

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fuel cell technologies –
Part 2-100: Fuel cell modules – Safety**

**Technologies des piles à combustible –
Partie 2-100: Modules à piles à combustible – Sécurité**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2-100:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fuel cell technologies –
Part 2-100: Fuel cell modules – Safety**

**Technologies des piles à combustible –
Partie 2-100: Modules à piles à combustible – Sécurité**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-8031-7

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

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Requirements	13
4.1 General safety strategy	13
4.2 Design requirements	14
4.2.1 General	14
4.2.2 Behaviour at normal and abnormal operating conditions	14
4.2.3 Leakage	15
4.2.4 Pressurized operation	15
4.2.5 Fire and ignition	15
4.2.6 Safeguarding	16
4.2.7 Piping and fittings	17
4.2.8 Electrical components	18
4.2.9 Terminals and electrical connections	18
4.2.10 Electrically live parts	19
4.2.11 Insulating materials and dielectric strength	19
4.2.12 Protective earthing/bonding	19
4.2.13 Shock and vibration	20
5 Type tests	20
5.1 General	20
5.2 Shock and vibration test	20
5.3 Gas leakage test	20
5.3.1 General	20
5.3.2 Flow meter method	20
5.3.3 Pressure drop method	21
5.4 Normal operation test	22
5.5 Allowable working pressure test	23
5.6 Pressure withstanding test of cooling system	23
5.7 Continuous and short-time electrical rating	24
5.8 Overpressure test	24
5.9 Dielectric strength test	24
5.10 Differential pressure test	25
5.11 Gas leakage test (repeat)	26
5.12 Normal operation (repeat)	26
5.13 Flammable concentration test	26
5.14 Tests of abnormal operating conditions	26
5.14.1 General	26
5.14.2 Fuel starvation test	27
5.14.3 Oxygen/oxidant starvation test	27
5.14.4 Short-circuit test	27
5.14.5 Lack of cooling/impaired cooling test	28
5.14.6 Crossover monitoring system test	28
5.14.7 Freeze/thaw cycle tests	28
6 Routine tests	29

6.1	General.....	29
6.2	Gas-tightness test.....	29
6.3	Dielectric strength withstand test	29
7	Markings and instructions	29
7.1	Nameplate	29
7.2	Marking.....	29
7.3	Warning label.....	30
7.4	Documentation.....	30
7.4.1	General	30
7.4.2	Installation manual	31
7.4.3	Installation diagram	31
7.4.4	Operation manual	32
7.4.5	Maintenance manual.....	33
7.4.6	Parts list	33
Annex A (informative) Significant hazards, hazardous situations and events dealt with in this document		34
Annex B (informative) Additional information for the performance and evaluation of the tests		36
B.1	Estimating the leakage rate of a system when testing with a gas other than the working gas.....	36
B.1.1	General	36
B.1.2	Calculation of R using Formula (B.1).....	37
B.1.3	Calculation of R using Formula (B.2).....	37
B.1.4	Examples.....	37
B.1.5	Conclusion	38
B.2	Derivation of the “safety factor” for the allowable working pressure test (5.5).....	39
B.2.1	General	39
B.2.2	Pressure relief devices	40
B.2.3	Conclusion	40
B.3	Proposed acceptance tests	40
B.3.1	Leakage test.....	40
B.3.2	Normal operation	40
B.3.3	Allowable working pressure test.....	40
B.3.4	Pressure withstanding test of cooling system.....	41
B.3.5	Overpressure test	41
B.3.6	Differential pressure test.....	41
B.3.7	Safety-related control functions	41
Annex C (informative) List of notes concerning particular conditions in certain countries.....		42
Bibliography.....		43
Figure 1 – Fuel cell power system components		7
Table 1 – Dielectric strength test voltages.....		25
Table A.1 – Typical hazardous situations and events		34
Table B.1 – Viscosity of gases at one atmosphere		39

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FUEL CELL TECHNOLOGIES –
Part 2-100: Fuel cell modules – Safety**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62282-2-100 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies.

This first edition cancels and replaces IEC 62282-2, published in 2012.

This edition includes the following significant technical changes with respect to IEC 62282-2:2012:

- references to IEC 60050-485¹ instead of IEC TS 62282-1;
- update of normative references;
- update of definitions, in particular **fuel cell module** for **normal operation**;
- leakage values under normal and abnormal operation have been addressed;
- a delayed ignition test has been included;
- protective measures to limit gas leakage have been included;

¹ Under preparation. Stage at the time of publication IEC BPUB 60050-485:2019.

- the requirements for insulation between live parts and **SELV** have been updated;
- the general safety strategy has been modified to reflect the needs for different application standards; the modifications are in line with similar modifications made to IEC 62282-3-100;
- the electrical components clause has been modified to reflect the needs for different application standards; the modifications are in line with similar modifications made to IEC 62282-3-100;
- protective earthing as part of the module or bonding as a measure within the installation has been introduced;
- a dielectric strength test has been completely updated by referring to IEC 62744-1 for voltages up to 1 000 V AC/1 500 V DC;
- a new “pressure drop method” leakage test method has been included;
- terms such as normal/abnormal e.g. in conjunction with operating conditions are used in a more consistent way;
- inclusion of definitions for **hazards** and **hazardous situations** based on the IEC 60079 series;
- the marking and instructions have been enlarged to provide the system integrator with the necessary information;
- a new Annex A addressing significant **hazards**, **hazardous situations** and events dealt with in this document, and linked to 4.1 (General safety strategy) has been added.

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

FDIS	Report on voting
105/782/FDIS	105/793/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62282 series, published under the general title *Fuel cell technologies*, can be found on the IEC website.

NOTE In this document, the following print type is used:

- terms defined in Clause 3: **in bold type**.

The reader's attention is drawn to the fact that Annex C lists all of the “in-some-country” clauses on differing practices of a less permanent nature relating to the subject of this document.

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

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

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

FUEL CELL TECHNOLOGIES – Part 2-100: Fuel cell modules – Safety

1 Scope

This part of IEC 62282 provides safety related requirements for construction, operation under normal and abnormal conditions and the testing of **fuel cell modules**. It applies to **fuel cell modules** with the following electrolyte chemistry:

- alkaline;
- polymer electrolyte (including direct methanol **fuel cells**)²;
- phosphoric acid;
- molten carbonate;
- solid oxide;
- aqueous solution of salts.

Fuel cell modules can be provided with or without an enclosure and can be operated at significant pressurization levels or close to ambient pressure.

This document deals with conditions that can yield **hazards** to persons and cause damage outside the **fuel cell modules**. Protection against damage inside the **fuel cell modules** is not addressed in this document, provided it does not lead to **hazards** outside the module.

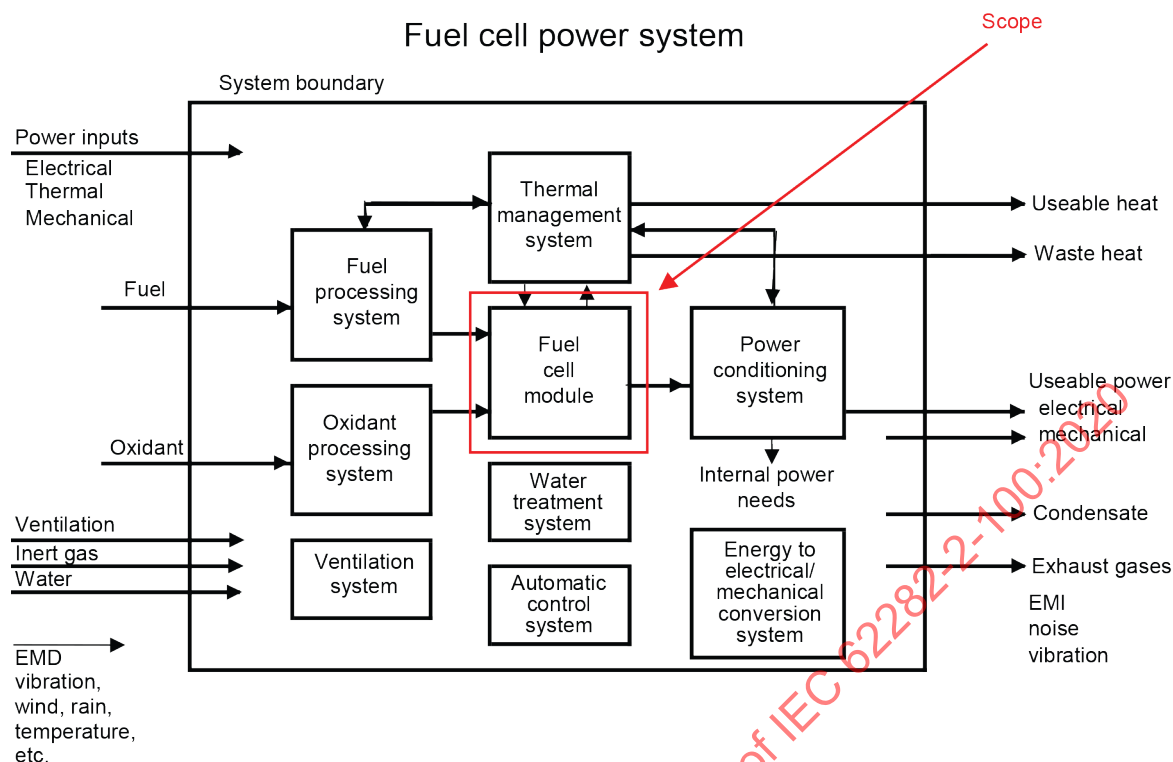
These requirements can be superseded by other standards for equipment containing **fuel cell modules** as required for particular applications.

This document does not cover **fuel cell** road vehicle applications.

This document is not intended to limit or inhibit technological advancement. An appliance employing materials or having forms of construction differing from those detailed in the requirements of this document can be examined and tested according to the purpose of these requirements and, if found to be substantially equivalent, can be considered to comply with this document.

The **fuel cell modules** are components of final products. These products require evaluation according to appropriate end-product safety requirements.

² Also known as proton exchange membrane fuel cell.



IEC

Key

EMD electromagnetic disturbance

EMI electromagnetic interference

Figure 1 – Fuel cell power system components

This document covers only up to the DC output of the **fuel cell module**.

This document does not apply to peripheral devices as illustrated in Figure 1.

This document does not cover the storage and delivery of fuel and oxidant to the **fuel cell module**.

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 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60335-1, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 60352 (all parts), *Solderless connections*

IEC 60512-15 (all parts), *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 15: Connector tests (mechanical)*

IEC 60512-16 (all parts), *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16: Mechanical tests on contacts and terminations*

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

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams* (available at <http://std.iec.ch/iec60617>)

IEC 60695 (all parts), *Fire hazard testing*

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

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

IEC 61204-7, *Low-voltage switch mode power supplies – Part 7: Safety requirements*

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

IEC 62040-1, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: Safety requirements*

IEC 62061, *Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

IEC 62282-4-101, *Fuel cell technologies – Part 4-101: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Safety of electrically powered industrial trucks*

IEC 62368-1, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*

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

ISO 13849-1, *Safety of machinery – Safety related parts of control systems – Part 1: General principles for design*

ISO 23550, *Safety and control devices for gas and/or oil burners and appliances – General requirements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

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

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

3.1

fuel cell module

assembly incorporating one or more **fuel cell stacks** and, if applicable, additional components, which is intended to be integrated into a power system or a vehicle

Note 1 to entry: A **fuel cell module** comprises the following main components: one or more **fuel cell stack(s)**, a piping system for conveying fuels, oxidants and exhausts, electric connections for the power delivered by the stack(s) and means for monitoring, control or both. Additionally, a **fuel cell module** can comprise: means for conveying additional fluids (e.g. cooling media, inert gas), means for detecting normal and abnormal operating conditions, enclosures or pressure vessels and module **ventilation** systems, and the required electronic components for module operation and power **conditioning**.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-09-03]

3.2

acceptance test

contractual test to prove to the customer that the item meets certain conditions of its specification

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-23, modified – The admitted term "hand-over test" has been deleted.]

3.3

maximum allowable differential working pressure

maximum differential pressure between the anode and cathode side, specified by the manufacturer, which the **fuel cell module** can withstand without any damage or permanent loss of functional properties

Note 1 to entry: The maximum allowable differential working pressure is expressed in Pa.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-17-02, modified – "fuel cell" has been replaced with "fuel cell module".]

3.4

allowable working pressure

maximum gauge pressure specified by the manufacturer which the **fuel cell module** can withstand without any damage or permanent loss of functional properties

Note 1 to entry: For **fuel cell modules** incorporating pressure relief devices, this is normally used to define the threshold of the set pressure.

3.5

ambient temperature

temperature of the medium surrounding a device, equipment or installation which may affect the performance of the device, equipment or installation

3.6

conditioning

<related to cells and stacks> preliminary step that is required to properly operate a **fuel cell module** (3.1) to achieve a desired performance following a protocol specified by the manufacturer

Note 1 to entry: The **conditioning** can include reversible processes, or irreversible processes, or both depending on the cell technology.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-11-08, modified – "fuel cell" has been replaced with "fuel cell module".]

3.7

fuel cell

electrochemical device that converts the chemical energy of a fuel and an oxidant to electric energy (DC power), heat and reaction products

Note 1 to entry: The fuel and oxidant are typically stored outside the **fuel cell** and transferred into the **fuel cell** as they are consumed.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-01]

3.8

fuel cell stack

assembly of cells, separators, cooling plates, manifolds and a supporting structure that electrochemically converts, typically, hydrogen-rich gas and air reactants to DC power, heat and other reaction products

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-01]

3.9

rated current

maximum continuous electric current as specified by the manufacturer, at which the **fuel cell module** has been designed to operate

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-12-02, modified – “power system” has been replaced with “module” and the note has been deleted.]

3.10

crossover

cross leakage

leakage between the fuel side and the oxidant side of a **fuel cell**, in either direction, generally through the electrolyte

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-25]

3.11

gas leakage

sum of all gases leaving the **fuel cell module** except the intended exhaust gases

Note 1 to entry: Gas leakage may occur from

- the **fuel cell stack**;
- associated pressure relief devices;
- other gas ducting and flow controlling components.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-24, modified – The Note 1 to entry has been added.]

3.12

hazard

potential source of harm

[SOURCE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.2]

3.13

harm

injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment

[SOURCE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.1]

3.14**hazardous area**

area in which an explosive atmosphere is present, or may be expected to be present, in quantities such as to require special precautions for the construction, installation and use of electrical apparatus

Note 1 to entry: IEC 60079-10 gives a classification of hazardous areas containing explosive gas atmospheres (see IEC 60050-426-03-03, IEC 60050-426-03-04 and IEC 60050-426-03-05).

[SOURCE: IEC 60050-426:2008, 426-03-01, modified – The Note 2 to entry has been deleted.]

3.15**heat deflection temperature**

temperature at which a standard test bar deflects a specified distance under load

Note 1 to entry: It is used to determine short-term heat resistance.

3.16**lower flammability limit****LFL**

minimum concentration of fuel in a fuel-air mixture where a combustion can be ignited by an ignition source

Note 1 to entry: A fuel-air mixture is flammable when combustion can be started by an ignition source. The main component is the proportions or composition of the fuel-air mixture. A mixture that has less than a critical amount of fuel, known as the **lower flammability limit** (LFL) or more than a critical amount of fuel, known as the rich or upper flammability limit (UFL), will not be flammable.

3.17**maximum operating pressure**

maximum gauge pressure, specified by the manufacturer of a component or system, at which it is designed to operate continuously

Note 1 to entry: The **maximum operating pressure** is expressed in Pa.

Note 2 to entry: The **maximum operating pressure** includes all **normal operation**, both steady state and transient.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-17-04, modified – The Note 2 to entry has been added.]

3.18**ventilation**

movement of air and its replacement with fresh air due to the effects of wind, temperature gradients, or artificial means (for example, fans or extractors)

[SOURCE: IEC 60050-426:2008, 426-03-14]

3.19**open-circuit voltage****OCV****no-load voltage**

voltage across the **stack terminals** of a **fuel cell** with fuel and oxidant present and in the absence of external current flow

Note 1 to entry: The **open-circuit voltage** is expressed in V.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-13-02]

3.20

routine test

conformity test made on each individual item during or after manufacture

Note 1 to entry: Not to be confused with "Conformity test" [IEC 60050-151:2001, 151-16-15]: test for conformity evaluation or "Conformity evaluation" [IEC 60050-151:2001, 151-16-14]: systematic examination of the extent to which a product, process or service fulfils specified requirements.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-17, modified – The note to entry has been added.]

3.21

safeguarding

control system actions, based on process parameters, taken to avoid conditions that might be **hazardous** to personnel or might result in damage to the **fuel cell** or its surroundings

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-09-15]

3.22

safety extra low voltage

SELV

voltage under normal and single fault conditions that do not exceed the values given in the relevant application standard of 4.2.8

3.23

thermal equilibrium conditions

stable temperature conditions indicated by temperature changes of no more than 3 K (5 °F) or 1 % of the absolute operating temperature, whichever is higher between two readings 15 min apart

3.24

type test

conformity test made on one or more items representative of the production

Note 1 to entry: Not be confused with "Conformity test" [IEC 60050-151, 151-16-15]: test for conformity evaluation or "Conformity evaluation" [IEC 60050-151, 151-16-14]: systematic examination of the extent to which a product, process or service fulfils specified requirements.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16, modified – The note to entry has been added.]

3.25

normal operation

operation of the **fuel cell module** under the normal conditions as specified by the manufacturer such as the environment conditions, intended gas, electric grid, within its specified tolerances

3.26

auto-ignition temperature

lowest temperature (of a hot surface) at which under specified test conditions an ignition of a flammable gas or vapour in mixture with air or air-inert gas occurs

[SOURCE: ISO/IEC 80079-20-1:2017, 3.3, modified – "hot" has been added.]

3.27

hydrostatic relief valve

pressure relief valve actuated by hydrostatic inlet pressure that opens in proportion to the increase in pressure over the opening pressure

3.28

safety valve

pressure relief valve actuated by inlet static pressure and characterized by rapid opening or popping action

Note 1 to entry: ANSI/CSANGV2-2000 [21] has the following clause:

“The effectiveness of the pressure relief devices (PRDs) shall be demonstrated in accordance with section 18.9 (bonfire test)”.

The bonfire tests are designed to demonstrate that the finished containers complete with the pressure relief devices specified in the design will prevent the rupture of the container when tested under some specified fire conditions.

Note 2 to entry: CGA 12.6-M94 [22] uses a big safety factor. The components are tested at four times the design pressure for 1 min.

This standard does not have a performance test for the PRD(s).

Note 3 to entry: The effectiveness of the PRD for the **fuel cell module** cannot be tested since it is not the end product. It is not known what pressures, in abnormal situations, the module could be subjected to. In fact, the abnormal situations are unknown at the module stage. The size and pressure of the fuel tank is unknown and so might be the gas train. Therefore, testing for performance at the module level would not be representative and using very high safety factors might be design-restrictive.

Note 4 to entry: The best idea might be to have the module manufacturer supply at least the following information to the end user:

- a) type of PRD/PRV used;
- b) setting (opening pressure) of the PRD/PRV;
- c) flow capacity;
- d) the end user should investigate the effectiveness of the module PRD/PRV in the end product.

3.29

stack terminal

bus bar

output terminal at which electric power is supplied from the **fuel cell stack**

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-08]

4 Requirements

4.1 General safety strategy

The manufacturer shall perform in written form a risk analysis to ensure that

- a) all reasonably foreseeable **hazards**, **hazardous** situations and events throughout the anticipated **fuel cell** power system's lifetime have been identified (see Annex A for a listing of typical **hazards**),
- b) the risk for each of these **hazards** has been estimated from the combination of probability of occurrence of the **hazard** and of its foreseeable severity,
- c) the two factors which determine each one of the estimated risks (probability and severity) have been eliminated or reduced to a level not exceeding the acceptable risk level, as far as is practically possible, through
 - 1) inherently safe design of the construction and its methods, or
 - 2) passive control of energy releases without endangering the surrounding environment (for example, burst disks, release valves, thermal cut-off devices) or by safety related control functions, and
 - 3) for residual risks which could not have been reduced by the measures according to 1) and 2), provision of labels, warnings or requirements of special training shall be given, considering that such measures need to be understood by the persons which are in the area of the **hazards**.

For functional safety, the required severity level, performance level or the class of control function shall be determined and designed in accordance with for example:

- IEC 62061 (or ISO 13849-1) for applications according to IEC 60204-1;
- IEC 60730-1 or ISO 23550 for appliances according to IEC 60335-1, which includes residential, commercial and light industrial;
- IEC 61508 (all parts) for other applications.

For failure mode and effects analysis (FMEA) and fault tree analysis methods, the following standards can be used as guidance:

- IEC 60812 [4]³;
- SAE J1739 [5];
- IEC 61025 [6].

The assessment shall also cover the following possible risks:

- stack or module temperature, and
- stack or module and/or cell voltage,
- pressure of pressurized parts.

Additional **hazards** as listed in Annex A shall be considered if they are relevant for the design and if so they shall be covered.

4.2 Design requirements

4.2.1 General

The **fuel cell module** shall be designed in accordance with a risk assessment performed by the **fuel cell module** manufacturer. All parts shall be

- a) suitable for the range of temperatures, pressures, flow rates, voltages and currents to which they are subjected during intended usage, and
- b) resistant to the reactions, processes and other conditions to which they are exposed during intended usage.

The quality and thickness of the materials used in the **fuel cell module**, their fitting elements and terminals and the method of assembling the various parts, shall be such that the constructional and operational characteristics are not significantly altered during a reasonable lifetime and under normal conditions of installation and use. All parts of the **fuel cell module** shall withstand the mechanical, chemical and thermal conditions to which they may be subjected when the end user product is used normally.

Fuel cell module enclosures shall comply with the requirements given in IEC 60529 to fit into the application system. The **fuel cell module** shall carry the IP-Code accordingly.

4.2.2 Behaviour at normal and abnormal operating conditions

The **fuel cell module** shall be designed in such a way that it withstands all normal operating conditions as defined by the manufacturer's specification without any damage. Abnormal operating conditions shall be covered according to 4.1.

³ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

4.2.3 Leakage

Depending on the design, leakage of combustible gases or liquids may occur (see 5.3). The gas leakage rate of the **fuel cell module**, under normal and abnormal operating conditions, shall be included in the specification document, so that the integrator of the **fuel cell** system can determine the minimum capacity of the required **ventilation** system (see 7.4.1,r)).

The fault mode "crossover" inside a stack shall be part of the risk assessment according to 4.1. Depending on the result of the risk assessment, measures for detecting or preventing "fuel crossover" for example "cell voltage monitors" shall be designed according to the relevant standard as given in 4.1 to meet the requirements for functional safety.

When crossover protection is not included in the **fuel cell module**, the product documentation shall describe any protective devices or operating procedures that have to be provided by the system integrator.

NOTE For classification of **hazardous** areas, consider IEC 60079-10-1.

4.2.4 Pressurized operation

If **fuel cell modules** include gas-tight and pressurized enclosures, those enclosures shall comply with national regulations.

Pressure operation conditions that could generate **hazardous** conditions outside of the module shall be identified (see 4.1) and the information conveyed to the system integrator.

NOTE The following modules present particular properties:

PEFC modules

Pressure is a significant design factor for the design of a PEFC module (polymer electrolyte **fuel cell stack**). The dimensioning, choice of material and manufacturing rules of a PEFC stack are based primarily on requirements for sufficient strength, rigidity and stability to meet the static, dynamic, and/or other operational characteristics. For example, a design using coaxial force compression hardware leaks before it breaks.

PAFC modules

The PAFC (phosphoric acid **fuel cell**) module usually operates under atmospheric pressure.

MCFC modules

For a pressurized operation of an MCFC power system (molten carbonate **fuel cell**), the MCFC module is integrated into an MCFC power system. This MCFC power system provides the housing of the MCFC module and is designed according to the applicable national and international codes and standards for pressurized systems.

A **hazard** due to pressure associated with an MCFC module can be excluded due to the housing, which is in accordance with the regulations mentioned.

SOFC modules

If pressurized operation of an SOFC power system (solid oxide **fuel cell**) is foreseen, the SOFC module is integrated into the SOFC power system. This SOFC power system provides the housing of the SOFC module and is designed according to the applicable national and international codes and standards for pressurized systems.

4.2.5 Fire and ignition

4.2.5.1 General

The **fuel cell module** shall be protected by means (e.g. **ventilation**, gas detectors, controlled oxidation, operating temperatures higher than the auto-ignition temperature) such that leaking gases from, or inside, the **fuel cell module** cannot form explosive concentrations.

If such protective measures are part of the **fuel cell module**, the level of protection shall comply with the requirements of the relevant standards given in 4.1.

If such protective measures are not part of the **fuel cell module**, the design criteria for such means (for example required **ventilation** rate) shall be provided by the **fuel cell module** manufacturer.

Components and materials inside the classified gas flammable atmospheres shall be constructed or shall make use of such materials that propagation of fire and ignition outside the **fuel cell module** is avoided. The material flammability shall be such that a sustained fire will not be supported after electrical power and the fuel and oxidant supply have been terminated. This shall be demonstrated through the selection of the appropriate materials meeting V 0, V 1 or V 2 in accordance with IEC 60695 (all parts). The relevant information according to IEC 60695-2-11, shall be given, see 7.4.1, aa).

NOTE The auto-ignition temperatures commonly listed in standards such as ISO/IEC 80079-20-1 [7] are the minimum temperatures at which a flammable gas mixture can ignite. The actual auto-ignition temperatures can be well above these values depending on the surface geometry, material and the actual gas mixtures. This requirement refers to an **auto-ignition temperature** that will ignite a flammable gas under all conditions for the chosen materials and geometry.

The requirements of the application standard as given in 4.1 shall be considered concerning resistance to heat and fire.

4.2.5.2 Exemptions

Membranes, or other materials within the **fuel cell stack** volume which comprise less than 10 % of the total **fuel cell module** mass, are considered to be of limited quantity and are permissible without flame spread ratings. If such material is used, this should be part of the product specification so that the system integrator can take account of it.

If the actual temperature in any location of the **fuel cell module**, where a flammable mixture may occur, is higher than the auto-ignition temperature, leakage of fuel gas into the oxidant or vice versa results in immediate oxidation of the flammable gas. Thus, it is obvious that no major concentrations of explosive gases can accumulate.

Whenever this temperature of such high-temperature **fuel cells** is lower than the **auto-ignition temperature**, for example during start-up, the **fuel cell module** shall be transferred into a safe state (for example, by purging) to avoid a **hazardous** situation. A delayed ignition test may be used to evaluate if a **hazardous** condition could occur.

4.2.6 Safeguarding

4.2.6.1 General

The failure of a component within a safety control system (see 4.1 c)) shall cause the **fuel cell module** to initiate a controlled shut-down. To ensure the required level of **safeguarding** (SIL (safety integrity level), performance level or class of control function), the safety relevant design shall comply with 4.1.

NOTE The controlled shut-down can include a time delay, or allow for the completion of an operational cycle, when immediate shut-down would result in a higher risk. An example can be the failure of a gas detector in a **fuel cell module** used as an emergency power supply.

4.2.6.2 Protective measures to limit gas leakage

If protective measures to detect and limit gas leakage are part of the module, then the limit gas leakage at which the protective measure stops the operation shall be specified by the module manufacturer, see 7.4.4.

4.2.7 Piping and fittings

4.2.7.1 General

Threaded connections of combustible gases conveying piping and fittings shall comply with ISO 23550. All other joints shall be welded, or at least have fitting connections with a defined sealing area as specified by the manufacturer. Unions, when used in fuel gas or oxygen lines, shall be of the ground-joint type or the flanged-joint type or the compression-joint type having packing resistant to the action of fuel gases.

The internal surfaces of piping shall be thoroughly cleaned to remove loose particles and the ends of piping shall be carefully reamed to remove obstructions and burrs.

Flexible piping and associated fittings, when used for conveying gas, shall be suitable for the application. Special consideration shall be given to hydrogen pipes, such as aging behaviour, embrittlement, porosity and to oxygen pipes, such as flammability, ignitability, cleaning procedures.

4.2.7.2 Non-metallic piping systems

Polymeric and elastomeric piping, tubing and components shall be permitted under the following conditions.

Materials shall be demonstrated to be suitable over their lifetime for the combined maximum operating temperatures and pressures and compatible with other materials and chemicals they will come in contact within service and during maintenance. Adequate mechanical strength shall be demonstrated according to 5.4 and 5.5.

Plastic or elastomeric components shall be protected from mechanical damage within the **fuel cell module**. Shielding may be used as appropriate to protect components against failure of rotating equipment or other mechanical devices housed within the unit.

Any compartment enclosing plastic or elastomeric components used to convey flammable gases shall be protected against the possibility of overheating.

If danger of fuel flow temperature more than 10 K below the lowest **heat deflection temperature** cannot be excluded a control system complying with the requirements according to the relevant standard as given in 4.1 to cover the allocated risk shall be provided to terminate the fuel flow.

Plastic or elastomeric materials used in a **hazardous** location shall be electrically conductive or otherwise designed to avoid static charge build-up, for example by limitation of flow rate or other. Plastic or elastomeric materials with insufficient electrical conductivity shall only be used in non-**hazardous** areas.

NOTE Information on compliance with various requirements can be found in the following standards: ISO 37 [8], ISO 188 [9], ISO 1307 [10], ISO 1402 [11], ISO 1436 [12] and ISO 10619-1 [13], ISO 10619-2 [14] ISO 10619-3 [15].

4.2.7.3 Metallic piping systems

Metallic piping systems shall be suitable for the combined maximum operating temperatures and pressures and shall be compatible with other materials and chemicals they will come in contact with, within service and during maintenance. Metallic piping systems shall be of sufficient mechanical integrity. Adequate mechanical strength shall be demonstrated according to 5.5 and 5.6.

Metallic piping systems shall be compliant with the leakage requirement according to 5.3.

Formed piping bends shall not promote failure caused by the forming process and shall comply with the following:

- bends shall be made only with bending equipment and procedures intended for that purpose;
- all bends shall be smooth and free from buckling, cracks, or other evidence of mechanical damage;
- the longitudinal weld of the pipe shall be near the neutral axis of the bend;
- the inside radius of a bend shall be not less than the minimum radius specified by the pipe manufacturer.

4.2.8 Electrical components

The electric system design and construction, as well as the application of the electric and electronic equipment and components including electric motors and enclosures, shall meet the requirements of relevant electrical product application standard(s). For example:

- IEC 60335-1 (e.g. residential, commercial and light industrial);
- IEC 60204-1 (e.g. machinery);
- IEC 62368-1 (e.g. telecommunication);
- IEC 62040-1 (e.g. UPS);
- IEC 61010-1 for measurement, control, and lab equipment;
- IEC 62282-4-101 for industrial trucks.

For power electronic converter systems (PECS) or switch mode power supplies (SMPS) used as components, where relevant electrical product application standard(s) do not exist, the following are applicable:

- IEC 62477-1;
- IEC 61204-7 (SMPS).

The selection of the appropriate application shall be provided in the technical specification.

The **fuel cell** designer shall also consider the following **fuel cell** specific issues:

- residual charge on the **fuel cell stack**;
- energy **hazard** between cells.

The suitability of the electrical components for the ambient conditions specified for the operation of the **fuel cell** system shall be communicated to the **fuel cell** system integrator (see 7.4.1 i)).

For electric components which are provided by the system integrator, the technical specification for those components as far as compliance with this document is concerned shall be included in the technical documentation of the module.

Where an enclosed **fuel cell module**, operating below the auto-ignition temperature of the combustible gas, does not comply with the flammable concentration limits described in 5.13, the electrical components located within the enclosure shall be suitable for the area classification as defined in IEC 60079-10-1.

4.2.9 Terminals and electrical connections

Power connections to external circuitry shall be

- a) fixed to their mountings with no possibility of self-loosing,

- b) constructed in such a way that the conductors cannot slip out from their intended location,
- c) such that proper contact is ensured without damage to the conductors that would impair the ability of the conductors to fulfil their function, and
- d) so secured against turning, twisting or permanently deforming during normal tightening onto the conductor.

Connections made directly to the **fuel cell** shall not be appreciably impaired by conditions occurring in normal service. Terminals of the **fuel cell module** shall comply with IEC 60352 (all parts), IEC 60512-15 (all parts) and IEC 60512-16 (all parts) or with the requirements as given for terminals and electrical connections in the application standards according to 4.2.8.

4.2.10 Electrically live parts

The manufacturer's technical documentation shall specify, according to the relevant application standards as given in 4.2.8:

- a) accessible non current-carrying metal parts that are not separated from live parts other than those meeting the requirements for **SELV** by
 - 1) basic insulation in case of a class I construction (with PE) or
 - 2) reinforced insulation in case of a class II construction;
- b) accessible parts supplied by **SELV**, where the requirements for reinforced insulation between live (not being **SELV**) and **SELV** is not met;
- c) accessible live parts that present a high current **hazard** due to shorting.

The **fuel cell** system integrator shall be responsible for the protection of these live parts against electric shock.

4.2.11 Insulating materials and dielectric strength

The design of all dielectrics of the **fuel cell module**, applied between live parts and non current-carrying metal parts, shall be in accordance with applicable standards as given in 4.2.8 for electrical equipment of appropriate voltage class.

The mechanical characteristics of the materials that affect functional behaviour, for example compressive strength, shall comply with the design criteria at a temperature up to at least 20 K or 5 % (whichever is higher) above the maximum temperature observed under **normal operation**, but not less than 80 °C.

Verification shall be based on the properties and characteristics of the material as defined by the manufacturer of the material.

4.2.12 Protective earthing/bonding

The following applies unless the relevant application standards as given in 4.2.8 are specifying it differently.

Accessible not current-carrying metal parts that are likely to become energized through an electrical fault, and that can lead to an electric shock, or an electrical energy **hazard**, shall meet the requirements for protective earthing or be bonded to a common point, if applicable for the system.

To ensure good electrical contact, these connections shall be protected against corrosion. They shall also be designed so that the conductors are secured against loosening and twisting and that contact pressure is maintained.

There shall be no electrochemical corrosion between metallic parts, which form a bonding under the expected conditions of use, storage and transportation. Resistance against electrochemical corrosion may be achieved through appropriate plating or coating processes.

4.2.13 Shock and vibration

The shock and vibration limits that the **fuel cell module** is designed to withstand and the corresponding standards shall be included in the manufacturer's documentation.

5 Type tests

5.1 General

These tests shall be performed in a test environment simulating the anticipated **fuel cell** system or the **fuel cell** system itself, in order to obtain the required operating conditions. In particular, the test facility for performing the tests of **normal operation** can be the **conditioning** facility used for the initial start-up of the **fuel cell module**. It is recommended that the tests be performed in the order described below. The test of abnormal conditions may be destructive.

5.2 Shock and vibration test

The **fuel cell module** shall be subject to the shock and vibration test limits stated in the manufacturer's documentation.

NOTE It is possible that the manufacturer has not specified shock and vibration limits, in which case no tests are required.

Compliance is given if the device under test withstands the manufacturer's specified vibration and shock criteria with no evidence of damage. The device under test operates as intended after the **conditioning**.

5.3 Gas leakage test

5.3.1 General

This test is not applicable for those gas leakages of the **fuel cell modules** with

- operating temperatures higher than the **auto-ignition temperature** of the combustible gas (see 4.2.5), or
- **fuel cells** within a gas-tight vessel already proven according to the relevant national regulations.

Where it is impractical to use the full stack, a stack with a reduced, but still representative, number of cells may be used. Leakage shall be calculated based on the ratio of cell numbers.

Follow the procedure described in either 5.3.2 or 5.3.3.

5.3.2 Flow meter method

The **fuel cell module** shall be operated until it attains **thermal equilibrium conditions** at the maximum operating temperature under rated current.

Once these conditions have been achieved, operation is ceased, the **fuel cell module** may be purged and the gas outlets closed; the **fuel cell module** temperature shall be reduced to the lowest specified operating temperature or below. The **fuel cell module** shall then be pressurized, either with the nominal anode gas or an inert gas (e.g. helium, nitrogen), gradually to the **maximum operating pressure**, defined by manufacturer, and held steady for 1 min.

The inlet pressure shall remain stable and unchanged during the time the leakage is measured. The gas leakage rate shall be measured using a flow meter located at the inlet of the **fuel cell module**, upstream of a pressure relief device and capable of measuring the leakage rate with an accuracy of 2 %. If an inert gas is used as test gas, the gas leakage rate shall be corrected (see Annex B) according to

$$R = \text{fuel gas leakage rate} / \text{test gas leakage rate} \quad (1)$$

where

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (2)$$

where

$TGSG$ is the test gas specific gravity;

$FGSG$ is the fuel gas specific gravity;

or

$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}} \quad (3)$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

These two formulas shall be used to calculate R and the worst-case scenario, i.e. the higher value, shall be reported.

The rate of gas leakage, including the flow rate of gas through the pressure relief valve, shall be recorded.

If the pressure relief device is not included in the test, because of, for example, hysteresis or pressure setting, then the total leakage shall be the sum of the leakage of the pressure relief device alone at maximum fuel supply pressure and that obtained from this test.

The gas leakage rate, corrected to reference conditions and gas type, multiplied by 1,5 shall comply with the gas leakage rate included in the documentation (see 7.4).

NOTE It is anticipated that this information be provided, if necessary, to the end-product user for the purpose of calculating the **ventilation** needs.

5.3.3 Pressure drop method

The anode gas or helium shall be applied to the stack at a pressure higher than the **maximum operating pressure**. Then the gas inlet valve shall be closed and the pressure monitored for a period of 1 min. The initial pressure shall be set high enough that the gas pressure is not below 1,1 of the **maximum operating pressure** by the end of the test. The leakage rate dV/dt shall be calculated from the monitored pressure drop and the total gas volume of the stack and all tubing using Equation (4).

$$dV / dt = \frac{dp \times V_{\text{tot}}}{dt \times P_G} \quad (4)$$

$$dV/dt = (dp \times V_{\text{tot}}) / (dt \times (P_{\text{ini}} - P_G))$$

$$dV/dt = ((P_{\text{ini}} - P_{\text{end}}) \times V_{\text{tot}} / (dt \times (P_{\text{ini}} - P_{\text{G}})))$$

where

- dp is the monitored pressure drop;
- V_{tot} is the total gas volume of stack and all tubing;
- dt is the time during which the pressure drop was measured;
- P_{G} is the pressure level outside the stack.
- P_{ini} is the gas pressure at the start of the test;
- P_{end} is the gas pressure at the end of the test;

The calculated leakage rate shall be transferred to the normalized standard leakage rate $(dV/dt)_{\text{st}}$.

This is done using the following Equation (5):

$$(dV / dt)_{\text{st}} = (dV / dt) \times \frac{P_{\text{ini}}}{P_{\text{s}}} \times \frac{T_{\text{s}}}{T_{\text{ini}}} \quad (5)$$

where

- P_{s} is the standard pressure of 101 325 Pa;
- T_{s} is the standard temperature of 273,15 K;
- T_{ini} is the stack temperature at the start or end of the test, whichever is lower.

If the pressure relief device is not included in the test, because of, for example, hysteresis or pressure setting, then the total leakage shall be the sum of the leakage of the pressure relief device alone at maximum fuel supply pressure and that obtained from this test.

The gas leakage rate, corrected to reference conditions and gas type, multiplied by 1,5 shall comply with the gas leakage rate included in the documentation (see 7.4).

NOTE It is anticipated that this information be provided, if necessary, to the end-product user for the purpose of calculating the **ventilation** needs.

5.4 Normal operation test

The test under normal operation shall be performed under the normal conditions, in particular:

- range of power output with respect to voltage and current;
- range of thermal energy output with respect to temperature and cooling media flow rate (if applicable);
- range of temperature of the **fuel cell module**;
- range of fuel composition;
- range of flows of anode and cathode media;
- range of pressure of anode and cathode fluids;
- rate of change of power output.

For the **normal operation type test**, the **fuel cell module** shall be operated under the normal conditions defined above until **thermal equilibrium conditions** are achieved.

Measurements of the following parameters shall be taken and the results recorded in the documentation as specified in 7.4:

- a) voltage at the terminals of the **fuel cell module** at rated current;
- b) temperatures (**fuel cell stack**, **fuel cell module** surface, ambient; points of measurement shall be given);
- c) fuel pressure (gauge) from –5 % to +5 % or ± 1 kPa, whichever is the higher;
- d) fuel consumption rate from –3 % to +3 %;
- e) oxidant supply from –5 % to +5 %, if applicable;
- f) oxidant pressure from –5 % to +5 % or ± 1 kPa whichever is the higher, if applicable;
- g) coolant inlet and outlet temperature (if applicable);
- h) coolant flow rate (if applicable);
- i) coolant inlet and outlet pressure (if applicable);
- j) fuel and oxidant differential pressure or calculate from 5.4 c) and 5.4 f).

Compliance is given if, for all parameters measured, the measured values are within the manufacturer's specified values.

5.5 Allowable working pressure test

The **fuel cell module** shall be tested at the maximum or minimum operating temperature, whichever is more severe.

During this test, the fuel and air sides of the **fuel cell module** may be interconnected if they are of the same internal pressure under **normal operation**. If the **fuel cell module** comprises a cooling system, this system may be over-pressure tested simultaneously and in the same way.

The **fuel cell module** (both anode and cathode channels) shall be pressurized gradually and held steady for a period of not less than 1 min to no less than 1,3 times their **allowable working pressure**.

If the **fuel cell module** comprises a pressure relief valve, it may be removed or made inoperable.

This test may be conducted during the gas leakage test or the normal operating test, provided that the test parameters can be achieved.

If the test conditions (temperature) cannot be achieved, the **fuel cell module** shall be tested at **ambient temperature** at not less than 1,5 times the **allowable working pressure**.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the **fuel cell module**.

5.6 Pressure withstanding test of cooling system

This test shall be performed if the cooling system is not tested during the **allowable working pressure** test.

The **fuel cell module** shall be tested at the same temperature as in the **allowable working pressure** test.

The cooling system of the **fuel cell module** shall be pressurized to 1,3 times the **allowable working pressure** of the cooling system, and then maintained for a period of not less than 10 min.

If the test conditions (temperature) cannot be achieved, the cooling system shall be tested at **ambient temperature** at 1,5 times the **allowable working pressure** of the cooling system.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the system. If the system utilizes a liquid coolant, there shall be no leakage of coolant during this test.

5.7 Continuous and short-time electrical rating

Where a manufacturer specifies a short-time current rating, the **fuel cell module** shall be stabilized at rated current, then the current increased to the defined short-time rating and held for the defined time, as specified by the manufacturer.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the system.

5.8 Overpressure test

Where the **fuel cell module** has a pressure-limiting device, the pressure shall be increased step by step to a value that exceeds the threshold pressure of the pressure-limiting device. If necessary, the **fuel cell module** inlet pressure regulator shall be disabled or bypassed for this test. The pressure-limiting device shall operate resulting in a reduction of the pressure according to the pressure-limiting device characteristic or the **fuel cell module** shall be transferred into a safe operational state, according to 4.1.

In case of a leak before break design, this test may be destructive and may be performed under 5.13. The data of this test shall be reported to the systems integrator as shall all consequential **hazards**.

5.9 Dielectric strength test

The dielectric strength test for **fuel cell modules** up to and including 1 000 V AC respectively 1 500 V DC shall be performed according to IEC 62477-1:2012, 5.2.3.4 under the following conditions:

- at operating temperature, and with cooling media applied;
- if the **fuel cell module** cannot be maintained at operating temperature, the test shall be carried out at the maximum admissible temperature and the temperature shall be recorded;
- on the fully assembled **fuel cell module**, disconnected from the fuel supply and purged with purging gas.

The results shall comply with:

- the compliance criteria as given in IEC 62477-1 and
- the leakage current shall not exceed 1 mA multiplied by the ratio of the test voltage to the open circuit voltage. If this value cannot be met, the data of this test shall be provided to the systems integrator. All consequential **hazards** shall be mitigated by the systems integrator.

The dielectric strength test for **fuel cell modules** above 1 000 V AC respectively 1 500 V DC shall be performed according to the following:

- The dielectric strength test shall be applied at operating temperature, and with cooling media applied.
- If the **fuel cell module** cannot be maintained at operating temperature, the dielectric strength test shall be carried out at the maximum admissible temperature and the temperature shall be recorded.
- It shall be performed on the fully assembled **fuel cell module**, disconnected from the fuel supply and purged with purging gas.

- The test voltage shall be applied between live parts and non current-carrying metal parts. The test shall be performed either with a DC or an AC voltage of substantially sinusoidal waveform at a frequency between 48 Hz and 62 Hz. The voltage shall be increased steadily to the specified value and then maintained for at least 5 s.

The results shall comply with the following:

- There is no breakdown of the insulation. The leakage current shall not exceed 1 mA multiplied by the ratio of the test voltage to the open circuit voltage. If this value cannot be met, the data of this test shall be provided to the systems integrator. All consequential **hazards** shall be mitigated by the systems integrator.

Dependent on the final application, a test duration over 5 s can be required.

The test voltages shall be as mentioned in Table 1.

Table 1 – Dielectric strength test voltages

Open-circuit voltage	Test voltage, AC and DC, for testing circuits with basic insulation and circuits with protective separation		Test voltage, AC and DC, for testing between circuits and accessible surface (non-conductive or conductive but not connected to protective earth)	
	AC RMS kV	DC kV	AC RMS kV	DC kV
$1\sqrt{2}$ kV = 1,41 kV	2,25	3,2	5,0	7,1
$1,5\sqrt{2}$ kV = 2,12 kV	3,0	4,2	6,4	9,1
$3\sqrt{2}$ kV = 4,24 kV	5,25	7,4	11,2	15,8
$6\sqrt{2}$ kV = 8,4 kV	9,75	13,8	17,5	24,8
$10\sqrt{2}$ kV = 14,14 kV	15,75	22,3	34,0	48,1

Interpolation is permitted throughout all ranges.

5.10 Differential pressure test

For **fuel cell modules** that maintain different channels for the anode and the cathode within the module, the differential test is applicable. The **fuel cell module** shall be at the maximum or minimum operating temperature, whichever is more severe. The **fuel cell module** shall be gradually pressurized with an appropriate gas, either on the anode or cathode channels, and held steady for a period of not less than 1 min to not less than 1,3 times the **maximum allowable differential working pressure**. If the test conditions cannot be achieved, the **fuel cell module** may be tested at **ambient temperature**, and held steady for a period of not less than 1 min at not less than 1,5 times the **maximum allowable differential working pressure**.

The leakage rate shall be measured, for example with a flow rate meter either continuously during the test, or, if not possible, before and after pressurization at the **maximum allowable differential working pressure**.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the **fuel cell module**. The leakage rate between anode and cathode side shall not increase as a result of this test and shall be within the manufacturer's specification for the temperature of the test. The measurements after pressurization shall not deviate from the initial results by more than the accuracy and repeatability of both, the instrumentation and the test set-up. This test may be omitted, if any excessive differential pressure cannot be exerted on the cells by design.

5.11 Gas leakage test (repeat)

The **fuel cell module** shall be re-tested for leakage without the pre-conditioning period, but at the same testing conditions as specified in 5.3.

The gas leakage rate shall not exceed that specified by the manufacturer, and not change by more than 10 % of the initial value or 5 cm³/min, whichever is higher.

5.12 Normal operation (repeat)

The **normal operation** test shall be repeated as defined in 5.4. The measurements recorded shall be within the rated deviations as required in 5.4.

5.13 Flammable concentration test

This test is only applicable for enclosed systems, with purging processes and integrated **ventilation** to avoid ignitable concentrations, where the operating temperature is below the **auto-ignition temperature** of the combustible gas.

Such a **ventilation** and purging processes depend on the specific features and requirements of the **fuel cell module**. This test shall determine the maximum flammable gas concentration within the module enclosure under **normal operation**.

The **fuel cell module** shall be operated within the nominal temperature range until **thermal equilibrium conditions** are achieved. The testing shall be carried out at the barometric pressure at the testing station and in an area free from appreciable draughts.

The **fuel cell module** enclosure shall be provided with the specified **ventilation** flow rate (see 7.4).

Four measurements shall be made at a distance from the purge or points of release so that the flammable concentration measured is that of the compartment rather than the source.

The test shall be continued until four consecutive measurements have shown that the increase in the flammable concentration does not exceed by more than 5 % the mean of the four measurements.

The time interval between measurements shall be not less than 30 min.

The test shall be carried out at least twice.

The test is satisfactory if the concentration of flammable gas is less than 25 % of the **lower flammability limit**. Where the concentration exceeds 25 % of the **lower flammability limit**, the provisions of 4.2.8 shall apply.

5.14 Tests of abnormal operating conditions

5.14.1 General

The purpose of these tests under abnormal operating conditions is to demonstrate that abnormal operating conditions, as identified according to 4.1, do not result in **hazard** or damage outside the **fuel cell module**. These tests may be destructive and they should be performed following the non-destructive tests. It is also acceptable to perform these tests on a sub-module of the **fuel cell module**, which will yield prototypical responses. The sequence of these tests may be different from type to type of **fuel cell module**; the sequence shall be ordered along the lines of increasing danger of destruction by the different test articles.

The tests of abnormal operating conditions shall be performed in the test environment as used for the tests of normal operating conditions. The test facility may be modified in order to achieve the foreseen abnormal operating conditions.

During the tests of abnormal operating conditions, the maximum surface temperature of the test unit obtained shall be recorded. If this temperature is higher than that obtained under normal conditions, it shall be given to the end-product manufacturer.

The failure mode of the **fuel cell module** shall not present a **hazard** to persons or cause damage outside the **fuel cell module** as outlined in 5.14.1 to 5.14.7 for the various abnormal conditions scenarios. Protection against abnormal conditions may be provided either through action of the **fuel cell module** protection controls or through protection mechanisms provided in the end use application. In the latter case documentation shall be provided to alert the integrator of the need for and type of protection to be provided. If a test sample is damaged during the test of abnormal conditions, the following tests shall be carried out using a test sample that already passed the **type test** of 5.3.

If the **fuel cell module** shuts down by a performance degradation function (non safety-related control function) then the test shall be repeated and the non safety-related control function shall be bypassed so that the safety-related control function shuts off the process prior to any **hazardous** situation occurring.

5.14.2 Fuel starvation test

The **fuel cell module** shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. To provoke fuel starvation, the fuel flow is reduced to a level representing the worst-case scenario determined by a risk assessment according to 4.1. The voltage monitoring system or other safety-related control functions shall provide a signal intended to initiate the transfer of the **fuel cell module** into a safe state prior to reaching a **hazardous** condition.

5.14.3 Oxygen/oxidant starvation test

The **fuel cell module** shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. To provoke the oxygen/oxidant starvation, the oxidant flow will be reduced to a level representing the worst-case scenario determined by a risk assessment provided by the **fuel cell module** manufacturer. The voltage monitoring system or other safety related control functions shall provide a signal intended to initiate the transfer of the **fuel cell module** into a safe state prior to reaching a **hazardous** condition.

5.14.4 Short-circuit test

The **fuel cell module** shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. Then a short-circuit between the plus and minus pole of the **fuel cell module** with a minimum resistance and inductance shall be initiated by a suitable high-current switch. The short-circuit current and voltage shall be measured by suitable means, for example a pre-triggered pulse current and pulse voltage monitoring device to measure both values. These data shall be provided to the systems integrator together with all consequential **hazards**.

In case the manufacturer has specified a protective measure, for example fuse, circuit breaker (as part of the technical documentation for the system integrator) to avoid **hazards** as a result of this short-circuit, those protective measures shall be included during this test.

The test is terminated if the protective measure has operated or if the temperature has decreased – after having reached a maximum – below the maximum permitted temperature of involved parts.

The short-circuit test may be performed on a sub-scale module together with an adequate calculation for the full-scale product.

5.14.5 Lack of cooling/impaired cooling test

At the maximum allowable power output specified by the manufacturer, while operating under the stabilized conditions specified by the manufacturer, the coolant flow, if separate from the oxidant, is instantaneously stopped in order to simulate a coolant system failure. The **fuel cell module** is operated:

- for the permissible duration given by the manufacturer after the coolant is shut down; or
- the **fuel cell module** shuts down from performance degradation prior to reaching the service temperature of the materials of construction; or
- until the **fuel cell module** safety-related control function provides a signal intended to initiate the transfer of the **fuel cell module** into a safe state prior to reaching a **hazardous** condition.

5.14.6 Crossover monitoring system test

This test is only applicable to **fuel cell modules** with a monitoring system.

Where a crossover between the anode and the cathode results in a **hazardous** condition, it shall be monitored continuously by a cell voltage monitoring device or equivalent means which transfers the **fuel cell module** into a safe state.

The test shall be performed under normal operating conditions. A crossover shall be simulated by decreasing the monitored cell voltage under the lower switching-off threshold. This procedure shall be repeated with at least 2% randomly selected cell voltage monitoring channels.

NOTE 1 This can be done by using a voltage divider between the cell voltage terminals and the input of the cell voltage monitoring device. The low-voltage resistor of the voltage divider can be a potentiometer by which the voltage is lowered continuously until the switching-off condition has been achieved.

NOTE 2 A reverse power or electrolysis state can occur within a **fuel cell**, if excessive voltage is applied, for example due to a systems failure. This can lead to hydrogen and oxygen formation and present a **hazard**.

5.14.7 Freeze/thaw cycle tests

This test is only applicable to PEFC modules with a storage or operating temperature below 0 °C.

After running in **normal operation** in a stable manner, the **fuel cell module** shall be shut down. The **fuel cell module** is then frozen at the lowest **ambient temperature** condition specified by the manufacturer. After freezing, the unit is thawed according to the manufacturer's specification until it reaches a minimum of 10 °C. This freeze/thaw cycle is repeated ten times. Afterwards, the leakage test shall be repeated.

All temperatures shall be held till thermal equilibrium between stack temperature and temperature of the climate chamber is reached. If the dwell time (starting after thermal equilibrium) is not specified by the manufacturer a minimum dwell time of 60 min shall be performed.

It is recommended to perform an intermediate leakage test after for example the 3rd repetition.

NOTE Provided the test results are not adversely affected, thermal insulation can be removed from the **fuel cell modules** in order to reduce the freeze/thaw cycle time.

6 Routine tests

6.1 General

Routine tests shall be performed in a test facility simulating the anticipated **fuel cell** system or the **fuel cell** system itself, in order to obtain the required operating conditions. It is recommended to perform the **routine tests** in the order described below.

If **routine testing** is performed in direct conjunction with the initial start-up and **conditioning** procedure, the **fuel cell module** shall be connected to the **conditioning** facility and under operational conditions as specified by the manufacturer. Otherwise, the **fuel cell module** shall be integrated in a **fuel cell** system or system simulator as defined above and the start-up procedure shall be carried out according to the manufacturer's specification, so that the **fuel cell module** is under operational conditions as required by the **routine tests** defined below.

The following **routine tests** shall be performed.

6.2 Gas-tightness test

Gas-tightness tests shall be performed on all production units.

A gas-tightness test shall be performed at ambient conditions on all joints and connections of pressure-bearing components using a liquid leak detector. No bubbles shall form when exposed to the **maximum operating pressure** as defined in 3.16 at **ambient temperature**. If desired, the gas-tightness test can be performed at 1,5 times the nominal operating pressure at **ambient temperature**.

The **fuel cell stack** may be tested separately using the procedure of 5.3.2 or 5.3.3.

Alternatively the leakage test according to 5.3 can be applied to the whole fuel cell module.

6.3 Dielectric strength withstand test

Dielectric strength tests shall be performed on all production units after assembly.

Dielectric strength tests shall be performed as described in 5.9 with a test duration of 1 s and at **ambient temperature**.

7 Markings and instructions

7.1 Nameplate

A nameplate shall be secured in a permanent manner to the **fuel cell module**. The marking on the nameplate shall be legible and durable, taking into account possible chemical corrosion, heat and environmental conditions.

The nameplate marking shall include at least the following information:

- a) name of manufacturer or his registered trademark;
- b) model identification;
- c) date code or serial number traceable to the date of manufacture.

7.2 Marking

If connections can be interchanged and result in unsafe conditions, they shall be identified. Polarity of the electrical connections and grounding, if applicable, shall be indicated.

7.3 Warning label

The following warning labels shall be used, as applicable:

- shock **hazard**;
- high temperatures;
- flammable gas or liquid;
- corrosive media;
- toxic media.

When high voltages could occur, a label “Short-circuit prior to handling” shall be affixed to the **fuel cell module**.

7.4 Documentation

7.4.1 General

The information necessary for system integration, installation, operation and maintenance of the **fuel cell module** shall be supplied in the form of drawings, diagrams, charts, tables and instructions.

The **fuel cell module** manufacturer shall ensure that the technical documentation specified in 7.4 is provided with each **fuel cell module**, if not agreed upon otherwise between the system integrator and the **fuel cell module** manufacturer.

For referencing of the above documents, the **fuel cell module** manufacturer shall select one of the following methods:

- each of the above documents shall carry as a cross-reference to the document numbers of other documents; or
- all documents shall be listed with document numbers and titles in a drawing or document list.

The first method should be used only where the documentation consists of a small number of documents (e.g. less than five).

The following additional information shall be provided to the system integrator:

- a) general safety strategy according to 4.1;
- b) type of fuel and oxidant, acceptable fuel and oxidant species (gas composition, impurity content, etc.);
- c) fuel and oxidant gas supply pressure (minimum and maximum);
- d) fuel and oxidant consumption at rated and maximum power;
- e) maximum fuel leakage rate, see 5.3.2 or 5.3.3;
- f) acceptable fuel and oxidant supply temperature;
- g) maximum exhaust temperature;
- h) typical emissions;
- i) range of **ambient temperature** and humidity for operation and storage;
- j) range of altitude;

NOTE Power output is dependent on availability of oxidant. Operation at high altitude can reduce performance.

- k) permissible shock and vibration levels;
- l) normal module operating temperature;

- m) maximum surface temperature;
- n) coolant species;
- o) coolant inlet and outlet temperature set points;
- p) coolant supply pressure and flow-rate range;
- q) type and characteristics of the overcurrent/overload/overvoltage/undervoltage and other protection devices;
- r) purging and **ventilation** flow rate requirements;
- s) dimensions;
- t) weight;
- u) electrical output ratings (rated voltage, rated current, rated power, **open-circuit voltage**, voltage at rated current);
- v) maximum electrical overload;
- w) auxiliary power supply (e.g. voltage, frequency, power);
- x) the end-product(s) use for which this component is intended;
- y) the location of the earth connection (If applicable);
- z) appropriate information regarding end-of-life procedures;
- aa) information concerning resistance to fire or spread of fire of the material used.

Regulatory requirements for recycling and disposal should be taken into consideration.

7.4.2 Installation manual

The installation manual shall give a clear and comprehensive description of the installation and mounting, the electrical connections, the fuel connection, the oxidant connection and the connection to the cooling system, as far as applicable, of the **fuel cell module**.

The installation manual shall comprise:

- handling, transportation and storage;
- preparation;
- orientation (upper-side and lower-side position, etc.);
- fixing method of the module;
- connection method of gas and coolant piping;
- connection method of the electric line and sensors;
- general notes and prohibited handling;
- overview (block) diagram(s) where appropriate;
- circuit diagram(s).

7.4.3 Installation diagram

7.4.3.1 General

The installation diagram shall give all information necessary for the preliminary work of setting up the **fuel cell module**. In complex cases, it may be necessary to refer to the assembly drawings for details.

The recommended position and type of supply fittings, cables, hoses, pipes and the like to be installed on site shall be clearly indicated.

The data necessary for choosing the type, characteristics, ratings and setting of any protection device(s) to be installed shall be stated.

The size, type and purpose of ducts, trays or supports between the **fuel cell module** and the associated equipment that are to be provided by the user shall be detailed.

Where necessary, the diagram shall indicate where space is required for the removal or servicing of the **fuel cell module**.

In addition, where it is appropriate, an interconnection diagram or table shall be provided. Such a diagram or table shall give full information about all external connections.

7.4.3.2 Block (system) diagrams and function diagrams

Where it is necessary to facilitate the understanding of the principles of operation, a block (system) diagram shall be provided. A block (system) diagram symbolically represents the **fuel cell module**, together with its functional inter-relationships without necessarily showing all of the interconnections.

Function diagrams may be used as either part of, or in addition to, the block (system) diagram.

7.4.3.3 Circuit diagrams

Where a block (system) diagram does not sufficiently detail the elements of the **fuel cell module**, detailed diagrams of the different circuitry shall be furnished. These diagrams shall show the circuits on the **fuel cell module** and its associated equipment. Graphical symbols listed in IEC 60617 shall be used. Other symbols shall be separately shown and described on the diagrams or supporting documents. The symbols and identification of components and devices shall be consistent throughout all documents and on the **fuel cell module**.

Where appropriate, a diagram showing the terminals, junctions and the like for interface connections shall be provided. That diagram may be used in conjunction with the circuit diagram(s) for simplification. The diagram shall contain a reference to the detailed circuit diagram of each unit shown.

Circuits shall be shown in such a way as to facilitate the understanding of their function as well as maintenance. Characteristics relating to the function of the control devices and components which are not evident from their symbolic representation shall be included on the diagrams adjacent to the symbol or referenced to a footnote.

7.4.4 Operation manual

Technical documentation shall contain an operation manual detailing proper procedures for set-up and use of the **fuel cell module**. Particular attention shall be given in this documentation so that the safety-related functions of the **fuel cell module** will not be impaired when integrated and to the improper methods of operation that are anticipated.

Where the operation of the **fuel cell module** can be programmed, detailed information on methods of programming, equipment required, programme verification (where required) shall be provided. This includes the necessary information if such a programmable function is to be performed as a safety-relevant function.

The operation manual shall comprise:

- start-up and operational procedure;
- sequence of operation(s);
- frequency of inspection;
- normal and emergency shut-down procedures;
- storage procedure and **conditioning**;
- general notes and prohibited operation;

- information on the physical environment (e.g. range of **ambient temperatures** for operation, vibration, noise levels, atmospheric contaminants) where appropriate.
- maximum gas leakage rate during operation, which is limited by protective measures, see 4.2.6.2.

7.4.5 Maintenance manual

The technical documentation shall contain a maintenance manual detailing proper procedures and intervals for adjustment, servicing and preventive inspection, and repair. Recommendations on maintenance/service records should be part of that manual. Where methods for the verification of proper operation are provided (e.g. software testing programmes), the use of those methods shall be detailed.

The **fuel cell module** manufacturer shall give proper instructions for disposal and recycling of parts and components.

7.4.6 Parts list

The parts list shall comprise, as a minimum, information necessary for ordering spare or replacement parts (for example, components, devices, software, test equipment, technical documentation) required for **normal operation** and preventive or corrective maintenance, including those that are recommended to be carried in stock by the user of the **fuel cell module**.

The parts list shall show for each item:

- the reference designation used in the documentation;
- its type designation;
- its general characteristics, where appropriate.

Annex A (informative)

Significant hazards, hazardous situations and events dealt with in this document

Table A.1 gives the significant **hazards**, **hazardous** situations and events dealt with in this document, together with the relevant subclause(s). Table A.1 also indicates the **hazards** which have not been dealt with.

Table A.1 – Typical hazardous situations and events

Significant hazards, hazardous situations and events	Subclause
☐ Mechanical hazards due to:	
☐ Shape (sharp edge, pinch points, rough surfaces)	-
☐ Relative location (trip/crash hazard)	-
☐ Mass and stability (potential energy of elements which may move under the effect of gravity)	4.2
☐ Mass and velocity (kinetic energy of elements in controlled or uncontrolled motion)	4.2
☐ Inadequacy of mechanical strength (inadequate specification of material or geometry)	4.2
☐ Fluids under pressure (over-pressurization, ejection of fluids under pressure, vacuum)	4.2, 5.4
☐ Electrical hazards due to:	
☐ Contact of persons with live parts (direct contact)	4.2.8
☐ Contact of persons with parts that have become live under faulty conditions (indirect contact)	4.2.10, 4.2.12
☐ Approach to live parts under high voltage	4.2.11, 5.9
☐ Electrostatic phenomena	4.2.7, 4.2.8
☐ Electromagnetic phenomena	4.2.8
☐ Heat/chemical effects from short circuits, overloads	4.2.8
☐ Molten particles	-
☐ Adjustment e.g. to specific voltage conditions of the grid	4.2.8
☐ Application of incompatible materials (electrolytic corrosion)	4.2.1
☐ Improper connections	4.2.7
☐ Due to the connection to an electric grid behaviour	-
☐ Stored electrical energy	4.2.8
☐ Thermal hazards due to:	
☐ Contact of persons with surfaces at extreme high temperatures	5.14.1
☐ Release of high temperature fluids	-
☐ Thermal fatigue	-
☐ Equipment over temperature causing unsafe operation	4.2.8
☐ Hazards generated by materials and substances:	
☐ Hazards from contact with, or inhalation of, harmful fluids, gases, mists, fumes and dusts	-
☐ Fire or explosion hazard due to leak of flammable fluids	4.2.3, 5.13
☐ Fire or explosion hazard due to internal build-up of flammable mixture	5.13
☐ Fire due to combustible substances (fluids, gases, solids)	5.13

Significant hazards, hazardous situations and events	Subclause
☐ Hazard due to incomplete combustion/oxidation due to inadequate mixture of fuel/air	5.14.2
☐ Hazard based on substances resulting from combustion/oxidation of fuel/air	-
☐ Hazardous situations caused by material deterioration (e.g. corrosion) or accumulation (e.g. fouling)	4.2.12
☐ Substances causing pollution (hygiene)	-
☐ Asphyxiation	-
☐ Reactive materials (pyrophoric)	-
☐ Hazards generated by malfunctions:	
☐ Unsafe operation due to failures or inadequacy of software or control logic	4.1, 4.2.6, 4.2.8
☐ Unsafe operation due to failures of control circuit or protective/safety components	4.2.6
☐ Unsafe operation due to power outage	4.2.8
☐ Hazards generated by neglecting ergonomic principles:	-
☐ Hazards due to inadequate design, location or identification of manual controls	4.2.8
☐ Hazards due to inadequate design or location of visual display units and warning signs	-
☐ Noise	-
☐ Vibration	-
☐ Hazards generated by erroneous human intervention:	
☐ Hazards due to deviation from correct operating	4.1
☐ Hazards due to errors of manufacturing/fitting/installation	-
☐ Hazards due to errors of maintenance	7.4
☐ Vandalism	-
☐ Reasonably foreseeable misuse:	
☐ Foreseeable unintended use or operating	4.1
☐ Environmental hazards:	
☐ Unsafe operation in extreme hot/cold environments	7.4
☐ Rain, flooding	-
☐ Wind	-
☐ Earthquake	-
☐ External fire	-
☐ Smoke	-
☐ Snow, ice load	-
☐ Attack by vermin	-
☐ Pollution:	
☐ Air pollution	4.2.8
☐ Water pollution	4.2.8
☐ Soil pollution	4.2.8

Annex B (informative)

Additional information for the performance and evaluation of the tests

B.1 Estimating the leakage rate of a system when testing with a gas other than the working gas

B.1.1 General

If the **fuel cell module** manufacturer does not conduct the gas leakage rate test with the working gas, the gas leakage rate of the working gas has to be estimated from the leakage rate obtained with the gas used for testing (test gas).

It is known that the leakage rate of liquids and of gases is inversely proportional to the square root of the density [16]. That is:

$$\text{leakage rate proportional to } (1/\rho)^{1/2} \quad (\text{B.1})$$

where ρ is the density.

For dense gases, since ρ is in the denominator, the leakage rate is low and for light gases the leakage rate is high. From this it can be concluded that the leakage rate of a light gas like hydrogen, for example, is higher than when using a heavier gas such as air since hydrogen has a much smaller density than air. The specific gravity of hydrogen is 0,069 6 and the specific gravity of air is 1.

Similarly, the volumetric leakage rate is inversely proportional to the absolute viscosity [13]. That is:

$$\text{leakage rate proportional to } (1/\mu) \quad (\text{B.2})$$

where μ is the absolute viscosity.

The dynamic viscosity is also referred to as the absolute viscosity.

This means that viscous gases leak less than gases with low viscosity. The viscosity of air for example is higher than the viscosity of hydrogen and for this reason, hydrogen leaks more at the same conditions of temperature and pressure.

To find out which mode is applicable for a particular system an experiment should be conducted.

By estimating the ratio of the leakage rate, when using the fuel gas, to the leakage rate, when using the gaseous test media, if the leakage rate with the test gas is known, the leakage rate with the working gas can be estimated. This ratio can be called R . That is:

$$R = \text{fuel gas leakage rate/test gas leakage rate} \quad (\text{B.3})$$

B.1.2 Calculation of R using Formula (B.1)

From Formula (B.1) the leakage rate of gases is inversely proportional to the square root of their density. Therefore, by substituting Formula (B.1) into Formula (B.4), R is the square root of the inverse of the test gas density to the fuel density ratio. Also, since the specific gravity is the ratio of the gas density to the air density, R is as follows:

$$R = ((1/FGSG)/(1/TGSG))^{1/2} \quad (B.4)$$

where

$FGSG$ is the fuel gas specific gravity;

$TGSG$ is the test gas specific gravity.

This can be simplified to:

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (B.5)$$

By doing this, if the fuel gas is lighter than the test gas, R will be greater than one and vice versa.

B.1.3 Calculation of R using Formula (B.2)

The ratio of the leakage rate of the fuel gas to the test gas by using Formula (B.2) and placing it in Formula (B.3) is:

$$R = (1/\mu_{\text{fuel}})/(1/\mu_{\text{test}})$$

therefore,

$$R = \mu_{\text{test}}/\mu_{\text{fuel}} \quad (B.6)$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

Therefore, if the fuel gas is less viscous than the test gas, R will be greater than one and vice versa (Formula (B.5) is taken from [13]).

B.1.4 Examples

If Formula (B.4) is used, that is to say

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2}$$

- if hydrogen is the test gas as well as the fuel, R is one;
- if air is used as the test media for a **fuel cell** that will use hydrogen as the fuel, R will be $(1/0,069\ 68)^{1/2} = 3,79$.

This means that if a leakage rate of 28,3 l/h (1 ft³/h) is obtained when testing with air, it is estimated that the leakage rate with hydrogen would be 107,3 l/h (3,79 ft³/h).

A similar analysis can be conducted if Formula (B.5) is used for R . If air is the gaseous test medium and hydrogen is the fuel then the absolute viscosity (dynamic viscosity) of air at 293 K and at atmospheric pressure [17] is:

$$1,846\ 2 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s},$$

the absolute viscosity (dynamic viscosity) of hydrogen at 293 K and at atmospheric pressure [17] is:

$$8,963 \times 10^{-6} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

Therefore, $R = 2,06$.

It follows, therefore, that since the viscosity of hydrogen is lower than that of air, it will tend to leak more by a factor of 2,06.

The dynamic viscosity of gases is primarily a temperature function and essentially independent of pressure [18]. Different values of dynamic viscosity can be found in Table B.1 for some gases.

If no experiment is conducted to find out which mode of leakage a particular system has, the worst-case scenario may be used.

The results of these calculations are meant for the case where the test gas temperature and pressure will be the same as the working gas temperature and pressure.

It is recommended to use helium as the test gas for **fuel cell modules** that work with hydrogen.

For this case the formula is:

$$R = (HeSG/H_2SG)^{1/2}$$

where

$HeSG$ is the helium specific gravity = 0,138 2*;

H_2SG is the hydrogen specific gravity = 0,069 6*;

NOTE “*” means “at atmospheric pressure and at 293 K”.

or

$$R = \mu_{\text{test}}/\mu_{\text{fuel}} \quad (\text{B.6})$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

B.1.5 Conclusion

The following procedure can be used to estimate the leakage rate of the working gas when conducting the leakage rate test with helium as the test gas. The estimate from this procedure will be for the working gas subjected to the same conditions of temperature and pressure as when the leakage rate test with helium was conducted. The leakage rate ratio, R , between the working gas to helium should be calculated and it should be multiplied by the leakage rate obtained when using helium. Two formulae should be used to calculate R and the worst-case scenario used (higher value). If hydrogen is the working gas, the formulae are:

$$R = (HeSG/H_2SG)^{1/2}$$

where

$HeSG$ is the helium specific gravity = 0,138 2*;

H_2SG is the hydrogen specific gravity = 0,069 6*.

NOTE “*” means “at atmospheric pressure and at 293 K”.

For other working gases, H_2SG should be substituted by the actual working gas specific gravity at atmospheric pressure and at 293 K:

or

$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}}$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

The absolute viscosity, that is highly dependent on temperature but not on pressure, can be obtained from Table B.1.

Table B.1 – Viscosity of gases at one atmosphere

Temperature °C °F	0 32	20 68	60 140	100 212	200 392	400 752	600 1 112	800 1 472	1 000 1 832
Gas	μ (lbf · s)/(ft ²) [47,88 (N · s)/(m ²)] × 10 ⁸								
Air ^a	35,67	39,16	41,79	45,95	53,15	70,42	80,72	91,75	100,8
Carbon dioxide ^a	29,03	30,91	35,00	38,99	47,77	62,92	74,96	87,56	97,71
Carbon monoxide ^a	34,60	36,97	41,57	45,96	52,39	66,92	79,68	91,49	102,2
Helium ^a	38,85	40,54	44,23	47,64	55,80	71,27	84,97	97,43	–
Hydrogen ^{a,b}	17,43	18,27	20,95	21,57	25,29	32,02	38,17	43,92	49,20
Methane ^a	21,42	22,70	26,50	27,80	33,49	43,21	–	–	–
Nitrogen ^{a,b}	34,67	36,51	40,14	43,55	51,47	65,02	76,47	86,38	95,40
Oxygen ^b	40,08	42,33	46,66	50,74	60,16	76,60	90,87	104,3	116,7
NOTE The units used in this table do not correspond to the International System of Units.									
^a Computed from data given in [19].									
^b Computed from data given in [20].									

B.2 Derivation of the “safety factor” for the allowable working pressure test (5.5)

B.2.1 General

The following is a brief summary of what was found in some North American standards on pressure relief devices/pressure relief valves (PRD/PRV). This information was used to decide what number to recommend as a safety factor for the allowable working test pressure.

B.2.2 Pressure relief devices

B.2.2.1 General

Pressure relief devices such as rupture disks should activate from 90 % of the setting to 100 %, if they are pressure activated, and from 80 % to 105 %, if they are a combination of pressure and temperature activated. These devices are also tested for flow capacity.

B.2.2.2 Relief valves

The opening pressure shall be from 90 % to 105 %. It should maintain a relieving pressure of no more than 10 % above the opening pressure when passing 24,5 kg (54 pounds) of water/h. There should not be deviations of more than 5 % due to exposure to the temperature range limits. There should not be deviations of more than 5 % due to 100 cycles of operation.

B.2.2.3 Safety valves

Start-to-discharge pressure should not be more than 110 % of the marked value. The flow capacity is measured at 120 % of the start to discharge pressure. The sealing pressure should be not less than 65 % of the opening pressure (after the flow capacity test). After the time tests, the start to discharge and the sealing pressures should not deviate by more than 5 %.

B.2.2.4 Hydrostatic relief valves

Initial start to release pressure should be within 5 %.

B.2.3 Conclusion

It is recommended either using a safety factor of 132 % (110 % deviation allowed by UL 132 [23] times 120 % for a full discharge) since this represents the worst-case scenario, or making it dependent on the type of PRD/PRV used. That is, 105 % for modules that use a PRD (full discharge is immediate), evaluated to ANSI/IAS PRD 1-1998 [24] and 132 % for modules with safety relief valves evaluated to UL 132 [23].

B.3 Proposed acceptance tests

B.3.1 Leakage test

This test is not applicable for **fuel cell modules** with

- operating temperatures higher than the **auto-ignition temperature** of the combustible gas, or
- **fuel cells** within a gas-tight vessel.

The test procedure is as follows.

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.3. The rate of leakage should be recorded and should not exceed the value in the product specification by more than 5 %.

B.3.2 Normal operation

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.4.

B.3.3 Allowable working pressure test

In the case where the **fuel cell module** is encapsulated by a pressure vessel already approved by the relevant national regulations, this test is not applicable.

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.5.

B.3.4 Pressure withstanding test of cooling system

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.6.

B.3.5 Overpressure test

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.8 .

B.3.6 Differential pressure test

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** should be tested as described in 5.10.

B.3.7 Safety-related control functions

The manufacturer should verify that all safety-related control functions are as specified for all units manufactured.

Using a sampling plan mutually agreeable to the manufacturer and the testing agency, the **fuel cell module** safety devices should be proven to meet their intended use, when possible.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2-100:2020

Annex C

(informative)

List of notes concerning particular conditions in certain countries

Clause/ subclause	Note
4.2.1	In Canada, CAN/CSA C22.2 N° 60529:16 [25] replaces IEC 60529.
4.2.4	In Canada, if fuel cell stack assemblies are contained within a pressurized enclosure operating above 103 kPa, the enclosure shall comply with CSA B51 [26].
4.2.8	In Canada, CAN/CSA-C22.2 N° 60079-0:19 [27] replaces IEC 60079-10-1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2-100:2020

Bibliography

- [1] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [2] IEC 60050-485:2020, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 485: Fuel cell technologies*
- [3] IEC TS 62282-1, *Fuel cell technologies – Part 1: Terminology*
- [4] IEC 60812, *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*
- [5] SAE J1739, *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*
- [6] IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*
- [7] ISO/IEC 80079-20-1:2017, *Explosive atmospheres – Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data*
- [8] ISO 37, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties*
- [9] ISO 188, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests*
- [10] ISO 1307, *Rubber and plastics hoses – Hose sizes, minimum and maximum inside diameters, and tolerances on cut-to-length hoses*
- [11] ISO 1402, *Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Hydrostatic testing*
- [12] ISO 1436, *Rubber hoses and hose assemblies – Wire-braid-reinforced hydraulic types for oil-based or water-based fluids – Specification*
- [13] ISO 10619-1, *Rubber and plastics hoses and tubing – Measurement of flexibility and stiffness – Part 1: Bending tests at ambient temperature*
- [14] ISO 10619-2, *Rubber and plastics hoses and tubing – Measurement of flexibility and stiffness – Part 2: Bending tests at sub-ambient temperatures*
- [15] ISO 10619-3, *Rubber and plastics hoses and tubing – Measurement of flexibility and stiffness – Part 3: Bending tests at high and low temperatures*
- [16] KALYANAM, K.M. and HAY D.R., *Safety Guide for Hydrogen*, National Research Council
- [17] HOLMAN J.P., *Heat Transfer*, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981, p.542-543
- [18] AVALLONE, Eugene A. and BAUMEISTER III Theodore, *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, tenth edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1996, p.3-32 and 3-33

- [19] *Handbook of Chemistry and Physics*, 52d ed., Chemical Rubber Company, 1971 – 1972
- [20] *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955
- [21] ANSI/CSANGV2, *Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle (NGV) Fuel Containers*
- [22] CGA 12.6-M94, *Vehicle Refueling Appliance*
- [23] UL 132, *Safety Relief Valves for Anhydrous Ammonia and LP-Gas*
- [24] ANSI/IAS PRD 1-1998, *Pressure Relief Devices for Natural Gas Vehicles (NGV) Fuel Containers*
- [25] CAN/CSA C22.2 N° 60529:16, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*
- [26] CSA B51-03, *Boiler, pressure vessel, and pressure piping code*
- [27] CAN/CSA-C22.2 N° 60079-0:19 *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General Requirements (Adopted IEC 60079-0:2017, seventh edition, 2017-12, with Canadian deviations)*
- [28] IEC 62282-3-100, *Fuel cell technologies – Part 3-100: Stationary fuel cell power systems – Safety*
- [29] IEC 62282-3-400, *Fuel cell technologies – Part 3-400: Stationary fuel cell power systems – Small stationary fuel cell power system with combined heat and power output*
- [30] IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres*
- [31] IEC 60050-426, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Equipment for explosive atmospheres* (available at <http://www.electropedia.org>)
- [32] ISO/IEC Guide 51:2014, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2-100:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	48
1 Domaine d'application	50
2 Références normatives	51
3 Termes et définitions	52
4 Exigences	57
4.1 Stratégie de sécurité générale	57
4.2 Exigences de conception	58
4.2.1 Généralités	58
4.2.2 Comportement dans des conditions normales et anormales de fonctionnement	59
4.2.3 Fuite	59
4.2.4 Fonctionnement sous pression	59
4.2.5 Feu et inflammation	60
4.2.6 Sécurité/garde-fou	61
4.2.7 Tuyauteries et accessoires	61
4.2.8 Composants électriques	62
4.2.9 Bornes et connexions électriques	63
4.2.10 Parties électriquement actives	64
4.2.11 Matériaux isolants et rigidité diélectrique	64
4.2.12 Mise à la terre/liaison de protection	64
4.2.13 Chocs et vibrations	65
5 Essais de type	65
5.1 Généralités	65
5.2 Essai de choc et de vibration	65
5.3 Essai de fuite de gaz	65
5.3.1 Généralités	65
5.3.2 Méthode du débitmètre	65
5.3.3 Méthode par chute de pression	66
5.4 Essai de fonctionnement normal	67
5.5 Essai de pression de service admissible	68
5.6 Essai de résistance à la pression du système de refroidissement	68
5.7 Caractéristiques assignées de courant continu et de courte durée	69
5.8 Essai de surpression	69
5.9 Essai de rigidité diélectrique	69
5.10 Essai de pression différentielle	70
5.11 Essai de fuite de gaz (répétition)	71
5.12 Fonctionnement normal (répétition)	71
5.13 Essai de concentration inflammable	71
5.14 Essais dans des conditions anormales de fonctionnement	72
5.14.1 Généralités	72
5.14.2 Essai de sous-alimentation en combustible	72
5.14.3 Essai de sous-alimentation en oxygène/oxydant	73
5.14.4 Essai de court-circuit	73
5.14.5 Essai de manque de refroidissement/défaut de refroidissement	73
5.14.6 Essai du système de surveillance de perméation	73
5.14.7 Essais de cycle de gel/dégel	74
6 Essais individuels de série	74

6.1	Généralités	74
6.2	Essai d'étanchéité au gaz	74
6.3	Essai de tenue diélectrique	75
7	Marquages et instructions.....	75
7.1	Plaque signalétique	75
7.2	Marquage	75
7.3	Étiquette d'avertissement.....	75
7.4	Documentation.....	76
7.4.1	Généralités	76
7.4.2	Manuel d'installation	77
7.4.3	Schéma d'installation.....	77
7.4.4	Manuel d'utilisation.....	78
7.4.5	Manuel de maintenance.....	79
7.4.6	Nomenclature	79
Annexe A (informative) Dangers, situations dangereuses et événements dangereux significatifs traités dans le présent document.....		80
Annexe B (informative) Informations supplémentaires pour la réalisation et l'évaluation des essais		82
B.1	Estimation du débit de fuite d'un système lors d'essais avec un gaz autre que le gaz de service	82
B.1.1	Généralités	82
B.1.2	Calcul de R à l'aide de la Formule (B.1)	83
B.1.3	Calcul de R à l'aide de la formule (B.2)	83
B.1.4	Exemples.....	83
B.1.5	Conclusion	84
B.2	Dérivation du "facteur de sécurité" pour l'essai de pression de service admissible (5.5)	86
B.2.1	Généralités	86
B.2.2	Limiteurs de pression	86
B.2.3	Conclusion	86
B.3	Essais de réception proposés	86
B.3.1	Essai de fuite.....	86
B.3.2	Fonctionnement normal	87
B.3.3	Essai de pression de service admissible.....	87
B.3.4	Essai de résistance à la pression du système de refroidissement	87
B.3.5	Essai de surpression	87
B.3.6	Essai de pression différentielle	87
B.3.7	Fonctions de commande relatives à la sécurité.....	87
Annexe C (informative) Liste des notes concernant les conditions particulières dans certains pays		88
Bibliographie.....		89
Figure 1 – Composants d'un système à pile à combustible.....		51
Tableau 1 – Tensions pour l'essai de rigidité diélectrique		70
Tableau A.1 – Situations et événements dangereux types		80
Tableau B.1 – Viscosité des gaz à une atmosphère		85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –
Partie 2-100: Modules à piles à combustible – Sécurité**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62282-2-100 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible.

Cette première édition annule et remplace l'IEC 62282-2 parue en 2012.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'IEC 62282-2:2012:

- références à l'IEC 60050-485¹ et non plus à l'IEC TS 62282-1;
- mise à jour des références normatives;
- mise à jour des définitions, notamment celle du **module à pile à combustible pour fonctionnement normal**;

¹ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication IEC BPUB 60050-485:2019.

- traitement des valeurs de fuite en **fonctionnement normal** et anormal;
- introduction d'un essai d'allumage retardé;
- introduction de mesures de protection destinées à limiter les fuites de gaz;
- mise à jour des exigences d'isolation entre les parties actives et la **TBTS**;
- la stratégie générale de sécurité a été modifiée afin de prendre en compte les besoins concernant différentes normes d'application; ces modifications s'alignent sur les modifications similaires effectuées au niveau de l'IEC 62282-3-100;
- l'article relatif aux composants électriques a été modifié afin de prendre en compte les besoins concernant différentes normes d'application; ces modifications s'alignent sur les modifications similaires effectuées au niveau de l'IEC 62282-3-100;
- installation d'une mise à la terre de protection comme partie intégrante du module ou d'une liaison comme mesure interne à l'installation;
- mise à jour exhaustive de l'essai de rigidité diélectrique par référence à l'IEC 62744-1 pour les tensions jusqu'à 1 000 V en courant alternatif/1 500 V en courant continu;
- introduction d'une nouvelle méthode d'essai de fuite par "chute de pression";
- les termes tels que "normal"/"anormal" employés par exemple conjointement avec les conditions de fonctionnement sont utilisés de façon plus cohérente;
- intégration des définitions des **dangers** et **situations dangereuses** sur la base de la série IEC 60079;
- le marquage et les instructions ont été étendus afin de fournir les informations nécessaires à l'intégrateur de système;
- une nouvelle Annexe A relative aux **dangers**, situations et événements **dangereux** traités dans le présent document et associée à 4.1 (Stratégie de sécurité générale) a été ajoutée.

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

FDIS	Rapport de vote
105/782/FDIS	105/793/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62282, publiées sous le titre général *Technologies des piles à combustible*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

NOTE Dans le présent document, les caractères d'imprimerie suivants sont utilisés:

- termes définis à l'Article 3: **caractères gras**.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que l'Annexe C énumère tous les articles traitant des différences à caractère moins permanent inhérentes à certains pays, concernant le sujet du présent document.

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

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

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

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE – Partie 2-100: Modules à piles à combustible – Sécurité

1 Domaine d'application

Cette partie de l'IEC 62282 fournit des exigences relatives à la sécurité concernant la construction, le fonctionnement dans des conditions normales et anormales, et l'essai des **modules à piles à combustible**. Elle s'applique aux **modules à piles à combustible** avec les différents types d'électrolytes suivants:

- alcalins;
- à électrolyte polymère (y compris **cellules élémentaires à combustible** à méthanol direct)²;
- à acide phosphorique;
- à carbonates fondus;
- à oxyde solide;
- à solution aqueuse de sels.

Les **modules à piles à combustible** peuvent être équipés ou non d'une enveloppe et peuvent fonctionner à des niveaux de pression élevés ou à une pression proche de la pression ambiante.

Le présent document couvre les conditions qui peuvent générer des **dangers** pour les personnes et des dommages à l'extérieur des **modules à piles à combustible**. La protection contre les dommages affectant l'intérieur des **modules à piles à combustible** n'est pas traitée dans le présent document, à condition que ceux-ci ne suscitent pas de **dangers** à l'extérieur du module.

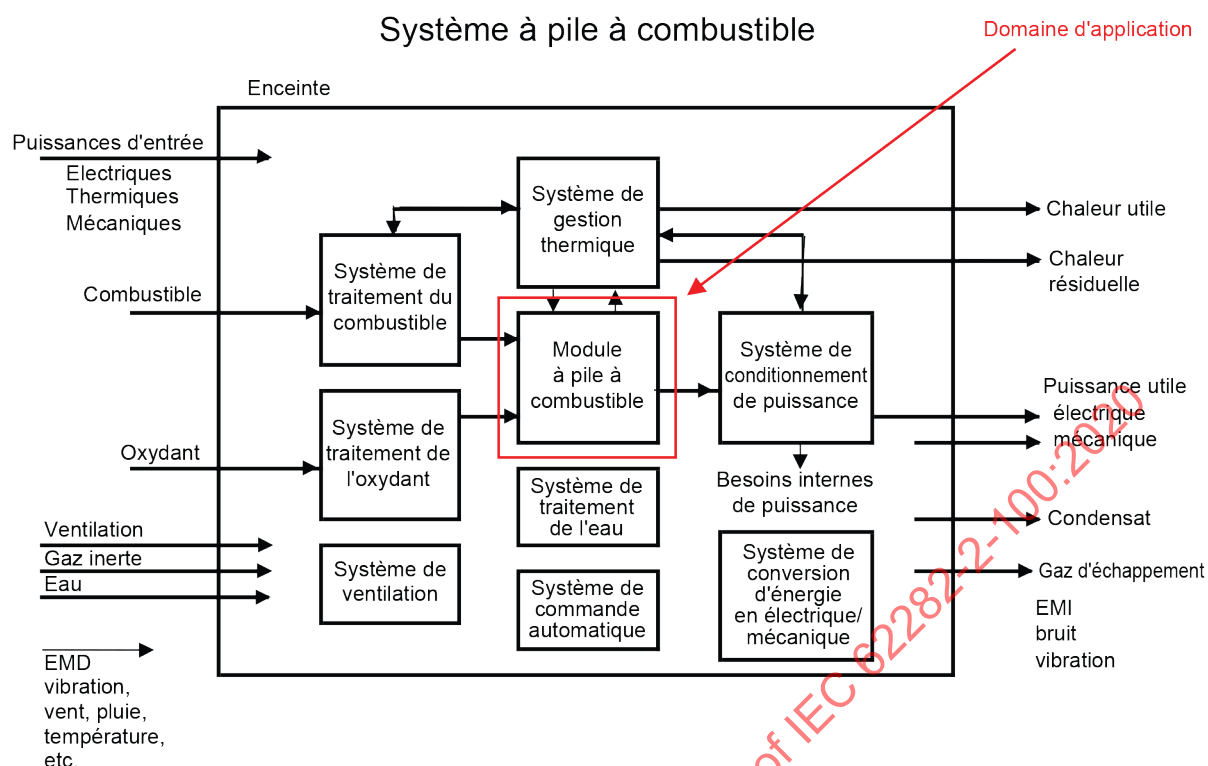
Ces exigences peuvent être remplacées par d'autres normes applicables aux équipements contenant des **modules à piles à combustible** comme l'exigent les applications spécifiques.

Le présent document ne couvre pas les applications de véhicules routiers aux **piles à combustible**.

Le présent document n'est pas destiné à limiter ou à entraver les progrès technologiques. Un appareil utilisant des matériaux ou présentant des modes de construction différents de ceux décrits en détail dans les exigences du présent document peut être examiné et soumis à l'essai en fonction de l'objectif de ces exigences et, s'il est jugé pratiquement équivalent, il peut être considéré comme conforme au présent document.

Les **modules à piles à combustible** sont des composants de produits finis. Ces produits exigent une évaluation fondée sur les exigences de sécurité appropriées qui sont applicables aux produits finis.

² Également appelée cellule élémentaire à combustible à membrane échangeuse de protons.



IEC

LégendeEMD perturbation électromagnétique (*electromagnetic disturbance* en anglais)EMI brouillage électromagnétique (*electromagnetic interference* en anglais)**Figure 1 – Composants d'un système à pile à combustibile**

Le présent document ne couvre que les éléments jusqu'à la sortie en courant continu du **module à pile à combustibile**.

Le présent document ne s'applique pas aux dispositifs périphériques représentés à la Figure 1.

Le présent document ne couvre pas le stockage du combustibile et de l'oxydant ni leur fourniture au **module à pile à combustibile**.

2 Références normatives

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

IEC 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*

IEC 60204-1, *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60335-1, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60352 (toutes les parties), *Connexions sans soudure*

IEC 60512-15 (toutes les parties), *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 15: Essais (mécaniques) des connecteurs*

IEC 60512-16 (toutes les parties), *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 16: Essais mécaniques des contacts et des sorties*

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

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas* (disponible à l'adresse <http://std.iec.ch/iec60617>)

IEC 60695 (toutes les parties), *Essais relatifs aux risques du feu*

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

IEC 61010-1, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61204-7, *Alimentations à découpage basse tension – Partie 7: Exigences de sécurité*

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

IEC 62040-1, *Alimentations sans interruption (ASI) – Partie 1: Exigences de sécurité*

IEC 62061, *Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité*

IEC 62282-4-101, *Technologies des piles à combustible – Partie 4-101: Systèmes à piles à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Sécurité pour chariots de manutention électriques*

IEC 62368-1, *Équipements des technologies de l'audio/vidéo, de l'information et de la communication – Partie 1: Exigences de sécurité*

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

ISO 13849-1, *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1: Principes généraux de conception*

ISO 23550, *Safety and control devices for gas and/or oil burners and appliances – General requirements* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

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

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

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

3.1

module à pile à combustible

assemblage incorporant une ou plusieurs **piles à combustible** et, le cas échéant, des composants supplémentaires, qui est destiné à être intégré dans une installation ou un véhicule

Note 1 à l'article: Un **module à pile à combustible** est constitué des composants principaux suivants: une ou plusieurs **piles à combustible**, un système de tuyauterie pour le transport du combustible, des oxydants et des échappements, des connexions électriques pour l'énergie délivrée par la ou les piles et des dispositifs de surveillance, ou de commande, ou les deux. De plus, un **module à pile à combustible** peut comprendre: des moyens pour transporter des fluides supplémentaires (par exemple agents de refroidissement, gaz inerte), des moyens pour détecter les conditions normales et anormales de fonctionnement, des enveloppes ou des réservoirs sous pression et des systèmes de **ventilation** des modules, et les composants électroniques nécessaires pour le fonctionnement du module et le **conditionnement** de l'électricité.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-09-03]

3.2

essai de réception

essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que l'entité répond à certaines conditions de sa spécification

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-23, modifié – Le terme toléré "essai d'acceptation" a été supprimé.]

3.3

pression de service différentielle admissible maximale

pression différentielle maximale entre le côté anode et le côté cathode, spécifiée par le fabricant, que le **module à pile à combustible** peut supporter sans aucun dommage ni aucune perte permanente des propriétés fonctionnelles

Note 1 à l'article: La pression de service différentielle admissible maximale est exprimée en Pa.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-17-02, modifié – "pile à combustible" a été remplacé par "module à pile à combustible".]

3.4

pression de service admissible

pression relative maximale spécifiée par le fabricant à laquelle le **module à pile à combustible** peut résister sans dommage ou sans perte permanente des propriétés fonctionnelles

Note 1 à l'article: Pour les **modules à piles à combustible** équipés de limiteurs de pression, cette valeur est normalement utilisée pour définir le seuil de la pression réglée.

3.5

température ambiante

température du milieu dans lequel se trouve un appareil, un équipement ou une installation qui peut affecter la performance de l'appareil, de l'équipement ou de l'installation

3.6

conditionnement

<relatif aux cellules élémentaires et aux piles> étape préliminaire qui est exigée pour qu'un **module à pile à combustible** (3.1) fonctionne correctement pour atteindre une performance désirée suivant un protocole spécifié par le fabricant

Note 1 à l'article: Le **conditionnement** peut comprendre des processus réversibles ou irréversibles, voire les deux, selon la technologie de la pile.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-11-08, modifié – "cellule élémentaire à combustible" a été remplacé par "module à pile à combustible".]

3.7

cellule élémentaire à combustible

dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique d'un combustible et d'un oxydant en énergie électrique (courant continu), en chaleur et en produits de réaction

Note 1 à l'article: Le combustible et l'oxydant sont normalement stockés en dehors de la **cellule élémentaire à combustible** et transférés dans la **cellule élémentaire à combustible** lorsqu'ils sont consommés.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-01]

3.8

pile à combustible

assemblage de cellules élémentaires, de séparateurs, de plaques de refroidissement, de collecteurs et d'une structure de support qui convertit typiquement, par un procédé électrochimique, un gaz riche en hydrogène et des réactifs de l'air en courant continu, en chaleur et en d'autres produits de réaction

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-01]

3.9

courant assigné

courant électrique continu maximal spécifié par le fabricant pour lequel le **module à pile à combustible** a été dimensionné

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-12-02, modifié – "système" a été remplacé par "module" et la note a été supprimée.]

3.10

perméation

fuite transversale

fuite entre le côté "combustible" et le côté "oxydant" d'une **cellule élémentaire à combustible**, dans chaque direction, généralement à travers l'électrolyte

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-25]

3.11

fuite de gaz

somme de tous les gaz s'échappant du **module à pile à combustible** à l'exception des gaz d'échappement prévus

Note 1 à l'article: La fuite de gaz peut provenir

- de la **pile à combustible**;
- des limiteurs de pression associés;
- d'autres composants de conduites de gaz et de contrôle de flux.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-24, modifié – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.12

danger

source potentielle de dommage

[SOURCE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.2]

3.13

dommage

blessure physique ou atteinte à la santé des personnes, ou atteinte aux biens ou à l'environnement

[SOURCE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.1]

3.14

emplacement dangereux

emplacement dans lequel une atmosphère explosive est présente, ou dont la présence est prévisible, en quantité telle que des précautions spéciales sont requises pour la construction, l'installation et l'utilisation de matériels électriques

Note 1 à l'article: L'IEC 60079-10 donne une classification des emplacements dangereux contenant des atmosphères explosives gazeuses (voir l'IEC 60050-426-03-03, l'IEC 60050-426-03-04 et l'IEC 60050-426-03-05).

[SOURCE: IEC 60050-426:2008, 426-03-01, modifié – La Note 2 à l'article a été supprimée.]

3.15

température de distorsion à chaud

température à laquelle une éprouvette standard sous contrainte se déforme sur une distance déterminée

Note 1 à l'article: La température de distorsion à chaud est utilisée pour déterminer la résistance thermique à court terme.

3.16

limite inférieure d'inflammabilité

LII

concentration minimale de combustible dans un mélange combustible-air pour laquelle une combustion peut être initiée par une source d'inflammation

Note 1 à l'article: Un mélange combustible-air est inflammable lorsque la combustion peut être déclenchée par une source d'inflammation. Les proportions ou la composition du mélange combustible-air constituent la composante principale. Un mélange qui contient une quantité de combustible inférieure à la quantité critique, dite **limite inférieure d'inflammabilité (LII)**, ou une quantité supérieure à la quantité critique, dite limite supérieure d'inflammabilité (LSI), n'est pas inflammable.

3.17

pression de service maximale

pression relative maximale, spécifiée par le fabricant d'un élément ou d'un système, pour laquelle ce dernier a été dimensionné en vue de fonctionner de manière continue

Note 1 à l'article: La **pression de service maximale** est exprimée en Pa.

Note 2 à l'article: La **pression de service maximale** comprend tous les paramètres normaux de fonctionnement, tant en régime stable que transitoire.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-17-04, modifié – La Note 2 à l'article a été ajoutée.]

3.18

ventilation

mouvement de l'air et son remplacement par de l'air frais dus aux effets du vent et/ou à des gradients de température ou à des moyens artificiels (par exemple, ventilateurs ou extracteurs)

[SOURCE: IEC 60050-426:2008, 426-03-14]

3.19

tension en circuit ouvert

OCV

tension à vide

tension aux **bornes** de la **pile d'une cellule élémentaire à combustible** en présence de combustible et d'oxydant, et en l'absence de courant extérieur

Note 1 à l'article: La **tension en circuit ouvert** est exprimée en V.

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "OCV" est dérivé du terme anglais développé correspondant "**open-circuit voltage**".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-13-02]

3.20

essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

Note 1 à l'article: À ne pas confondre avec "Essai de conformité" [IEC 60050-151:2001, 151-16-15]: essai destiné à l'évaluation de la conformité ni avec "Évaluation de la conformité" [IEC 60050-151:2001, 151-16-14]: examen systématique du degré de satisfaction d'un produit, d'un processus ou d'un service aux exigences spécifiées.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-17, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.21

sécurité

garde-fou

actions du système de commande, basées sur les paramètres du procédé, prises pour éviter les conditions qui peuvent être **dangereuses** pour les personnes ou peuvent causer des dommages sur la **cellule élémentaire à combustible** ou son environnement

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-09-15]

3.22

très basse tension de sécurité

TBTS

tension dans des conditions de **fonctionnement normal** et de premier défaut qui ne dépasse pas les valeurs données dans la norme d'application appropriée spécifiée en 4.2.8

3.23

conditions d'équilibre thermique

conditions de température stable, caractérisées par des variations de température inférieures ou égales à 3 K (5 °F) ou à 1 % de la température de fonctionnement absolue, correspondant à la plus élevée de deux valeurs lues à 15 min d'intervalle

3.24

essai de type

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

Note 1 à l'article: À ne pas confondre avec "Essai de conformité" [IEC 60050-151, 151-16-15]: essai destiné à l'évaluation de la conformité, ni avec "Évaluation de la conformité" [IEC 60050-151, 151-16-14]: examen systématique du degré de satisfaction d'un produit, d'un processus ou d'un service aux exigences spécifiées.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.25

fonctionnement normal

fonctionnement du **module à pile à combustible** dans les conditions normales spécifiées par le fabricant telles que les conditions d'environnement, le gaz prévu, le réseau électrique, dans les limites de tolérance spécifiées

3.26

température d'auto-inflammation

température la plus basse (d'une surface chaude) à laquelle se produit l'inflammation d'un gaz ou d'une vapeur inflammable mélangé(e) à l'air ou d'un mélange air/gaz inerte, dans des conditions d'essai spécifiées

[SOURCE: ISO/IEC 80079-20-1:2017, 3.3, modifié – "chaude" a été ajouté.]

3.27

soupape de décharge hydrostatique

soupape de décharge activée par la pression hydrostatique d'entrée qui s'ouvre proportionnellement à l'augmentation de la pression par rapport à la pression d'ouverture

3.28

soupape de sûreté

soupape de décharge activée par la pression statique d'entrée et caractérisée par l'action rapide d'ouverture ou de tarage

Note 1 à l'article: L'ANSI/CSANGV2-2000 [21] comporte l'article suivant:

"L'efficacité des limiteurs de pression (PRD – *pressure relief device*) doit être démontrée conformément à la section 18.9 (essai de tenue au feu)".

Les essais de tenue au feu sont conçus pour démontrer que les réservoirs finis équipés de limiteurs de pression spécifiés dans la conception empêchent la rupture du conteneur lors d'essais réalisés dans certaines conditions de feu spécifiées.

Note 2 à l'article: CGA 12.6-M94 [22] utilise un facteur de sécurité important. Les composants sont soumis à l'essai à quatre fois la pression de calcul pendant 1 min.

Cette norme ne comporte pas d'essai de performance pour le ou les PRD.

Note 3 à l'article: L'efficacité du PRD pour le **module à pile à combustible** ne peut pas être vérifiée par essai dans la mesure où il n'est pas le produit fini. Les pressions auxquelles le module peut être soumis, dans des situations anormales, ne sont pas connues. En fait, les situations anormales sont inconnues au stade module. La taille et la pression du réservoir de combustible sont inconnues et il peut en être de même pour le circuit de gaz. Ainsi, les essais de performance au niveau du module ne sont pas représentatifs et l'utilisation de facteurs de sécurité très élevés peut avoir un effet restrictif pour la conception.

Note 4 à l'article: La solution idéale serait que le fabricant du module fournisse au moins les informations suivantes à l'utilisateur final:

- a) type de PRD/PRV utilisé;
- b) réglage (pression d'ouverture) du PRD/PRV;
- c) pouvoir d'écoulement;
- d) il convient que l'utilisateur final étudie l'efficacité des PRD/PRV du module dans le produit fini.

3.29

borne de la pile barre omnibus

borne de sortie à laquelle la puissance électrique est fournie par la **pile à combustible**

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-08]

4 Exigences

4.1 Stratégie de sécurité générale

Le fabricant doit réaliser sous forme écrite une analyse du risque afin de garantir que:

- a) tous les **dangers**, situations et événements **dangereux** raisonnablement prévisibles au cours de la durée de vie prévue du système à **pile à combustible** ont été identifiés (voir l'Annexe A qui répertorie les **dangers** types),

- b) le risque pour chacun de ces **dangers** a été estimé à partir de la combinaison des probabilités d'occurrence du **danger** et de sa sévérité prévisible,
- c) les deux facteurs qui déterminent chacun des risques estimés (probabilité et sévérité) ont été éliminés ou réduits à un niveau ne dépassant pas le niveau de risque acceptable, dans la mesure du possible par les dispositions suivantes:
 - 1) conception à sécurité intrinsèque de la construction et de ses méthodes, ou
 - 2) contrôle passif des libérations d'énergie sans mise en danger de l'environnement immédiat (par exemple, disques d'éclatement, détendeurs, dispositifs de coupure thermiques) ou par des fonctions de commande relatives à la sécurité, et
 - 3) concernant les risques résiduels qui ne peuvent pas être réduits par les mesures décrites en 1) et 2), la fourniture d'étiquettes, d'avertissements ou d'exigences de formation spécifique doit être assurée, en tenant compte du fait qu'il est nécessaire que ces mesures soient comprises par les personnes présentes dans la zone des **dangers**.

Concernant la sécurité fonctionnelle, le niveau de sévérité exigé, le niveau de performance exigé ou la classe de la fonction de commande doivent être déterminés et conçus conformément, par exemple, à:

- l'IEC 62061 (ou l'ISO 13849-1) pour les applications conformes à l'IEC 60204-1;
- l'IEC 60730-1 ou l'ISO 23550 pour les appareils conformes à l'IEC 60335-1 qui inclut les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère;
- l'IEC 61508 (toutes les parties) pour les autres applications.

Dans le cas des méthodes d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) et d'analyse par arbre de panne, les normes suivantes peuvent être utilisées à titre de recommandations:

- IEC 60812 [4]³;
- SAE J1739 [5];
- IEC 61025 [6].

L'évaluation doit également couvrir les risques éventuels suivants:

- température de la pile ou du module, et
- tension de la pile ou du module et/ou de l'élément,
- pression des parties sous pression.

Les **dangers** supplémentaires énumérés à l'Annexe A doivent être pris en considération s'ils s'appliquent à la conception et si tel est le cas, ils doivent être traités.

4.2 Exigences de conception

4.2.1 Généralités

Le **module à pile à combustible** doit être conçu conformément à l'appréciation du risque réalisée par le fabricant du **module à pile à combustible**. Toutes les parties doivent être

- a) adaptées à la plage de températures, de pressions, de débits, de tensions et de courants à laquelle elles sont soumises lorsqu'elles sont utilisées selon l'usage prévu, et
- b) à l'épreuve des réactions, processus et autres conditions auxquels elles sont exposées lorsqu'elles sont utilisées selon l'usage prévu.

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

La qualité et l'épaisseur des matériaux utilisés dans le **module à pile à combustible**, leurs éléments accessoires et leurs bornes ainsi que la méthode d'assemblage des différentes parties, doivent être telles que les caractéristiques de construction et de fonctionnement ne soient pas modifiées de façon significative au cours d'une durée de vie raisonnable et dans des conditions normales d'installation et d'utilisation. Toutes les parties du **module à pile à combustible** doivent résister aux conditions mécaniques, chimiques et thermiques auxquelles elles peuvent être soumises dans le cadre de l'utilisation normale du produit fini.

Les enveloppes de **modules à piles à combustible** doivent être conformes aux exigences définies dans l'IEC 60529 pour s'adapter au système d'application. Le **module à pile à combustible** doit porter le code IP en conséquence.

4.2.2 Comportement dans des conditions normales et anormales de fonctionnement

Le **module à pile à combustible** doit être conçu de manière à résister à toutes les conditions normales de fonctionnement définies dans la spécification du fabricant sans subir de dommages. Les conditions anormales de fonctionnement doivent être couvertes selon 4.1.

4.2.3 Fuite

En fonction de la conception, il peut se produire des fuites de gaz ou de liquides combustibles (voir 5.3). Le débit de fuite de gaz du **module à pile à combustible**, dans les conditions normales et anormales de fonctionnement, doit être inclus dans le document de spécification de manière que l'intégrateur du système à **pile à combustible** puisse déterminer la capacité minimale du système de **ventilation** (voir 7.4.1, r)).

Le mode de panne "perméation" à l'intérieur d'une pile doit faire partie intégrante de l'appréciation du risque selon 4.1. Selon le résultat de l'appréciation du risque, les mesures de détection ou de prévention de toute "perméation du combustible" par exemple, des "dispositifs de surveillance de la tension des piles" doivent être conçues selon la norme correspondante indiquée en 4.1 afin de satisfaire aux exigences concernant la sécurité de fonctionnement.

En l'absence de protection contre la perméation dans le **module à pile à combustible**, la documentation du produit doit décrire tous les dispositifs de protection ou toutes les procédures de fonctionnement que doit fournir l'intégrateur de système.

NOTE Pour le classement des emplacements **dangereux**, se reporter à l'IEC 60079-10-1.

4.2.4 Fonctionnement sous pression

Si les **modules à piles à combustible** sont équipés d'enveloppes étanches aux gaz et sous pression, ces enveloppes doivent être conformes aux réglementations nationales.

Les conditions de fonctionnement sous pression susceptibles de générer des conditions **dangereuses** à l'extérieur du module doivent être identifiées (voir 4.1), et ces informations doivent être transmises à l'intégrateur de système.

NOTE Les modules suivants présentent des propriétés particulières:

Modules de type PEFC

La pression est un facteur important pour la conception d'un module de type PEFC (**pile à combustible** à électrolyte polymère ou *polymer electrolyte fuel cell stack* en anglais). Le dimensionnement, le choix des matériaux et des règles de fabrication d'un bloc de type PEFC sont essentiellement fondés sur les exigences de résistance, de rigidité et de stabilité suffisantes pour satisfaire aux caractéristiques statiques, dynamiques et/ou autres caractéristiques opérationnelles. Par exemple, un modèle utilisant un matériel à compression de force coaxiale fuit avant de se briser.

Modules de type PAFC

Le module de type PAFC (**cellule élémentaire à combustible** à acide phosphorique ou *phosphoric acid fuel cell* en anglais) fonctionne généralement à la pression atmosphérique.

Modules de type MCFC

Pour un fonctionnement sous pression d'un système de type MCFC (**cellule élémentaire à combustible** à carbonates fondus ou *molten carbonate fuel cell* en anglais), le module de type MCFC est intégré dans un système MCFC. Ce système de type MCFC abrite le module de même type et est conçu selon les codes nationaux et internationaux, ainsi que les normes applicables concernant les systèmes sous pression.

Un **danger** dû à la pression associée à un module de type MCFC peut être exclu en raison de la présence d'une enveloppe conforme aux réglementations mentionnées.

Modules de type SOFC

Si un fonctionnement sous pression d'un système de type SOFC (**cellule élémentaire à combustible** à oxydes solides ou *solid oxide fuel cell* en anglais) est envisagé, le module de type SOFC est intégré dans le système SOFC. Ce système de type SOFC abrite le module de même type et est conçu selon les codes nationaux et internationaux, ainsi que les normes applicables concernant les systèmes sous pression.

4.2.5 Feu et inflammation

4.2.5.1 Généralités

Le **module à pile à combustible** doit être protégé par des moyens (par exemple, **ventilation**, détecteurs de gaz, oxydation contrôlée, températures de fonctionnement supérieures à la température d'auto-inflammation) tels que les gaz fuyant à l'intérieur du **module à pile à combustible** ou s'en échappant ne puissent pas former de concentrations explosives.

Si ces mesures de protection font partie intégrante du **module à pile à combustible**, le niveau de protection doit satisfaire aux exigences des normes correspondantes indiquées en 4.1.

Si ces mesures de protection ne font pas partie intégrante du **module à pile à combustible**, les critères de conception de ces moyens (par exemple débit de **ventilation** exigé) doivent être fournis par le fabricant du **module à pile à combustible**.

Les composants et les matériaux au sein des atmosphères explosives gazeuses classées doivent être construits ou doivent utiliser des matériaux tels que la propagation du feu et de l'inflammation à l'extérieur du **module à pile à combustible** soit limitée. L'inflammabilité des matériaux doit être telle qu'un feu soutenu ne perdure pas après coupure du courant électrique et de l'alimentation en combustible et en oxydant. Ce phénomène doit être démontré en choisissant des matériaux appropriés V 0, V 1 ou V 2 conformes à l'IEC 60695 (toutes les parties). Les informations pertinentes conformes à l'IEC 60695-2-11 doivent être données, voir 7.4.1, aa).

NOTE Les températures d'auto-inflammation communément répertoriées dans les normes, telles que l'ISO/IEC 80079-20-1 [7] sont les températures minimales auxquelles un mélange gazeux inflammable peut s'enflammer. Les températures d'auto-inflammation réelles peuvent être bien supérieures à ces valeurs selon la géométrie de surface, le matériau et les mélanges gazeux réels. Cette exigence fait référence à une **température d'auto-inflammation** à laquelle un gaz inflammable peut s'enflammer dans toutes les conditions applicables aux matériaux et à la géométrie choisis.

Les exigences de la norme d'application indiquées en 4.1 doivent être prises en compte concernant la résistance à la chaleur et au feu.

4.2.5.2 Exemptions

Les membranes ou autres matériaux à l'intérieur du volume de la **pile à combustible** qui représentent moins de 10 % de la masse totale du **module à pile à combustible** sont considérés comme une quantité limitée et sont admissibles sans tenir compte de leurs caractéristiques assignées de propagation de la flamme. Si ce type de matériau est utilisé, il convient qu'il figure dans la spécification du produit de façon que l'intégrateur de système puisse le prendre en compte.

Si la température réelle à un emplacement quelconque du **module à pile à combustible**, auquel un mélange inflammable peut se produire, est supérieure à la température d'auto-inflammation, la fuite du gaz combustible dans l'oxydant ou inversement entraîne une oxydation immédiate du gaz inflammable. Ainsi, il est évident qu'il ne peut pas y avoir de concentrations cumulées importantes de gaz explosifs.

Lorsque la température de telles **cellules élémentaires à combustible** à haute température est inférieure à la **température d'auto-inflammation**, par exemple au démarrage, le **module à pile à combustible** doit être mis dans un état sûr (par exemple au moyen d'une purge), afin d'éviter une situation **dangereuse**. Un essai d'allumage retardé peut servir à déterminer si une condition **dangereuse** peut se produire.

4.2.6 Sécurité/garde-fou

4.2.6.1 Généralités

La défaillance d'un composant dans un circuit de commande de sécurité (voir 4.1 c)) doit provoquer un arrêt régulé initié par le **module à pile à combustible**. Pour garantir le niveau de **sécurité/garde-fou** exigé ((niveau d'intégrité de sécurité SIL), niveau de performance ou classe de fonction de commande)), la conception de sécurité appropriée doit être conforme à 4.1.

NOTE L'arrêt régulé peut comprendre une temporisation ou permettre l'achèvement d'un cycle de fonctionnement lorsque l'arrêt immédiat engendrerait un risque plus élevé. Un exemple peut être la défaillance d'un détecteur de gaz dans un **module à pile à combustible** utilisé comme une alimentation de secours.

4.2.6.2 Mesures de protection destinées à limiter les fuites de gaz

Si des mesures de protection permettant de détecter et de limiter les fuites de gaz font partie intégrante du module, les fuites de gaz limites auxquelles les mesures de protection interrompent le fonctionnement doivent alors être spécifiées par le fabricant du module, voir 7.4.4.

4.2.7 Tuyauteries et accessoires

4.2.7.1 Généralités

Les raccords filetés des tuyauteries et accessoires pour le transport des gaz combustibles doivent être conformes à l'ISO 23550. Tous les autres joints doivent être soudés ou doivent au moins posséder des raccords avec une zone de scellement définie telle que spécifiée par le fabricant. Les raccords d'union, lorsqu'ils sont utilisés dans les conduites de gaz combustible ou d'oxygène, doivent être du type à joint rodé ou à assemblage par brides, voire du type à compression avec des garnitures qui résistent à l'action des gaz combustibles.

Les surfaces internes des tuyauteries doivent être entièrement nettoyées pour éliminer les particules libres et les extrémités des tuyauteries doivent être soigneusement alésées pour enlever les éléments de nature à boucher et les bavures.

Les tuyauteries souples et les accessoires associés, lorsqu'ils sont utilisés pour transporter le gaz, doivent être adaptés à l'application. Une attention particulière doit être apportée aux tuyaux pour l'hydrogène, par exemple concernant le comportement de vieillissement, la fragilisation, la porosité, ainsi qu'aux tuyaux pour l'oxygène, par exemple concernant l'inflammabilité, l'allumabilité et les procédures de nettoyage.

4.2.7.2 Tuyauteries non métalliques

Les tuyauteries, tubes et composants polymères et élastomères doivent être autorisés dans les conditions suivantes.

Il doit être démontré que les matériaux sont adaptés, pendant leur durée de vie, aux températures et pressions maximales de fonctionnement combinées et qu'ils sont compatibles avec les autres matériaux et produits chimiques avec lesquels ils entrent en contact en service et au cours d'opérations de maintenance. Il doit être démontré qu'ils présentent une résistance mécanique appropriée selon 5.4 et 5.5.

Les composants plastiques ou élastomères doivent être protégés contre les dommages mécaniques à l'intérieur du **module à pile à combustible**. Le blindage peut être utilisé, quand cela est approprié pour protéger les composants contre les défaillances des équipements rotatifs ou d'autres dispositifs mécaniques se trouvant à l'intérieur de l'unité.

Tous les compartiments contenant des composants plastiques ou élastomères utilisés pour transporter des gaz inflammables doivent être protégés contre les échauffements éventuels.

Si le danger d'une température du flux de combustible inférieure de plus de 10 K à la **température de distorsion à chaud** la plus faible ne peut être exclu, un système de commande conforme aux exigences de la norme correspondante indiquée en 4.1 afin de couvrir le risque encouru doit être prévu pour arrêter le flux de combustible.

Les matériaux plastiques ou élastomères utilisés dans un emplacement **dangereux** doivent être électriquement conducteurs ou avoir une conception différente permettant d'éviter la formation de charge statique, par exemple, par limitation du débit ou autre. Les matériaux plastiques ou élastomères avec une conductivité électrique insuffisante doivent seulement être utilisés dans les emplacements non **dangereux**.

NOTE Les informations concernant la conformité avec les différentes exigences peuvent être consultées dans les normes suivantes: ISO 37 [8], ISO 188 [9], ISO 1307 [10], ISO 1402 [11], ISO 1436 [12] et ISO 10619-1 [13], ISO 10619-2 [14] ISO 10619-3 [15].

4.2.7.3 Tuyauteries métalliques

Les tuyauteries métalliques doivent être adaptées aux températures et pressions maximales de fonctionnement combinées et doivent être compatibles avec les autres matériaux et produits chimiques avec lesquels ils entrent en contact en service et au cours d'opérations de maintenance. Les tuyauteries métalliques doivent présenter une intégrité mécanique suffisante. Il doit être démontré qu'elles présentent une résistance mécanique appropriée selon 5.5 et 5.6.

Les tuyauteries métalliques doivent être conformes à l'exigence de fuite donnée en 5.3.

Les coudes formés par les tuyauteries ne doivent pas favoriser les défaillances causées par le processus de formation et doivent être conformes à ce qui suit:

- les coudes doivent être réalisés uniquement avec un équipement et des procédures de cintrage destinés à cet effet;
- tous les coudes doivent être lisses et exempts de voilement, de fissures ou de tout autre signe de dommage mécanique;
- la soudure longitudinale de la tuyauterie doit se trouver à proximité de l'axe neutre du coude;
- le rayon intérieur d'un coude ne doit pas être inférieur au rayon minimal spécifié par le fabricant de tuyauterie.

4.2.8 Composants électriques

La conception et la construction du système électrique, ainsi que l'application de l'équipement et des composants électriques et électroniques, y compris les moteurs électriques et les enceintes, doivent être conformes aux exigences de la ou des normes d'application de produits électriques appropriées. Par exemple:

- IEC 60335-1 (par exemple environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère);
- IEC 60204-1 (par exemple machines);
- IEC 62368-1 (par exemple secteur des télécommunications);
- IEC 62040-1 (par exemple alimentation sans interruption ou ASI);
- IEC 61010-1 pour les appareils de mesure, de régulation et de laboratoire;
- IEC 62282-4-101 pour les chariots de manutention.

Pour les systèmes électroniques de conversion de puissance (PECS – *power electronic converter systems*) ou les alimentations à découpage (SMPS – *switch mode power supplies*) utilisés comme composants, dans le cas où la ou les normes d'application de produits électriques pertinentes n'existent pas, les normes suivantes s'appliquent:

- IEC 62477-1;
- IEC 61204-7 (SMPS).

Le choix de l'application appropriée doit être indiqué dans la spécification technique.

Le concepteur de la **cellule élémentaire à combustible** doit également tenir compte des aspects spécifiques suivants concernant la **cellule élémentaire à combustible**:

- charge résiduelle sur la **pile à combustible**;
- **danger** énergétique entre les éléments.

Le caractère approprié des composants électriques aux conditions ambiantes spécifiées pour le fonctionnement du système à **pile à combustible** doit être communiqué à l'intégrateur de systèmes à **piles à combustible** (voir 7.4.1 i)).

La spécification technique des composants électriques fournis par l'intégrateur de systèmes, concernant la conformité au présent document, doit être incluse dans la documentation technique du module.

Lorsqu'un **module à piles à combustible** sous enveloppe qui fonctionne en dessous de la température d'auto-inflammation du gaz combustible n'est pas conforme aux limites de concentrations inflammables décrites en 5.13, les composants électriques situés dans l'enveloppe doivent être adaptés au classement des emplacements défini dans l'IEC 60079-10-1.

4.2.9 Bornes et connexions électriques

Les connexions électriques aux circuits externes doivent être

- a) fixées sur leurs montages sans possibilité de se détacher d'elles-mêmes,
- b) construites de telle manière que les conducteurs ne puissent pas glisser de leur emplacement prévu,
- c) telles qu'un contact correct soit assuré sans dommage pour les conducteurs de nature à les empêcher de remplir leur fonction, et
- d) fixées de manière à être à l'épreuve des rotations, des torsions ou des déformations permanentes au cours du serrage normal sur le conducteur.

Les connexions réalisées directement avec la **cellule élémentaire à combustible** ne doivent pas être affectées de manière notable par les conditions en service normal. Les bornes du **module à pile à combustible** doivent être conformes à l'IEC 60352 (toutes les parties), l'IEC 60512-15 (toutes les parties) et l'IEC 60512-16 (toutes les parties) ou aux exigences indiquées pour les bornes et les connexions électriques dans les normes d'application selon 4.2.8.

4.2.10 Parties électriquement actives

La documentation technique du fabricant doit spécifier, selon les normes d'application appropriées indiquées en 4.2.8:

- a) les parties métalliques non conductrices accessibles non séparées des parties sous tension autres que celles satisfaisant aux exigences concernant la **TBTS** par
 - 1) une isolation principale dans le cas d'une construction de classe I (avec terre de protection) ou
 - 2) une isolation renforcée dans le cas d'une construction de classe II;
- b) les parties accessibles alimentées par une **TBTS**, lorsque les exigences concernant l'isolation renforcée entre les parties actives (autre que la **TBTS**) et la **TBTS** ne sont pas satisfaites;
- c) les parties actives accessibles qui présentent un **danger** de courant élevé dû à un court-circuit.

L'intégrateur de systèmes à **piles à combustible** doit être responsable de la protection de ces parties sous tension contre les chocs électriques.

4.2.11 Matériaux isolants et rigidité diélectrique

La conception de l'ensemble des diélectriques du **module à pile à combustible**, appliqués entre les parties actives et les parties métalliques non conductrices, doit être conforme aux normes applicables indiquées en 4.2.8, relatives aux appareils électriques de la classe de tension appropriée.

Les caractéristiques mécaniques des matériaux qui affectent le comportement fonctionnel, par exemple la résistance à la compression, doivent être conformes aux critères de conception à une température jusqu'au moins 20 K ou 5 % (en prenant la valeur la plus élevée) au-dessus de la température maximale observée dans les conditions normales de fonctionnement, mais sans être inférieure à 80 °C.

La vérification doit être fondée sur les propriétés et les caractéristiques du matériau telles que définies par le fabricant du matériau.

4.2.12 Mise à la terre/liaison de protection

Les dispositions suivantes s'appliquent, sauf si les normes d'application correspondantes, indiquées en 4.2.8, le spécifient différemment.

Les parties métalliques non conductrices accessibles qui sont susceptibles de se charger par un défaut électrique, et qui peuvent conduire à un choc électrique, ou à un **danger** énergétique électrique, doivent satisfaire aux exigences concernant la mise à la terre de protection ou présenter une liaison équipotentielle en un point commun, si elle s'applique au système.

Pour assurer un bon contact électrique, ces connexions doivent être protégées contre la corrosion. Elles doivent être également conçues de manière à protéger les conducteurs contre le desserrage et le torsadage et à maintenir la pression de contact.

Il ne doit pas y avoir de corrosion électrochimique entre les parties métalliques qui forment une liaison équipotentielle dans les conditions attendues d'utilisation, de stockage et de transport. La résistance contre la corrosion électrochimique peut être obtenue par des procédés de placage ou de revêtement appropriés.

4.2.13 Chocs et vibrations

Les limites de chocs et de vibrations auxquelles le **module à pile à combustible** est destiné à résister, ainsi que les normes correspondantes, doivent être spécifiées dans la documentation du fabricant.

5 Essais de type

5.1 Généralités

Ces essais doivent être réalisés dans un environnement d'essai qui simule le système à **pile à combustible** prévu ou le système à **pile à combustible** lui-même de manière à obtenir les conditions de fonctionnement exigées. En particulier, l'installation d'essai pour la réalisation des essais de **fonctionnement normal** peut être l'installation de **conditionnement** utilisée pour le démarrage initial du **module à pile à combustible**. Il est recommandé de réaliser les essais dans l'ordre décrit ci-dessous. L'essai des conditions anormales peut être destructif.

5.2 Essai de choc et de vibration

Le **module à pile à combustible** doit être soumis aux essais de choc et de vibration aux limites spécifiées dans la documentation du fabricant.

NOTE Il est possible que le fabricant ait omis de spécifier les limites de choc et de vibration; dans ce cas, aucun essai n'est exigé.

La conformité est accordée si le dispositif en essai résiste aux critères de vibration et de choc spécifiés par le fabricant sans présenter de signe de dommage. Le dispositif en essai est mis en fonctionnement comme prévu après le **conditionnement**.

5.3 Essai de fuite de gaz

5.3.1 Généralités

Cet essai n'est pas applicable aux fuites de gaz des **modules à piles à combustible**

- dont les températures de fonctionnement sont supérieures à la **température d'auto-inflammation** du gaz combustible (voir 4.2.5), ou
- dont les **cellules élémentaires à combustible** se trouvent à l'intérieur d'un réservoir étanche au gaz agréé selon les réglementations nationales en vigueur.

Lorsque la pratique ne permet pas d'utiliser la pile complète, une pile avec un nombre réduit, néanmoins représentatif, d'éléments peut être utilisée. La fuite doit être calculée à partir du rapport des nombres d'éléments.

Suivre la procédure décrite soit en 5.3.2, soit en 5.3.3.

5.3.2 Méthode du débitmètre

Le **module à pile à combustible** doit fonctionner jusqu'à ce qu'il atteigne les **conditions d'équilibre thermique** à la température maximale de fonctionnement avec le courant assigné.

Dès que ces conditions sont atteintes, le fonctionnement est interrompu, le **module à pile à combustible** peut être purgé et les sorties de gaz fermées; la température du **module à pile à combustible** doit être réduite pour atteindre la température de fonctionnement spécifiée la plus faible ou une température inférieure. Le **module à pile à combustible** doit ensuite être placé sous pression avec la quantité nominale de gaz d'anode ou de gaz inerte (par exemple, hélium, azote) pour atteindre progressivement la **pression de service maximale**, définie par le fabricant, et y être maintenu pendant 1 min.

La pression d'entrée doit rester stable et inchangée pendant le temps de mesure de la fuite. Le débit de fuite de gaz doit être mesuré en utilisant un débitmètre situé à l'entrée du **module à pile à combustible**, en amont du limiteur de pression, qui soit capable de mesurer le débit de fuite avec une exactitude de 2 %. Si un gaz inerte est utilisé comme gaz d'essai, le débit de fuite de gaz doit être corrigé (voir Annexe B) comme suit

$$R = \text{débit de fuite de gaz combustible} / \text{débit de fuite du gaz d'essai} \quad (1)$$

où

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (2)$$

où

$TGSG$ est la densité du gaz d'essai;

$FGSG$ est la densité du gaz combustible;

ou

$$R = \mu_{\text{essai}} / \mu_{\text{combustible}} \quad (3)$$

où

μ_{essai} est la viscosité absolue du gaz d'essai;

$\mu_{\text{combustible}}$ est la viscosité absolue du gaz combustible.

Ces deux formules doivent être utilisées pour calculer R , et le scénario du cas le plus défavorable, c'est-à-dire la valeur la plus élevée, doit être consigné.

Le débit de fuite de gaz, y compris le débit du flux de gaz traversant la soupape de décharge doit être enregistré.

Si le limiteur de pression n'est pas inclus dans l'essai en raison, par exemple, de l'hystérésis ou du réglage de pression, alors la fuite totale doit être la somme de la fuite du limiteur de pression seul à la pression maximale d'alimentation en combustible et de celle issue de cet essai.

Le débit de fuite de gaz, corrigé selon les conditions de référence et le type de gaz, multiplié par 1,5 doit être conforme au débit de fuite de gaz inclus dans la documentation (voir 7.4).

NOTE Il est prévu, si nécessaire, de fournir cette information à l'utilisateur du produit fini afin de déterminer les besoins en ventilation.

5.3.3 Méthode par chute de pression

Le gaz d'anode ou l'hélium doit être appliqué à la pile à une pression supérieure à la **pression de service maximale**. La soupape d'admission du gaz doit alors être fermée et la pression contrôlée pendant une 1 min. La pression initiale doit être réglée à un niveau suffisamment élevé de sorte que la pression de gaz ne soit pas inférieure à 1,1 fois la **pression de service maximale** à la fin de l'essai. Le débit de fuite dV/dt doit être calculé à partir de la chute de pression contrôlée et du volume de gaz total de la pile et de tous les tubes, à l'aide de l'Équation (4).

$$dV / dt = \frac{dp \times V_{\text{tot}}}{dt \times P_G} \quad (4)$$

$$dV/dt = (dp \times V_{\text{tot}}) / (dt \times (P_{\text{ini}} - P_{\text{G}}))$$

$$dV/dt = ((P_{\text{ini}} - P_{\text{end}}) \times V_{\text{tot}} / (dt \times (P_{\text{ini}} - P_{\text{G}}))$$

où

dp est la chute de pression contrôlée;

V_{tot} est le volume de gaz total de la pile et de tous les tubes;

dt est le temps de mesure de la chute de pression;

P_{G} est le niveau de pression à l'extérieur de la pile;

P_{ini} est la pression de gaz au début de l'essai;

P_{fin} est la pression de gaz à la fin de l'essai;

Le débit de fuite calculé doit être rapporté au débit de fuite de référence normalisé $(dV/dt)_{\text{st}}$.

Cette opération est effectuée à l'aide de l'Équation (5) suivante:

$$(dV / dt)_{\text{st}} = (dV / dt) \times \frac{P_{\text{ini}}}{P_{\text{s}}} \times \frac{T_{\text{s}}}{T_{\text{ini}}} \quad (5)$$

où

P_{s} est la pression normale de 101 325 Pa;

T_{s} est la température normale de 273,15 K;

T_{ini} est la température de la pile au début ou à la fin de l'essai, si cette température est la plus faible.

Si le limiteur de pression n'est pas inclus dans l'essai en raison, par exemple, de l'hystérésis ou du réglage de pression, alors la fuite totale doit être la somme de la fuite du limiteur de pression seul à la pression maximale d'alimentation en combustible et de celle issue de cet essai.

Le débit de fuite de gaz, corrigé selon les conditions de référence et le type de gaz, multiplié par 1,5 doit être conforme au débit de fuite de gaz inclus dans la documentation (voir 7.4).

NOTE Il est prévu, si nécessaire, de fournir cette information à l'utilisateur du produit fini afin de déterminer les besoins en ventilation.

5.4 Essai de fonctionnement normal

L'essai en fonctionnement normal doit s'effectuer dans les conditions normales, notamment:

- plage de puissance en sortie en fonction de la tension et du courant;
- plage d'énergie thermique de sortie en fonction de la température et du débit des agents de refroidissement (le cas échéant);
- plage de températures du **module à pile à combustible**;
- plage de composition du combustible;
- plage de flux des milieux d'anode et de cathode;
- plage de pression des fluides d'anode et de cathode;
- taux de variation de la puissance en sortie.

Pour l'essai de type en fonctionnement normal, le **module à pile à combustible** doit être mis en fonctionnement dans les conditions normales définies ci-dessus jusqu'à ce que les **conditions d'équilibre thermique** soient atteintes.

Les paramètres suivants doivent être mesurés et les résultats doivent être enregistrés dans la documentation comme cela est spécifié en 7.4:

- a) tension aux bornes du **module à pile à combustible** au courant assigné;
- b) températures (**pile à combustible**, surface du **module à pile à combustible**, température ambiante; les points de mesure doivent être indiqués);
- c) pression (relative) du combustible dans les limites de –5 % à +5 % ou ± 1 kPa, en prenant la valeur la plus élevée;
- d) vitesse de consommation du combustible dans les limites de –3 % à +3 %;
- e) alimentation en oxydant dans les limites de –5 % à +5 %, le cas échéant;
- f) pression de l'oxydant dans les limites de –5 % à +5 % ou ± 1 kPa, en prenant la valeur la plus élevée, le cas échéant;
- g) température d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement (le cas échéant);
- h) débit du fluide de refroidissement (le cas échéant);
- i) pression d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement (le cas échéant);
- j) pression différentielle du combustible et de l'oxydant, ou pression calculée à partir de 5.4 c) et 5.4 f).

La conformité est accordée si, pour tous les paramètres mesurés, les valeurs mesurées sont conformes aux valeurs spécifiées par le fabricant.

5.5 Essai de pression de service admissible

Le **module à pile à combustible** doit être soumis à l'essai à la température maximale ou minimale de fonctionnement, en prenant celle qui est la plus sévère.

Au cours de cet essai, les côtés combustible et air du **module à pile à combustible** peuvent être interconnectés s'ils ont la même pression interne dans les conditions normales de fonctionnement. Si le **module à pile à combustible** comprend un système de refroidissement, ce système peut être soumis à des essais de surpression simultanément et de la même manière.

Le **module à pile à combustible** (à la fois côtés anode et cathode) doit être mis sous pression de manière progressive et doit être maintenu sous pression pendant une période comprise entre au moins 1 min et une valeur qui ne soit pas inférieure à 1,3 fois leur **pression de service admissible**.

Si le **module à pile à combustible** est équipé d'une soupape de décharge, celle-ci peut être retirée ou mise hors fonction.

Cet essai peut être réalisé aussi bien pendant l'essai de fuite de gaz que pendant l'essai de **fonctionnement normal**, à condition que les paramètres d'essai puissent être obtenus.

Si les conditions d'essai (température) ne peuvent pas être obtenues, le **module à pile à combustible** doit être soumis à l'essai à **température ambiante** à une pression qui n'est pas inférieure à 1,5 fois la **pression de service admissible**.

Le **module à pile à combustible** ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique.

5.6 Essai de résistance à la pression du système de refroidissement

Cet essai doit être réalisé si le système de refroidissement n'est pas soumis à l'essai pendant l'essai de **pression de service admissible**.

Le **module à pile à combustible** doit être soumis à l'essai à la même température que pendant l'**essai de pression de service admissible**.

Le système de refroidissement du **module à pile à combustible** doit être mis sous une pression égale à 1,3 fois la **pression de service admissible** du système de refroidissement puis être maintenu à cette pression pendant au moins 10 min.

Si les conditions d'essai (température) ne peuvent pas être atteintes, le système de refroidissement doit être soumis à l'essai à **température ambiante** à 1,5 fois la **pression de service admissible** du système de refroidissement.

Le système ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique. Si le système utilise un fluide de refroidissement liquide, aucune fuite de ce fluide ne doit se produire au cours de cet essai.

5.7 Caractéristiques assignées de courant continu et de courte durée

Lorsqu'un fabricant spécifie des caractéristiques assignées de courant de courte durée, le **module à pile à combustible** doit être stabilisé à la valeur de courant assigné, puis le courant doit être augmenté pour atteindre la caractéristique assignée de courant de courte durée définie et être maintenu pendant la durée définie, telle que spécifiée par le fabricant.

Le système ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique.

5.8 Essai de surpression

Lorsque le **module à pile à combustible** possède un limiteur de pression, la pression doit être augmentée progressivement pour atteindre une valeur qui dépasse la pression de seuil du limiteur de pression. Si nécessaire, le régulateur de la pression d'entrée du **module à pile à combustible** doit être désactivé ou shunté pour réaliser cet essai. Le limiteur de pression doit fonctionner de manière à réduire la pression selon ses caractéristiques ou le **module à pile à combustible** doit être placé en état de fonctionnement sûr, selon 4.1.

Dans le cas d'un modèle qui "fuit avant de se rompre", cet essai peut être destructif et peut être réalisé selon 5.13. Les données de cet essai, ainsi que tous les **dangers** qui en résultent, doivent être indiqués à l'intégrateur du système.

5.9 Essai de rigidité diélectrique

L'essai de rigidité diélectrique relatif aux **modules à piles à combustible** jusqu'à et y compris 1 000 V en courant alternatif, respectivement 1 500 V en courant continu, doit être réalisé conformément à l'IEC 62477-1:2012, 5.2.3.4 dans les conditions suivantes:

- à la température de fonctionnement, et avec les agents de refroidissement appliqués;
- si le **module à pile à combustible** ne peut pas être maintenu à la température de fonctionnement, l'essai doit être effectué à la température maximale admissible et la température doit être enregistrée;
- sur le **module à pile à combustible** complètement assemblé, celui-ci étant déconnecté de l'alimentation en combustible et purgé avec un gaz prévu à cet effet.

Les résultats doivent satisfaire aux:

- critères de conformité indiqués dans l'IEC 62477-1, et
- le courant de fuite ne doit pas dépasser 1 mA multiplié par le rapport de la tension d'essai sur la **tension en circuit ouvert**. Si cette valeur ne peut pas être obtenue, les données de cet essai doivent être fournies à l'intégrateur de système. Tous les **dangers** qui en résultent doivent être limités par l'intégrateur de système.

L'essai de rigidité diélectrique relatif aux **modules à piles à combustible** jusqu'à et y compris 1 000 V en courant alternatif, respectivement 1 500 V en courant continu, doit être réalisé selon les principes suivants:

- L'essai de rigidité diélectrique doit être appliqué à la température de fonctionnement et avec les agents de refroidissement appliqués.
- Si le **module à pile à combustible** ne peut pas être maintenu à la température de fonctionnement, l'essai de rigidité diélectrique doit être effectué à la température maximale admissible et la température doit être enregistrée.
- L'essai doit être réalisé sur le **module à pile à combustible** complètement assemblé, celui-ci étant déconnecté de l'alimentation en combustible et purgé avec un gaz prévu à cet effet.
- La tension d'essai doit être appliquée entre les parties actives et les parties métalliques non conductrices. L'essai doit être réalisé avec une tension soit en courant continu, soit en courant alternatif de forme d'onde pratiquement sinusoïdale à une fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz. La tension doit être augmentée régulièrement jusqu'à la valeur spécifiée, puis maintenue pendant au moins 5 s.

Les résultats doivent satisfaire aux principes suivants:

- Il n'y a aucun claquage de l'isolation. Le courant de fuite ne doit pas dépasser 1 mA multiplié par le rapport de la tension d'essai sur la **tension en circuit ouvert**. Si cette valeur ne peut pas être obtenue, les données de cet essai doivent être fournies à l'intégrateur de système. Tous les **dangers** qui en résultent doivent être limités par l'intégrateur de système.

Selon l'application finale, un essai d'une durée de plus de 5 s peut être exigé.

Les tensions d'essai doivent être celles mentionnées dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Tensions pour l'essai de rigidité diélectrique

Tension en circuit ouvert	Tension d'essai, courant alternatif et courant continu pour les circuits d'essai avec isolation principale et circuits avec séparation de protection		Tension d'essai, courant alternatif et courant continu pour les essais entre circuits et surface accessible (non conductrice ou conductrice, mais non connectée à la terre de protection)	
	Courant alternatif, valeur efficace kV	Courant continu kV	Courant alternatif, valeur efficace kV	Courant continu kV
$1\sqrt{2}$ kV = 1,41 kV	2,25	3,2	5,0	7,1
$1,5\sqrt{2}$ kV = 2,12 kV	3,0	4,2	6,4	9,1
$3\sqrt{2}$ kV = 4,24 kV	5,25	7,4	11,2	15,8
$6\sqrt{2}$ kV = 8,4 kV	9,75	13,8	17,5	24,8
$10\sqrt{2}$ kV = 14,14 kV	15,75	22,3	34,0	48,1

L'interpolation est autorisée sur toutes les pages.

5.10 Essai de pression différentielle

Pour les **modules à piles à combustible** qui maintiennent différents circuits pour l'anode et la cathode à l'intérieur du module, l'essai différentiel est applicable. Le **module à pile à combustible** doit être à la température maximale ou minimale de fonctionnement, en prenant celle qui est la plus sévère. Le **module à pile à combustible** doit être mis sous pression progressivement avec un gaz approprié soit sur les circuits de l'anode soit sur les circuits de la cathode et il doit être maintenu sous pression pendant une période comprise entre au

moins 1 min et une valeur qui ne soit pas inférieure à 1,3 fois la **pression de service différentielle admissible maximale**. Si les conditions d'essai ne peuvent pas être obtenues, le **module à pile à combustible** peut être soumis à l'essai à **température ambiante** et maintenu sous pression pendant une période comprise entre au moins 1 min et une valeur qui ne soit pas inférieure à 1,5 fois la **pression de service différentielle admissible maximale**.

Le débit de fuite doit être mesuré par exemple avec un débitmètre, soit en continu au cours de l'essai, soit, si cela n'est pas possible, avant et après la pressurisation à la **pression de service différentielle admissible maximale**.

Le **module à pile à combustible** ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique. Le débit de fuite entre le côté anode et le côté cathode ne doit pas augmenter en fonction du résultat de cet essai et doit se situer dans les limites de la spécification du fabricant pour la température de l'essai. Les mesurages effectués après la mise sous pression ne doivent pas s'écarter des résultats initiaux de plus des valeurs d'exactitude et de répétabilité à la fois de l'instrumentation et du montage d'essai. Cet essai peut être omis si la conception ne permet pas d'exercer une pression différentielle excessive sur les éléments.

5.11 Essai de fuite de gaz (répétition)

Le module à pile à combustible doit faire l'objet d'un contre-essai de fuite sans période de **préconditionnement**, mais aux mêmes conditions d'essai que celles spécifiées en 5.3.

Le débit de fuite de gaz ne doit pas dépasser celui spécifié par le fabricant et ne doit pas varier de plus de 10 % de la valeur initiale ou 5 cm³/min, en prenant la valeur la plus élevée.

5.12 Fonctionnement normal (répétition)

L'essai de **fonctionnement normal** doit être répété comme cela est défini en 5.4. Les mesurages enregistrés doivent s'inscrire dans les limites des écarts assignés comme cela est exigé en 5.4.

5.13 Essai de concentration inflammable

Cet essai n'est applicable qu'aux systèmes sous enveloppe avec processus de purge et **ventilation** intégrée afin d'éviter les concentrations inflammables, lorsque la température de fonctionnement est inférieure à la **température d'auto-inflammation** du gaz combustible.

Cette **ventilation** et ces processus de purge dépendent des caractéristiques et des exigences spécifiques du **module à pile à combustible**. Cet essai doit déterminer la concentration maximale de gaz inflammable à l'intérieur de l'enveloppe du module dans les conditions normales de fonctionnement.

Le **module à pile à combustible** doit être mis en fonctionnement dans les limites de la plage nominale de températures jusqu'à l'obtention des **conditions d'équilibre thermique**. Les essais doivent être effectués à la pression barométrique dans la station d'essai et dans une zone exempte de tout courant d'air significatif.

L'enveloppe du **module à pile à combustible** doit être prévue pour le débit de **ventilation** spécifié (voir 7.4).

Quatre mesurages doivent être réalisés à distance de la purge ou des points d'échappement de manière à ce que la concentration inflammable mesurée soit celle du compartiment plutôt que celle de la source.

L'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que quatre mesurages consécutifs aient indiqué que l'augmentation de la concentration inflammable ne dépasse pas de plus de 5 % la moyenne des quatre mesurages.

L'intervalle de temps entre les mesurages ne doit pas être inférieur à 30 min.

L'essai doit être effectué au moins deux fois.

L'essai est satisfaisant si la concentration de gaz inflammable est inférieure à 25 % de la **limite inférieure d'inflammabilité**. Lorsque la concentration dépasse 25 % de la **limite inférieure d'inflammabilité**, les dispositions de 4.2.8 doivent s'appliquer.

5.14 Essais dans des conditions anormales de fonctionnement

5.14.1 Généralités

Les essais effectués dans des conditions anormales de fonctionnement sont destinés à démontrer que lesdites conditions, telles qu'identifiées selon 4.1, ne donnent pas lieu à un **danger** ou un dommage à l'extérieur du **module à pile à combustible**. Ces essais peuvent être destructifs et il convient qu'ils soient réalisés après des essais non destructifs. Il est également acceptable de réaliser ces essais sur un sous-module du **module à pile à combustible**, qui générera des réponses ayant valeur de prototypes. La séquence de ces essais peut être différente d'un type de **module à pile à combustible** à l'autre. Cette séquence doit être établie en tenant compte du danger croissant de destruction des différents articles d'essai.

Les essais dans des conditions anormales de fonctionnement doivent être réalisés dans l'environnement d'essai utilisé pour les essais dans des conditions normales de fonctionnement. L'installation d'essai peut être modifiée afin d'atteindre les conditions anormales de fonctionnement prévues.

Pendant les essais dans des conditions anormales de fonctionnement, la température maximale de surface de l'unité d'essai obtenue doit être enregistrée. Si cette température est supérieure à celle obtenue dans des conditions normales, elle doit être transmise au fabricant du produit fini.

Le mode de défaillance du **module à pile à combustible** ne doit pas entraîner de **danger** pour les personnes ou des dommages à l'extérieur du **module**, comme indiqué de 5.14.1 à 5.14.7 pour les différentes situations de conditions anormales. La protection contre les conditions anormales peut être assurée soit par l'intermédiaire des contrôles de protection du **module à pile à combustible**, soit par les mécanismes de protection fournis dans l'application finale. Dans ce dernier cas, une documentation doit être fournie afin d'alerter l'intégrateur de la nécessité d'assurer une protection et de définir le type de protection nécessaire. Si un échantillon d'essai est endommagé au cours de l'essai dans des conditions anormales, les essais suivants doivent être effectués en utilisant un échantillon d'essai qui a déjà subi avec succès l'**essai de type** défini en 5.3.

Si le **module à pile à combustible** s'arrête à cause d'une fonction de dégradation de performances (fonction de commande non relative à la sécurité), l'essai doit alors être répété et la fonction de commande non relative à la sécurité doit être shuntée de façon que la fonction de commande relative à la sécurité interrompe le processus avant l'apparition de toute situation **dangereuse**.

5.14.2 Essai de sous-alimentation en combustible

Le **module à pile à combustible** doit être mis en fonctionnement à la puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Afin de provoquer la sous-alimentation en combustible, le flux de combustible est abaissé jusqu'à un niveau représentant le scénario du cas le plus défavorable déterminé par une appréciation du risque selon 4.1. Le système de surveillance de tension ou d'autres fonctions de commande relatives à la sécurité doivent fournir un signal destiné à placer le **module à pile à combustible** en état sûr avant d'atteindre une condition **dangereuse**.

5.14.3 Essai de sous-alimentation en oxygène/oxydant

Le **module à pile à combustible** doit être mis en fonctionnement à la puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Afin de provoquer la sous-alimentation en oxygène/oxydant, le flux d'oxydant est abaissé jusqu'à un niveau représentant le scénario du cas le plus défavorable déterminé par une appréciation du risque fournie par le fabricant du **module à pile à combustible**. Le système de surveillance de tension ou d'autres fonctions de commande relatives à la sécurité doivent fournir un signal destiné à placer le **module à pile à combustible** en état sûr avant d'atteindre une condition **dangereuse**.

5.14.4 Essai de court-circuit

Le **module à pile à combustible** doit être mis en fonctionnement à la puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Un court-circuit entre le pôle plus et le pôle moins du **module à pile à combustible** avec une résistance et une inductance minimales doit ensuite être initié par un commutateur à haute intensité adapté. Le courant et la tension de court-circuit doivent être mesurés par des moyens adaptés, par exemple par un dispositif de surveillance de l'intensité et de la tension d'impulsion/transitoire prédéclenché pour mesurer les deux valeurs. Ces données, ainsi que tous les **dangers** qui en résultent, doivent être indiqués à l'intégrateur système.

Dans le cas où le fabricant a spécifié une mesure de protection, par exemple, un fusible, un disjoncteur (comme partie intégrante de la documentation technique destinée à l'intégrateur de système) afin d'éviter les **dangers** après ce court-circuit, cette mesure de protection doit être intégrée au cours de cet essai.

L'essai est achevé si la mesure de protection a été appliquée ou si la température a baissé – après avoir atteint le niveau maximal – en dessous de la température admise maximale des parties impliquées.

L'essai de court-circuit peut être réalisé sur un module à échelle réduite avec un calcul approprié pour le produit en vraie grandeur.

5.14.5 Essai de manque de refroidissement/défaut de refroidissement

Le module étant à la puissance en sortie maximale admissible spécifiée par le fabricant, tout en fonctionnant dans les conditions stabilisées également spécifiées par le fabricant, le flux du fluide de refroidissement, s'il est séparé de l'oxydant, est interrompu instantanément afin de simuler une défaillance du système de refroidissement. Le **module à pile à combustible** fonctionne:

- pendant la durée admissible indiquée par le fabricant après interruption du flux du fluide de refroidissement; ou
- le **module à pile à combustible** s'arrête à cause d'une dégradation de performances subie avant d'atteindre la température de service des matériaux de construction; ou
- jusqu'à ce que la fonction de commande relative à la sécurité du **module à pile à combustible** fournisse un signal destiné à initier le placement en état sûr du module avant d'atteindre une condition **dangereuse**.

5.14.6 Essai du système de surveillance de perméation

Cet essai n'est applicable qu'aux **modules à piles à combustible** équipés d'un système de surveillance.

Lorsqu'une perméation entre l'anode et la cathode donne lieu à une condition **dangereuse**, elle doit être surveillée de manière continue par un dispositif de surveillance de la tension des éléments ou des moyens équivalents qui permettent le placement en état sûr du **module à pile à combustible**.