{ch} = 36 \text{ A (Channel 1 and 2 each) / 72 A (Channel 3).}$$

According to 9.2.6, the number of tests can be reduced if the same hardware and software modules are used for each channel. If agreeable to all concerned parties the tests listed below (1.1 / 1.2 / 1.3) as well as (2.1 / 2.2 / 2.3) can be reduced by testing the worst case.

Test 1.1 (Channel 1): $(I_{T1} = (n - 1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{T1} = 9 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 4$ for the input port B. Because the input ports B, C and D are connected in parallel at the input of the DUT the whole parallel current can be provided to only one input port. For the other input ports E, F, G, H, I, J, K, L, M and N no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port A: 2,5 A arcing current; Input port B: 9 A parallel current.)

Test 1.2 (Channel 2): $(I_{T1} = (n - 1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{T1} = 6 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port E, using two half string models. The parallel current is applied by using a parallel string model with $n = 3$ for the input port F. Because the input ports F and G are connected in parallel at the input of the DUT the whole parallel current can be provided to only one input port. For the other input ports A, B, C, D, H, I, J, K, L, M and N no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port E: 2,5 A arcing current; Input port F: 6 A parallel current.)

Test 1.3 (Channel 3): $(I_{T1} = (n - 1) \times 3 \text{ A})$

$$I_{T1} = 18 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port H, using two half string models. The current limitation of the input ports of 14,5 A does not allow a parallel connection of six strings with 3 A to one input port. Therefore, one full string model is connected to each input port I, J, K, L, M and N.

For the other input ports A, B, C, D, E, F and G no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port H: 2,5 A arcing current; Input port I, J, K, L, M, N: 3 A parallel current each.)

Test 2.1 (Channel 1): ($I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A}$)

$$I_{T2} = 28 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port A, using two half string models. The current limitation of the input ports of 14,5 A does not allow a parallel connection of three strings with 9,3 A each. Therefore, one full string model is connected to each input port B, C and D.

For the other input ports E, F, G, H, I, J, K, L, M and N no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port A: 7 A arcing current; Input port B, C, D: 9,3 A parallel current each.)

Test 2.2 (Channel 2): ($I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A}$)

$$I_{T2} = 28 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port E, using two half string models. The current limitation of the input ports of 14,5 A does not allow a parallel connection of two strings with 14 A each. Therefore, one full string model is connected to each input port F and G.

For the other input ports A, B, C, D, H, I, J, K, L, M and N no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port E: 7 A arcing current; Input port F and G: 14 A parallel current each.)

Test 2.3 (Channel 3): ($I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A}$)

$$I_{T2} = 64 \text{ A.}$$

The arcing current is applied on input port H, using two half string models. The current limitation of the input ports of 14,5 A does not allow a parallel connection of six strings with 10,7 A each. Therefore, one full string model is connected to each input port I, J, K, L, M and N.

For the other input ports A, B, C, D, E, F and G no further string models are needed, as they are not relevant for checking this channel.

(Input port H: 7 A arcing current; Input port I, J, K, L, M and N: 10,7 A parallel current each.)

Table C.7 gives an overview of the respective tests to be carried out:

Table C.7 – Overview tests F-I-AFPE

Test number	I_{arc} A (as defined by Table 5)	I_{parallel} A (as calculated according 9.2.6)	V_{mpp} V (as defined by Table 5 or calculated)	Test setup	Number of tests
Test 1.1	2,5	NA	400	Figure B.3	4
Test 1.2	2,5	NA	400	Figure B.3	4
Test 1.3	2,5	NA	400	Figure B.3	4
Test 2.1	7	NA	400	Figure B.3	4
Test 2.2	7	NA	400	Figure B.3	4
Test 2.3	7	NA	400	Figure B.3	4
Test 1.1	2,5	9	400	Figure B.4	4
Test 1.2	2,5	6	400	Figure B.4	4
Test 1.3	2,5	18	400	Figure B.4	4
Test 2.1	7	28	400	Figure B.4	4
Test 2.2	7	28	400	Figure B.4	4
Test 2.3	7	64	400	Figure B.4	4
Test 4.1	7	NA	607	Figure B.3	4
Test 4.2	7	NA	607	Figure B.3	4
Test 4.3	7	NA	607	Figure B.3	4
NA: not applicable.					

NOTE For each test the arc generator is placed at the respective positions defined in the test setups. Tests to be conducted two times with two different arc generator locations. Therefore, number of tests is at least 4. The test number is doubled when all tests are conducted with two different values of C4 according to Table B.2.

Annex D (informative)

Cross reference application and test setup

Table D.1 – Cross reference application and test setup

Clause number	Application	Test setup description	Figure number
B.2	String inverter	Single string test setup (tests 1, 2, 4)	Figure B.3
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.4
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.5
B.3	Micro inverter	Single string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.6
		Single string test setup (tests 1 and 2) – series modules	Figure B.7
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.8
		Parallel string test setup (tests 1 and 2) – series modules	Figure B.9
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.10
B.4	Module level DC/DC conversion		
B.4.1	Input	Single string test setup (tests 1, 2, 4)	Figure B.11
		Single string test setup (tests 1, 2, 4) – series modules	Figure B.12
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.13
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.14
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.15
B.4.2	Output	Single string test setup (tests 1, 2, 4)	Figure B.16
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.17
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.18
B.5	external combined strings		
B.5.1	Input	Single string test setup (tests 1, 2, 4)	Figure B.19
		Parallel string test setup (tests 1 and 2)	Figure B.20
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.21
B.5.2	Output	Single string test setup (test 1 and 2)	Figure B.22
		Parallel string test setup (tests 3 and 5)	Figure B.23

Bibliography

IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-121:1998/AMD1:2002

IEC 60050-121:1998/AMD2:2008

IEC 60050-121:1998/AMD3:2019

IEC 60050-121:1998/AMD4:2021

IEC 60050-121:1998/AMD5:2021

IEC 62606:2013, *General requirements for arc fault detection devices*

IEC 62606:2013/AMD1:2017

IEC 62606:2013/AMD2:2022

IEC 62891:2020, *Maximum power point tracking efficiency of grid connected photovoltaic inverters*

UL 1699 B:2018, *Photovoltaic (PV) DC Arc-Fault Circuit Protection*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	70
INTRODUCTION.....	72
1 Domaine d'application	73
2 Références normatives	73
3 Termes et définitions	74
4 Classification	77
4.1 Généralités	77
4.2 Couverture de protection.....	77
4.3 Méthode de mise en œuvre.....	78
4.3.1 Dispositif intégré au PCE (I)	78
4.3.2 Dispositif autonome (A)	78
4.3.3 Système de détection réparti (R)	78
4.4 Fonctionnalité	78
4.4.1 AFPE: Capacité de détection et d'interruption fournie.....	78
4.4.2 AFD: Capacité de détection uniquement / pas d'interruption fournie	78
4.5 Nombre de chaînes surveillées (C)	79
4.5.1 Chaîne unique	79
4.5.2 Chaîne en parallèle	79
4.6 Nombre de ports d'entrée (E).....	79
4.7 Nombre de canaux surveillés (C)	79
4.7.1 Canal unique	79
4.7.2 Canaux multiples	79
4.8 Méthode de reconnexion.....	79
4.8.1 Généralités	79
4.8.2 Reconnexion manuelle	79
4.8.3 Reconnexion manuelle à distance.....	79
4.8.4 Reconnexion automatique	80
5 Caractéristiques assignées des AFPE et AFD	80
5.1 Généralités	80
5.2 AFPE et AFD intégrés au PCE	80
5.2.1 Valeurs assignées et limites	80
5.3 AFPE et AFD autonomes	80
5.3.1 Valeurs assignées et limites	80
5.3.2 Catégorie d'emploi.....	81
6 Informations sur le produit	81
6.1 Généralités	81
6.2 Dispositifs intégrés au PCE.....	82
6.3 Dispositifs autonomes	82
6.3.1 Nature des informations.....	82
6.3.2 Marquage	83
6.3.3 Instructions d'installation, de fonctionnement et de maintenance	83
7 Conditions normales de service, de montage et de transport	83
7.1 AFPE intégrés au PCE	83
7.2 AFPE autonomes	83
8 Exigences de construction et de fonctionnement	84

8.1	Exigences générales pour les AFD/AFPE intégrés au PCE et AFD/AFPE autonomes	84
8.1.1	Généralités	84
8.1.2	Exigences de construction	84
8.1.3	Fonctionnement en cas d'événement de défaut d'arc en série	84
8.1.4	Capacité de reconnexion de l'AFPE	84
8.1.5	Fonction d'auto-essai	85
8.2	AFD et AFPE intégrés au PCE	86
8.3	AFD et AFPE autonomes	86
9	Essais	86
9.1	Généralités	86
9.2	Essai de défaut d'arc en série	86
9.2.1	Généralités	86
9.2.2	Générateur d'arc	87
9.2.3	Source en courant continu	88
9.2.4	Réseau d'impédance de la ligne du groupe	89
9.2.5	Réseau d'impédance de ligne	89
9.2.6	Procédure d'essai	90
9.2.7	Mesurage de l'énergie d'arc et du temps de réponse	93
9.2.8	Fonction d'auto-essai	93
9.2.9	Essai de reconnexion	94
Annexe A (informative)	Exemples de chaîne et de canal	95
A.1	Généralités	95
A.2	AFD et AFPE intégrés au PCE	95
A.3	AFPE autonomes	96
A.4	AFPE répartis	97
Annexe B (normative)	Montages d'essai selon différents cas d'application	98
B.1	Généralités	98
B.1.1	Vue d'ensemble	98
B.1.2	Modèles de source PV	99
B.1.3	Organigramme pour le choix des essais	100
B.2	Onduleur chaîne d'application	102
B.3	Micro-onduleur d'application	103
B.4	Conversion de courant continu à courant continu au niveau du module d'application	105
B.4.1	Montages d'entrée	105
B.4.2	Montages de sortie	108
B.5	Chaînes combinées externes d'application	109
B.5.1	Montages d'entrée	109
B.5.2	Montages de sortie	111
Annexe C (informative)	Exemples d'application	112
C.1	Généralités	112
C.2	Exemple 1: Onduleur chaîne avec AFPE intégré (F-I-AFPE)	112
C.3	Exemple 2: Onduleur au niveau du module avec AFPE intégré (F-I-AFPE)	113
C.4	Exemple 3: AFPE externe (P-S-AFPE)	114
C.5	Exemple 4: Système de conversion continu-continu au niveau du module avec AFPE intégré (F-I-AFPE)	117
C.6	Exemple 5: Onduleur chaîne avec plusieurs entrées (F-I-AFPE)	120
C.7	Exemple 6: Onduleur chaîne avec plusieurs entrées (F-I-AFPE)	123

C.8 Exemple 7: Onduleur chaîne avec plusieurs entrées (F-I-AFPE)	125
Annexe D (informative) Références croisées applications et montage d'essai	130
Bibliographie	131
Figure 1 – Schéma du générateur d'arc	87
Figure 2 – Dimensions des électrodes du générateur d'arc	88
Figure 3 – Réseau de découplage de la source en courant continu	89
Figure 4 – Réseau d'impédance de la ligne du groupe	89
Figure 5 – Réseau d'impédance de ligne	90
Figure 6 – Courant d'entrée de limitation	91
Figure A.1 – Schéma de réglage en chaîne des AFD et AFPE intégrés au PCE	95
Figure A.2 – Schéma de réglage en parallèle des AFD et AFPE intégrés au PCE	95
Figure A.3 – Schéma de réglage en chaîne des AFPE autonomes	96
Figure A.4 – Schéma de réglage en parallèle des AFPE autonomes	96
Figure A.5 – Schéma des AFPE répartis à chaîne unique et canal unique	97
Figure A.6 – Schéma à chaîne unique et canal unique (AFD intégré à l'onduleur et contrôleur)	97
Figure B.1 – Modèle de source PV	99
Figure B.2 – Organigramme pour choisir les cas d'essai applicables	101
Figure B.3 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)	102
Figure B.4 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	102
Figure B.5 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	102
Figure B.6 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1 et 2)	103
Figure B.7 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1 et 2) – modules en série	103
Figure B.8 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	103
Figure B.9 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2) – modules en série	104
Figure B.10 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	104
Figure B.11 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)	105
Figure B.12 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4) – modules en série	105
Figure B.13 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	106
Figure B.14 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	107
Figure B.15 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	107
Figure B.16 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)	108
Figure B.17 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	108
Figure B.18 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	109
Figure B.19 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)	109
Figure B.20 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)	110
Figure B.21 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	110
Figure B.22 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1 et 2)	111
Figure B.23 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)	111
Figure C.1 – Exemple d'onduleur chaîne avec entrée unique	112
Figure C.2 – Exemple d'onduleur au niveau du module avec entrée unique	113
Figure C.3 – Exemple d'AFPE externe avec plusieurs ports d'entrée	115
Figure C.4 – Exemple de système de conversion continu-continu au niveau du module	117

Figure C.5 – Exemple d'onduleur chaîne avec plusieurs ports d'entrée	121
Figure C.6 – Exemple d'onduleur chaîne avec plusieurs entrées	123
Figure C.7 – Exemple d'onduleur chaîne avec une classification de canaux différente	126
Tableau 1 – Classification de la couverture de protection	78
Tableau 2 – Classification combinée des AFPE et AFD	82
Tableau 3 – Exigences de marquage et de documentation	82
Tableau 4 – Exigences pour la documentation, le marquage et la position du marquage	83
Tableau 5 – Conditions d'essai de production d'arc électrique	90
Tableau B.1 – Paramètres des composants LRC généraux	99
Tableau B.2 – Paramètres des composants LCR pour différentes configurations de module	100
Tableau C.1 – Aperçu des essais de l'onduleur chaîne F-I-AFPE	113
Tableau C.2 – Aperçu des essais de l'onduleur au niveau du module (F-I-AFPE)	114
Tableau C.3 – Aperçu des essais de l'AFPE autonome (P-S-AFPE)	117
Tableau C.4 – Aperçu des essais F-I-AFPE	120
Tableau C.5 – Aperçu des essais F-I-AFPE	123
Tableau C.6 – Aperçu des essais F-I-AFPE	125
Tableau C.7 – Aperçu des essais F-I-AFPE	129
Tableau D.1 – Références croisées applications et montages d'essai	130

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES – DÉTECTION ET INTERRUPTION D'ARC EN COURANT CONTINU

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 63027 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.

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

Projet	Rapport de vote
82/2112/FDIS	82/2133/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.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023

INTRODUCTION

Le présent document fournit des exigences et des procédures d'essai pour les dispositifs de protection contre les défauts d'arc utilisés dans les systèmes PV afin de réduire le risque d'incendie d'origine électrique.

Un système PV contient un certain nombre de sources en courant continu réparties (modules PV) et de circuits. Dans la série de systèmes en courant alternatif, les durées d'arc sont limitées par le courant alternatif qui passe à zéro ampère deux fois par cycle. Dans les systèmes en courant continu, le courant de production d'arc électrique peut être constant et des durées d'arc plus longues sont prévues. Contrairement à une alimentation électrique centralisée, pour laquelle le circuit est déconnecté au niveau de la connexion à l'alimentation en cas de défaut, un système PV est constitué d'alimentations électriques réparties qui ne peuvent pas déconnecter des circuits dans un emplacement unique. Cependant pour éteindre des arcs en série, l'emplacement de l'arc dans le circuit n'a pas d'importance tant que le courant est interrompu. Cette protection contre les défauts d'arc peut se situer dans l'onduleur, sur les circuits de groupe, sur les circuits de sous-groupe, sur les circuits de chaîne ou au niveau du module. Par conséquent, le présent document spécifie une plage de montages d'essai qui permettent de couvrir les topologies de système prévues.

Dans les systèmes PV, la protection contre les défauts à la terre est exigée, selon les normes d'installation de l'IEC. De plus, des câbles à âme unique à isolation double ou renforcée sont exigés (sauf pour les systèmes TBT). Le risque d'arcs en parallèle est donc plutôt faible puisque dans la plupart des cas, un défaut à la terre se produit avant. En tant que tel, le présent document ne traite pas des exigences ou des essais pour la détection d'arcs en parallèle. Le plus grand risque pour les systèmes PV provient des arcs en série. Le présent document se concentre donc sur les exigences et essais des équipements de protection contre les défauts d'arc, et ce, afin de vérifier que la plupart des arcs en série dans un système PV sont détectés.

De nombreux dispositifs pour la détection d'arcs détectent les arcs par analyse et comparaison de l'émission du signal à haute fréquence de l'arc. Ces dispositifs peuvent être déclenchés par des perturbations externes qui proviennent d'autres équipements reliés au groupe PV, par exemple de l'onduleur. Par conséquent, une évaluation de l'interopérabilité est nécessaire. D'autres influences externes comme les signaux radio, les étincelles des tramways, et la commutation en charge, entre autres, peuvent également provoquer des déclenchements intempestifs. Ces causes relèvent de la performance et ne sont donc pas traitées dans le présent document.

Les dispositifs pour la détection d'arcs des systèmes PV ont été introduits comme exigence aux États-Unis depuis la publication du National Electrical Code américain de 2011, ce qui a conduit au développement d'une norme de produit pour la protection contre les défauts d'arc PV (UL 1699B). L'expérience tirée de ces documents et leur application aux États-Unis servent de fondement pour le présent document. Le présent document a été rédigé parallèlement à la mise à jour de la norme UL 1699B. Les deux équipes de rédaction ont tenu compte du travail de l'autre et ont aligné les exigences autant que possible, y compris les dimensions des électrodes.

Les dispositifs pour la détection d'arcs sont obligatoires aux États-Unis depuis de nombreuses années pour certaines installations en courant alternatif. Au sein de l'IEC, les dispositifs pour la détection d'arcs exigés conformément à l'IEC 62606 ont été introduits pour certains emplacements de circuits en courant alternatif. Aucune norme de produit IEC n'était disponible pour les circuits PV. Par conséquent, le présent document fournit désormais des procédures d'essai pour les dispositifs pour la détection d'arcs des systèmes PV, lorsque cela est exigé par les normes d'installation.

Le présent document a été rédigé pour les besoins et caractéristiques particuliers des systèmes PV. Les aspects uniques des sources PV en courant continu (groupe de sources réparties, comportement du courant, dépendance à l'éclairage, impédance du système, etc.) diffèrent grandement des autres sources et applications en courant continu. Par conséquent, la présente norme spécifique aux systèmes PV était nécessaire, et les équipements conformes au présent document ne peuvent pas être adaptés à d'autres sources et applications en courant continu.

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES – DéTECTION ET INTERRUPTION D'ARC EN COURANT CONTINU

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux équipements utilisés pour la détection et éventuellement pour l'interruption des arcs électriques en courant continu des circuits des systèmes photovoltaïques (PV). Il couvre les procédures d'essai de détection des arcs en série dans les circuits PV, et les temps de réponse de l'équipement utilisé pour interrompre les arcs.

Le document définit les scénarios de référence selon lesquels les essais sont réalisés. Le présent document couvre les équipements reliés à des systèmes qui ne dépassent pas une tension maximale de circuit de source PV de 1 500 V en courant continu.

La détection des arcs des circuits en parallèle n'est pas couverte par le présent document. Le présent document ne s'applique pas aux sources ou aux applications en courant continu autres que les sources PV en courant continu.

NOTE La détection des arcs en parallèle peut être prise en considération pour une publication ultérieure.

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 60730-1:2013, *Dispositifs de commande électrique automatiques – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60730-1:2013/AMD1:2015

IEC 60730-1:2013/AMD2:2020

IEC 60947-1:2020, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

IEC 60947-3:2020, *Appareillage à basse tension – Partie 3: Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles*

IEC 61508 (toutes les parties), *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*

IEC TS 61836:2016, *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*

3 Termes et définitions

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

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

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

3.1

arc

production d'arc électrique

conduction gazeuse autonome dans laquelle la plupart des porteurs de charge sont des électrons produits par émission électronique primaire

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-12]

3.2

défaut d'arc

défaut de production d'arc électrique

arc en série ou en parallèle involontaire et dangereux entre des conducteurs

[SOURCE: IEC 62606:2013, 3.2, modifiée – "en série ou en parallèle" et "entre des conducteurs" ont été ajoutées]

3.3

dispositif pour la détection d'arcs

AFD

dispositif ou groupe de dispositifs permettant de détecter les arcs

Note 1 à l'article: L'abréviation "AFD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "arc fault detector".

3.4

interrupteur de défaut de mise à terre

AFI

dispositif déclenché par un détecteur de défaut d'arc, capable d'interrompre un arc

Note 1 à l'article: L'abréviation "AFI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "arc fault interrupter".

3.5

équipement de protection contre les défauts d'arc

AFPE

combinaison d'un détecteur de défaut d'arc et d'un interrupteur de défaut d'arc pour détecter et interrompre des défauts d'arc

Note 1 à l'article: L'abréviation "AFPE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "arc fault protection equipment".

3.6

détection d'arc

fonction de détection de la présence d'un défaut d'arc

[SOURCE: IEC 62606:2013, 3.5, modifiée – "qui consiste à détecter" a été remplacée par "de détection de"]

3.7**interruption d'arc**

fonction qui consiste à éteindre l'arc en ne l'alimentant plus, par exemple en ouvrant le circuit avec un contact mécanique établi par un entrefer ou un dispositif de commutation à l'état solide

3.8**défaut d'arc en série**

production d'arc en série avec la charge et résultant d'une défaillance de la continuité prévue d'un conducteur, d'une connexion, d'un module ou d'autres composants du système dans le circuit PV en courant continu

3.9**tension en circuit ouvert**

V_{oc}

tension aux bornes de sortie d'un dispositif PV à une température et un éclairement particuliers lorsque le courant électrique de sortie du dispositif PV est nul, qui définit un paramètre d'entrée de tension de l'équipement de protection contre les défauts d'arc ou du détecteur de défaut d'arc

[SOURCE: IEC TS 61836:2016, 3.4.56, modifiée – "qui définit un paramètre d'entrée de tension de l'équipement de protection contre les défauts d'arc ou du détecteur de défaut d'arc" a été ajoutée]

3.10**courant au point de fonctionnement à puissance maximale**

I_{mpp}

courant aux bornes de sortie d'un dispositif PV à une température et un éclairement particuliers aux conditions de puissance maximale du dispositif PV, qui définit un paramètre d'entrée de courant de l'équipement de protection contre les défauts d'arc ou du détecteur de défaut d'arc

3.11**tension au point de fonctionnement à puissance maximale**

V_{mpp}

tension aux bornes de sortie d'un dispositif PV à une température et un éclairement particuliers aux conditions de puissance maximale du dispositif PV, qui définit un paramètre d'entrée de tension de l'équipement de protection contre les défauts d'arc ou du détecteur de défaut d'arc

3.12**courant de canal assigné**

courant que peut acheminer le canal de l'équipement de protection contre les défauts d'arc ou du détecteur de défaut d'arc. Il correspond à la somme de tous les courants acheminés par un canal

3.13**courant assigné d'interruption**

courant que peut interrompre l'interrupteur de défaut d'arc ou l'équipement de protection contre les défauts d'arc

3.14**courant maximal assigné par port d'entrée**

I_{pA}

courant auquel est limité un port d'entrée d'un équipement de protection contre les défauts d'arc ou d'un détecteur de défaut d'arc

Note 1 à l'article: Le courant maximal par port d'entrée est généralement identique au courant d'arc maximal.

3.15

équipement de conversion de puissance

PCE

dispositif ou équipement capable de convertir l'énergie électrique d'une forme à une autre

Note 1 à l'article: L'abréviation "PCE" est dérivée du terme anglais développé correspondant "power conversion equipment".

3.16

chaîne

circuit constitué d'un ou de plusieurs modules PV connectés en série

3.17

dispositif intégré au PCE

détecteur de défaut d'arc, interrupteur de défaut d'arc ou équipement de protection contre les défauts d'arc intégré à l'équipement de conversion de puissance

3.18

dispositif autonome

détecteur de défaut d'arc, interrupteur de défaut d'arc ou équipement de protection contre les défauts d'arc séparé et indépendant de l'équipement de conversion de puissance

3.19

système de détection réparti

équipement de protection contre les défauts d'arc réparti dans le système PV

3.20

dispositif à canal unique

dispositif qui comporte un seul circuit de détection pour la détection d'arc

3.21

dispositif à canaux multiples

dispositif qui comporte plusieurs circuits de détection indépendants pour la détection d'arc

3.22

dispositif en essai

DUT

échantillon particulier mesuré ou observé

Note 1 à l'article: L'abréviation "DUT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "device under test".

3.23

photovoltaïque

PV

relatif à la conversion directe de la lumière en énergie électrique

[SOURCE: IEC 62109-1:2010, 3.55]

3.24

courant de court-circuit

I_{sc}

courant électrique aux bornes de sortie d'un dispositif PV à une température et à un éclairement spécifiques lorsque la tension de sortie du dispositif est égale ou proche de zéro

[SOURCE: IEC 61836:2016, 3.4.80, modifiée – La Note 1 a été supprimée en anglais]

4 Classification

4.1 Généralités

Le présent article donne une vue d'ensemble des classifications utilisées pour les AFD et les AFPE dans le présent document. Le schéma de classification décrit le type d'équipement et tient compte des aspects importants pertinents pour les essais et l'installation. Les normes d'installation peuvent se référer à cette classification pour spécifier les exigences de protection contre les défauts d'arc.

Couverture de protection: Définit les parties d'un système ou d'une installation PV qui sont couvertes par l'AFD ou l'AFPE.

Méthode de mise en œuvre: Définit le type et la conception de l'AFD ou de l'AFPE. La méthode de mise en œuvre affecte particulièrement les exigences de construction et les essais.

Fonctionnalité: Indique si un équipement ou un dispositif est un AFD ou un AFPE.

Nombre de chaînes, entrées et canaux surveillés: Le nombre maximal de chaînes PV, entrées et canaux de mesure connectés qui peuvent être pris en charge par l'AFD ou l'AFPE, et pour lesquels il est soumis à l'essai.

Méthode de reconnexion: Définit les méthodes de reconnexion prises en charge par le produit.

L'Annexe B fournit des informations supplémentaires et introduit des mesures qui permettent de grouper les classifications suivantes en différents cas d'utilisation.

L'AFPE peut avoir plusieurs classifications, et des caractéristiques assignées différentes peuvent s'appliquer pour chacune d'elles. Dans ce cas, le constructeur doit documenter les exigences d'installation et de connexion pour chaque classification.

NOTE Un exemple est un onduleur qui permet la connexion directe des chaînes PV ou la connexion d'un câble principal en courant continu. Pour les connexions directes de chaîne, la classification peut être F-I-AFPE-1-4-1. Pour la connexion du câble principal, la classification peut être P-I-AFPE-6-1-1.

L'AFPE peut fournir des ports d'entrée avec des caractéristiques assignées différentes (par exemple, le nombre de chaînes par port d'entrée, les caractéristiques assignées de courant). Dans ce cas, les essais doivent être réalisés dans la configuration la plus défavorable.

4.2 Couverture de protection

La couverture de protection définit les circuits et composants du système PV qui sont couverts par l'AFD ou l'AFPE.

Deux types de classifications sont définis (voir le Tableau 1).

Tableau 1 – Classification de la couverture de protection

Système	Code	Description
	C	La protection contre les défauts d'arc est assurée depuis les modules PV jusqu'aux bornes d'entrée de l'onduleur. (Couverture complète)
	P	La protection contre les défauts d'arc est assurée depuis les modules PV jusqu'à la connexion en parallèle des chaînes. Aucune protection contre les défauts d'arc n'est assurée pour le câblage entre la connexion en parallèle et les bornes d'entrée de l'onduleur. (Couverture partielle)

NOTE La couverture complète (C) typique est difficile à obtenir pour les courants élevés dans les câbles principaux en courant continu. Le seuil de protection 750 J peut également être difficile à atteindre du fait des courants élevés et des limites physiques des durées d'interruption. Une protection contre les dangers d'incendie peut être assurée par l'installation.

4.3 Méthode de mise en œuvre

4.3.1 Dispositif intégré au PCE (I)

L'AFPE est mis en œuvre dans un PCE relié au groupe PV et utilise le boîtier et les bornes du PCE.

4.3.2 Dispositif autonome (A)

L'AFPE est un dispositif unique qui fonctionne de manière indépendante et utilise sa propre enveloppe ou d'autres enveloppes dédiées.

4.3.3 Système de détection réparti (R)

L'AFPE comprend plusieurs dispositifs. Ces dispositifs peuvent être autonomes ou intégrés dans un PCE.

4.4 Fonctionnalité

4.4.1 AFPE: Capacité de détection et d'interruption fournie

Le dispositif comprend un AFD et un AFI pour une fonctionnalité d'AFPE complète.

4.4.2 AFD: Capacité de détection uniquement / pas d'interruption fournie

Le dispositif ne détecte que l'arc. Un AFD sans AFI alloué ne satisfait pas aux exigences d'un AFPE selon le présent document. Ces dispositifs peuvent être utilisés pour indiquer les événements d'arc, par exemple en relation avec un système d'alarme à incendie.

4.5 Nombre de chaînes surveillées (C)

4.5.1 Chaîne unique

La conception de l'AFD ou de l'AFPE est telle qu'une seule chaîne du groupe ou qu'un seul module peut être connecté à un port d'entrée pour la détection et, dans le cas de l'AFPE, pour l'interruption.

4.5.2 Chaîne en parallèle

La conception de l'AFD ou de l'AFPE est telle que plusieurs chaînes ou modules peuvent être connectés pour la détection et, dans le cas de l'AFPE, pour l'interruption. Le nombre maximal de chaînes pour un port d'entrée doit être défini par le constructeur. Les chaînes en parallèle peuvent être connectées directement au dispositif ou à une jonction externe à ce dernier.

NOTE Se reporter à l'Annexe A pour des configurations de chaîne différentes.

4.6 Nombre de ports d'entrée (E)

Un AFD ou un AFPE peut être fourni avec un ou plusieurs ports d'entrée par canal surveillé. En cas de ports d'entrée multiples, le courant d'arc maximal est généralement inférieur au courant de détection assigné du canal. Le nombre de ports d'entrée par canal doit être défini par le constructeur, ainsi que le courant maximal assigné par port d'entrée (I_{pA}).

Des connexions en parallèle des chaînes à l'extérieur de l'enveloppe ou de l'armoire de l'équipement ne sont pas considérées comme des ports d'entrée.

NOTE Se reporter à l'Annexe A pour des configurations d'entrée différentes.

4.7 Nombre de canaux surveillés (C)

4.7.1 Canal unique

La conception de l'AFD ou de l'AFPE est telle qu'un seul canal de détection est fourni pour détecter les arcs.

4.7.2 Canaux multiples

L'AFD ou l'AFPE comporte plusieurs canaux de détection indépendants pour détecter les arcs. Le nombre de canaux doit être défini par le constructeur.

NOTE Se reporter à l'Annexe A pour des configurations de canal différentes.

4.8 Méthode de reconnexion

4.8.1 Généralités

Les normes d'installation peuvent choisir une méthode de reconnexion parmi les suivantes pour définir les exigences de réponses adéquates après l'interruption d'arc par l'AFPE.

4.8.2 Reconnexion manuelle

Après l'interruption d'arc, la reconnexion ne peut s'effectuer que manuellement.

4.8.3 Reconnexion manuelle à distance

Après l'interruption d'arc, la reconnexion peut s'effectuer par un accès à distance à l'AFPE.

4.8.4 Reconexion automatique

Après l'interruption d'arc, l'AFPE fournit des moyens qui permettent de se reconnecter automatiquement en suivant les mesures décrites au 8.1.4.4.

5 Caractéristiques assignées des AFPE et AFD

5.1 Généralités

Le présent article identifie les caractéristiques assignées à définir pour les AFPE et AFD par leur classification. Ces caractéristiques assignées affectent le choix des essais à réaliser selon le présent document.

Pour les AFPE intégrés, les corrélations entre les caractéristiques assignées de l'AFPE et celles du produit sont décrites.

5.2 AFPE et AFD intégrés au PCE

5.2.1 Valeurs assignées et limites

5.2.1.1 Courant de canal assigné

Le courant de détection maximal assigné d'un canal.

5.2.1.2 Courant maximal par port d'entrée

Le courant maximal assigné que peut acheminer un port d'entrée.

Pour le PCE, le courant maximal par port d'entrée correspond au courant de point de fonctionnement à puissance maximale (MPP – *maximum power point*) du port d'entrée correspondant. Ce courant peut être limité par une étape de conversion de puissance ou une caractéristique assignée de borne.

5.2.1.3 Courant assigné d'interruption

Le courant continu maximal assigné que le PCE est capable d'interrompre.

NOTE Pour l'AFPE intégré au PCE, le courant maximal assigné d'interruption correspond généralement au I_{pA} du PCE. Bien que l'interruption des onduleurs puisse être fournie par le pont en courant alternatif ou du côté alternatif, le courant est défini par I_{pA} .

5.2.1.4 Autres caractéristiques assignées

D'autres caractéristiques assignées de l'AFPE ou de l'AFD correspondent aux caractéristiques d'entrée du PCE conformément à l'IEC 62109-1.

5.3 AFPE et AFD autonomes

5.3.1 Valeurs assignées et limites

5.3.1.1 Généralités

Les valeurs assignées sont fixées par le constructeur. Elles doivent être indiquées conformément à l'IEC 60947-1. Toutefois, il peut ne pas être nécessaire de spécifier toutes les valeurs assignées énumérées.

5.3.1.2 Tensions assignées

5.3.1.2.1 Tension assignée d'emploi (U_e)

Le paragraphe 5.3.1.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.1.2.2 Tension assignée d'isolement (U_i)

Le paragraphe 5.3.1.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.1.2.3 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp})

Le paragraphe 5.3.1.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

5.3.1.3 Courants

5.3.1.3.1 Généralités

L'AFPE est défini par les courants suivants.

5.3.1.3.2 Courant de canal assigné

Le courant de détection maximal assigné d'un canal.

5.3.1.3.3 Courant maximal par port d'entrée

Le courant maximal assigné que peut acheminer un port d'entrée.

Ce courant peut être limité par une caractéristique assignée de borne.

5.3.1.3.4 Courant assigné d'interruption

Le courant continu maximal assigné que l'AFI ou l'AFPE est capable d'interrompre, qui correspond habituellement au courant coupé comme cela est décrit dans l'IEC 60947-1:2020.

5.3.1.4 Service assigné

Le paragraphe 5.3.5 de l'IEC 60947-3:2020 s'applique.

NOTE Dans la plupart des cas, les AFPE relèvent du 5.3.5.2 (Service de 8 h) ou du 5.3.5.3 (Service ininterrompu) de l'IEC 60947-3:2020.

5.3.2 Catégorie d'emploi

Les AFPE autonomes doivent être assignés DC-PV1 ou DC-PV2 conformément à l'IEC 60947-3:2020.

NOTE Le choix dépend de l'emplacement dans le système.

6 Informations sur le produit

6.1 Généralités

Les AFPE et les AFD peuvent être conçus de nombreuses manières différentes. Le Tableau 2 définit une classification de différents produits. Ce tableau doit permettre de distinguer les différents modèles par indication des différents paramètres, séparés par '-'.

Tableau 2 – Classification combinée des AFPE et AFD

Couverture de protection (selon 4.2)	Méthode de mise en œuvre (selon 4.3)	Fonctionnalité (selon 4.4)	Chaînes surveillées (selon 4.5)	Ports d'entrée (selon 4.6)	Canaux surveillés (selon 4.7)
– Couverture complète (C) – Couverture partielle (P)	– Intégré (I) – Autonome (A) – Réparti (R)	– AFPE – AFD	Nombre de chaînes	Nombre de ports d'entrée	Nombre de canaux surveillés

NOTE Suivant le Tableau 2, un AFPE intégré qui assure une protection complète pour quatre chaînes surveillées avec un port d'entrée et un canal surveillé est caractérisé par F-I-AFPE-4-1-1.

La documentation du produit doit inclure des informations sur la manière d'installer correctement l'équipement afin de respecter la classification fournie.

6.2 Dispositifs intégrés au PCE

L'IEC 62109-1 s'applique avec les ajouts suivants.

Outre les informations sur le produit appropriées conformément à l'Article 5 de l'IEC 62109-1:2010, les informations suivantes doivent être fournies.

- Couverture de protection (C pour "complète" ou P pour "partielle")
- Méthode de mise en œuvre (R pour "réparti" ou I pour les systèmes complètement "intégrés")
- Nombre maximal de chaînes par entrée ou port d'entrée (à partir du nombre de canaux et du nombre maximal de chaînes surveillées par canal)
- Méthode de reconnexion
- Fonctionnalité (AFD, AFPE).

Outre les exigences de marquage et de documentation décrites au 5.1 de l'IEC 62109-1:2010, les exigences du Tableau 3 s'appliquent.

Tableau 3 – Exigences de marquage et de documentation

	Marquage ou élément d'information	Visible sur le produit installé	Dans un manuel
a	Classification selon le Tableau 2	x	x
b	Méthode de reconnexion		x

6.3 Dispositifs autonomes

6.3.1 Nature des informations

Le paragraphe 6.1 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique selon le cas pour un modèle particulier avec les ajouts suivants.

- Couverture de protection (C pour "complète" ou P pour "partielle")
- Méthode de mise en œuvre (R pour "réparti" ou A pour un dispositif autonome)
- Nombre maximal de chaînes par entrée ou port d'entrée (à partir du nombre de canaux et du nombre maximal de chaînes surveillées par canal)
- Fonctionnalité (AFD, AFPE)
- Courant assigné d'interruption (le cas échéant)

- Méthode de reconnexion
- Informations relatives à la compatibilité avec les modèles PCE spécifiques et avec d'autres composants selon 8.3 et 9.2.1.

6.3.2 Marquage

Le paragraphe 6.2 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique selon le cas pour les caractéristiques définies dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences pour la documentation, le marquage et la position du marquage

	Marquage ou élément d'information	Position du marquage ou de l'information		
		Visible sur le produit installé	Sur le produit	Dans une brochure
a	Classification selon le Tableau 2	x	x	x
b	Courant assigné	x	x	x
c	Nombre maximal de chaînes par entrée ou par port d'entrée		x	x
d	Orientation		x	x
e	Méthode de reconnexion			x
f	Informations relatives à la compatibilité			x

6.3.3 Instructions d'installation, de fonctionnement et de maintenance

Le paragraphe 6.3 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique.

7 Conditions normales de service, de montage et de transport

7.1 AFPE intégrés au PCE

Pour les AFPE intégrés au PCE, les conditions normales de service, de montage et de transport de l'IEC 62109-1 s'appliquent.

Dans le cas où une fonction d'essai manuel est incorporée, la fréquence de fonctionnement manuel doit être indiquée dans le manuel du produit.

7.2 AFPE autonomes

L'Article 7 de l'IEC 60947-1:2020 s'applique, avec l'ajout suivant.

Sauf indication contraire du constructeur, le matériel est destiné à être installé dans les conditions d'environnement du degré de pollution 3.

Dans le cas où une fonction d'essai manuel est incorporée, la fréquence de fonctionnement manuel doit être indiquée dans le manuel du produit.

8 Exigences de construction et de fonctionnement

8.1 Exigences générales pour les AFD/AFPE intégrés au PCE et AFD/AFPE autonomes

8.1.1 Généralités

Le présent article définit les exigences qui sont identiques aux AFD/AFPE intégrés au PCE et aux AFD/AFPE autonomes. Les exigences spécifiques supplémentaires sont incluses au 8.2 et au 8.3.

8.1.2 Exigences de construction

8.1.2.1 Annonceur d'événements de défaut d'arc

Les AFD et AFPE doivent être équipés d'un annonceur (local ou à distance) qui fournit une indication visuelle du fonctionnement effectif du dispositif lorsqu'un défaut d'arc est détecté.

Lorsqu'il est exigé d'effectuer la reconnexion manuellement, cette indication ne doit pas se réinitialiser automatiquement. Ce principe s'applique à la reconnexion manuelle, à la reconnexion manuelle à distance et également en cas de reconnexion automatique après la cinquième interruption pendant 24 h.

8.1.2.2 Composants de circuit programmables

Tout circuit qui utilise un composant de circuit programmable doit satisfaire à l'IEC 61508, à l'Annexe H de l'IEC 60730-1:2013 ou à l'Annexe B de l'IEC 62109-1:2010.

8.1.3 Fonctionnement en cas d'événement de défaut d'arc en série

L'AFD doit détecter l'arc en 2,5 s ou avant que l'énergie de l'arc ne dépasse 750 J, selon la première de ces éventualités.

L'AFPE doit détecter l'arc et l'interrompre en 2,5 s ou avant que l'énergie de l'arc ne dépasse 750 J, selon la première de ces éventualités.

Si l'AFPE peut éteindre l'arc avant que l'énergie ne dépasse 200 J et en 2,5 s, alors l'annonce de la détection d'arc n'est pas exigée. Ces événements ne sont pas considérés comme une déconnexion et les exigences de reconnexion selon 8.1.4 ne s'appliquent donc pas.

L'énergie de l'arc est mesurée pendant les essais de l'arc lui-même. Il n'est pas exigé que le DUT mesure l'énergie de l'arc, ni pendant les essais, ni lors d'une utilisation sur le terrain.

L'annonce d'arcs inférieurs à 200 J n'est pas exigée pour des raisons techniques, mais peut fournir des informations utiles à l'opérateur pour attirer son attention, et il convient de la fournir dans toute la mesure du possible.

8.1.4 Capacité de reconnexion de l'AFPE

8.1.4.1 Généralités

Après avoir détecté un arc, les circuits doivent rester interrompus, même en cas de perte d'alimentation. Pour le redémarrage, les méthodes suivantes s'appliquent.

8.1.4.2 Reconnexion manuelle

Pour redémarrer l'AFPE et fermer les circuits, une procédure manuelle est exigée (un bouton ou un signal externe, déclenché manuellement sur site). Cette exigence de procédure manuelle doit être maintenue après la perte d'alimentation de l'AFPE.

NOTE L'utilisation prévue d'un redémarrage manuel est celle pour laquelle l'opérateur préfère une inspection du système avant la reconnexion.

8.1.4.3 Reconnexion manuelle à distance

Pour redémarrer l'AFPE et fermer les circuits, une procédure manuelle est exigée (un bouton ou un signal externe, déclenché manuellement sur site ou une activation à distance). Cette exigence de procédure manuelle doit être maintenue après la perte d'alimentation de l'AFPE.

NOTE L'utilisation prévue est celle pour laquelle un système PV est surveillé par l'intermédiaire d'une commande à distance et pour laquelle l'opérateur préfère vérifier le système à distance avant la reconnexion.

8.1.4.4 Reconnexion automatique

Des durées de reconnexion automatique ajustables sont admises pour satisfaire aux normes d'installation locales ou aux préférences du propriétaire/opérateur, à condition d'assurer un délai de reconnexion minimal. Dans le cas où les durées de reconnexion sont ajustables, cette opération doit être réalisée par le biais de paramètres de configuration réglables ou de commutateurs manuels (par exemple, des commutateurs rotatifs).

NOTE L'utilisation prévue des réglages ajustables consiste à permettre une détection de défaut d'arc plus sensible lorsque cela est jugé approprié, et à permettre aux vérifications du système de différencier les déclenchements intempestifs et les arcs réels.

Aucune procédure manuelle n'est exigée pour redémarrer l'AFPE lorsqu'une durée d'interruption minimale de 5 min est assurée avant de poursuivre le fonctionnement du groupe.

Lors de la cinquième interruption en 24 h, seule la réinitialisation manuelle de l'AFPE est admise selon 8.1.4.2 ou 8.1.4.3 avant la reconnexion effective de l'équipement. Ensuite, l'AFPE peut revenir en mode de reconnexion automatique.

8.1.5 Fonction d'auto-essai

Des AFD et AFPE doivent être équipés d'une fonction d'essai à actionnement manuel ou automatique, ou les deux, qui permet des contrôles réguliers du circuit de détection d'arc.

La fonction d'essai doit:

- simuler un arc de sorte que le circuit ou le logiciel de détection d'arc soit amené à détecter l'arc simulé; ou
- exécuter un autre programme de contrôle de sécurité de manière à détecter un défaut dans le circuit ou le logiciel de détection d'arc.

La fonction d'essai manuel doit permettre un essai périodique du dispositif de façon manuelle, qui n'exige pas l'utilisation d'un outil ou d'une clé. Pour un AFD, un essai satisfaisant doit être indiqué après initiation manuelle.

Un AFD ou un AFPE peut être équipé d'un moyen d'activation de l'essai à distance. Lorsqu'une telle fonctionnalité est prévue, une indication visuelle à distance des résultats de l'essai et les moyens de réinitialisation manuelle à distance doivent être fournis.

La fonction d'essai automatique doit être exécutée avant le démarrage et au moins une fois toutes les 24 h.

Lors de l'essai automatique, il n'est pas exigé que l'AFPE s'interrompe.

En cas d'essai manuel, l'AFPE doit s'interrompre.

En cas de détection d'un dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE pendant l'essai manuel ou automatique, l'AFD doit indiquer le défaut et l'AFPE doit s'interrompre et indiquer ledit défaut, selon 8.1.2.1.

8.2 AFD et AFPE intégrés au PCE

Pour les AFD et AFPE intégrés au PCE, les conditions normales de service, de montage et de transport spécifiées dans l'IEC 62109-1:2010 avec les exigences supplémentaires définies au 8.1 s'appliquent.

8.3 AFD et AFPE autonomes

Les AFD et AFPE autonomes doivent satisfaire au 8.1 de l'IEC 60947-1:2020, outre les exigences décrites ci-dessous et au 8.1. Les AFPE autonomes doivent également satisfaire au 8.1 de l'IEC 60947-3:2020.

Les AFD et AFPE doivent être compatibles avec le PCE et leurs dispositifs de communication de ligne électrique. La fonctionnalité des AFD et des AFPE ne doit pas être compromise par le PCE ou la communication de ligne électrique.

9 Essais

9.1 Généralités

Les essais définis dans le présent article sont applicables de manière générale à tous les AFD et AFPE. Des exigences spécifiques supplémentaires s'appliquent comme suit:

- AFD et AFPE autonomes: Article 9 de l'IEC 60947-1:2020;
- AFPE autonomes: IEC 60947-3:2020;
- dispositifs intégrés au PCE: Article 4 de l'IEC 62109-1:2010.

9.2 Essai de défaut d'arc en série

9.2.1 Généralités

Le montage d'essai général est constitué de six éléments majeurs:

- le générateur d'arc;
- la source en courant continu;
- un réseau de découplage;
- un réseau d'impédance;
- le dispositif en essai (DUT);
- une charge.

L'AFD et l'AFPE peuvent être utilisés dans différentes topologies de groupe. Pour vérifier que la détection est réalisée dans tous les cas d'application définis par le constructeur, différents scénarios d'essai doivent être appliqués. Les distinctions majeures sont liées aux cas de:

- chaîne unique;
- chaîne en parallèle;
- canal unique;
- canaux multiples;
- module unique.

Par conséquent, l'AFD et l'AFPE doivent être soumis à l'essai pour tous les scénarios applicables selon les procédures décrites ci-dessous. L'Annexe A fournit des exemples illustratifs qui permettent de mettre en place les différents cas d'essai.

NOTE 1 Le présent document peut s'appliquer aux systèmes qui comprennent des dispositifs de protection contre les surintensités et des diodes de blocage.

La capacité de détection des dispositifs autonomes ne doit pas être compromise par des interférences internes ou externes prévues.

Par conséquent, la conformité au présent document des AFPE et AFD autonomes et répartis ne doit s'appliquer qu'à la combinaison des modèles de PCE spécifiques avec lesquels les dispositifs ont été soumis à l'essai.

NOTE 2 Pendant le fonctionnement, les PCE en mode commutation génèrent un bruit électromagnétique. L'expérience a montré que la détection des arcs peut être affectée par cette interférence.

NOTE 3 Les déclenchements intempestifs ne constituent pas un problème de sécurité, mais représentent plutôt un souci de qualité pour l'AFD et l'AFPE. La simulation du mouvement des nuages de 300 W/m²s, par exemple, selon B.3 de l'IEC 62891:2020 et des essais de démarrage/arrêt selon B.4 de l'IEC 62891:2020 peut contribuer à révéler la sensibilité des dispositifs aux déclenchements intempestifs dans les installations réelles.

9.2.2 Générateur d'arc

Le générateur d'arc doit être constitué d'électrodes boule-anneau en alliage de tungstène et d'un bloc coulissant réglable comme représenté à la Figure 1 et à la Figure 2. L'essai est initié avec les électrodes en contact entre elles (court-circuit), puis séparées à une vitesse contrôlée aux intervalles spécifiés définis dans le Tableau 5. Le pôle positif du circuit d'essai doit être relié à l'anneau de l'ensemble représenté à la Figure 1.

Une attention particulière doit être apportée au positionnement correct des électrodes les unes par rapport aux autres afin d'obtenir une zone de contact sur toute la circonférence.

La Figure 2 définit les dimensions appropriées pour les électrodes. Les parties du schéma au niveau desquelles aucune dimension ou exigence n'est définie sont considérées comme n'ayant pas d'influence sur le résultat de l'essai. Pour ces emplacements, une conception et des dimensions individuelles sont admises pour le support de moyens de fixation tels que des consoles ou des vis.

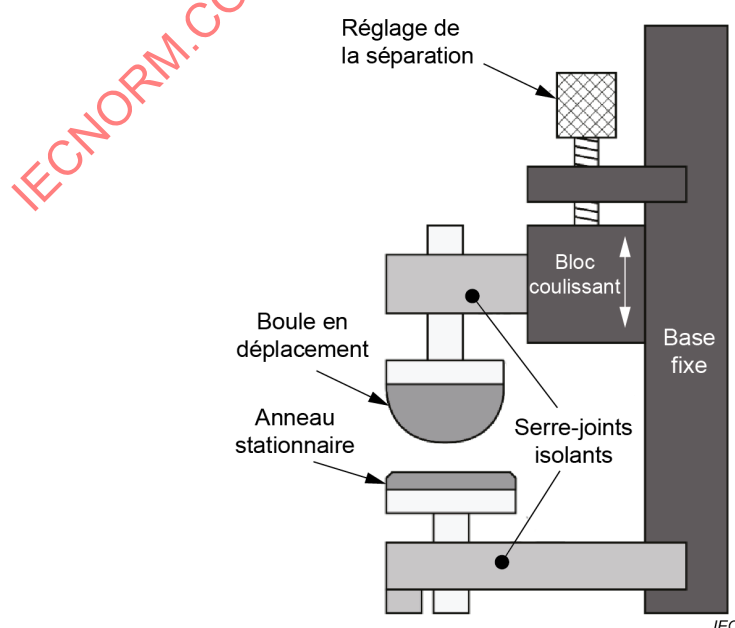


Figure 1 – Schéma du générateur d'arc

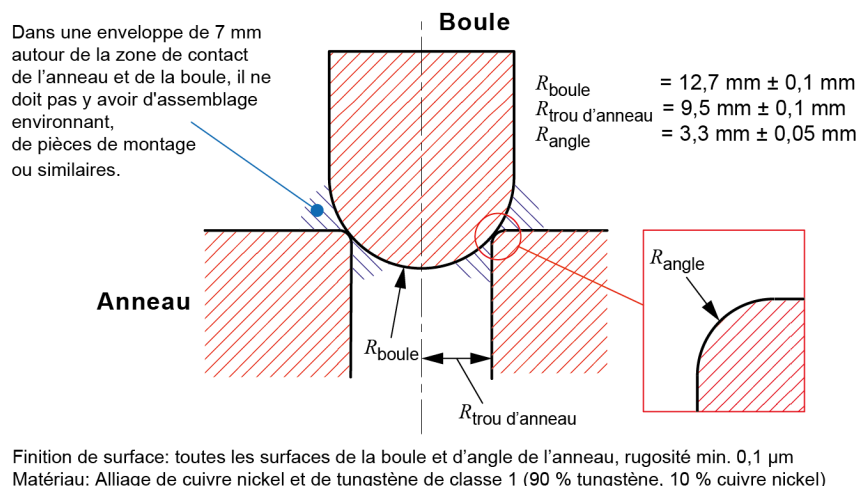


Figure 2 – Dimensions des électrodes du générateur d'arc

9.2.3 Source en courant continu

9.2.3.1 Généralités

La source exigée pour les essais doit être constituée d'une source d'alimentation en courant continu, soit:

- une source de tension constante avec une résistance supplémentaire pour simuler des caractéristiques IV spécifiques aux systèmes photovoltaïques; ou
- un simulateur PV. Étant donné qu'un simulateur PV peut produire des déclenchements indésirables ou peut empêcher que l'AFPE ne détecte des arcs, il convient d'effectuer des essais de référence avec un groupe approprié de modules PV lorsque cela est jugé nécessaire.

9.2.3.2 Source de tension constante

Lorsqu'il est spécifié que les essais doivent être réalisés à la puissance maximale, la source en courant continu doit être réglée sur son point de fonctionnement à puissance maximale (MPP) comme suit:

- la tension constante de l'alimentation doit correspondre à V_{OC} comme défini dans le Tableau 5;
- la limitation de courant de la source doit être réglée à 1,1 fois la valeur de I_{mpp} donnée dans le Tableau 5;
- R_{tot} présentée dans le Tableau 5 doit être utilisée pour calculer R_1 et R_2 (voir 9.2.3.4) selon l'équation $R_1 = R_2 = R_{tot} / 2 \times k - R_3$, où k représente le nombre de réseaux de découplage ou PV utilisés dans une chaîne. Par exemple, deux moitiés de chaîne $k = 2$, chaîne entière $k = 1$.

9.2.3.3 Simulateur PV

Lorsqu'il est spécifié que les essais doivent être réalisés à la puissance maximale, le simulateur PV doit être réglé sur son point de fonctionnement à puissance maximale (MPP) comme décrit dans le Tableau 5, avec la valeur de courant de court-circuit réglée à 1,1 fois la valeur de I_{mpp} .

Pour tous les essais qui utilisent un simulateur PV, les valeurs de la résistance $R_1 = R_2 = 0$.

9.2.3.4 Réseau de découplage

Le réseau découple la source et le DUT pour éviter toute influence éventuelle sur l'essai. Il doit être conçu selon la topologie représentée à la Figure 3. Les paramètres des composants respectifs doivent être calculés selon l'Annexe B.

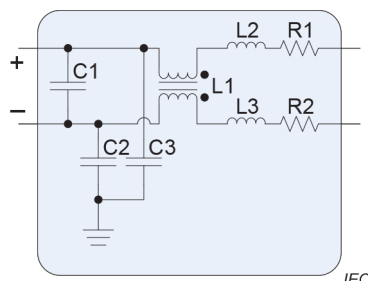


Figure 3 – Réseau de découplage de la source en courant continu

9.2.4 Réseau d'impédance de la ligne du groupe

Le DUT doit être relié à la source en courant continu et au générateur d'arc par l'intermédiaire d'un réseau qui tient compte des différentes impédances de ligne existantes dans des configurations de groupe différentes. La disposition générale du réseau est représentée à la Figure 4.

Les paramètres des composants du réseau d'impédance de ligne pour les cas d'application spécifiques sont précisés plus en détail à l'Annexe B.

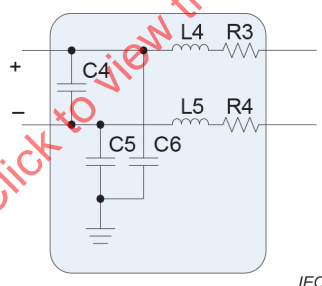


Figure 4 – Réseau d'impédance de la ligne du groupe

NOTE Le réseau d'impédance de la ligne du groupe est paramétré pour refléter les installations de champ PV types. Néanmoins, les impédances du groupe dépendent de nombreux facteurs comme la technologie du module, la longueur et le routage des câbles en courant continu, etc. Un AFD solide peut être obtenu par des essais de défaut d'arc sur le terrain dans de nombreuses installations PV différentes, ou par un enregistrement des signaux de bruit à haute fréquence ou à courant continu pendant les essais sur le terrain et par leur retransmission ultérieure sur un DUT.

9.2.5 Réseau d'impédance de ligne

Le câblage entre un combinateur de chaîne PV ou un convertisseur continu-continu et un onduleur n'est pas couvert par le réseau d'impédance de la ligne du groupe et doit être simulé par une impédance de ligne supplémentaire (Figure 5).

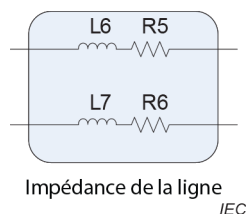


Figure 5 – Réseau d'impédance de ligne

Les paramètres des composants de l'impédance de ligne sont spécifiés à l'Annexe B.

9.2.6 Procédure d'essai

Le Tableau 5 énumère toutes les conditions d'essai de production d'arc électrique. Les conditions d'essai applicables doivent être choisies à partir des caractéristiques assignées du DUT et des configurations d'essai. Le courant maximal assigné par port d'entrée I_{pA} est utilisé pour sélectionner les essais appropriés. Le courant I_{pA} est défini soit par le courant d'entrée maximal du DUT, soit par le courant d'entrée maximal par canal, soit par le courant au point de puissance maximale du PCE, soit par un seul étage d'entrée du PCE.

Dans la situation dans laquelle la classification constitue une couverture partielle, le courant d'arc maximal ne peut pas être directement rapporté au courant I_{pA} . Dans ce cas, il est nécessaire de sélectionner le courant de production d'arc électrique selon les courants de sous-chaîne. À titre d'exemple, utiliser un courant de 15 A comme représenté à la Figure 6b).

Tableau 5 – Conditions d'essai de production d'arc électrique

Essai	I_{arc} minimale	I_{mpp}	Vitesse de séparation	V_{mpp}	V_{oc}	R_{tot}	Écart
#	A*	A	mm/s	V	V	Ω	mm
1	2,5	3,0	2,5	312,0	480,0	56,0	0,8
2	7,0	8,0	5,0	318,0	490,0	21,0	0,8
3	14,0	16,0	5,0	318,0	490,0	11,0	1,1
4	7,0	8,5	5,0	607,0	810,0	24,0	2,5
5	$0,9 \times I_{pA}$	I_{pA}	5,0	318,0	490,0	$(V_{oc} - V_{mpp}) / I_{pA}$	2,5
* Les valeurs données doivent fournir une indication des courants susceptibles de se produire. La valeur réelle dépend de plusieurs facteurs.							

Les essais 1 à 5 doivent être réalisés comme suit:

À des fins d'essai, le nombre applicable de modèles de chaînes entières définis au B.1.2 doit être connecté en parallèle. En variante, un modèle de chaîne entière et un modèle de chaîne en parallèle peuvent être utilisés, lorsque n dans le modèle de chaîne en parallèle est défini par le courant du port d'entrée divisé par 10 A. La valeur de n doit être arrondie à la valeur intégrale la plus proche. Lorsque le DUT ne peut pas fonctionner à 318 V, la tension la plus proche possible doit être utilisée. Voir aussi la Note 4 au B.1.2.

Essai 1: Cet essai doit s'appliquer à tous les DUT. En cas d'incertitude quant à l'extinction d'un arc à faible courant par l'AFPE ou par un montage d'essai inadéquat, le montage d'essai, y compris les réglages de la source en courant continu, doit être examiné et le résultat de cet examen doit être documenté.

NOTE 1 Cet essai est destiné à traiter les courants faibles auxquels des arcs peuvent se produire.

Essai 2: Cet essai doit s'appliquer lorsque le courant maximal assigné par port d'entrée du DUT est supérieur ou égal à 8 A.

Essai 3: Cet essai doit s'appliquer lorsque le courant maximal assigné par port d'entrée du DUT est supérieur ou égal à 16 A.

Essai 4: Cet essai doit s'appliquer lorsque la tension d'entrée maximale du DUT est supérieure ou égale à 810 V.

Essai 5: Cet essai doit s'appliquer lorsque le courant maximal de détection assigné d'un canal unique du DUT est supérieur ou égal à 24 A et lorsque le courant maximal de production d'arc électrique n'est pas limité par les caractéristiques assignées d'entrée du DUT à moins de 24 A (voir la Figure 6). L'essai 5 est destiné notamment à la détection d'arcs sur le câble principal des systèmes pour lesquels la connexion en parallèle des chaînes PV s'effectue à l'extérieur du dispositif ou de l'enveloppe de l'équipement.

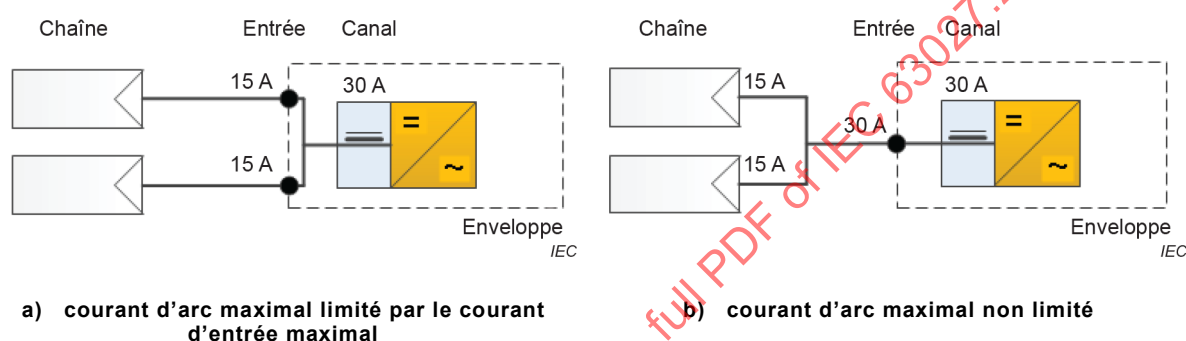


Figure 6 – Courant d'entrée de limitation

Pour les essais 1 à 3 et 5, le principe suivant s'applique: Lorsque la tension maximale assignée du DUT est inférieure à la valeur de V_{OC} dans le Tableau 5, V_{OC} doit être remplacée par la tension maximale assignée du DUT, et V_{mpp} doit être remplacée par 0,65 fois la tension maximale assignée.

Pour les essais 1 à 5, le principe suivant s'applique: Lorsque la tension V_{mpp} minimale du DUT est supérieure à la valeur de V_{mpp} définie dans le Tableau 5, V_{mpp} doit être remplacée par la tension V_{mpp} minimale du DUT. La valeur V_{OC} est alors calculée par la valeur V_{mpp} divisée par 0,65.

Pour des configurations avec des modules ou des chaînes en parallèle, le courant des chaînes dans le montage d'essai en parallèle doit être calculé comme suit:

Essai 1: $I_{T1} = (n-1) \times 3 \text{ A}$

Dans le cas où le courant calculé des chaînes de non-production d'arc électrique en parallèle I_{T1} plus 3 A est supérieur au courant maximal de production d'arc électrique du DUT, le courant de non-production d'arc électrique en parallèle doit être réduit de telle sorte que le courant total corresponde au courant d'entrée du DUT.

NOTE 2 À titre d'exemple, pour $n = 6$, le calcul donne un courant parallèle de 15 A. Le courant total, y compris le courant d'arc de 3 A, est de 18 A. Le courant d'entrée du DUT est limité par les caractéristiques assignées à un courant maximal de 15 A, égal au courant d'arc maximal. Dans ce cas, le courant parallèle pour l'essai 1 est réduit à 12 A.

Essai 2: $I_{T2} = I_{ch} - 8 \text{ A}$ pour le montage d'entrée

$I_{T2} = (m-1) \times I_{\text{entrée}}$ pour le montage de sortie

Pour les DUT à plusieurs entrées par canal, le courant parallèle calculé pour les essais 1 et 2 doit être divisé entre les entrées selon la classification des produits (voir Article 4) et compte tenu des limites du courant d'entrée maximal par port d'entrée. Se reporter à l'Annexe C pour des exemples d'application du courant parallèle et de sa répartition sur plusieurs entrées.

où

n est le nombre de chaînes par canal;

m est le nombre de ports d'entrée par canal;

I_{ch} est le courant maximal par canal;

$I_{\text{entrée}}$ est le courant maximal par port d'entrée;

I_{T1} ou I_{T2} est le courant des chaînes de non-production d'arc électrique en parallèle.

NOTE 3 Pour une définition détaillée des montages d'entrée, de sortie et parallèle, se reporter à l'Annexe B et à l'Annexe D.

Pour l'essai 3 et l'essai 5, les courants des sources en courant continu peuvent être différenciés selon le nombre de chaînes représentées par source en courant continu.

Il n'est pas exigé que l'essai 4 soit réalisé avec des configurations d'essai en parallèle.

Pour les configurations d'essai de sortie de chaîne (Figure B.16 à Figure B.18), le principe suivant s'applique:

- lorsque des tensions constantes sont présentes dans le circuit de sortie, les essais doivent être réalisés avec les valeurs de courant d'arc définies dans le Tableau 5;
- le courant de sortie maximal du convertisseur continu-continu est considéré comme le courant d'entrée maximal du DUT pour le choix de l'essai applicable selon le Tableau 5.

Pour les montages d'essai d'entrée au niveau du module (Figure B.11 à Figure B.15), le courant d'entrée maximal du convertisseur continu-continu est considéré comme le courant d'entrée maximal du DUT pour le choix des essais applicables du Tableau 5.

Le générateur d'arc doit être placé comme représenté dans les figures applicables de l'Annexe B.

En général, le générateur d'arc doit être placé près de la borne PV (positive ou négative) du DUT, ce qui constitue la condition la plus stricte. Lorsque plusieurs modules PV peuvent être connectés en série à l'entrée du DUT, un essai supplémentaire doit être réalisé avec le générateur d'arc au milieu des modules connectés en série.

Étant donné que deux valeurs différentes du paramètre C4 sont définies dans le Tableau B.2, chaque essai (combinaison d'intervalle d'arc et de courant) donne lieu à deux sessions d'essai. Les essais peuvent être réduits au scénario le plus défavorable. Afin de déterminer le scénario le plus défavorable, cinq mesurages à chacune des deux valeurs pour C4 doivent être réalisés avec les montages d'essai choisis. La valeur du condensateur qui donne la durée de détection moyenne la plus élevée doit représenter le cas le plus défavorable.

Chaque session d'essai doit être exécutée deux fois.

Pour les dispositifs à canaux multiples, chaque canal doit être soumis à l'essai selon les montages du canal unique. Lorsque les mêmes modules matériel et logiciel sont utilisés pour chaque canal, le nombre d'essais peut être réduit comme suit: Soumettre à l'essai un canal selon l'ensemble complet des essais applicables exigés pour un canal. Soumettre à l'essai les canaux restants uniquement à l'emplacement d'arc le plus défavorable déterminé dans les essais d'origine, évalué selon l'énergie d'arc moyenne la plus élevée ou la durée de détection la plus longue.

9.2.7 Mesurage de l'énergie d'arc et du temps de réponse

La tension dans l'intervalle d'arc, la durée d'arc et le courant de l'arc doivent être mesurés et enregistrés. Ces mesurages sont ensuite utilisés pour calculer l'énergie totale générée par l'arc avant détection ou interruption. Pour les mesurages de durée d'arc,

- la durée d'arc des AFPE commence lorsque la tension d'arc atteint 10 V et se termine lorsque le courant d'arc tombe sous 250 mA;
- la durée d'arc des AFD commence lorsque la tension d'arc atteint 10 V et se termine à l'indication d'un événement d'arc.

9.2.8 Fonction d'auto-essai

9.2.8.1 Généralités

La fonction d'essai de l'AFD ou de l'AFPE est exigée pour démontrer l'état de préparation opérationnelle de l'AFD ou de l'AFPE pendant le fonctionnement. Deux cas doivent être évalués dans le cas présent: "la fonction d'essai sans dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE" et "la fonction d'essai avec dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE". Le premier cas définit le fonctionnement normal du DUT tandis que "la fonction d'essai avec dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE" définit un cas qui doit être constitué par manipulation du dispositif.

9.2.8.2 Fonction d'essai sans dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE

Pour un AFPE avec une fonction d'essai manuel, l'essai doit être initié et l'interruption doit être vérifiée.

Pour un AFD avec une fonction d'essai manuel, l'essai doit être initié et l'indication d'essai réussi doit être vérifiée.

9.2.8.3 Fonction d'essai avec dysfonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE

9.2.8.3.1 Dysfonctionnement de la détection

Un défaut doit être introduit dans l'AFD ou l'AFPE de manière à provoquer un dysfonctionnement du mécanisme de détection.

La fonction d'essai doit être initiée et le dysfonctionnement du mécanisme de détection doit être indiqué.

9.2.8.3.2 Fonction d'essai automatique avant fonctionnement

L'AFD ou l'AFPE doit être modifié de façon à provoquer un dysfonctionnement de son mécanisme de détection.

Le fonctionnement de l'AFD ou de l'AFPE doit être initié et l'indication d'un dysfonctionnement doit être vérifiée.

9.2.8.3.3 Fonction d'essai automatique pendant le fonctionnement

Un défaut doit être introduit dans l'AFD ou l'AFPE de manière à provoquer un dysfonctionnement du mécanisme de détection pendant le fonctionnement.

Il doit être vérifié que l'AFD ou l'AFPE indique un dysfonctionnement dans les 25 h.

NOTE Les critères de réussite/échec de 25 heures permettent des tolérances concernant la minuterie de 24 heures.

9.2.9 Essai de reconnexion

9.2.9.1 Reconnexion manuelle

Après une interruption de défaut d'arc, l'AFPE ne doit pas se reconnecter automatiquement, et la reconnexion à distance ne doit pas être possible.

La conformité doit être démontrée par un déclenchement à trois reprises de l'AFPE.

9.2.9.2 Reconnexion manuelle à distance

Après une interruption de défaut d'arc, l'AFPE ne doit pas se reconnecter automatiquement.

La conformité doit être démontrée par un déclenchement à trois reprises de l'AFPE.

9.2.9.3 Reconnexion automatique

Après une interruption de défaut d'arc, l'AFPE doit se reconnecter automatiquement dans les limites décrites au 8.1.4.4.

La conformité doit être démontrée par un déclenchement de l'AFPE au moins à cinq reprises en 24 heures afin de démontrer l'état de reconnexion manuelle.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63027:2023

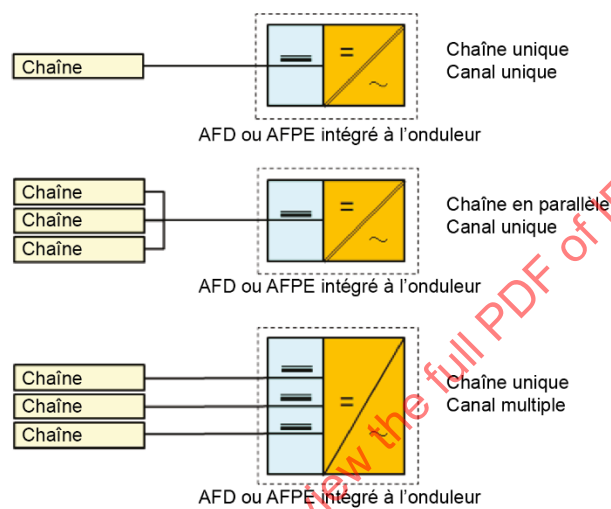
Annexe A (informative)

Exemples de chaîne et de canal

A.1 Généralités

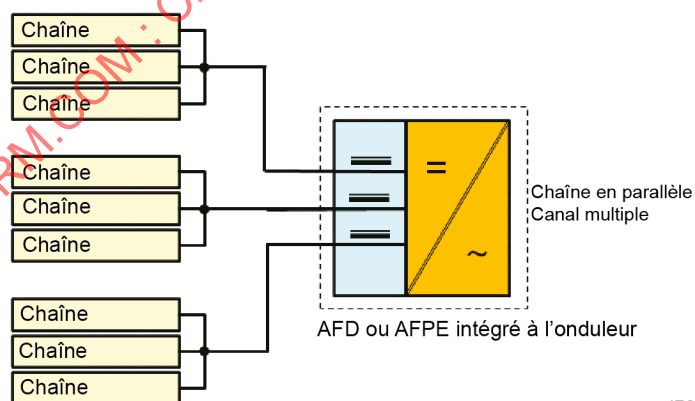
Les schémas suivants représentent la plage des exemples de chaîne et de canal des AFPE et AFD, voir Figure A.1, Figure A.2, Figure A.3, Figure A.4, Figure A.5 et Figure A.6.

A.2 AFD et AFPE intégrés au PCE



IEC

Figure A.1 – Schéma de réglage en chaîne des AFD et AFPE intégrés au PCE



IEC

Figure A.2 – Schéma de réglage en parallèle des AFD et AFPE intégrés au PCE

A.3 AFPE autonomes

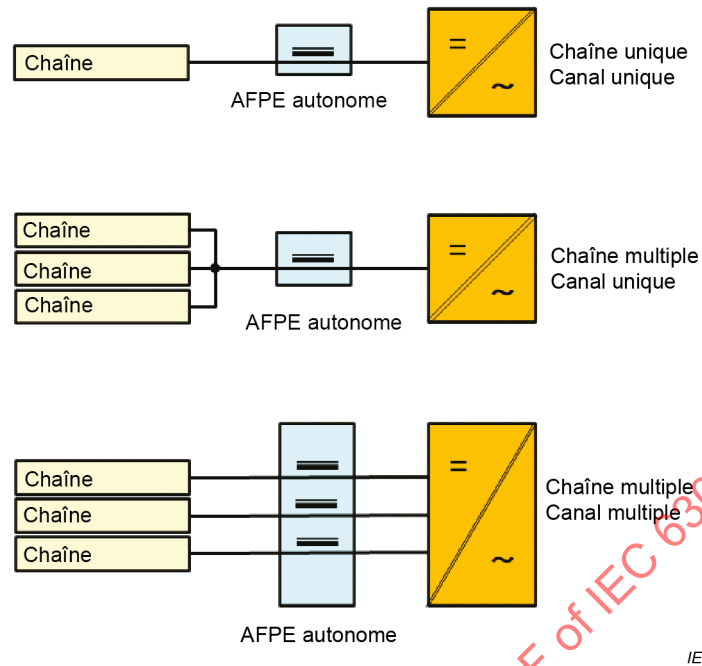


Figure A.3 – Schéma de réglage en chaîne des AFPE autonomes

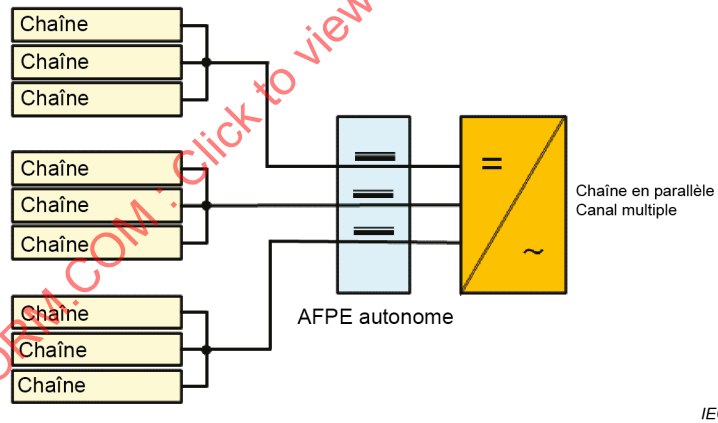
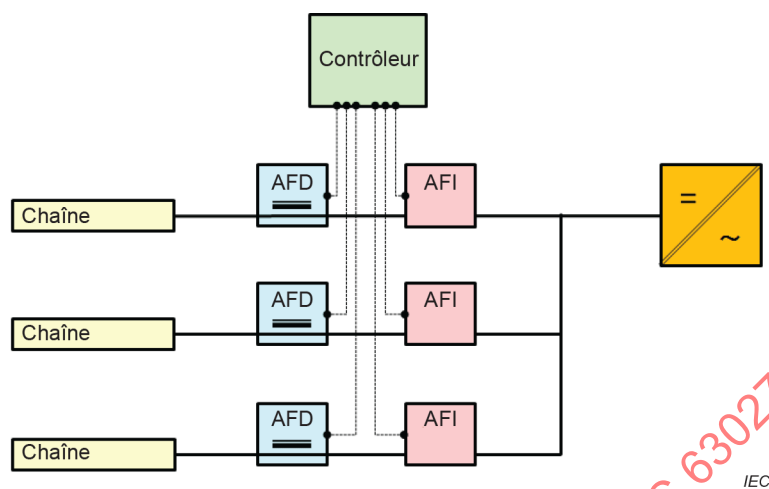


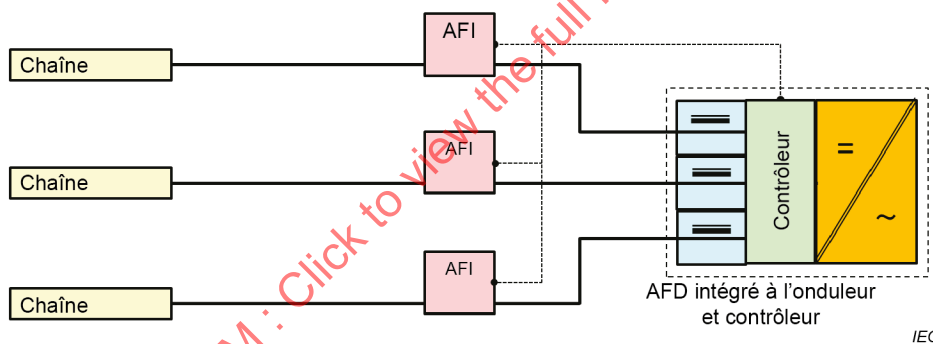
Figure A.4 – Schéma de réglage en parallèle des AFPE autonomes

A.4 AFPE répartis



IEC

Figure A.5 – Schéma des AFPE répartis à chaîne unique et canal unique



IEC

Figure A.6 – Schéma à chaîne unique et canal unique
(AFD intégré à l'onduleur et contrôleur)

Annexe B (normative)

Montages d'essai selon différents cas d'application

B.1 Généralités

B.1.1 Vue d'ensemble

La présente annexe donne une vue d'ensemble des différents montages d'essai pour l'AFPE et fournit des recommandations relatives au choix des montages d'essai appropriés à partir des classifications d'équipement.

Le paragraphe B.1.2 définit les modèles de source PV utilisés dans les différents montages d'essai.

Les Articles B.2, B.3 et B.4 définissent les montages d'essai des cas d'application types des onduleurs chaîne, des micro-onduleurs et des systèmes fondés sur un convertisseur continu-continu. L'Article B.5 définit principalement les montages des systèmes à AFPE intégré dans des boîtes de combinateur, ou pour lesquels les chaînes sont combinées à l'extérieur des dispositifs AFPE. Les Articles B.4 et B.5 font la différence entre les montages d'entrée et de sortie. Cette différenciation n'est pas forcément relative à l'emplacement de l'AFD ou de l'AFPE dans le système. Elle se réfère plutôt au point de transition auquel la conversion de courant continu à courant continu ou la connexion en parallèle provoque des scénarios de production d'arc électrique différents. Pour l'Article B.4, le point de transition entre l'entrée et la sortie est le convertisseur continu-continu. Pour l'article B.5, il s'agit du combinateur.

Les montages d'essai selon l'Article B.2 (Figure B.3, Figure B.4 et Figure B.5) doivent être réalisés pour les AFPE avec la méthode de mise en œuvre de classe I pour:

- les AFPE intégrés à l'onduleur, à l'exception des micro-onduleurs;
- les AFPE autonomes avec un port d'entrée par canal.

NOTE Les AFPE autonomes avec plusieurs ports d'entrée sont couverts par les montages d'essai définis à l'Article B.5.

Les montages d'essai selon l'Article B.3 (Figure B.6, Figure B.7, Figure B.8, Figure B.9 et Figure B.10) doivent être réalisés pour les AFPE avec une intégration système de classe I pour:

- les AFPE intégrés au micro-onduleur.

Les montages d'essai selon l'Article B.4 (Figure B.11, Figure B.12, Figure B.13, Figure B.14; Figure B.15, Figure B.16, Figure B.17 et Figure B.18) doivent être réalisés pour les AFPE avec une intégration système de classe I ou D pour:

- les AFPE pour systèmes de conversion continu-continu.

Les montages d'essai selon l'Article B.5 (Figure B.19, Figure B.20, Figure B.21, Figure B.22 et Figure B.23) doivent être réalisés pour les AFPE avec une intégration système de classe S pour:

- les AFPE intégrés dans des boîtes de combinateur;
- les AFPE autonomes avec plusieurs ports d'entrée par canal.

B.1.2 Modèles de source PV

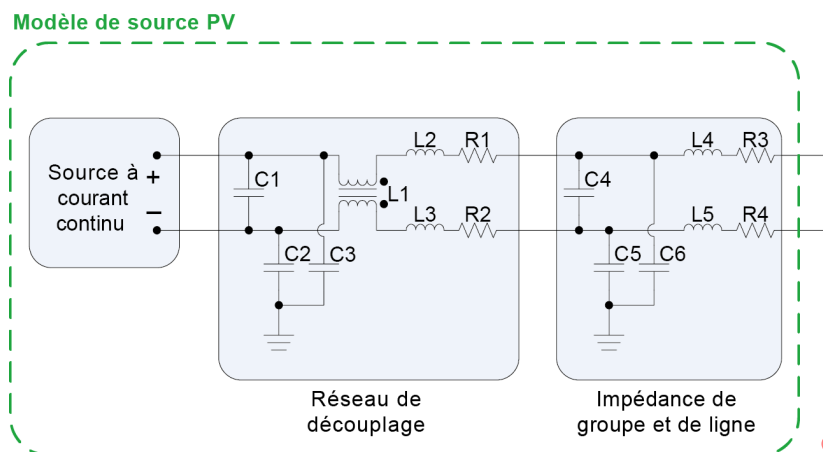


Figure B.1 – Modèle de source PV

Le modèle de source PV représente la combinaison de la source en courant continu, du réseau de découplage et de l'impédance de ligne et de groupe (voir Figure B.1). Selon l'application et le montage d'essai, quatre modèles de source PV différents sont définis avec les valeurs de paramètres respectives pour les composants LRC dans le Tableau B.1 et le Tableau B.2:

- (1) modèle de moitié de chaîne;
- (2) modèle de chaîne entière;
- (3) modèle fondé sur le module;
- (4) modèle de chaîne en parallèle.

Dans les montages d'essai suivants, les paramètres fictifs du modèle de source PV sont indiqués par les numéros respectifs du modèle de source PV exigé. Ils sont utilisés dans les Articles B.2, B.3, B.4 et B.5 avec différents réglages afin de refléter les différents cas d'application.

Tableau B.1 – Paramètres des composants LRC généraux

Paramètre	Valeur	Commentaire
	(Tous les montages d'essai)	
$C1$	Min. 20 μF	La valeur doit dépasser la capacité de sortie de la source en courant continu
$C2, C3$	22 nF	
$L1$	12 mH	Filtre de mode commun (CM – <i>common mode</i>), flux minimal en courant continu
$L2, L3$	Min. 60 μF	La saturation à des courants ou des fréquences élevés doit être évitée
$R1, R2$	$(R_{\text{Tot}} / 2 \times k) - R3$	k : Nombre de réseaux de découplage
$L6, L7$	30 μH	Noyau d'air; valeurs de l'impédance de ligne définie au 9.2.5
$R5, R6$	0,4 Ω	Résistance du fil; valeurs de l'impédance de ligne définie au 9.2.5

Tableau B.2 – Paramètres des composants LCR pour différentes configurations de module

Paramètre	Moitié de chaîne	Chaîne entière	Niveau de module	Chaînes en parallèle	Commentaire
$C4$	300 nF et 20 μ F	150 nF et 10 μ F	1,5 μ F et 100 μ F	$150 \text{ nF} \times (n-1)$ et $10 \text{ } \mu\text{F} \times (n-1)$	Voir note 3
$C5, C6$	0,5 nF	1 nF	100 pF	$1 \text{ nF} \times (n-1)$	
$L4, L5$	25 μ H	50 μ H	3 μ H	$50 \text{ } \mu\text{H} / (n-1)$	La saturation à des courants ou des fréquences élevés doit être évitée, L4 + L5: approximativement 0,75 μ H / m approximativement 4 μ H / module
$R3, R4$	Max. 0,5 Ω	Max. 1 Ω	Max. 0,5 Ω	Max. 1 Ω	

Les paramètres nominaux des composants des résistances et des inductances doivent se situer dans une plage de 10 % des valeurs exigées dans le Tableau B.1 et le Tableau B.2. Les paramètres nominaux des composants des condensateurs doivent se situer dans une plage de 20 % des valeurs exigées.

Les valeurs des paramètres sont importantes sur une large plage de fréquences. La valeur nominale de toutes les inductances doit être mesurée à 10 kHz et ne doit pas diminuer de plus de 40 % à une fréquence de 300 kHz

NOTE 1 La valeur n de la colonne des chaînes en parallèle est le nombre maximal de chaînes en parallèle qui peuvent être reliées à un canal du DUT. Par exemple, si un total de huit chaînes est surveillé par un seul AFPE, un essai de défaut d'arc en série avec un montage de chaîne en parallèle doit être réalisé, et $n-1$ équivaut à 7.

NOTE 2 La connexion de plusieurs modèles de moitié de chaîne ou de chaîne entière comprenant une source en courant continu, un réseau de découplage et un réseau d'impédance de la ligne du groupe en parallèle, forme également un modèle de chaîne en parallèle.

NOTE 3 Deux valeurs sont données pour $C4$ afin de représenter différentes technologies de formation de trames et de modules, de sorte qu'il ne soit nécessaire de soumettre à l'essai aucune combinaison de différentes technologies de formation de trames et de modules. Selon l'AFD, une de ces valeurs peut constituer un scénario le plus défavorable.

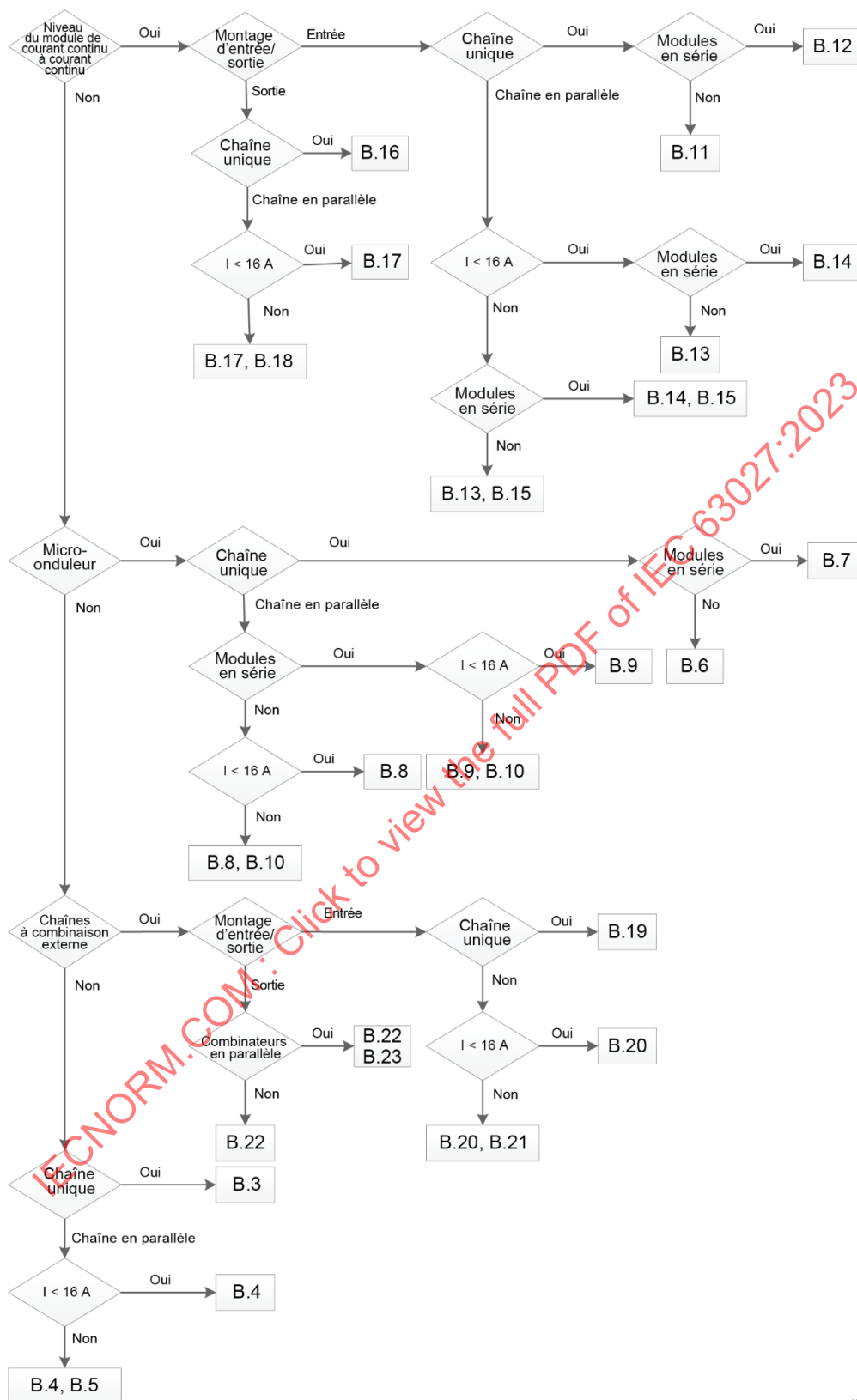
NOTE 4 Les paramètres de la colonne "chaîne entière" dans le Tableau B.2 représentent une chaîne avec dix modules de 10 A approximativement. L'utilisation des mêmes paramètres pour des courants nettement plus élevés entraîne un décalage par rapport aux impédances réalistes des chaînes types. Ce principe s'applique aussi aux chaînes en parallèle.

NOTE 5 Les résistances à inductances parasites élevées peuvent réduire les signaux d'arc à des fréquences élevées plus que ne le prévoit le paramétrage du Tableau B.2.

NOTE 6 Les paramètres de la colonne "chaîne entière" dans le Tableau B.2 représentent une longueur de conducteur totale de 80 m.

B.1.3 Organigramme pour le choix des essais

Les cas d'essai applicables appropriés aux essais doivent être choisis selon l'organigramme de la Figure B.2. Toutes les configurations possibles doivent être prises en compte afin de définir tous les montages d'essai exigés. Il peut par conséquent être nécessaire de parcourir plusieurs fois l'organigramme.



IEC

Figure B.2 – Organigramme pour choisir les cas d'essai applicables

B.2 Onduleur chaîne d'application

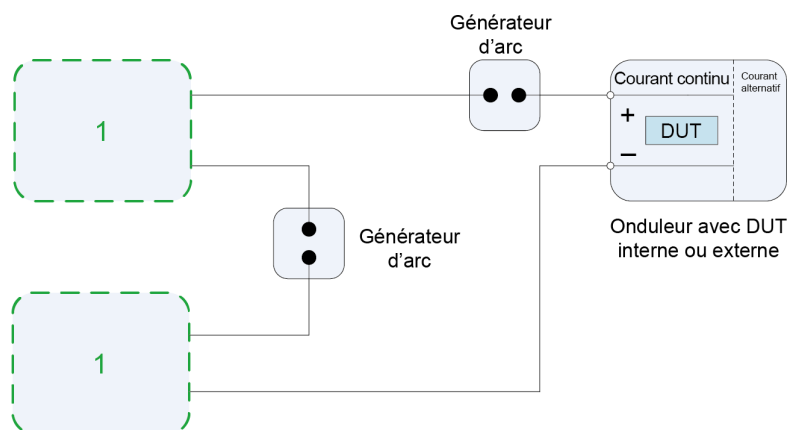


Figure B.3 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)

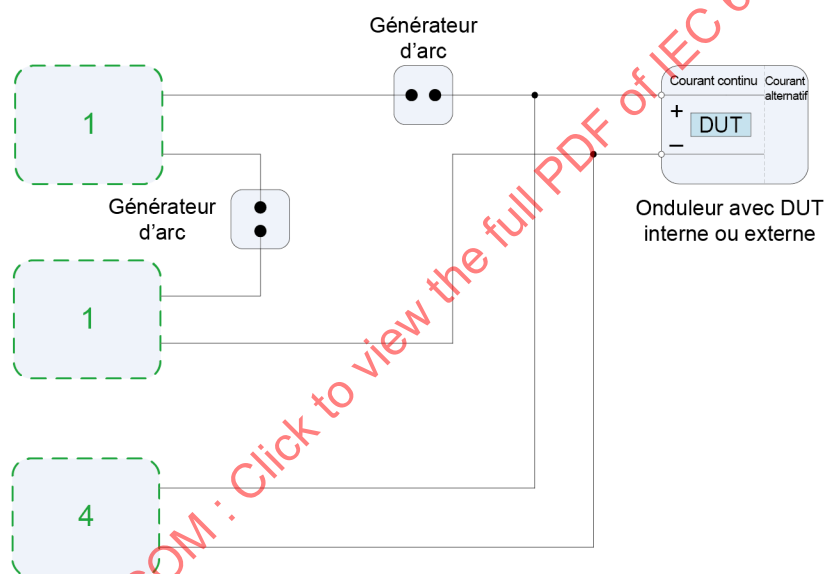


Figure B.4 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)

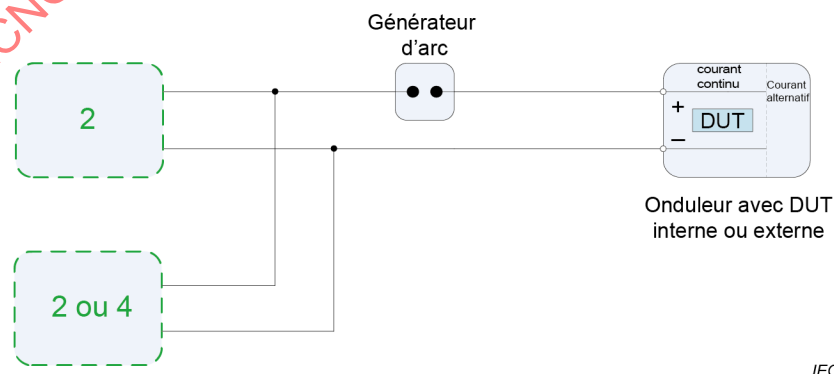


Figure B.5 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)

B.3 Micro-onduleur d'application

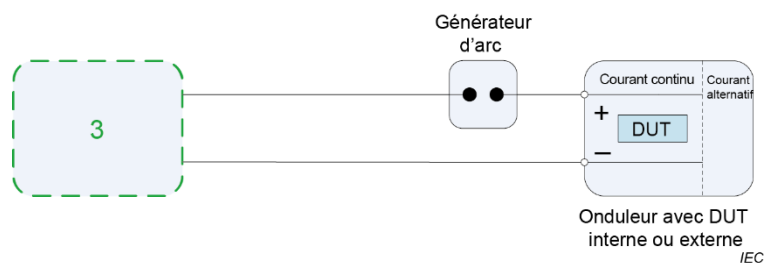


Figure B.6 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1 et 2)

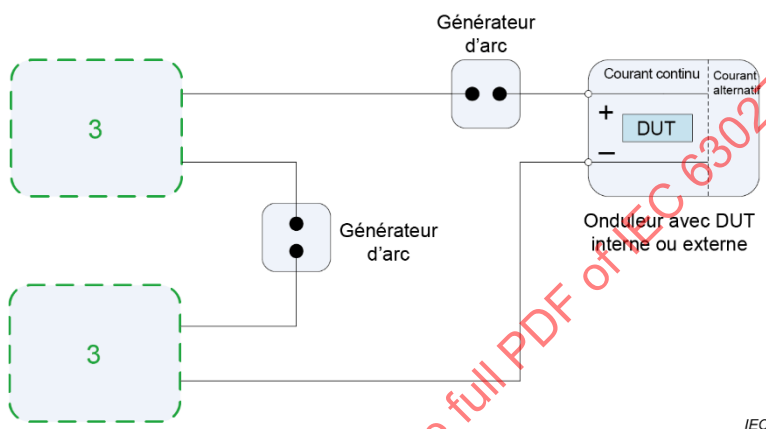


Figure B.7 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1 et 2) – modules en série

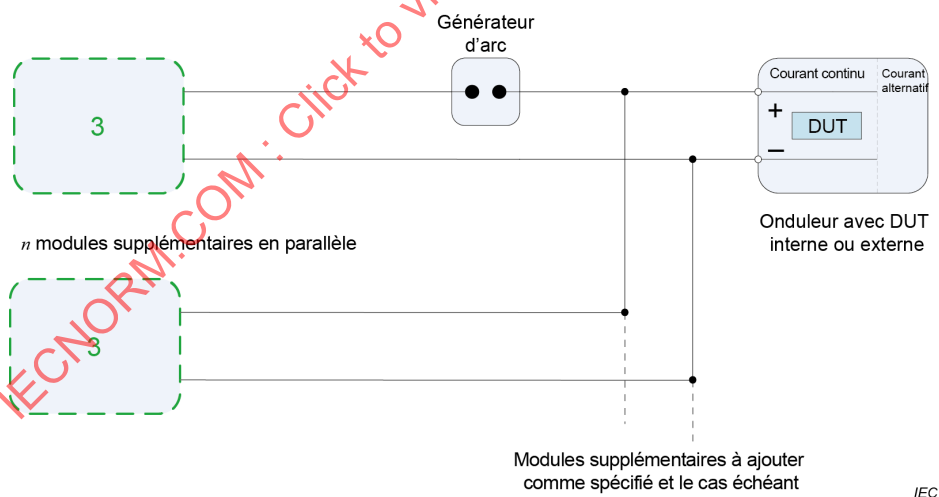


Figure B.8 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)

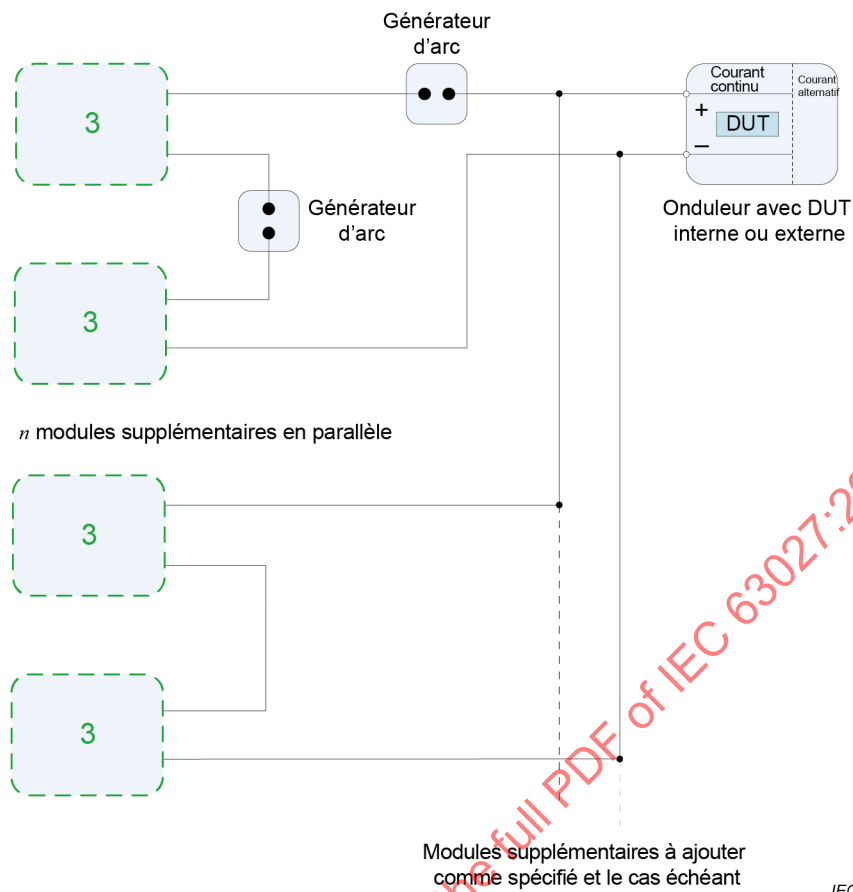


Figure B.9 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2) – modules en série

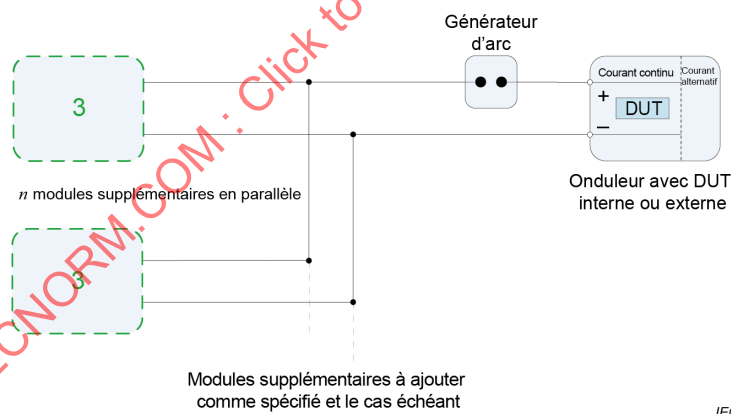
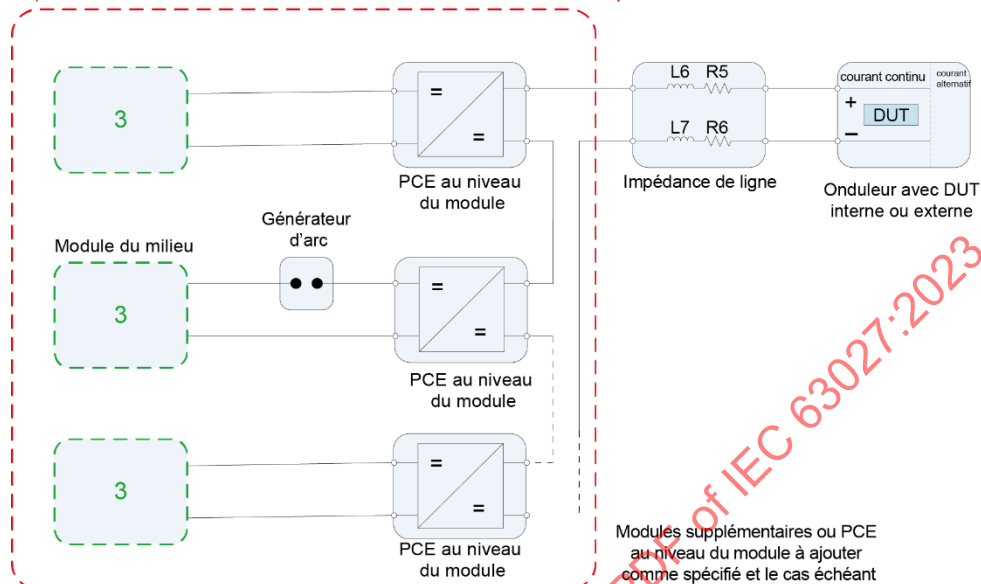


Figure B.10 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 3 et 5)

B.4 Conversion de courant continu à courant continu au niveau du module d'application

B.4.1 Montages d'entrée

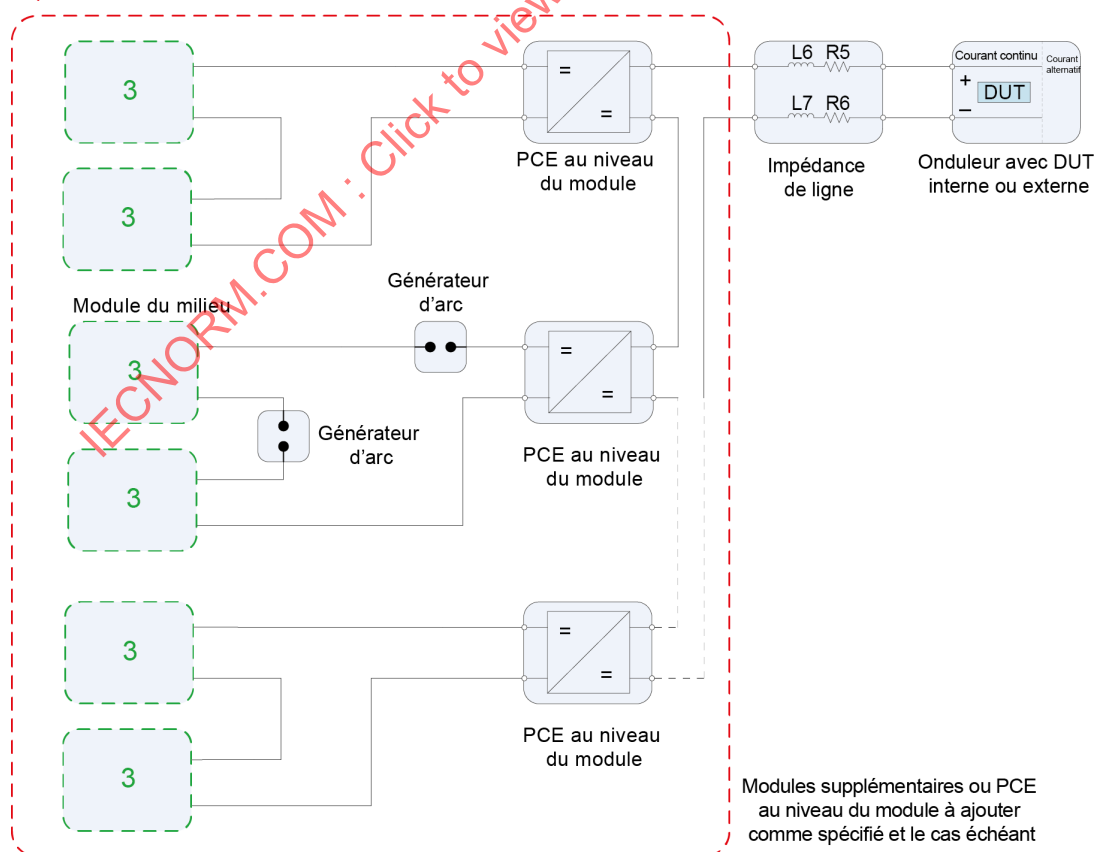
A) Chaîne PV fondée sur le niveau du module – module unique



IEC

Figure B.11 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4)

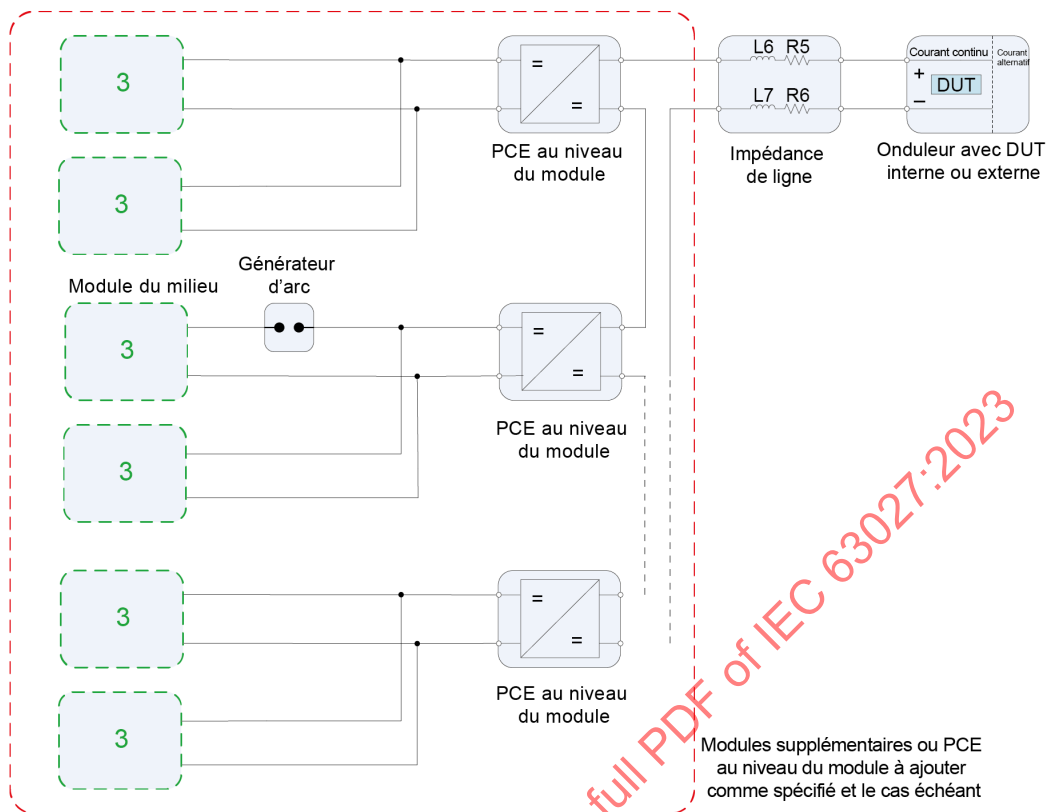
B) Chaîne PV fondée sur le niveau du module – modules en série



IEC

Figure B.12 – Montage d'essai à chaîne unique (essais 1, 2, 4) – modules en série

C) Chaîne PV fondée sur le niveau du module – modules en parallèle



IEC

Figure B.13 – Montage d'essai à chaîne en parallèle (essais 1 et 2)