

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 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.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 62282-4-101

Edition 1.0 2014-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-1811-2

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	12
4 Construction requirements for safety	16
4.1 General.....	16
4.2 Hydrogen and other fluid containing parts	17
4.2.1 General	17
4.2.2 Piping, hoses, tubing and fittings	17
4.2.3 Hydrogen pressure vessels.....	18
4.2.4 Metal hydride container	19
4.2.5 Methanol fuel tank	19
4.3 Over-pressure and thermal protection	20
4.4 Regulators	22
4.5 Operating and shut-off valves	22
4.6 Filters	22
4.7 Pumps and compressors.....	23
4.8 Electrically operated pressure sensing and controlling devices	23
4.9 Ventilation to prevent the build up of flammable gases and vapours.....	23
4.10 Electrostatic discharge (ESD)	24
4.11 Discharges including methanol emissions and waste materials	25
4.12 Enclosures.....	25
4.13 Fuel cell power system electrical components.....	25
4.13.1 General	25
4.13.2 Internal wiring.....	26
4.13.3 External wiring.....	27
4.13.4 Emergency switching off requirements (disconnection) for connections for fuel cell power system	27
4.13.5 Switches and motor controllers	28
4.13.6 Transformers and power supplies	28
4.13.7 Inverters, converters and controllers.....	28
4.13.8 Lamps and lampholders.....	28
4.13.9 Energy storage components	28
4.13.10 Electrical insulation	29
4.13.11 Limited power circuit.....	29
4.13.12 Electrical spacings.....	30
4.13.13 Separation of circuits.....	31
4.14 Control circuits.....	32
4.14.1 Safety controls	32
4.14.2 Start	32
4.15 Safety/hazard analysis.....	32
5 Performance requirements for safety and type tests	32
5.1 General.....	32
5.2 Vibration test	32
5.2.1 General	32

5.2.2	Vertical axis test	33
5.2.3	Longitudinal and lateral axes tests	33
5.3	Fuel container securement test	33
5.4	Endurance test	33
5.5	External leakage test	33
5.5.1	External leakage – Hazardous gas containing portions (determination of dilution boundary)	33
5.5.2	External leakage – Hazardous liquid containing portions	34
5.6	Ultimate strength test	34
5.6.1	Ultimate strength – Hazardous liquids and pressurized parts	34
5.6.2	Ultimate strength – Hazardous gas and pressurized parts	34
5.6.3	Ultimate strength – Fuel cell modules	34
5.7	Potential failure modes test	34
5.8	Temperature test	35
5.9	Continuity test	37
5.10	Touch current test	37
5.11	Dielectric voltage – Withstand test	38
5.12	Non-metallic tubing test for accumulation of static electricity	39
5.12.1	Passing criteria	39
5.12.2	Test method	39
5.13	Limited power circuit test	39
5.14	Maximum VA test	40
5.15	Abnormal operation test – Electric equipment failures	40
5.16	Emission of effluents test (only for methanol fuel cells)	41
5.17	Environmental test	41
5.17.1	General	41
5.17.2	Rain test	41
5.17.3	Test of equipment – Exposure to wind	42
5.18	Enclosure tests	42
5.18.1	Enclosure loading test	42
5.18.2	Test for thermoplastic enclosures	42
5.19	20 mm moulded part needle flame test for thermoplastic materials	42
5.20	Marking plate adhesion test	43
5.21	Test for elastomeric seals, gaskets and tubing	43
5.21.1	General	43
5.21.2	Accelerated air-oven aging test	43
5.21.3	Cold temperature exposure test	43
5.21.4	Immersion test	43
5.22	Test for permeation of non-metallic tubing and piping	44
5.23	Test for electrical output leads	44
6	Routine tests	44
6.1	Dielectric voltage-withstand test	44
6.2	External leakage	44
7	Markings	44
8	Instructions	45
8.1	General	45
8.2	Maintenance instructions	45
8.3	Operating instructions	46
8.4	Installation instructions	46

Annex A (informative) Comparison of pressure terms.....	47
Bibliography.....	48
Figure 1 – Fuel cell power systems for industrial trucks	9
Figure 2 – Example of a diagram with vent system covering components downstream of the regulator	21
Figure 3 – Example of a diagram with vent system covering all components	21
Figure 4 – Example of a diagram with vent system covering all components in a multiple storage tank system.....	22
Figure 5 – Measuring network, touch current weighted for perception or reaction.....	38
Figure 6 – Diagram for touch current measurement test.....	38
Table 1 – Appliance-wiring material	26
Table 2 – Spacings	31
Table 3 – Temperature rise limits.....	35
Table 4 – Limits for inherently limited power sources	40
Table 5 – Limits for power sources not inherently limited (overcurrent protection required).....	40
Table 6 – Emission rate limits	41
Table A.1 – Comparison table of pressure terms.....	47

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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**

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 62282-4-101 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
105/506/FDIS	105/513/RVD

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

IEC 62282-4 deals with categories such as safety, performance and interchangeability of fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU). Among the categories mentioned above, this standard, IEC 62282-4-101, focuses on safety of industrial electric trucks with fuel cell power systems because such an application is urgently demanded in the world. The future standards in the Part 4 series will deal with other applications related to onboard vehicles other than road vehicles and auxiliary power units (APU).

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

1 Scope

1.1 This part of IEC 62282 covers safety requirements for fuel cell power systems intended to be used in electrically powered industrial trucks.

1.2 This standard is limited to electrically powered industrial trucks and is applicable to material-handling equipment, e.g. forklifts.

1.3 This standard applies to gaseous hydrogen-fuelled fuel cell power systems and direct methanol fuel cell power systems for electrically powered industrial trucks.

1.4 The following fuels are considered within the scope of this standard:

- gaseous hydrogen
- methanol.

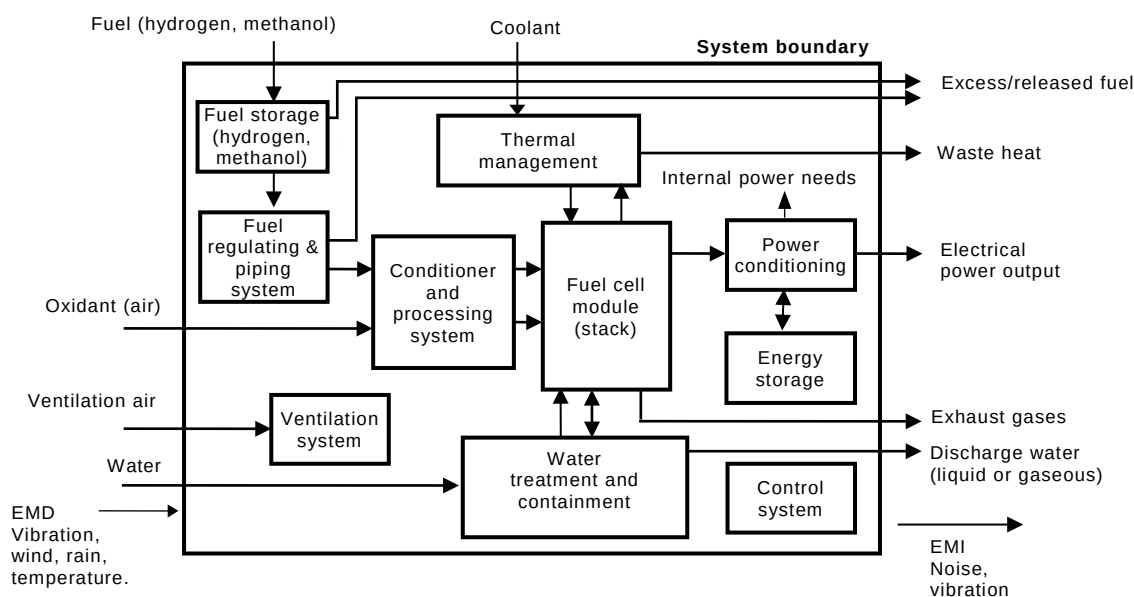
1.5 This standard covers the fuel cell power system as defined in 3.8 and Figure 1.

1.6 This standard applies to d.c. type fuel cell power systems, with a rated output voltage not exceeding 150 V d.c. for indoor and outdoor use.

1.7 This standard covers fuel cell power systems whose fuel source container is permanently attached to either the industrial truck or the fuel cell power system.

1.8 The following are not included in the scope of this standard:

- detachable type fuel source containers;
- hybrid trucks that include an internal combustion engine;
- reformer-equipped fuel cell power systems;
- fuel cell power systems intended for operation in potentially explosive atmospheres;
- fuel storage systems using liquid hydrogen.



IEC

Key

EMD electromagnetic disturbance.

EMI electromagnetic interference.

NOTE A fuel cell power system may contain all or some of the above components.

Figure 1 – Fuel cell power systems for industrial trucks**2 Normative references**

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

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

IEC 60079-29-1, *Explosive atmospheres – Part 29-1: Gas detectors – Performance requirements of detectors for flammable gases*

IEC 60079-29-4, *Explosive atmospheres – Part 29-4: Gas detectors – Performance requirements of open path detectors for flammable gases*

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

IEC 60227-3, *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring*

IEC 60227-5, *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 5: Flexible cables (cords)*

IEC 60335-2-41, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-41: Particular requirements for pumps*

IEC 60335-2-80, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-80: Particular requirements for fans*

IEC 60364-4-41:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

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

IEC 60584-1, *Thermocouples – Part 1: Reference tables*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

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

IEC 60695-1-30, *Fire hazard testing – Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing process – General guidelines*

IEC 60695-10-2, *Fire hazard testing – Part 10-2: Abnormal heat – Ball pressure test*

IEC 60695-11-4, *Fire hazard testing – Part 11-4: Test flames – 50 W flame – Apparatus and confirmational test method*

IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60730-1:2013, *Automatic electrical controls for household and similar use – Part 1: General requirements*

IEC 60730-2-17, *Automatic electrical controls for household and similar use – Part 2-17: Particular requirements for electrically operated gas valves, including mechanical requirements*

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

IEC 60947-5-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-1: Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices*

IEC 60950-1:2005, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 61204-7, *Low-voltage power supplies, d.c. output – Part 7: Safety requirements*

IEC TS 61430, *Secondary cells and batteries – Test methods for checking the performance of devices designed for reducing explosion hazards – Lead-acid starter batteries*

IEC 61558-1, *Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products – Part 1: General requirements and tests*

IEC 62103, *Electronic equipment for use in power installations*

IEC 62133, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications*

IEC 62282-2, *Fuel cell technologies – Part 2: Fuel cell modules*

ISO 179 (all parts), *Plastics – Determination of Charpy impact properties*

ISO 180, *Plastics – Determination of Izod impact strength*

ISO 877 (all parts), *Plastics – Methods of exposure to solar radiation*

ISO 1419, *Rubber- or plastics-coated fabrics – Accelerated-ageing tests*

ISO 1421, *Rubber- or plastics-coated fabrics – Determination of tensile strength and elongation at break*

ISO 1798, *Flexible cellular polymeric materials – Determination of tensile strength and elongation at break*

ISO 2440, *Flexible and rigid cellular polymeric materials – Accelerated ageing tests*

ISO 2626, *Copper – Hydrogen embrittlement test*

ISO 3691-1, *Industrial trucks – Safety requirements and verification – Part 1: Self-propelled industrial trucks, other than driverless trucks, variable-reach trucks and burden-carrier trucks*

ISO 3691-7, *Industrial trucks – Safety requirements and verification – Part 7: Regional requirements for countries within the European Community*

ISO 3691-8, *Industrial trucks – Safety requirements and verification – Part 8: Regional requirements for countries outside the European Community*

ISO 3864-1, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs and safety markings*

ISO 3996, *Road Vehicles – Brake hose assemblies for hydraulic braking systems used with a non-petroleum-base brake fluid*

ISO 4038, *Road vehicles – Hydraulic braking systems – Simple flare pipes, tapped holes, male fittings and hose end fittings*

ISO 4080, *Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Determination of permeability to gas*

ISO 4675, *Rubber- or plastics-coated fabrics – Low-temperature bend test*

ISO 7010, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Registered safety signs*

ISO 7866:2012, *Gas cylinders – Refillable seamless aluminum alloy gas cylinders – Design, construction and testing*

ISO 9809-1, *Gas cylinders – Refillable seamless steel gas cylinders – Design, construction and testing – Part 1: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength less than 1 100 MPa*

ISO 10380, *Pipework – Corrugated metal hoses and hose assemblies*

ISO 10442, *Petroleum, chemical and gas service industries – Packaged, integrally geared centrifugal air compressors*

ISO 10806, *Pipework – Fittings for corrugated metal hoses*

ISO 11114-4, *Transportable gas cylinders – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 4: Test methods for selecting metallic materials resistant to hydrogen embrittlement*

ISO 13226, *Rubber – Standard reference elastomers (SREs) for characterizing the effect of liquids on vulcanized rubbers*

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

ISO 14113, *Gas welding equipment – Rubber and plastic hose and hose assemblies for use with industrial gases up to 450 bar*

ISO/TS 14687-2, *Hydrogen fuel – Product specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles*

ISO 15500-12, *Road vehicles – Compressed natural gas (CNG) fuel system components – Part 12: Pressure relief valve (PRV)*

ISO 15649, *Petroleum and natural gas industries – Piping*

ISO/TS 15869:2009, *Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks*

ISO 15916, *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*

ISO 16010, *Elastomeric seals – Material requirements for seals used in pipes and fittings carrying gaseous fuels and hydrocarbon fluids*

ISO 16111:2008, *Transportable gas storage devices – Hydrogen absorbed in reversible metal hydride*

ISO 17268, *Compressed hydrogen surface vehicle refuelling connection devices*

ISO 21927-3, *Smoke and heat control systems – Part 3: Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators*

ISO 23551-1, *Safety and control devices for gas burners and gas-burning appliances – Particular requirements – Part 1: Automatic valves*

3 Terms and definitions

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

3.1

abnormal operation

operation of the fuel cell power system with any one electrical or control component malfunction or failure, in any failure mode regarded as reasonably probable in the FMEA; but

excluding accidental rupture or breakdown of the containers of flammable liquids, vapours and/or gases

3.2 bonding

permanent joining of metallic parts to form a positive electrically conductive path that provides electrical continuity between non-current carrying metal parts and is capable of conducting any fault current that may occur

Note 1 to entry: This applies to bonding within the fuel cell power system and between the fuel cell power system and truck and does not refer to the means to ground the truck itself, such as with a grounding strap or with tyres. Acceptable methods of bonding shall be by any positive means, such as by a clamp, rivet, bolt, screw, welded joint, soldered or brazed joint, or a bonding jumper with a closed loop connector secured by a screw.

3.3 check-valve

fluid control device that allows fluids to flow in only one direction

3.4 circuit, limited power

circuit involving a potential greater than 42,4 V peak (30 V r.m.s.) or 60 V d.c. and power after 60 s of operation comply with the values outlined in Tables 2B and 2C of IEC 60950-1:2005

Note 1 to entry: A circuit that is low voltage under both normal and single fault conditions is referred to in IEC 60950-1 as a safety extra low voltage (SELV).

3.5 low-voltage circuit

circuit involving a peak open-circuit potential of not more than 42,4 V (30 V r.m.s.) or 60 V d.c. supplied by a battery, a fuel cell, a transformer having a maximum volt-ampere (VA), rating of less than 100 VA and a maximum secondary output of 30 V a.c. or by a combination of a transformer and a fixed impedance that as a system, complies with IEC 61558-1

Note 1 to entry: A circuit derived by connecting a resistance in series with a voltage supply circuit as a means of limiting the voltage and current, is not considered to be a low-voltage circuit.

3.6 dilution boundary

extent of a flammable area or zone created by a limited release of flammable gas or vapour, internal to the fuel cell power system or truck in which it is mounted, and controlled by mechanical ventilation or other effective means

Note 1 to entry: This is outlined in IEC 60079-10.

3.7 electrostatic discharge

ESD

discharge created by static electricity

3.8 fuel cell power system

generator system that uses one or more fuel cell module(s) to generate electric power and heat

Note 1 to entry: See Figure 1 for a block diagram of a fuel cell power system. A fuel cell power system may contain all or some of the components shown in Figure 1. The fuel cell power system for use with industrial trucks will be in one of the forms as outlined in 3.9 and 3.10.

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.49, modified – Addition of second sentence to the Note to entry]

3.9

self-contained system

complete system incorporated into its own housing that is intended to replace or combine with a battery system to power an industrial truck

Note 1 to entry: Display and control functions may be located outside the system's housing in proximity to the operator's compartment. However, if counterweight is required outside the system's housing or direct communication is required between the system and the truck controller, then it will be considered an integrated system (see 3.10).

3.10

integrated fuel cell power system

complete system of fuel cell components and parts that are incorporated into the industrial truck with the various parts of the system potentially distributed throughout the truck

3.11

hazardous (classified) areas

any work area or space where combustible dust, ignitable fibres, or flammable, volatile liquids, gases, vapours or mixtures are or may be present in the air in quantities sufficient to produce explosive or ignitable mixtures as defined by IEC 60079-10-1

3.12

integral

something that is either contained within the fuel cell power system or is external, but is a part of the fuel cell power system

3.13

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 concerns 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.

3.14

maximum allowable working pressure

MAWP

maximum gauge pressure at which a fuel cell or fuel cell power system may be operated

Note 1 to entry: See Annex A for a comparison table of pressure terms.

Note 2 to entry: The maximum allowable working pressure is expressed in Pa.

Note 3 to entry: The maximum allowable working pressure is the pressure used in determining the setting of pressure limiting/relieving devices installed to protect a component or system from accidental over-pressuring.

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.86.3, modified – Addition of new Note 1 to entry]

3.15

maximum continuous load rating

maximum continuous power that can be sustained by the fuel cell power system independent of any electrical energy storage device or storage component at 25 °C and ambient pressure 0,1 MPa

3.16

maximum operating pressure

MOP

highest gauge pressure of a component or the system that is expected during normal operation

Note 1 to entry: See Annex A for a comparison table of pressure terms.

3.17**normal release**

limited internal localized volumes of flammable vapour concentrations released during normal operation that may include fuel cell purge

3.18**normal operation**

all operating and non-operating modes encountered during product use that are not the result of a failure

3.19**pressure relief device**

PRD

pressure and/or temperature activated device used to prevent the pressure from rising above a predetermined maximum and thereby prevent failure of a pressurized part or system

3.20**thermally activated pressure relief device**

TPRD

pressure relief device that activated thermally

3.21**safety control**

automatic controls and interlocks including relays, switches, sensors and other auxiliary equipment used in conjunction therewith to form a safety control system, which is intended to prevent unsafe operation of the controlled equipment

3.22**safety critical component**

component, device, circuit, software or similar part whose failure would affect the safety of the fuel cell power system as determined in 4.15

3.23**service pressure**

nominal working pressure

pressure, as specified by the manufacturer, at a uniform gas temperature of 15 °C and full gas content

Note 1 to entry: This term only relates to the hydrogen pressure vessel.

Note 2 to entry: See Annex A for a comparison table of pressure terms.

3.24**gas purge**

protective operation to remove gases and/or liquids, such as fuel, hydrogen, air or water, from a fuel cell power system

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.60]

3.25**touch current**

electric current through a human body or an animal body when it touches one or more accessible parts

3.26**zone system of classification**

means for classifying areas within the fuel cell power system using the methods outlined in IEC 60079-10-1

Note 1 to entry: The potential zones of this system are as follows:

Group II, zone 0 – A location in which ignitable concentrations of flammable gases or vapours are present for long periods of time (e.g. inside the fuel cell stack or other hydrogen carrying components).

Group II, zone 1 – A location:

- a) in which ignitable concentrations of flammable gases or vapours are likely to exist under normal operating conditions; or
- b) in which ignitable concentrations of flammable gases or vapours may exist frequently because of repair or maintenance operations or because of leakage; or
- c) in which equipment is operated or processes are carried on of such a nature that equipment breakdown or fault operations could result in the release of ignitable concentrations of flammable gases or vapours and also cause simultaneous failure of electrical equipment in a mode to cause the electrical equipment to become a source of ignition; or
- d) that is adjacent to a Group II, zone 0 location from which ignitable concentrations of vapours could be communicated, unless communication is prevented by adequate positive pressure ventilation from a source of clean air and effective safeguards against ventilation failure are provided (e.g. space in which purge gases are immediately released to be diluted or areas immediately adjacent to the fuel cell stack and hydrogen recirculation system).

Group II, zone 2 – A location:

- a) in which ignitable concentrations of flammable gases or vapours are not likely to occur in normal operation and if they do occur, will exist only for a short period; or
- b) in which volatile flammable liquids, flammable gases or flammable vapours are handled, processed, or used, but in which the liquids, gases or vapours normally are confined within closed containers or closed systems from which then can escape only as a result of accidental rupture or breakdown of the containers or system or as a result of abnormal operation of the equipment with which the liquids or gases are handled, processed, or used; or
- c) in which ignitable concentrations of flammable gases or vapours normally are prevented by positive mechanical ventilation, but which may become hazardous as result of failure or abnormal operation of the ventilation equipment; or
- d) that is adjacent to a group II, zone 1 location from which ignitable concentrations of flammable gases or vapours could be communicated, unless such communication is prevented by adequate positive-pressure ventilation from a source of clean air and effective safeguards against ventilation failure are provided (e.g. an area with a hydrogen fuel line and fittings at bulkhead locations but without components – a pass through).

Unclassified zone – A location:

- a) in an area where there is no risk of ignitable concentrations of flammable gases; or
- b) where flammable gases are not present as part of the standard processes; or
- c) where there are no fittings that may leak; or
- d) that is adjacent only to other unclassified zones or zone 2 locations (e.g. a compartment with a fuel line passing through without bulkhead connections or other fittings adjacent only to zone 2 locations and areas outside of the systems).

4 Construction requirements for safety

4.1 General

4.1.1 Any component of a product covered by this standard shall comply with the requirements for that component. Normative references for standards covering components used in the products covered by this standard is given in Clause 2.

4.1.2 A component is not required to comply with a specific requirement of the normative referenced standards that:

- a) involves a feature or characteristic not required in the application of the component in the product covered by this standard, or
- b) is superseded by a requirement in this standard.

4.1.3 Any component shall be used in accordance with its rating established for the intended conditions of use.

4.1.4 Specific components are incomplete in construction features or restricted in performance capabilities. Such components are intended for use only under limited conditions, such as certain temperatures not exceeding specified limits, and shall be used only under those specific conditions.

4.2 Hydrogen and other fluid containing parts

4.2.1 General

4.2.1.1 Pressure or fluid containing parts shall be resistant to the action of the fluid.

4.2.1.2 The refuelling interface for hydrogen system shall be in accordance with ISO 17268.

4.2.1.3 Metallic parts containing hydrogen gas shall be resistant to hydrogen embrittlement as outlined in ISO 15916. If employing a material other than as outlined in ISO 15916, an evaluation for susceptibility to hydrogen embrittlement will need to be conducted in accordance with ISO 11114-4 or ISO 2626.

4.2.1.4 Where atmospheric corrosion of a part containing fluid interferes with its intended function, or permits external leakage of a fluid creating a hazardous condition, the part shall be made of corrosion-resistant material or is to be provided with a corrosion-resistant protective coating.

4.2.1.5 Any elastomeric parts, relied upon for safety such as a seal for fluids other than hydrogen, which could create a hazard when leaked (for example, a gasket between electrical and wetted parts), shall be suitable for the application as determined by ISO 1419, ISO 1421, ISO 13226, ISO 16010 and ISO 4675, as applicable.

4.2.1.6 Any elastomeric parts employed as a seal for hydrogen shall be suitable for use with hydrogen. The elastomeric materials outlined in ISO 15916, shall be considered for reference and guidance. The material shall be evaluated for tensile strength and elongation as-received and after oven-aging (based on service temperatures) in accordance with 5.21.

4.2.2 Piping, hoses, tubing and fittings

4.2.2.1 Where conveying gases or vapours at pressures exceeding 103,4 kPa gauge, or liquids at pressures exceeding 1 103 kPa, or temperatures exceeding 120 °C, piping and associated component parts shall be designed, fabricated and tested to conform to all applicable specifications of ISO 15649.

4.2.2.2 Piping utilized at levels below the pressures and/or temperatures noted in 4.2.2.1 and nonmetallic piping shall be evaluated to the requirements of this standard with consideration given to materials and fluids contained and service conditions, including pressures and temperatures. Non-metallic piping containing gaseous hydrogen or methanol fuel shall be designed, fabricated and tested to the additional requirements in 4.2.2.6.

4.2.2.3 Non-metallic hoses used for gaseous hydrogen or methanol fuels located external to the fuel cell power system and subject to physical stress shall meet the hydrostatic testing, adhesion (rubber only), flexibility, low-temperature flexibility, ozone resistance (for hoses with an outer protective cover of rubber), UV resistance (for hoses with plastic cover), permeability to gas, electrical conductivity, and end fitting integrity tests of ISO 14113. Materials shall be suitable for service with hydrogen fuel, or the fluid contained (i.e. methanol), in accordance with items in 4.2.1. Flexible hose longer than 1,5 m shall have a stainless steel wire braid reinforcement.

4.2.2.4 Flexible metal connectors and associated fittings, when used for conveying gaseous hydrogen, shall comply with ISO 10806, and ISO 10380, as required.

4.2.2.5 A hydrogen fuel line shall be supported to minimize chafing and to maintain at least a 51 mm clearance from exhaust- and electrical-system parts.

4.2.2.6 Non-metallic hydrogen and methanol fuel lines shall:

- be protected within ventilated enclosures where they will be subject to a minimum of mechanical or physical stresses;
- be conductive to avoid static discharge. Compliance is determined by the continuity test of 2) of 5.9 for metal, and 3) of 5.9, for nonmetallic;
- employ materials that have been evaluated and found suitable for fluids they contain with consideration given to temperatures they are exposed to during service. Compliance shall be determined by 5.21 and 5.22, as applicable; and
- comply with the ESD requirements for ISO 3996 or ISO 4038 when connected between the fuel system and the stack.

4.2.2.7 Pipe, tubing, fittings, and other piping components shall be capable of withstanding a minimum hydrostatic test of 1,5 times the rated service pressure without structural failure.

Exception: high-pressure pipe, tubing, fittings, and other piping components shall have a safety margin equivalent to the storage cylinder in use. See 4.2.3.

4.2.3 Hydrogen pressure vessels

4.2.3.1 Pressure vessels shall be specifically designed for the service conditions of the industrial truck application that includes the maximum number of fill cycles expected, the ranges of pressures and temperatures expected during operation and filling, the effect of hydrogen on fatigue life and the frequency of inspection.

4.2.3.2 With reference to 4.2.3.1, a pressure vessel shall be designed, manufactured, and tested with the following conditions and limitations:

- a) For Type 1 steel tanks, it shall be designed in accordance with ISO 9809-1.
- b) The term "working pressure" of the container as defined in ISO/TS 15869 is identical to "service pressure" in this standard and shall be either 25 MPa, 35 MPa or 70 MPa gauge only.
- c) The cylinder shall be designed for not less than 11 250 full fill cycles, which represents a 10-year life. ISO/TS 15869:2009, 4.5, 11 k) and 11 l), and Annex A do not apply.
NOTE 11 250 full fill cycles, i.e. 3 refills/day, 365 days/years, 10 years = 10 950 cycles.
- d) ISO/TS 15869:2009, 9.5, and Annex E, covering alternate type tests, shall not apply.
- e) ISO/TS 15869:2009, 9.2.2, shall not apply. However, stainless steels; SUS316L, AISI316L, and AISI316; having >12 % nickel composition and <0,1 % magnetic phases by volume are exempt from hydrogen compatibility tests in Clause B.2 of ISO/TS 15869:2009. The fabrication process using these materials shall not include welds.
- f) In 9.2.3 of ISO/TS 15869:2009 the exemption for aluminum alloys that conform to 6.1 and 6.2 of ISO 7866:2012, shall not apply. However, aluminum alloys: A6061-T6, A6061-T62, A6061-T651 and A6061-T6511 are exempt from hydrogen compatibility tests in Clause B.2 of ISO/TS 15869:2009. The fabrication process using these aluminum materials shall not include welds.
- g) Other than indicated in d) or e), hydrogen compatibility of metallic materials in contact with hydrogen gas shall be demonstrated by fulfilling the requirements of Clause B.2, point b) or c) of ISO/TS 15869:2009 by using hydrogen that meets the requirements of ISO/TS 14687-2 and with the additional requirements that the oxygen limit be changed to less than 1 µmol per mol and the water limit shall be changed to less than 3 µmol per mol.

- h) If fatigue testing is conducted in accordance with point c) of Clause B.2 of ISO/TS 15869:2009, it shall be done using hydrogen quality as specified in f) above, and at a rate not exceeding 10 cycles per minute. The sample vessel shall be pressure cycled until failure or to a minimum of 3 times the full fill cycles specified in c) above. The sample vessel is allowed to fail by leakage and not rupture at a number of cycles greater than the number of full fill cycles specified in c) above. If the sample vessel achieves 3 times the number of full fill cycles specified in c) above without failure, the ambient temperature pressure cycling test, specified in Clause B.7 of ISO/TS 15869:2009, and the leak-before-break (LBB) test in Clause B.8 of ISO/TS 15869:2009 is not needed.
- i) With regards to h) above, leakage is the escape of gas from a vessel that is not attributed to leakage at a fitting connection or to permeation, and which is not caused by rupture. Escape of gas from a crack would be considered leakage and not rupture. Rupture is a violent breach of the vessel sidewall, head or bottom.
- j) Clause B.2, point a) of ISO/TS 15869:2009 shall not apply.

4.2.3.3 A pressure vessel and fill fitting shall be placed within the plan view outline of the industrial truck or placed in an enclosure as defined in 4.12 and located to minimize the possibility of damage to the vessel or hydrogen-related fittings.

4.2.3.4 An excess-flow and check-valve, if present, shall be directly connected to the pressure vessel or mounted in line with the pressure vessel, where there is no shut-off device in between the pressure vessel and the check valve, so as to minimize the negative effects of shock, vibration and accidental damage.

4.2.3.5 The refuelling line shall be fitted with a check valve redundant to the check valve in the receptacle given in ISO 17268.

4.2.3.6 Pressure vessels shall have a provision for being de-fuelled (de-pressurized) and purged of hydrogen using an inert gas as outlined in the operating instructions or the maintenance manual, as applicable, provided with the fuel cell power system.

4.2.3.7 A manual valve to isolate the fuel supply shall be located near the pressure vessel so that the fuel supply to the fuel power system can be shut off for maintenance or long-term storage.

4.2.3.8 The hydrogen pressure vessel shall be permanently mounted to the fuel cell power system module or to the industrial truck to ensure the pressure vessel does not become dislodged while in use and is not removable for refuelling.

4.2.4 Metal hydride container

Fuel storage systems using hydrogen stored in metal hydrides shall comply with Clauses 4, 5, and 6 of ISO 16111:2008.

4.2.5 Methanol fuel tank

4.2.5.1 Methanol fuel tanks shall be constructed of suitable materials in accordance with 4.2.1 and 4.2.2 shall meet the requirements as noted below. Such vessels, and their related joints and fittings, shall be designed and constructed with adequate strength for functionality and leakage resistance to prevent unintended releases.

4.2.5.2 Methanol fuel tanks shall be specifically designed for the service conditions of the industrial truck application that includes the ranges of pressures and temperatures expected during operation and filling, the effect of methanol on fatigue life of the tank, and the frequency of inspection.

4.2.5.3 A manual valve to isolate the fuel supply shall be located near the fuel tank so that the fuel supply to the fuel cell power system can be shut off for maintenance or long term storage.

4.2.5.4 A methanol fuel tank and fill fitting shall be placed within the truck envelope or placed in an enclosure as defined in 4.12, and located to minimize the possibility of damage to the tank or fittings.

The methanol fuel tank shall be permanently mounted to the fuel cell power system module or to the industrial truck to ensure the tank does not become dislodged while in use and is not removable for refuelling.

4.3 Over-pressure and thermal protection

4.3.1 The hydrogen pressure vessel shall be protected from the effects of fire by a non-reclosing thermally activated pressure relief device (TPRD) that is designed, manufactured and tested in accordance with ISO 15500-12.

4.3.2 Components and piping located downstream of a pressure reducing valve that are rated to a pressure that is lower than the maximum inlet pressure of the pressure reducing valve shall be protected from over-pressure in the event of a failure of the pressure reducing valve by way of a pressure relief valve or pressure relief device.

4.3.3 Pressure relief devices shall be suitable for their application including materials in contact with hydrogen and pressure and flow ratings.

4.3.4 Pressure relief devices operating at over 1 000 kPa shall be sized and designed to limit the pressure during a fault to less than 110 % of the maximum allowable working pressure. Re-closure shall occur at no less than 90 % of the set point. Pressure relief devices operating at or below 1 000 kPa shall be sized and designed to limit the pressure during a fault to less than 125 % of the maximum allowable working pressure. Re-closure shall occur at no less than 90 % of the set point.

4.3.5 A pressure relief valve shall have its discharge located so that operation of the named device does not result in a hazardous situation such as:

- a) hydrogen gas in excess of 25 % of the lower flammability limit (LFL) escaping to an unclassified or pressure-confined area within the fuel cell power system. The discharge of the pressure relief valve can be located within the fuel cell Power system by using an adequate ventilation or implementing an adequate safety controlled system composed by an Hydrogen sensor and a hydrogen shut-off valve plugging the leak in case of detection;
- b) deposition of moisture on live parts that could create a risk of electric shock;
- c) possible access of foreign objects, moisture or debris to enter the venting system not protected by caps, covers or other means;
- d) chance for the venting system to become unsecured or removed such that it would affect the intended flow path, or
- e) the pressure release is directed towards or impinged towards the normal operator position.

4.3.6 A pressure relief device vent shall be secured at intervals in such a manner as to minimize the possibility of damage, corrosion, or breakage of either the vent line or the pressure relief device due to expansion, contraction, vibration, strains, or wear and to preclude any loosening while in operation.

4.3.7 The vent system including the outlet connection of the relief device and associated vent lines shall be designed to withstand the maximum pressure developed during full flow operation of the relief device without becoming detached from its securement and without the vent cap, if provided, from being expelled.

4.3.8 All components located downstream from the pressure regulating valve and which are connected to the relief device, as shown in the example given by Figures 2, 3 and 4, shall have

- a pressure rating not less than 110 % of the maximum downstream pressure of the regulating valve on systems having pressure ratings greater than 1 000 kPa, and
- a pressure rating not less than 125 % of the maximum downstream pressure of the regulating valve on systems having pressure ratings less than 1 000 kPa in accordance with 4.3.4.

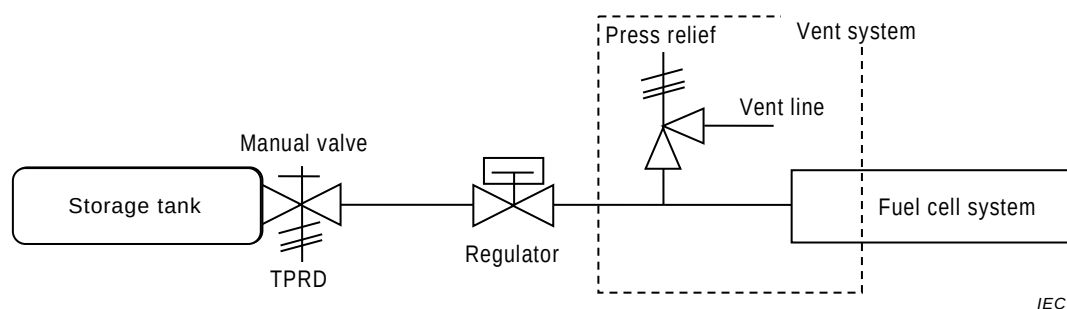


Figure 2 – Example of a diagram with vent system covering components downstream of the regulator

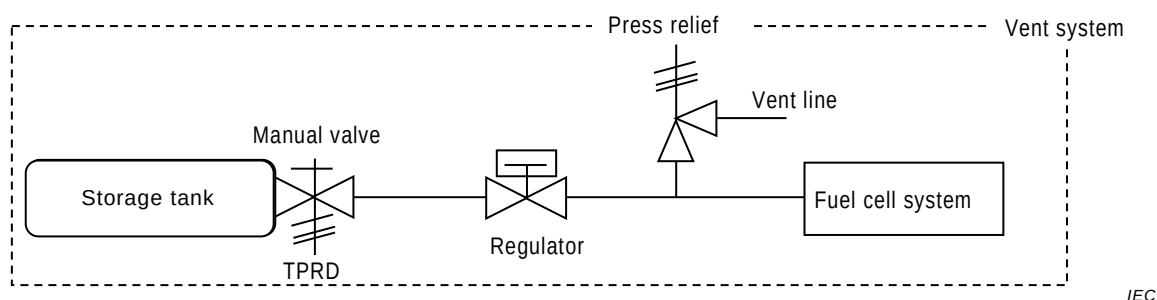


Figure 3 – Example of a diagram with vent system covering all components

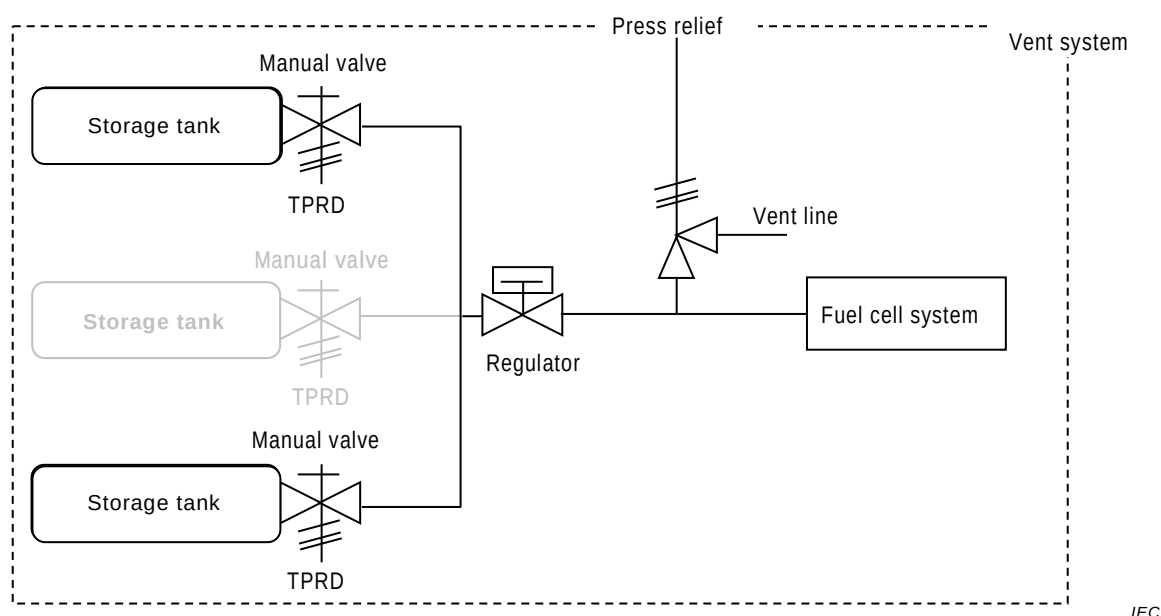


Figure 4 – Example of a diagram with vent system covering all components in a multiple storage tank system

4.4 Regulators

The gas pressure regulator shall be equipped with a vent limiter or a vent line.

4.5 Operating and shut-off valves

4.5.1 Valves shall be rated for the application, including pressure, temperature, fluids contacted, and electrical ratings, if applicable. Valves for flammable fluids shall comply with ISO 23551-1. Electrically operated valves shall comply with IEC 60730-2-17.

4.5.2 Fuels supplied to the fuel cell power system shall be supplied through fuel lines provided with at least one automatic safety shut-off valve. The safety shut-off valve may also be an operating valve. The closing time for a safety shut-off valve shall be no greater than 5 s.

4.5.3 If an emergency manual shut-off valve is deemed necessary by 4.15, it shall be in a readily accessible location and shall not have more than 90 degrees rotation from the open to the closed positions. Access to the manual shutoff valve shall not require the use of any key or tool. The valve shall be securely mounted and shielded or installed in a protected location to minimize damage from vibration or collision.

4.5.4 Where a manual valve is used, the valve shall be indicated with a marking in accordance with 3) g) of Clause 7.

4.5.5 Electrical and other automatically operated safety shut-off valves shall fail in a safe position.

4.5.6 Electrical valves located in classified areas shall be rated for the area of classification.

4.6 Filters

Air and fluid filters shall be suitable for the application and readily accessible if required to be inspected, cleaned, or replaced.

4.7 Pumps and compressors

4.7.1 Air compressors and air vacuum pumps employed in the system shall comply with ISO 10442.

4.7.2 Water pumps shall comply with IEC 60335-2-41.

4.7.3 Chemical and gaseous hydrogen pumps and compressors shall be evaluated to the applicable material compatibility requirements, mechanical and electrical requirements of this standard.

4.7.4 A flammable fluid compressor or pump with rotating or other type dynamic seals, shall be provided with adequate ventilation so that small releases of hydrogen or other flammable vapour under normal operating conditions shall not allow the concentration of flammable vapours to be above 25 % of the lower flammability limit (LFL) in the unclassified areas of the fuel cell power system during normal release.

4.8 Electrically operated pressure sensing and controlling devices

4.8.1 Pressure activated switches and transducers shall be rated for the application. A pressure regulating control for a flammable or combustible fluid shall be suitable for its classification and the fluid it contains.

4.8.2 The maximum operating pressure of a pressure limiting or regulating control shall not exceed 90 % of the operating pressure of a pressure relief valve. An accessible and adjustable pressure regulating control that can exceed the limits of the system shall be reliably sealed at the maximum operating pressure at which it is intended to operate.

4.9 Ventilation to prevent the build up of flammable gases and vapours

4.9.1 A fuel cell power system shall be provided with adequate ventilation so that normal releases under normal operating conditions shall not allow the concentration of flammable vapours to be above 25 % of the lower flammability limit (LFL) in the unclassified zones of the fuel cell power system. This normal release shall include nominal stack fuel leakage rates or fuel purges that may occur during operation.

4.9.2 The diluted concentrations of flammable vapours exiting the fuel cell power system even during abnormal operation shall not exceed 25 % of the lower flammability limit (LFL).

NOTE See IEC 62282-3-100 or IEC 62282-5-1.

4.9.3 The extent of a flammable region at a source of limited release (dilution boundary) shall be determined through appropriate analysis as outlined in IEC 60079-10-1.

4.9.4 Equipment located within the dilution boundary shall be suitable for the classification. Reference may be made to IEC 60079-0.

4.9.5 Abnormal releases of flammable fluids shall not create a safety hazard in accordance with 4.15, and shall result in the appropriate action, including the prompt shutdown of the equipment, if necessary, that will mitigate the hazard or prevent the creation of additional hazards.

4.9.6 Mechanical ventilation shall be provided to keep the dilution boundary of 25 % lower flammability limit (LFL); under conditions of normal release, away from the unclassified components. Failure of ventilation shall cause the fuel cell power system to respond in such a way that shall mitigate any hazard or prevent the creation of additional hazards in accordance with 4.15. This may include shutting off; either through the detection of high gas/vapour concentration or with ventilation interlock provisions.

- 1) Exception No. 1: Limited, localized volumes of flammable vapour concentration within the fuel cell power system may momentarily exceed the 25 % LFL of the flammable vapour, but it shall be determined in accordance with 4.15, that this transient condition does not create a safety hazard.
- 2) Exception No. 2: Mechanical ventilation is not required if it can be determined that the flammable gas/vapour concentration level falls below 25 % LFL under any conditions of normal release.

4.9.7 If gas detection is employed as a critical safety component in the fuel cell power system, the gas detection system shall comply with IEC 60079-29-1 and IEC 60079-29-4. Gas detection systems shall be located where they can most effectively measure the accumulation of vapour within the fuel cell power system and monitor the ventilation output as determined necessary.

4.9.8 If gas detection is employed as a critical safety component in the fuel cell power system, it shall be located in a control circuit that complies with Annex H of IEC 60730-1:2013, and in accordance with 4.14.1 of this standard.

4.9.9 Ventilation openings and ducts shall not become obstructed or compromised when the fuel cell power system is normally operated in the truck.

4.9.10 Fans, blowers, and other devices employed for the ventilation system shall be suitable for the application. If fans and ventilators are used as the primary safety mechanism to prevent the build-up of flammable gas/vapour, the failure of the ventilation system shall not create a safety hazard in accordance with 4.15. Fans shall comply with IEC 60335-2-80. Ventilators shall comply with ISO 21927-3.

4.10 Electrostatic discharge (ESD)

4.10.1 Hydrogen fuel containing parts and parts within classified zones (see 3.26) of the equipment shall be constructed of materials that do not promote static discharges.

4.10.2 The exposed portion of moving metal parts such as fan blades and wheels, located in classified areas of the system shall be made of, or covered with, medium brass, bronze, copper or aluminum with hardness not more than Rockwell B66. Energy storage components such as batteries or ultracapacitors, and major power electronics components, such as fuel cell stack module, shall have their external conductive cases bonded.

4.10.3 Components with non-current carrying metal parts and cases located in classified zones within the equipment shall be bonded.

4.10.4 When a self-contained fuel cell power system is installed in a truck, a conductive path shall be provided between the fuel cell equipment components requiring bonding and the grounding means of the truck.

4.10.5 Any fuel receptacle on the fuel cell power system provided for refuelling shall be bonded to the truck chassis.

4.10.6 The fuel cell power system installation instructions shall indicate that a means shall be provided in the end installation so that there is a conductive path between the truck body and ground. The installation instructions shall indicate that the total resistance between the fuel cell power system and ground shall not exceed 25 MΩ and any fuel receptacle on the fuel cell power system provided for refuelling shall be bonded to the truck chassis.

4.10.7 Nonmetallic fluid containing parts such as hoses and nonmetallic moving parts such as fan blades and belts located within the dilution boundary (see 3.6 and 4.9.3), shall comply with 3) of 5.10 or the test in accordance with the exception to 3) of 5.10.

4.10.8 Markings and instructions regarding the hazard involved with the buildup of static discharge and the means to mitigate this hazard shall be in accordance with 3) f) of Clause 7 and 2) of 8.4.

4.11 Discharges including methanol emissions and waste materials

4.11.1 The fuel cell power system shall be constructed so that waste materials, including water are not exhausted, discharged or leaked in a manner that could create unsafe conditions.

4.11.2 Emissions from methanol fueled fuel cell power systems shall not exceed safe limits. Compliance is determined by the emission of effluents test of 5.16. Systems shall be designed to prevent emissions from entering the passenger compartment of the end use industrial truck application.

4.12 Enclosures

4.12.1 A fuel cell power system shall be enclosed for protection from access by persons to electrical parts, safety circuits, hazardous moving parts, hot surfaces, and other parts that may be a risk of injury.

4.12.2 Openings in a fuel cell power system enclosure of hazardous parts shall be located and sized to provide adequate protection from access to hazardous parts complying with a minimum IPXXB or IP2X minimum rating as outlined in IEC 60529.

4.12.3 An enclosure for a fuel cell power system provided with an IP rating for ingress of water with harmful effects shall comply with 1) of 5.18.1. See also 2) of 5.18.1.

4.12.4 An external enclosure shall comply with the test of 5.18.1, unless the required protection is provided by the truck for an integrated fuel cell power system.

4.12.5 Non metallic enclosure materials shall be flame rated V-1 minimum in accordance with IEC 60695-11-10 or shall comply with the test for thermoplastic materials, 5.19.

4.12.6 Any thermoplastic enclosure of a fuel cell power system shall be suitable for the range of temperatures that it is subjected to during use.

4.12.7 The system enclosure shall be so designed that water (e.g. rain, condensate) can't stay inside the enclosure. Drains should be integrated in the enclosure.

4.12.8 In case of hydrogen leakage, the shut down valve shall be automatically operated. Similarly, the electrical switch shall be automatically shut down. The safety hydrogen sensor shall remain operational provided this does not increase the risk. In case of hydrogen safety sensor failure, the shut down valve shall be automatically operated. Similarly the electrical switch shall be automatically shut down. Considering battery and tank safety testing, the appropriate standards such as: IEC 62133 should be applied.

4.13 Fuel cell power system electrical components

4.13.1 General

4.13.1.1 Electrical components shall be rated for the application and conform to the appropriate standard for those components. They shall be located and secured so that they are not adversely affected by vibration, temperature, environment and other affects during normal operation of the fuel cell power system.

4.13.1.2 Electrical equipment internal to the fuel cell power system located in hazardous zones shall be identified hazard. Reference could be made to IEC 60079-0.

4.13.1.3 EMC is subject to regional requirements. See ISO/TS 3691-7 and ISO/TS 3691-8.

4.13.2 Internal wiring

- 1) The internal wiring shall consist of general-use wire specified in IEC 60204-1, or appliance-wiring material of one or more of the types specified in Table 1. The wiring shall be considered with respect to the temperature and conditions of service to which the wiring is to be subjected in the end truck installation.
Exception: at the connection to a component, wiring is permitted to extend beyond the braid for a length of no more than 254 mm.
- 2) Appliance-wiring material having a thickness of insulation less than the minimum acceptable value specified in Table 1 is permitted for a particular application, provided the insulation is considered with respect to temperature and conditions of service and is equivalent to one of the materials specified in the table.
- 3) A bare conductor is permitted to be insulated with insulating tubing or with noncarbonizable beads.
- 4) Wiring shall be protected against mechanical damage by:
 - enclosing it within the fuel cell power system enclosure for self-contained fuel cell power systems, and
 - enclosing it within the body of the truck for integrated fuel cell power systems.
- 5) A conductor connected to a moving or movable part that cannot be protected, shall be designed for the intended use and shall comply with the test requirements in this standard. Consideration shall be given to the resistance of the conductor to damage resulting from flexing, abrasion, or impact. Flexible metallic conduit is to be used only for flexible connections subject to small and infrequent movements.
- 6) Wiring connections to a continuously moving part, or a part for which the degree of movement is appreciable shall be in accordance with IEC 60227-5.
Exception: the tubing may be omitted from exposed moving conductors that are readily visible to the operator and are therefore, subject to replacement when damaged. The maintenance manual shall include instructions regarding inspection of these conductors for replacement when damage occurs in accordance with e) of 8.2.
- 7) All of the splices and connections shall be mechanically secure and shall provide electrical contact without stress on connections and terminals. A splice shall be provided with insulation equivalent to that on the wires involved.
- 8) A hole, by means of which insulated conductors pass through, shall be provided with a smooth, rounded bushing, or shall have smooth, rounded surfaces upon which the insulated conductors may bear.
- 9) Wireways shall be smooth and free from sharp edges, burrs, fins, or moving parts that may damage wiring.
- 10) An internal-wiring connection shall be made with a solder lug or pressure terminal connector.
Exception: control wiring and other small conductors, which are connected by, crimped or soldered special-type lugs or eyelets comply with the intent of this requirement.
- 11) A terminal lug shall be arranged so that in any position it cannot contact either the metal enclosure and non-energized accessible metal parts or other electrical circuits, or the shank of the lug shall be provided with insulation equivalent to that on the conductor.

Table 1 – Appliance-wiring material

Wire insulation	Minimum acceptable average insulation thickness mm
Rubber, neoprene or thermoplastic (PVC)	0,38 plus an impregnated braid, or 0,75 without a braid

4.13.3 External wiring

- 1) An external electrical output lead shall be of a size and capacity such that for a continuous maximum output, the insulation temperature does not exceed its rating at maximum ambient temperature. It shall be provided with insulation able to withstand flexing, handling, and impact at temperatures between 50 °C and –20 °C. If intended for exposure to extreme temperatures above 50 °C and at or below –20 °C, the lead shall comply with 5.23. The average insulation thickness shall be fixed in accordance with IEC 60227-3. The length of the lead and connector assembly shall be as short as practicable without interfering with the disconnecting operation and without placing stress on terminals when installed in the truck.
- 2) An external electrical output connector shall be rated for the output of the fuel cell power system. Live parts shall be recessed from the face of the connector to reduce the possibility of shorting. A removable portion of the connector shall be provided with means for being grasped during removal. The connector shall be located to provide mechanical protection when the fuel cell power system is installed in the end use.
- 3) External wiring shall be protected against mechanical damage by
 - a) enclosing it in the body of the truck,
 - b) enclosing it in metal raceway such as armored cable, rigid metal conduit or electrical metallic tubing, or
 - c) protecting it with metal, phenolic composition, or other thermosetting material having equivalent mechanical strength and resistance to impact and having no greater combustibility than phenolic.
- 4) This enclosure or protection shall be such that any flame or molten material, which may be caused by an electrical disturbance in the wiring, cannot reach surrounding combustible material.

Exception No. 1: This requirement does not apply to flexible external leads that require flexibility for disconnection, output leads of the fuel cell power system for example, that comply with 1) of 4.13.3.

Exception No. 2: This requirement does not apply to leads that, if damaged, do not result in a hazard.

4.13.4 Emergency switching off requirements (disconnection) for connections for fuel cell power system

- 1) An emergency switching off control or battery connector when used as an emergency switching off device shall be accessible to the operator in the normal operating position at all times.
- 2) The emergency switching off device shall be capable of interrupting without danger the power supplies to all moving elements where an interruption does not increase the potential risk. It shall be capable of interrupting the normal maximum current (including motor starting current) by one of the following methods:
 - a) fuel cell connector for voltage up to and including 120 V d.c. Above 120 V d.c., provision shall be made to prevent the use of the battery connector for emergency switching off purposes;
 - b) manually actuated power switch directly disconnecting one line of power supply;
 - c) manually actuated control switch disconnecting the power supply to the coil of one contactor in one line of the power supply. Simultaneously the power controller (e.g. inverter or controller for separate excited motors) shall be deactivated. In trucks driven by series-wound dc motor(s) with mechanical commutator without power controller, two independent contactors are necessary to switch off battery supply.

In the case of b) or c), they shall be a positive action type in accordance with IEC 60947-5-1 and the actuator coloured red. See also IEC 60947-3.

A contrasting colour shall be used if the background is red.

It shall be possible to re-establish the power supply to the moving elements only by manual resetting of the switching off device followed by the normal operation of the controls.

- 3) If the fuel cell connector is used as an emergency switching off system, the removable part of the connector shall have a means for disconnecting without damage to the fuel cell connectors or cables.

When the connector is used for emergency switching off, the device shall be capable of being disconnected quickly in case of emergency and the two half-connectors shall be able to be separated easily. The maximum force to separate the two half connectors shall not exceed 150 N.

4.13.5 Switches and motor controllers

- 1) A motor controller or switch shall be rated for the load that it controls. A motor controller shall have the current interrupting capacity not less than the locked rotor load of the motor controlled in accordance with IEC 60204-1.
- 2) A switch that controls an inductive load other than a motor, such as transformer, shall not be less than twice the rated full-load current of the transformer, or similar device, unless the switch has been investigated and found acceptable for the application.

4.13.6 Transformers and power supplies

- 1) Transformers located in hazardous voltage circuits shall be provided with overcurrent protection.
- 2) Class 2 and Class 3 transformers shall comply with IEC 60950-1 or IEC 61204-7.
- 3) Power supplies other than Class 2 shall comply with IEC 60950-1 or IEC 61204-7, as applicable.

4.13.7 Inverters, converters and controllers

Inverters, converters and controllers shall be subjected to the abnormal conditions tests (faulted components) of IEC 62103.

4.13.8 Lamps and lampholders

- 1) Lamps and lampholders shall be totally enclosed. A lamp lens shall be protected against mechanical damage by bars, grids, recessing or equivalent means.
- 2) A light emitting diode (LED), vacuum fluorescent display (VFD), backlit liquid crystal display (LCD), and any other display that may be a source of ignition when mechanically damaged shall be protected against mechanical damage.

4.13.9 Energy storage components

4.13.9.1 Batteries

- 1) Lithium batteries shall comply with IEC 62133. Lithium cells shall be provided with the appropriate reverse charging protection in the battery circuitry.
- 2) Lead acid type batteries shall comply with IEC TS 61430.
- 3) Other chemistries, such as nickel-cadmium or nickel-metal-hydride cells shall comply with IEC 62133.
- 4) For batteries employed as a fuel cell power system/power battery combination:
 - a) Cells employing metal containers, such as alkaline batteries, shall be insulated from one another and from a metal tray or metal battery compartment. Insulation of wood or other material shall be:
 - i) treated or painted to reduce deterioration by the battery electrolyte, and
 - ii) constructed to reduce the risk of damage to the insulation during the normal operation and maintenance of the truck.

- b) Battery terminals that are threaded shall be provided with lock washers or equivalent means to reduce the risk of a loose wiring nut-terminal connection causing an arc ignition of gases from the battery that may be present. A flat washer shall be used between a lock washer and any surface that is made of lead.
- c) Battery terminals shall be protected by insulating boots or covers, if applicable.

Exception No. 1: a terminal that is intended to be connected to ground on the truck frame need not be provided with a boot or cover.

Exception No. 2: this requirement does not apply to a built-in battery charger equipped with a ground-fault circuit interrupter or having an isolated secondary output.

4.13.9.2 Double layer capacitors (ultracapacitors)

For ultracapacitors employed as a fuel cell power system/ultracapacitor combination:

- a) Integral charging circuits for ultracapacitors shall be provided with reliable means of protection from overvoltage charging conditions and if necessary, overcurrent charging and discharging conditions.
- b) Ultracapacitors employing metal containers shall be insulated from one another and from a metal tray or metal capacitor compartment. Insulation shall be constructed to reduce the risk of damage to the insulation during the normal operation and maintenance of the truck.
- c) The metal container of an ultracapacitor that is connected to the negative electrode of the capacitor (negative electrode and the metal container or not insulated internally from each other) shall be considered part of the negative electrode and shall be enclosed or provided with an insulating cover.
- d) Ultracapacitor terminals that are threaded shall be provided with lock washers or equivalent means to reduce the risk of a loose wiring nut-terminal connection causing an external short between terminals.
- e) Ultracapacitor terminals shall be protected by insulating boots or covers, if applicable.
- f) Before maintenance or service of ultra-capacitors ensure they are fully discharged.

Exception No. 1: A terminal that is intended to be intentionally connected to ground on the truck frame need not be provided with a boot or cover.

Exception No. 2: this requirement does not apply to a built-in ultracapacitor charger equipped with a ground-fault circuit interrupter or an isolated secondary.

4.13.10 Electrical insulation

- 1) Materials employed as electrical insulation shall comply with ISO 1798, ISO 2440, the ISO 179 series, ISO 180 and the ISO 877 series.
- 2) The thickness of an insulating barrier employed as the sole insulation between uninsulated live parts and non-current carrying metal parts or between parts of opposite polarity shall be 0,71 mm thick minimum.
Exception: For a system with output rated 24 V or less, the thickness shall be 0,33 mm minimum.
- 3) For a system rated more than 24 V, where there is a minimum of half of the required acceptable spacing through air, a barrier or liner may be employed that has a minimum thickness of 0,33 mm.
- 4) Exception: For a system rated 24 V or less, the thickness shall be 0,15 mm minimum.

4.13.11 Limited power circuit

A limited power circuit shall comply with the test of 5.14.

4.13.12 Electrical spacings

The spacings in a fuel cell power system for industrial trucks shall not be less than as outlined in Table 2.

Exception No. 1: Minimum acceptable spacings are not specified in a limited power circuit as defined in 4.11.

Exception No. 2: Minimum acceptable spacings within a component shall be determined by the component standard.

Exception No. 3: Minimum acceptable spacings may be reduced from that outlined in Table 2 if the circuits are evaluated in accordance with IEC 60664-1, and the following:

- a) The reduced spacing requirements shall not be used at electrical connections to the truck or for spacings to a non-current carrying metal enclosure.
- b) The fuel cell is to be rated for overvoltage category I and pollution degree 3 as defined in IEC 60664-1. Circuits provided with protective enclosures without ventilation openings to allow for the entrance of dust, humidity and other conductive debris may be considered pollution degree 2 and circuits that are in hermetically sealed or encapsulated enclosures may be considered pollution degree 1.
- c) In order to apply clearance B (controlled overvoltage) clearances, control of overvoltage shall be achieved by providing an overvoltage device or system as an integral part of the fuel cell.
- d) All printed wiring boards are considered to have a minimum comparative tracking index (CTI) of 100 (material group IIIb).

Table 2 – Spacings

Location	Nominal voltage 24 V or less		Nominal voltage greater than 24 V ^a	
	Through air mm	Over surface mm	Through air mm	Over surface mm
In a power circuit – between a bare live part and (1) a bare live part of opposite polarity, or (2) a bare grounded part other than the enclosure	1,6	3,2	3,2	6,4
In a power circuit at a location where conductive dust cannot accumulate, such as a small totally enclosed cavity ^d	0,8	1,6	1,6	3,2
In other than a power circuit – between a bare live part and (1) a bare live part of opposite polarity, or (2) a bare grounded part other than the enclosure	1,6	1,6	1,6	1,6
In other than a power circuit at a location where conductive dust cannot accumulate, such as a small totally enclosed cavity ^d	0,8	0,8	0,8	0,8
Between any uninsulated live part and the ultimate enclosure ^e	12,7	12,7	12,7	12,7
Between any uninsulated live part and the ultimate enclosure where the enclosure is formed of 3,2 mm thick cast metal or 6,4 mm thick steel plate ^e	6,4	6,4	6,4	6,4
NOTE A circuit is considered a power circuit if it supplies a motor-control circuit that is not provided with overcurrent protection. A circuit is not considered a power circuit if it supplies a circuit with overcurrent protection.				
^a Maximum of 150 V. ^b These spacings apply to a system not electrically connected to the frame. ^c These spacings also apply to a nominal 24 V or lower-voltage system electrically connected to the frame. ^d Such as a point where a motor terminal passes through the motor frame. ^e If deformation of the enclosure at the point of measurement of spacings is likely, the spacings after deformation shall be as specified.				

4.13.13 Separation of circuits

- 1) A limited power circuit shall be separated from all other circuits either by
 - a) locating the circuit in a separate enclosure,
 - b) providing through-air and over-surface spacings as noted in Table 2, or
 - c) the use of barriers.
- 2) An internal wiring insulated conductor of a limited power circuit shall be either separated by barriers or segregated from live parts connected to different circuits or provided with insulation acceptable for the highest voltage involved.
- 3) The barriers noted in 1) c) of 4.13.13 are permitted to be bonded metal not less than 0,51 mm thick or insulating material not less than 0,71 mm thick.

- 4) Conductors of circuits operating at different potential shall be reliably separated from each other unless they are each provided with insulation acceptable for the highest potential involved.
- 5) Electrical separation of an individual circuit shall be applied according to the requirements of Clause 413 of IEC 60364-4-41:2005.

4.14 Control circuits

4.14.1 Safety controls

- 1) Electronic circuits relied upon for safety (a safety critical component, for example) shall be evaluated in accordance with Annex H of IEC 60730-1:2013.
- 2) Software relied upon for safety as a safety critical component shall be evaluated in accordance with level C given in ISO 13849-1. The electronic hardware of the software safety system shall be evaluated in accordance with Annex H of IEC 60730-1: 2013.

4.14.2 Start

- 1) The start of an operation shall only be possible when all of the safeguards are in place and are functioning in accordance with 4.15. The fuel cell power system shall be started only by an intentional operation of the start sequence unless it is determined that there is minimal risk with automatic restarting as determined by 4.15.
- 2) Restart of the fuel cell power system from a stop shall not result in a hazardous condition as determined by 4.15.

4.15 Safety/hazard analysis

The manufacturer of the fuel cell power system shall conduct a failure modes and effects analysis (FMEA) or other equivalent reliability analysis to identify faults that will affect the safety of the system.

NOTE Background information on FMEAs can be found in IEC 60812.

5 Performance requirements for safety and type tests

5.1 General

- 1) For the tests in 5.2 to 5.23, the fuel cell power system shall operate at maximum power:with controls set to maximum normal limits, unless otherwise noted in the test methods.
- 2) As a result of the tests in 5.2 to 5.23 there shall be no leakage from parts containing liquid or gas that would result in a hazardous condition, unless otherwise noted.

5.2 Vibration test

5.2.1 General

- 1) A fuel cell power system shall be subjected to a system vibration test in both the vertical and longitudinal/lateral axes in accordance with 5.2.2 and 5.2.3. The fuel cell power system shall not be operating for these tests. As a result of the tests, the fuel cell power system shall comply with 5.5, and 5.6.
Exception: if the fuel cell power system is intended for use in an industrial truck with a known vibration profile, that profile may be used instead of the profile outlined in 5.2.2 and 5.2.3.
- 2) A self-contained fuel cell power system is to be tested outside of the truck for in 5.2.2 and 5.2.3. The fuel cell power system is to be mounted using its own securement means, or a representative of the securement means, and secured to the test fixture of the vibration test apparatus in the same position which it occupies when in use.
- 3) An integrated fuel cell power system is not required to be tested in accordance with 5.2.2 and 5.2.3.

- 4) With reference to 2) of 5.2.1, Individual components or sub-systems may be tested by themselves so long as they are mounted and supported as they would be in the complete system. Components normally mounted near the test subject must be included or simulated if there is any chance of interference or contact between the parts.

5.2.2 Vertical axis test

The acceleration data for the vertical axis test shall be defined in collaboration with the truck manufacturer.

5.2.3 Longitudinal and lateral axes tests

The acceleration data for the longitudinal and lateral axis test shall be defined in collaboration with the truck manufacturer.

5.3 Fuel container securement test

- 1) Means shall be provided to secure fuel containers from becoming dislodged while in use or stored on the fuel cell power system. Lateral movement shall not exceed an amount that results in a hazardous condition. Any integral compressed gas fuel container shall include a connection fixture that will not allow the flow of gas until a positive gas seal has been achieved. The fuel connection device connecting the fuel supply and the system shall be suitable for its application
- 2) A lateral force equal to the full weight of the fuel container or cylinder shall be applied in any direction at the centre of the vertical height of the fuel container or cylinder. The fuel container (i.e. fuel cylinder) or any portion thereof, shall not become dislodged from its retention means

5.4 Endurance test

- 1) A fuel cell power system employing nonmetallic flammable fuel handling parts and/or flammable fuel pumps with dynamic seals shall be subjected to appropriate endurance testing in accordance with 2) of 5.5. The fuel cell power system shall comply with 5.6, before and after the test. There shall be no damage to the fuel cell power system that would result in a hazard. The fuel cell power system shall be operational.
- 2) The fuel cell power system shall be connected to a source of fuel and operated at a minimum of 50 % of the maximum continuous operating load conditions. This shall be done continuously for 720 h under normal operating pressures and temperatures.

5.5 External leakage test

5.5.1 External leakage – Hazardous gas containing portions (determination of dilution boundary)

- 1) The average measured gas concentration in the unclassified areas of the fuel cell power system near points of release or purge shall not exceed 25 % of the lower flammability limit (LFL).
- 2) The diluted concentrations of flammable vapours exiting the fuel cell power system shall not exceed 50 % of the lower flammability limit (LFL).
- 3) The fuel cell power system is to be operated under normal conditions of use until steady-state temperatures are obtained. The testing shall be carried out in a draft free area, with the system located at least 3 m from room vents or forced ventilation.
- 4) Flammable gas concentration measurements are to be made at the location of the unclassified equipment or the possible sources of ignition closest to possible sources of abnormal release relative to the ventilation flow path as determined in accordance with 4.15. Measurements are to be made at a maximum of 305 mm from the source of release, in locations above and horizontal to the source of release, in the center of flow.
- 5) The test shall be continued until four consecutive measurements have shown the increase in the flammable concentration does not exceed by more than 5 % of the mean of the four measurements. The test is to be continued until the trended average shows no increase

greater than 5 % over a period of 2 h. No individual measurement over 25 % LFL shall create a hazard in accordance with 4.15.

- 6) The time interval between measurements shall be greater than or equal to 30 min.
- 7) The test is to be conducted as many times as necessary to develop sufficient data with a minimum of 2 times.
- 8) The test shall include at least one purge cycle, if applicable.

5.5.2 External leakage – Hazardous liquid containing portions

- 1) This test shall be conducted before and after the endurance test of 5.4.
- 2) All hazardous liquid containing portions of the system shall be subjected to a hydrostatic pressure of 1,5 times the maximum operating pressure of the system. The test pressure shall be introduced gradually into the section under test while venting any gas present until the test pressure is reached. The test pressure is then held for a minimum of 30 min.
- 3) For this test, water or liquid fuel specified by the manufacturer may be used.
- 4) During the test, there shall be no sign of liquid leakage from the system.

5.6 Ultimate strength test

5.6.1 Ultimate strength – Hazardous liquids and pressurized parts

- 1) All parts conveying hazardous liquids and any other liquids under pressures of 206,8 kPa or greater are to be subjected to this test.
- 2) The parts under test are to be subjected to a hydrostatic pressure of 1,5 times the maximum allowable working pressure, which is to be introduced into the parts under test gradually, eliminating any gas, and then held at that pressure for a minimum of 5 min (according to the pressure vessel guidelines). Portions of the system at different pressures may each be tested separately at the appropriate test pressure.
- 3) Either water or another suitable test liquid, with similar properties to the liquid used in the system, may be used for this test.
- 4) The parts of the system subjected to this test shall withstand the test pressure without rupture, fracture, permanent deformation after pressure is removed, or other physical damage.

5.6.2 Ultimate strength – Hazardous gas and pressurized parts

- 1) All parts conveying flammable gas and any other gas conveying parts at pressures of 206,8 kPa or greater are to be subjected to this test.
- 2) The parts under test are to be subjected to a hydrostatic test at 1,5 times their maximum allowable working pressure (MAWP). If liquid test medium is not practical, the parts under test can be subjected to a pneumatic pressure test using air or other inert gas at 1,1 times their maximum allowable working pressure. The test pressure is to be gradually introduced. When conducting a hydrostatic pressure test, all gas remaining in the parts under test is to be released. When the test pressure is achieved, it is to be held for a minimum of 1 min.
- 3) Parts that are pressurized shall not show signs of rupture, fracture, deformation or other physical damage.

5.6.3 Ultimate strength – Fuel cell modules

- 1) A fuel cell module shall comply with the allowable working pressure test requirements of IEC 62282-2.
- 2) The oxidant and fuel sides of the cell stack may be interconnected and tested simultaneously at the same pressure.

5.7 Potential failure modes test

- 1) A review of the manufacturer's hazard analysis in accordance with 4.15, is to determine the scope of this test procedure, including whether or not the system is to be operating

during the test. Compliance with this section may also be determined through supporting evidence provided by the manufacturer.

- 2) Critical failure modes, as defined in 4.15, are to be simulated to determine if the safety system is functional and a safe shutdown of the system occurs.
- 3) Compliance with this section shall be determined by the safe shutdown of the system in accordance with the manufacturer's hazard analysis, upon initiation of a critical failure mode.

5.8 Temperature test

- 1) With the fuel cell system operating under maximum continuous load rating conditions, temperatures shall not reach a level high enough to cause a risk of a fire or damage to materials used, and temperatures measured on accessible surfaces and temperature-sensitive components and materials shall comply with Table 3.
- 2) A thermal or overload protective device shall not operate during this test.
- 3) All temperature rise values in Table 3 are based on an assumed ambient temperature of 25 °C. Tests may be conducted at any ambient temperature within the range of 10 °C to 40 °C when it is corrected by addition (if the ambient temperature is lower than 25 °C) or subtraction (if the ambient temperature is higher than 25 °C) of the difference between 25 °C and the ambient temperature.
- 4) Testing shall be continued until steady state temperatures are attained. Steady state temperatures are achieved when three successive readings taken at intervals of not less than 5 min indicate no further increase in temperatures.
- 5) Temperatures shall be measured by means of thermocouples. Temperatures on coil windings may be measured by either thermocouples or change of resistance method.
- 6) Thermocouples shall consist of wires not larger than 0,21 mm² and not smaller than 0,05 mm². The thermocouple wire shall conform to the requirements specified in the tolerances on initial values of EMF versus temperature tables in IEC 60584-1.
- 7) When using the resistance method, the windings shall be at room temperature at the start of the test, and the temperature rise of a winding is to be calculated using the formula:

$$\Delta t = \frac{R}{r} (k + t_1) - (k + t_2)$$

where

- Δt is the temperature rise in °C;
- R is the resistance of the coil in ohms at the end of the test;
- r is the resistance of the coil in ohms at the beginning of the test;
- t_1 is the initial room temperature in °C at the time resistance " r " is being measured (which is also the initial coil temperature) ;
- t_2 is the room temperature in °C at the end of the test; and
- k = 234,5 for copper and 225,0 for electrical conductor grade (EC) aluminium; values of the constant for other conductors are to be determined.

Table 3 – Temperature rise limits

Material and components	Temperature rise limits °C
Motors:	
Class 105 (A) insulation systems	
Thermocouple method	65
Resistance method	75
Class 130 (B) insulation systems	
Thermocouple method	85

Material and components	Temperature rise limits °C
Resistance method	95
Class 155 (F) insulation systems	
Thermocouple method	110
Resistance method	120
Class 180 (H) insulation systems	
Thermocouple method	125
Resistance method	135
Coils other than motors:	
Class 105 (A) insulation systems	
Thermocouple method	65
Resistance method	75
Class 130 (B) insulation systems	
Thermocouple method	85
Resistance method	95
Class 155 (F) insulation systems	
Thermocouple method	110
Resistance method	120
Class 180 (H) insulation systems	
Thermocouple method	125
Resistance method	135
Conductors:	
Rubber or thermoplastic insulated wires and cords (unless rated for higher temperatures)	35
Surface temperatures of components (unless rated for higher temperatures):	
Electrolytic capacitors	40
Other capacitors	65
Fuses	65
Electrical insulation (where deterioration would result in a safety hazard):	
Fibre	65
Laminated phenolic	100
Moulded phenolic	125
Other insulation materials ^a	–
Non-metallic enclosure, structural and functional materials ^a	–
Safety critical gaskets and seals ^a	–
Supporting and adjacent surfaces	65
A surface subject to continuous contact while the fuel cell power system is in use such as a momentary contact switch, etc.:	
Metallic	50
Non-metallic	60
A surface subject to deliberate contact while the fuel cell power system is in use, but not subject to continuous contact such as a switch:	
Metallic	60
Non-metallic	85
A surface subject to casual contact:	

Material and components	Temperature rise limits °C
Metallic	65
Non-metallic	83
^a Temperature limits are dependent on the temperature rating of the material.	

5.9 Continuity test

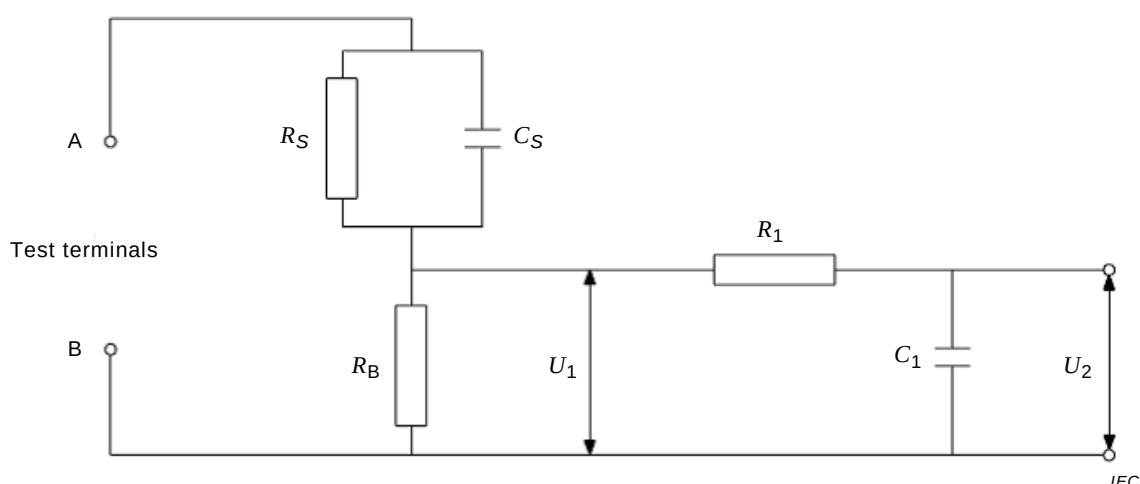
- 1) Portions of the fuel cell power system intended to be bonded to the truck for electrostatic discharge protection shall be subjected to a bonding test.
- 2) Metallic parts required to be bonded to avoid electrostatic discharge shall have the impedance measured with a suitable ohmmeter between all points of connection of the metallic parts to determine that the resistance does not exceed 1 Ω .
- 3) Nonmetallic fluid lines shall have a maximum resistivity of 1 M Ω metre when evaluated in accordance with the conductivity test in IEC 60079-0, (will identify required protection level and has standard references for the protection level).

5.10 Touch current test

- 1) A fuel cell power system with circuits and/or outputs greater than 42,4 V peak (60 V d.c. or 30 V r.m.s.) shall be subjected to the measurement of touch current test in 2) to 7) of 5.10.
- 2) The measured touch current limit for a fuel cell power system when tested in accordance with 3) of 5.10 shall not be more than
 - a) 0,5 mA for a.c. circuits, and
 - b) 2,0 mA for d.c. circuits.
- 3) All exposed conductive surfaces of equipment shall be tested for touch current. If a conductive surface other than metal is used for the accessible parts, the touch current shall be measured using metal foil with a maximum area of 10 mm $\times$ 20 mm in contact with the surface.

NOTE The metal foil has the largest area possible on the surface under test without exceeding the dimensions specified.

- 4) During the test, the fuel cell power system shall be operated at maximum continuous operating load and insulated from ground. Touch current shall be measured with the fuel cell power system in a thermally stabilized condition as in 5.9.
- 5) Testing shall be conducted with any single pole switches in both the on and off positions.
- 6) The measuring network for touch current weighted for perception or reaction is shown in Figure 5.



Key

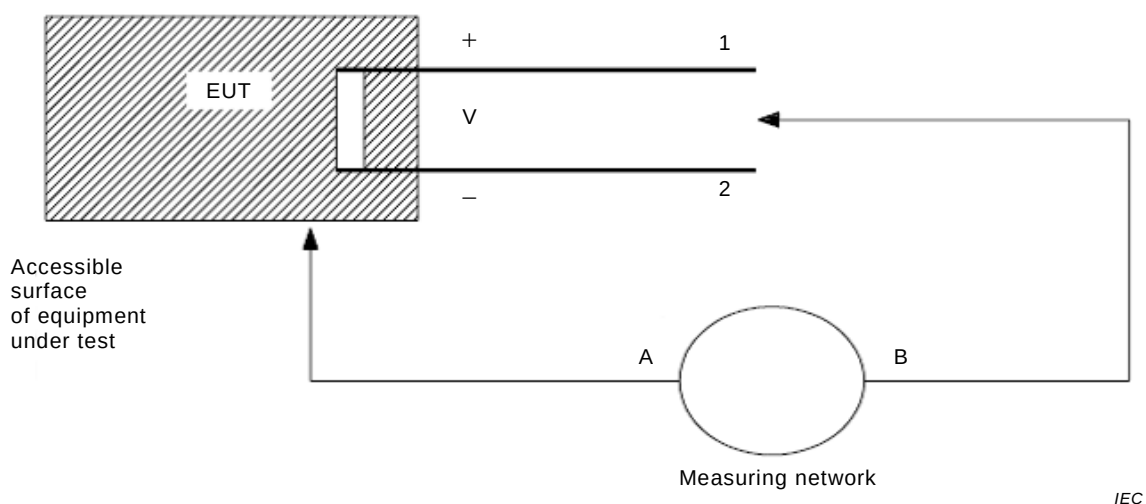
R_S = 1 500 Ω
 R_B = 500 Ω
 C_S = 0,022 μF

R_1 = 10 000 Ω
 C_1 = 0,022 μF

NOTE Voltage U_2 is the frequency-weighted value of U_1 so that a single, low frequency equivalent indication of touch current results for all frequencies present above 15 Hz. The weighted value of touch current is taken as the highest value of U_2 measured during testing divided by 500 V. Measurements for d.c. are made in a similar manner, but the value of touch current is taken as simply U_1 divided by 500 V.

Figure 5 – Measuring network, touch current weighted for perception or reaction

- 7) The arrangement of the test and connection of the test meter to the fuel cell power system under test is as illustrated in Figure 6 .



NOTE Test probe B is connected to output terminal 1 and then 2.

Figure 6 – Diagram for touch current measurement test

5.11 Dielectric voltage – Withstand test

- 1) Each high-voltage circuit (greater than 30 V r.m.s. or 42,4 V peak or 60 V d.c.) of the fuel cell power system shall withstand, without breakdown, the application of an essentially sinusoidal potential of 60 Hz at 1 000 V plus twice rated voltage if the truck system is rated more than 72 V, or 500 V otherwise. Semiconductors or similar electronic components liable to be damaged by application of the test voltage may be bypassed or disconnected.

Exception: a d.c. potential equal to 1,414 times the value for the a.c. potential may be applied instead.

- 2) The test voltages shall be applied for a minimum of 1 min.

5.12 Non-metallic tubing test for accumulation of static electricity

5.12.1 Passing criteria

No sparks shall be observed when a grounded metal sphere is brought into gradual contact with the non-metallic tubing after it has been electrostatically charged.

5.12.2 Test method

Three samples of the tubing with ground point electrodes (i.e. metal fittings) shall be conditioned for at least 48 h at a relative humidity of (25 ± 10) %.

Immediately after removal from the low-humidity chamber, the samples are to be supported by means of insulators in a room having a relative humidity not more than 35 % and having all sources of light, other than electrical sparks, eliminated. The ground point electrodes are to be grounded. An electrostatic charge is to be sprayed on nonconductive parts of the product using an electrostatic generator limited to 5 000 V.

A 9,5 mm (3/8 inches) diameter grounded metal sphere is to be brought into gradual contact with the sample. If no sparks appear, the sample passes the test.

5.13 Limited power circuit test

- 1) A limited power source shall comply with one of the following:
- a) the output is inherently limited in compliance with Table 4;
 - b) an impedance limited output in compliance with Table 4. If a positive temperature coefficient device is used, it shall comply with Clause 15, Clause 17 and Annex J of IEC 60730-1:2013;
 - c) a non-arcing over-current protective device is used and the output is limited in compliance with Table 5;
 - d) a regulating network limits the output in compliance with Table 4 both under normal operating conditions and after any single fault conditions in the regulating network (open circuit or short circuit); or
 - e) a regulating network limits the output in compliance with Table 4 under normal operating conditions and a non-arcing over-current protective device limits the output in compliance with Table 5 after any single-fault condition in the regulating network (open circuit or short circuit). If the overcurrent protection means is a discreet arcing device, further evaluation with respect to its isolation from potentially flammable gas vapours should be made.

NOTE The reason for making measurements with overcurrent protection means bypassed is to determine the amount of energy that is available to cause possible overheating during the operating time of the overcurrent protection means.

- 2) The load referenced in footnotes b) and c) of Tables 4 and 5 shall be adjusted to develop maximum current and power transfer respectively. Single faults in a regulating network are applied under these maximum current and power conditions.

Table 4 – Limits for inherently limited power sources

Output voltage d.c. ^a V_{oc}	Output current ^b I_{sc}	Apparent power ^c $ S $
V_{dc}	A	VA
≤ 20	$\leq 8,0$	$\leq 5 \times V_{oc}$
$20 < V_{oc} \leq 30$	$\leq 8,0$	≤ 100
$30 < V_{oc} \leq 60$	$\leq 150 / V_{oc}$	≤ 100
^a V_{oc} : Output voltage measured with all load circuits disconnected. Voltages are for ripple-free, d.c. ^b I_{sc} : Maximum output current with any non-capacitive load, including short circuit, measured 60 s after application of load. ^c S (VA): Maximum output VA with any non-capacitive load measured 60 s after application of load.		

Table 5 – Limits for power sources not inherently limited (overcurrent protection required)

Output voltage ^a V_{oc}	Output current ^b I_{sc}	Apparent power ^c $ S $	Current rating of overcurrent protection ^d
V_{dc}	A	VA	A
≤ 20			$\leq 5,0$
$20 < V_{oc} \leq 30$	$\leq 1\,000 / V_{oc}$	≤ 250	$\leq 100 / V_{oc}$
$30 < V_{oc} \leq 60$			$\leq 100 / V_{oc}$
^a V_{oc} : Output voltage measured with all load circuits disconnected. Voltages are for ripple free, d.c. ^b I_{sc} : Maximum output current with any non-capacitive load, including short circuit, measured 60 s after application of load. Current limiting impedances in the equipment remain in the circuit during measurement, but overcurrent protection means are bypassed. ^c S (VA): Maximum output VA with any non-capacitive load measured 60 s after application of load. Current limiting impedances in the equipment remain in the circuit during measurement, but overcurrent protection means are bypassed. ^d The current ratings of the overcurrent protection means are based on fuses and circuit-breakers that break the circuit within 120 s with a current equal to 210 % of the current rating specified in the table.			

5.14 Maximum VA test

- 1) One sample of the fuel cell power system shall be subjected to a maximum VA output check in accordance with 2) and 3) of 5.14.
- 2) With the output of the fuel cell power system connected to a variable load, the maximum VA of the system is to be measured for 60 s. The load shall be capable of being varied from zero to short circuit during the test.
- 3) The output VA of the system shall not exceed the marked rated output value, see 2) c) of Clause 7, by more than $\pm 10\%$.

5.15 Abnormal operation test – Electric equipment failures

- 1) The fuel cell power system shall be subjected to the electrical component faults noted in 2) to 4) of 5.15. The introduced faults of the electrical components shall not result in a shock or fire hazard from the fuel cell power system.
- 2) The fault conditions are to be maintained for 7 h or until ultimate results occur. Ultimate results include thermal stabilization of the system or the opening of a fuse or other protective device.
- 3) The following fault conditions, as applicable to the system, are to be conducted:

- a) the fuel cell power system output short-circuited;
 - b) the rotor of each blower or fan motor locked, one at a time, if the system relies upon forced ventilation;
 - c) the polarity of batteries reversed, if the batteries employed in the system are user replaceable or the battery connector is not polarized;
 - d) the fuel cell power system operating at maximum available power as determined by maximum VA, 5.14, unless a fuse opens;
 - e) the system operating at 135 % of the ampere rating of the protective fuse, with the fuse bypassed, if a fuse operates during condition d); and
 - f) the absence of liquid supplied for liquid pumps that require a liquid for cooling purposes.
- 4) If a protective device opens during conditions 3) a) to d) and f) of 5.15, the test shall be
- a) terminated, if a non-resettable, non-automatic protector functions,
 - b) continued for 7 h if an automatic-reset protector functions, or
 - c) continued for 10 cycles at a rate not faster than 10 operations/min if a manual reset device operates.

5.16 Emission of effluents test (only for methanol fuel cells)

- 1) A methanol fuel cell power system capable of producing emissions of any materials given in Table 6 shall not exceed the emission limit in Table 6.
- 2) The methanol fuel cell power system shall be operated at rated power in an open room or outdoors. During the operation, a sufficient effluent samples shall be secured to allow a determination of compliance with this subclause.
- 3) Effluent sample shall be secured at a point of exhaust discharge of the methanol fuel cell power system. The results of the analyses shall be compared to the limits in Table 6. If the measured rate is less than the limit, the direct methanol fuel cell power system passes the test.

Table 6 – Emission rate limits

	Emission rate limit
Methanol	1,8 g/h
CO	0,20 g/h
CO ₂	No limit

5.17 Environmental test

5.17.1 General

A fuel cell power system fuel by methanol shall not create a hazardous or unsafe condition when exposed to winds having nominal velocities up to and including 16 km/h. Compliance with this clause is demonstrated by testing according to 5.17.3.

5.17.2 Rain test

Enclosures shall be compliant with the IPX4 in accordance with IEC 60529. Compliance with this clause is demonstrated by testing required by IEC 60529.

An IP2X is acceptable for units designed and labelled for indoor operation only.

5.17.3 Test of equipment – Exposure to wind

- 1) A fuel cell power system marked with a maximum wind speed in accordance with 2) k) of Clause 7 shall be subjected to this test for exposure to winds.
- 2) The fuel cell power system shall not be adversely affected by wind.
- 3) The fuel cell power system shall operate without damage or malfunctioning of any part and without creating a hazardous condition when exposed to winds having nominal velocities of 50 km/h or the manufacturer's rated maximum wind speed marked on the product, whichever is higher.
- 4) A wind produced by a fan or blower having a velocity of 50 km/h or the manufacturer's rated maximum wind speed marked on the product, whichever is higher, is to be directed against an outer surface of the fuel cell power system at directions considered worse case. The fan or blower is to be located so that a uniform wind, covering the entire projected area of the outer surface of the system, is directed horizontally toward the fuel cell power system at the specified velocity measured in a vertical plane 457,2 mm from the windward surface of the fuel cell power system.

5.18 Enclosure tests

5.18.1 Enclosure loading test

- 1) The self-contained fuel cell power system enclosure housing shall be constructed so that a loading force does not cause damage to the fuel cell, shorting of electrical spacings within the fuel cell, or other hazards.
- 2) A 1 110 N force shall be applied to any 930 cm² area of the top of the enclosure for a period of 1 min, when a fuel cell power system includes a top of the enclosure.

5.18.2 Test for thermoplastic enclosures

5.18.2.1 Impact test

A thermoplastic enclosure shall comply with the in accordance with IEC 60695-10-2. The enclosure shall also to be subjected to an 136 J impact test. The impact test is to be conducted by dropping a steel sphere, 101,6 mm in diameter and weighing 4,5 kg from a height of 3,0 m.

5.18.2.2 Cold impact test

A fuel cell power system intended for cold temperature use marked for use at or below –20 °C in accordance with 2) f) of Clause 7 that utilizes a thermoplastic enclosure shall comply with the cold impact test, minus 30 °C conditioning or 10 °C below the marked rated temperature, whichever is lower, in accordance with IEC 60695-1-30 and the IEC 60695 series, except that the enclosure shall be subjected to an impact of 136 J during the test. The test shall be conducted by dropping a steel sphere, 101,6 mm in diameter and weighing 4,5 kg from a height of 3,0 m.

5.18.2.3 Mould stress test

- 1) A thermoplastic enclosure shall be subjected to the test in accordance with IEC 60695-10-2.
- 2) As a result of the mould stress test, there shall be no warping, melting or other deformation of the enclosure that would expose hazardous parts, or affect ventilation or other systems that could affect safe operation of the fuel cell power system.

5.19 20 mm moulded part needle flame test for thermoplastic materials

- 1) As an alternative to classifying thermoplastic enclosure materials as V-0 or V-1, a 20 mm flame test of the moulded part(s) as outlined in 2) to 4) of 5.19 may be conducted.
- 2) The test shall be conducted employing the apparatus and test flame described in IEC 60695-11-4.

- 3) Two 30 s applications of the tip of the 20 mm flame shall be made to each section of the enclosure selected as indicated above, with 1 min intervals between applications. A supply of technical grade methane gas shall be used with a regulator and meter for uniform gas flow.
- 4) The enclosures shall not flame for more than 1 min after two 30 s applications of a test flame with an interval of 1 min between applications of the flame. The results are not acceptable if the sample is completely consumed.

5.20 Marking plate adhesion test

- 1) To determine if a marking plate secured by adhesion complies with Clause 7, representative samples shall be subject to 2) to 5) of 5.20. In each test, three samples of the marking plates shall be applied to the same test surfaces as employed in the intended application.
- 2) Immediately following each of the tests in 3) to 5) of 5.20 and after exposure to room temperature for 24 h, each sample shall
 - a) demonstrate good adhesion and the edges shall not be curled,
 - b) resist defacement or removal as demonstrated by scraping across the test panel with a flat metal blade 1,76 mm thick, held at a right angle to the test panel, and
 - c) have legible printing that is not defected by rubbing with thumb or finger pressure. Printing should resist removal from general cleaning chemicals or by rubbing with thumb or finger pressure.
- 3) For air-oven aging, three samples of the marking plates shall be placed in an air-circulating oven maintained at a temperature of 85 °C for 240 h.
- 4) For immersion testing, three samples of the marking plates shall be placed in a controlled atmosphere maintained at (23 ± 2) °C with a (50 ± 5) % relative humidity for 24 h. The samples shall then be immersed in water at a temperature of (23 ± 2) °C for 48 h.
- 5) For standard atmosphere testing, three samples of the marking plates shall be placed in a controlled atmosphere, maintained at (23 ± 2) °C with (50 ± 5) % relative humidity for 72 h.

5.21 Test for elastomeric seals, gaskets and tubing

5.21.1 General

Elastomeric seals, gaskets and tubing relied upon for safety shall be subjected to the test in 5.21.2, and in 5.21.3, as applicable.

5.21.2 Accelerated air-oven aging test

Elastomeric seals, gaskets and tubing relied upon for safety shall be suitable for temperatures encountered and shall comply with the test in accordance with ISO 16010.

5.21.3 Cold temperature exposure test

- 1) Elastomeric seals, gaskets and tubing relied upon for safety and intended for extreme cold temperature use systems rated at or below minus 20 °C shall not become brittle to the extent that they will not function as intended as a result of 2) of 5.21.3.
- 2) Parts described in 5.21.1 shall be subjected to the test in accordance with ISO 16010.

5.21.4 Immersion test

Elastomeric seals, gaskets and tubing relied upon for safety shall be suitable for exposure to fluids such as methanol encountered in use and shall comply with the volume change test in Liquid B in accordance with ISO 16010 except that the test liquid shall be representative of the liquid the material will be exposed to (i.e. 100 % methanol or a methanol blend) and the volume change allowed shall be (25 ± 1) % of the as received value.

5.22 Test for permeation of non-metallic tubing and piping

- 1) Non-metallic tubing and piping containing flammable gas and vapours shall be sufficiently nonpermeable to those gases and vapours.
- 2) Non-metallic tubing and piping shall be subjected for permeability to hydrogen in accordance with ISO 4080.

5.23 Test for electrical output leads

- 1) The electrical output leads of a fuel cell power system intended for exposure to extreme temperatures above 50 °C and at or below –20 °C shall be constructed so that they can withstand the test in 2) of 5.23 based upon the extreme temperatures as marked in accordance with 2) f) of Clause 7.
- 2) Parts described in 1) of 5.23 shall be subjected to the test in accordance with ISO 16010, at 10 K higher than the marked temperature rating, but no less than 70 °C for 168 h. After conditioning, the leads shall be examined for signs of deterioration such as cracking and melting.

Exception: leads with insulation marked with a temperature rating meeting the high temperature marked on the system in accordance with 2) f) of Clause 7 are not required to be subjected to this test.

6 Routine tests

6.1 Dielectric voltage-withstand test

The test in 5.11 shall be conducted on 100 % production except that the time can be lowered to 1 s if the test potential is increased by 120 % of the rated voltage ($1\,000 + 2,4 \times V_{\text{rated}}$).

Exception: This production line test is not required to be conducted on low-voltage circuits.

6.2 External leakage

- 1) An external leakage on the flammable fluid containing portions of the system shall be subjected to an external leak test on 100 % production.
- 2) While under normal operating pressures, the gas containing portions of the system shall not leak after operation for 1 min. Visible signs of soap bubbles, pressure decay or similar occurrences, as applicable to method of test, shall indicate leaks in the system.
- 3) The fuel cell power system shall be operated, or the parts under test pressurized at normal operating pressure. Areas for potential leaks such as at fittings are to be tested for leaks using a soap and water leak detection solution or equivalent means.

7 Markings

- 1) The nameplate markings specified in 2) of Clause 7 shall be permanently secured to the fuel cell power system. If an adhesive is used to secure the marking plate on the fuel cell, then the adhesive shall comply with the test of 5.20.
- 2) The fuel cell power system marking plate shall include the following:
 - a) the manufacturer's name, trademark or other descriptive marking by which the organization responsible for the product can be identified;
 - b) a catalogue number or the equivalent;
 - c) output electrical rating in nominal system volts, maximum continuous amperes and the maximum VA;
 - d) type of fuel utilized, including service pressure and maximum operating pressure;
 - e) where the fuel tank is fixed and not easily viewed, the label shall include the total fuel container water volume, in litres, along with the re-test date(s) or expiration date;
 - f) minimum and maximum ambient operating temperatures;

- g) minimum and maximum storage temperatures, if different from f);
 - h) weight of the fuel cell power system, for self-contained systems only;
 - i) centre of gravity of the fuel cell power system, for self-contained systems only;
 - j) an IP rating may be provided on a fuel cell power system intended to be evaluated to a minimum IP rating. See 5.18.1; and
 - k) a marking of maximum wind speed for fuel cell power systems (intended to be exposed to elevated wind speeds up to 50 km/h or the manufacturer's rated maximum wind speed marked on the product, whichever is higher).
- 3) All other required markings in 3) a) to 3) j) of Clause 7 shall be permanent in accordance with 1.7.11 of IEC 60950-1:2005.
- a) A fuel cell power system intended for field installation shall also include a marking indicating that the system is intended for field installation by qualified personnel only.
 - b) Systems provided with replaceable fuses shall be marked with the current and voltage rating of the fuse near the fuse holder.
 - c) The polarity of the output leads shall be marked on the leads unless they are terminated in a polarized connector.
 - d) Fuel tanks provided for the system shall be marked with the appropriate fuel and pressure.
 - e) The fuel cell power system shall be marked to indicate that it has to be properly connected to the truck bonding system.
 - f) With reference to 4.5.4, where a manual valve is used for flammable gas supplied to the fuel cell power system, the valve shall be indicated with a marking of the words "MANUAL SHUTOFF."
 - g) All documentation and nameplates of pressure vessels shall reflect the standard the pressure vessels meet and the relevant maintenance and testing required.
 - h) Nameplate and documentation of tanks shall include the effective end of service date of the pressure vessels based upon the worse case analysis.
 - i) Markings shall be in the language(s) of the country in which the truck is to be use, in accordance with national law (ISO 3691-1). A pictogram is also sufficient.
 - j) The use of symbols should also be in accordance with ISO 7010 and/or ISO 3864-1.

8 Instructions

8.1 General

- 1) The fuel cell power system shall be provided with an instruction manual in the national language of the operation country.
- 2) The instruction manual shall include maintenance, operating and installation instructions in accordance with 8.2 to 8.4.
- 3) The instruction manual shall include a wiring diagram and a fuel line layout drawing.
- 4) The operating and storage instructions shall describe the possible hazards resulting from the use of fuels and any precautions to be taken when handling the materials.
- 5) Information giving requirements for installation, maintenance, charging and handling shall be included in the fuel cell and/or truck installation manual.
- 6) The manual shall include information about recycling and handling of a damaged fuel cell.

8.2 Maintenance instructions

The maintenance instructions shall include the following, as applicable:

- a) For a fuel cell power system provided with replaceable batteries, instructions for battery replacement including the type and rating of the batteries.

- b) For a fuel cell power system with replaceable fuses, instructions for replacement of fuses including the type, voltage and current rating of the fuses.
- c) Instructions indicating that the area in which a fuel cell power system is employed shall be free of flammable and combustible materials such as gasoline.
- d) Instructions regarding the need to keep all ventilation and exhaust openings from becoming blocked so that air is not obstructed and that any required clearances to maintain suitable ventilation and exhaust shall be maintained when installed in the truck.
- e) Instructions for basic inspection and maintenance such as filter cleaning, replacement of parts, and lubrication of parts. See also the exception in 7) of 4.13.2.
- f) The source for replacement parts.
- g) An explanation of the necessity for and the minimum frequency of periodic examinations and inspections by qualified personnel. For example, the checking of any safety critical components requiring calibration such as gas detectors and pressure switches.
- h) The fuel cell display shall show if a maintenance is necessary or the fuel cell manufacturer shall specify when a maintenance is necessary and indicates it.

8.3 Operating instructions

The operating instructions shall include the following, as applicable:

- a) Instructions for starting up and shutting down the fuel cell power system.
- b) Complete instructions for the proper refuelling of the fuel cell power system.
- c) For a fuel cell power system with no IP rating for ingress of water, the statement "WARNING: not rated for use in high humidity up to 95 %, wet, or rainy conditions."
- d) For a fuel cell power system not designed for temperature extremes, the statement, "WARNING: not rated for use below ____ degrees. Not rated for use above ____ degrees."
- e) Information regarding provisions for adequate process and ventilation air. This shall include the following statement "This fuel cell power system uses oxygen from the area in which it is being used. It should not be used in a confined space or unusually tight construction, unless provisions are provided for adequate process and ventilation air." An example for determining the volume of a typical area should also be included.

NOTE Unusually tight construction is considered as construction where

- 1) walls and ceiling exposed to the outside atmosphere have a continuous water vapour retarder with a rating of $6 \times 10^{-11} \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{Pa} \times \text{s})$ (1 perm) or less with openings gasketed or sealed;
- 2) weather stripping has been added on windows and doors that are able to be opened; and
- 3) caulking or sealants are applied to areas such as joints around window and door frames, between sole plates and floors, between wall-ceiling joints, between wall panels, at penetrations for plumbing, electrical and gas lines, and at other openings.

8.4 Installation instructions

- 1) Instructions shall be provided for the proper installation of the fuel cell power system including, but not limited to spacings requirements, location of ventilation and exhaust openings, securement, electrical connections and fuel connections. Where a hazard may be present through system orientation or positioning, instructions shall be provided and the system so labelled.
- 2) The installation instructions shall have instructions regarding the proper bonding of the fuel cell power system to the truck grounding means, see 4.10.5.
- 3) If storage tanks are provided, instructions for the proper installation of the storage system including instructions for the connections of the fuel lines to the fuel cell power system shall be included.
- 4) The installation instructions for a field installed fuel cell power system shall include a statement indicating that the system is intended for field installation by qualified personnel only.

Annex A (informative)

Comparison of pressure terms

Table A.1 – Comparison table of pressure terms

Pressure terminology	Standards/codes				
	ISO/TS 15869 (2009)	NFPA 52 (2010)	ASME B & PV Code Sec. VIII	SAE J2600 (2002)	UL 2267 (2006)
Service pressure (SP)	–	Same as NWP	–	–	25 Mpa or 35 MPa
Nominal working pressure (NWP) or just working pressure (WP)	WP Same as NWP or SP	–	–	Same as SP	–
Maximum operating pressure (MOP)	–	1,25 × SP, Same as MFP	–	1,25 × NWP, Same as MFP	1,25 × SP, 31,25 MPa or 43,75 MPa
Maximum fill pressure (MFP)	1,25 × WP, Same as MOP	–	–	1,25 × NWP, Same as MOP	–
Design pressure	–	–	DP	–	–
Maximum allowable working pressure (MAWP)	–	1,38 × SP	MAWP	1,38 × NWP	1,38 × SP, 34,5 MPa or 48,3 MPa

Bibliography

IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

IEC 60034-11, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*

IEC 60079-20-1, *Explosive atmospheres – Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data*

IEC 60093, *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60243 (all parts), *Electric strength of insulating materials – Test methods*

IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60812, *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*

IEC TS 62282-1:2013, *Fuel cell technologies – Part 1: Terminology*

IEC 62282-3-100, *Fuel cell technologies – Part 3-100: Stationary fuel cell power systems – Safety*

IEC 62282-5-1, *Fuel cell technologies – Part 5-1: Portable fuel cell power systems – Safety*

ISO/TS 15869, *Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks*

ISO 16000-3, *Indoor air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air – Active sampling method*

ISO 16000-6, *Indoor air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID*

ISO 16017-1, *Indoor, ambient and workplace air – Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography – Part 1: Pumped sampling*

UL 2267, *Fuel Cell Power Systems for Installation in Industrial Electric Trucks*

UL 60730-1A, *Automatic Electrical Controls for Household and Similar Use, Part 1: General Requirements*

UL 2054, *Batteries, Household and Commercial*

UL 1642, *Batteries, Lithium*

UL 1989, *Batteries, Standby*

UL 877, *Circuit Breakers and Circuit-Breaker Enclosures for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 507, *Fans, Electric*

UL 2075, *Gas and Vapour Detectors and Sensors*

UL 157, *Gaskets and Seals*

UL 536, *Connectors for Gas Appliances, ANSI Z21.24/CSA/CGA 6.10, or the Standard for Flexible Metallic Hose*

UL 698, *Industrial Control Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 583, *Industrial Trucks, Electric-Battery-Powered*

UL 60950-1, *Information Technology Equipment Safety – Part 1: General Requirements*

UL 840, *Insulation Coordination Including Clearances and Creepage Distances for Electrical Equipment*

UL 1741, *Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources*

UL 969, *Markings and Labeling Systems*

UL 1450, *Motor-Operated Air Compressors, Vacuum Pumps, and Painting Equipment*

UL 1004, *Motors, Electric*

UL 2111, *Motors, Overheating Protection for*

UL 886, *Outlet Boxes and Fittings for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 746C, *Polymeric Materials – Use in Electrical Equipment Evaluations*

UL 1012, *Power Units Other Than Class 2*

UL 778, *Pumps, Motor-Operated Water*

UL 79, *Pumps, Power-Operated for Petroleum Dispensing Products*

UL 1998, *Software in Programmable Components*

UL 991, *Tests for Safety-Related Controls Employing Solid-State Devices*

UL 1585, *Transformers, Class 2 and Class 3*

UL 429, *Valves, Electrically Operated*

UL 842, *Valves for Flammable Fluids*

UL 705, *Ventilators, Power*

NFPA 54, *The National Fuel Gas Code*

ANSI/NFPA 70, *National Electrical Code*

NFPA 497, *Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases or Vapours and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*

NFPA 505, *Powered Industrial Trucks Including Type Designations, Areas of Use, Conversions, Maintenance, and Operation*

ANSI/ASME B31.1, *Power Piping*

ANSI/ASME B31.3, *Process Piping*

ANSI/IAS NGV 4.2, *Hoses for Natural Gas Vehicles and Dispensing Systems*

ANSI/ASME B31.12, *Hydrogen Piping and Pipelines, Part IP*

ANSI/ISA MC96.1, *Thermocouples table in Temperature-Measurement Thermocouples*

ANSI Z21.24/CSA/CGA 6.10, *Connectors for Gas Appliances* CSA America HPRD1, *Basic Requirements for Pressure Relief Devices for Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Containers*

SAE J2600, *Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refuelling Connection Devices*

SAE J2719, *Hydrogen Quality Guideline for Fuel Cell Vehicles*

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), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)*

SAE J517, *Hydraulic hose,*

ASTM G 142, *Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both*

ASTM F 1459, *Determination of the Susceptibility of Metallic Materials to Gaseous Hydrogen Embrittlement*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	55
INTRODUCTION.....	57
1 Domaine d'application	58
2 Références normatives	59
3 Termes et définitions	63
4 Exigences de construction en matière de sécurité	67
4.1 Généralités	67
4.2 Parties contenant de l'hydrogène et autres fluides	67
4.2.1 Généralités	67
4.2.2 Tuyauteries, flexibles, tubulures et raccords	68
4.2.3 Réservoirs d'hydrogène sous pression.....	69
4.2.4 Conteneur en hydrure métallique	70
4.2.5 Réservoir de combustible méthanol	70
4.3 Protection contre les surpressions et protection thermique.....	71
4.4 Régulateurs	74
4.5 Robinets de commande et d'arrêt.....	74
4.6 Filtres	74
4.7 Pompes et compresseurs.....	74
4.8 Dispositifs électriques de commande et de détection de la pression.....	75
4.9 Ventilation destinée à éviter l'accumulation de gaz et de vapeurs inflammables	75
4.10 Décharges électrostatiques (DES)	76
4.11 Décharges, y compris les émissions de méthanol et les rejets	77
4.12 Enceintes.....	77
4.13 Composants électriques du système à piles à combustible	77
4.13.1 Généralités	77
4.13.2 Câblage interne	78
4.13.3 Câblage externe	79
4.13.4 Exigences de mise hors tension (déconnexion) d'urgence pour les connexions de systèmes à piles à combustible	79
4.13.5 Commutateurs et appareils de commande de moteurs	80
4.13.6 Transformateur et alimentations	80
4.13.7 Onduleurs, convertisseurs et appareils de commande	80
4.13.8 Lampes et douilles.....	80
4.13.9 Organes de stockage d'énergie	81
4.13.10 Isolation électrique	82
4.13.11 Circuit à puissance limitée	82
4.13.12 Espacements électriques	82
4.13.13 Séparation des circuits	83
4.14 Circuits de commande	84
4.14.1 Commandes de sécurité	84
4.14.2 Démarrage	84
4.15 Analyse de sécurité/danger.....	84
5 Exigences de performances pour les essais de sécurité et de type	84
5.1 Généralités	84

5.2	Essai de vibration	84
5.2.1	Généralités	84
5.2.2	Essai dans l'axe vertical	85
5.2.3	Essais dans les axes longitudinal et latéral	85
5.3	Essais de fixation du conteneur de combustible	85
5.4	Essai d'endurance	85
5.5	Essai de fuites externes	85
5.5.1	Fuites externes – Parties contenant des gaz dangereux (détermination de la limite de zone de dilution)	85
5.5.2	Fuites externes – Parties contenant des liquides dangereux	86
5.6	Essai de résistance à la rupture	86
5.6.1	Résistance à la rupture – Liquides dangereux et parties sous pression	86
5.6.2	Résistance à la rupture – Gaz dangereux et parties sous pression	86
5.6.3	Résistance à la rupture – Modules à piles à combustible	87
5.7	Essai des modes de défaillance potentiels	87
5.8	Essai de température	87
5.9	Essai de continuité	89
5.10	Essai du courant de contact	89
5.11	Essai de tenue diélectrique en tension	91
5.12	Essai d'accumulation de l'électricité statique pour les tubes non métalliques	91
5.12.1	Critères de réussite	91
5.12.2	Méthode d'essai	91
5.13	Essai de circuit à puissance limitée	92
5.14	Essai de VA maximale	93
5.15	Essai de fonctionnement anormal – Défaillance du matériel électrique	93
5.16	Essai d'émission d'effluents (uniquement pour des piles à combustible méthanol)	94
5.17	Essais d'environnement	94
5.17.1	Généralités	94
5.17.2	Essai de résistance à la pluie	94
5.17.3	Essai du matériel – Exposition au vent	94
5.18	Essais de l'enceinte	95
5.18.1	Essai de charge de l'enceinte	95
5.18.2	Essai des enceintes thermoplastiques	95
5.19	Essai au brûleur aiguille de 20 mm de la partie moulée des matériaux thermoplastiques	95
5.20	Essai d'adhérence de la plaque signalétique	96
5.21	Essais des joints, garniture et tubes en élastomère	96
5.21.1	Généralités	96
5.21.2	Essai de vieillissement accéléré à l'étuve à circulation d'air	96
5.21.3	Essai d'exposition aux basses températures	96
5.21.4	Essai d'immersion	97
5.22	Essai de perméabilité des tuyauteries et canalisations non métalliques	97
5.23	Essai des conducteurs électriques de sortie	97
6	Essais individuels de série	97
6.1	Essai de tenue diélectrique en tension	97
6.2	Fuites externes	97
7	Marquages	98
8	Instructions	99

8.1	Généralités	99
8.2	Instructions de maintenance	99
8.3	Instructions d'exploitation	100
8.4	Instructions d'installation.....	100
Annexe A (informative) Comparaison des termes relatifs à la pression		101
Bibliographie.....		102
Figure 1 – Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention		59
Figure 2 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour des éléments en aval du régulateur		73
Figure 3 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour tous les éléments.....		73
Figure 4 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour tous les éléments dans un système à plusieurs réservoirs de stockage.....		73
Figure 5 – Réseau de mesure du courant de contact pondéré pour tenir compte de la perception ou de la réaction.....		90
Figure 6 – Schéma de l'essai de mesure du courant de contact		91
Tableau 1 – Matériau de câblage d'appareil		79
Tableau 2 – Espacements.....		83
Tableau 3 – Limites d'échauffement.....		88
Tableau 4 – Limites pour des sources de puissance intrinsèquement limitée		92
Tableau 5 – Limites pour des sources de puissance non intrinsèquement limitées (protection contre les surintensités exigée)		93
Tableau 6 – Limites du taux d'émission.....		94
Table A.1 – Table de comparaison des termes relatifs à la pression		101

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62282-4-101 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
105/506/FDIS	105/513/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.

Cette publication a été rédigée 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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

L'IEC 62282-4 traite d'aspects tels que la sécurité, les performances et l'interchangeabilité des systèmes à piles à combustible utilisés pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP). Parmi les catégories mentionnées ci-dessus, la présente norme, l'IEC 62282-4-101, s'intéresse à la sécurité des chariots de manutention électriques comportant des systèmes à piles à combustible car de telles applications sont instamment demandées dans le monde. Les normes futures de la série Partie 4 traiteront d'autres applications embarquées sur des véhicules autres que les véhicules routiers et les groupes auxiliaires de puissance (GAP).

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

1 Domaine d'application

1.1 La présente partie de l'IEC 62282 couvre les exigences de sécurité relatives aux systèmes à piles à combustible destinés à être utilisés sur des chariots de manutention électriques.

1.2 La présente norme se limite aux chariots de manutention électriques et s'applique aux matériels de manutention, par exemple les chariots élévateurs à fourche.

1.3 La présente norme s'applique aux systèmes à piles à combustible utilisant de l'hydrogène gazeux et à ceux utilisant du méthanol direct pour les chariots de manutention électriques.

1.4 Les combustibles suivants relèvent du domaine d'application de la présente norme:

- hydrogène gazeux
- méthanol.

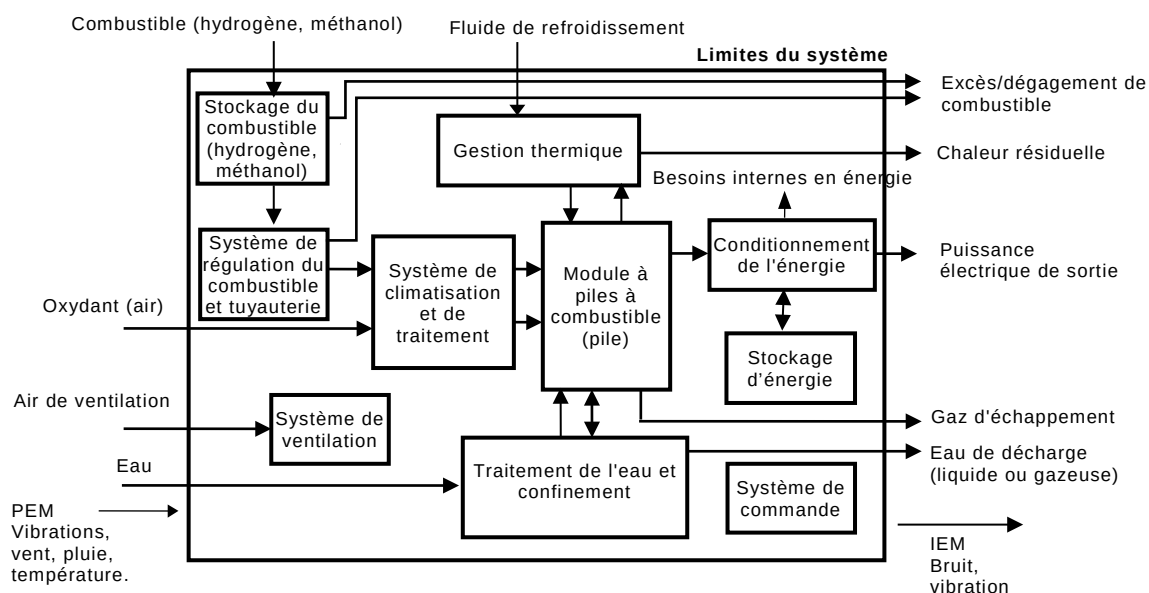
1.5 La présente norme couvre le système à piles à combustible défini en 3.8 et à la Figure 1.

1.6 La présente norme s'applique aux systèmes à piles à combustible de type c.c, d'une tension de sortie assignée d'au maximum 150 V c.c. pour utilisation à l'intérieur et à l'extérieur.

1.7 La présente norme couvre les systèmes à piles à combustible dont le conteneur de source de combustible est fixé à demeure, soit au chariot de manutention, soit au système à piles à combustible.

1.8 Non inclus dans le domaine d'application de la présente norme sont:

- les conteneurs sources de combustible de type amovible;
- les chariots hybrides qui comprennent un moteur à combustion interne;
- les systèmes à piles à combustible équipés de reformeurs;
- les systèmes à piles à combustible prévus pour être utilisés dans des atmosphères explosibles;
- les systèmes de stockage de combustible utilisant de l'hydrogène liquide.



IEC

Légende

PEM perturbations électromagnétiques

IEM interférences (brouillage) électromagnétiques

NOTE Un système à piles à combustible peut comporter l'ensemble ou certains des éléments ci-dessus.

Figure 1 – Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60079-0, *Atmosphères explosives – Partie 0: Matériel – Exigences générales*

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

IEC 60079-29-1, *Atmosphères explosives – Partie 29-1: Détecteurs de gaz – Exigences d'aptitude à la fonction des détecteurs de gaz inflammables*

IEC 60079-29-4, *Atmosphères explosives – Partie 29-4: Détecteurs de gaz – Exigences d'aptitude à la fonction des détecteurs de gaz inflammables à chemin ouvert*

IEC 60204-1, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 1: Règles générales*

IEC 60227-3, *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V – Partie 3: Conducteurs pour installations fixes*

IEC 60227-5, *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V – Partie 5: Câbles souples*

IEC 60335-2-41, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 2-41: Règles particulières pour les pompes*

IEC 60335-2-80, *Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 2-80: Règles particulières pour les ventilateurs*

IEC 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

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

IEC 60584-1, *Couples thermoélectriques – Partie 1: Tables de référence*

IEC 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

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

IEC 60695-1-30, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Processus d'essai de présélection – Lignes directrices générales*

IEC 60695-10-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 10-2: Chaleurs anormales – Essai à la bille*

IEC 60695-11-4, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-4: Flamme d'essai – Flamme de 50 W – Appareillage et méthodes d'essai de vérification*

IEC 60695-11-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flamme d'essai – Méthodes d'essai horizontal et vertical à la flamme de 50 W*

IEC 60730-1:2013, *Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60730-2-17, *Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue – Partie 2-17: Règles particulières pour les électrovannes de gaz, y compris les prescriptions mécaniques*

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

IEC 60947-5-1, *Appareillage à basse tension – Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande – Appareils électromécaniques pour circuits de commande*

IEC 60950-1:2005, *Matériels de traitement de l'information – Sécurité – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61204-7, *Alimentations basse tension, sortie continue – Partie 7: Exigences de sécurité*

IEC TS 61430, *Accumulateurs – Méthodes d'essai pour la vérification de la performance des dispositifs conçus pour réduire les risques d'explosion – Batteries de démarrage au plomb*

IEC 61558-1, *Sécurité des transformateurs, alimentations, bobines d'inductance et produits analogues – Partie 1: Exigences générales et essais*

IEC 62103, *Équipements électroniques utilisés dans les installations de puissance*

IEC 62133, *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Exigences de sécurité pour les accumulateurs portables étanches, et pour les batteries qui en sont constituées, destinés à l'utilisation dans des applications portables*

IEC 62282-2, *Technologies des piles à combustible – Partie 2: Modules à piles à combustible*

ISO 179 (toutes les parties), *Plastiques – Détermination des caractéristiques au choc Charpy*

ISO 180, *Plastiques – Détermination de la résistance au choc Izod*

ISO 877 (toutes les parties), *Plastiques – Méthodes d'exposition au rayonnement solaire*

ISO 1419, *Supports textiles revêtus de caoutchouc ou de plastique – Essais de vieillissement accéléré*

ISO 1421, *Supports textiles revêtus de caoutchouc ou de plastique – Détermination de la force de rupture et de l'allongement à la rupture*

ISO 1798, *Matériaux polymères alvéolaires souples – Détermination de la résistance à la traction et de l'allongement à la rupture*

ISO 2440, *Matériaux polymères alvéolaires souples et rigides – Essais de vieillissement accéléré*

ISO 2626, *Cuivre – Essai de fragilisation par chauffage dans l'hydrogène*

ISO 3691-1, *Chariots de manutention – Exigences de sécurité et vérification – Partie 1: Chariots de manutention automoteurs, autres que les chariots sans conducteur, à portée variable et chariots transporteurs de charges*

ISO 3691-7, *Chariots de manutention – Exigences de sécurité et vérification – Partie 7: Exigences régionales pour les pays de la Communauté européenne*

ISO 3691-8, *Chariots de manutention – Exigences de sécurité et vérification – Partie 8: Exigences régionales pour les pays en dehors de la Communauté européenne*

ISO 3864-1, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Partie 1: Principes de conception pour les signaux de sécurité et les marquages de sécurité*

ISO 3996, *Véhicules routiers – Flexibles pour dispositifs de freinage hydraulique utilisant un liquide de frein à base non pétrolière*

ISO 4038, *Véhicules routiers – Dispositifs de freinage hydraulique – Tuyauteries à simple renflement, logements, raccords mâles et embouts de flexibles*

ISO 4080, *Tuyaux et flexibles en caoutchouc et en plastique – Détermination de la perméabilité au gaz*

ISO 4675, *Supports textiles revêtus de caoutchouc ou de plastique – Essai de flexion à basse température*

ISO 7010, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Signaux de sécurité enregistrés*

ISO 7866:2012, *Bouteilles à gaz – Bouteilles à gaz sans soudure en alliage d'aluminium destinées à être rechargées – Conception, construction et essais*

ISO 9809-1, *Bouteilles à gaz – Bouteilles à gaz rechargeables en acier sans soudure – Conception, construction et essais – Partie 1: Bouteilles en acier trempé et revenu ayant une résistance à la traction inférieure à 1 100 MPa*

ISO 10380, *Tuyauteries – Tuyaux et tuyauteries métalliques flexibles onduleux*

ISO 10442, *Industries du pétrole, de la chimie et du gaz naturel – Compresseurs d'air centrifuges assemblés à multiplicateur intégré*

ISO 10806, *Tuyauteries – Raccords pour tuyaux métalliques flexibles onduleux*

ISO 11114-4, *Bouteilles à gaz transportables – Compatibilité des matériaux des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux – Partie 4: Méthodes d'essai pour le choix de matériaux métalliques résistants à la fragilisation par l'hydrogène*

ISO 13226, *Caoutchouc – Elastomères de référence normalisés (SRE) pour la caractérisation de l'effet des liquides sur les caoutchoucs vulcanisés*

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

ISO 14113, *Matériel de soudage aux gaz – Tuyaux souples et flexibles en caoutchouc et en plastique pour des gaz industriels jusqu'à 450 bar (45 MPa)*

ISO/TS 14687-2, *Carburant hydrogène – Spécification de produit – Partie 2: Applications des piles à combustible à membrane à échange de protons (MEP) pour les véhicules routiers*

ISO 15500-12, *Road vehicles – Compressed natural gas (CNG) fuel system components – Part 12: Pressure relief valve (PRV)*
(disponible en anglais seulement)

ISO 15649, *Industries du pétrole et du gaz naturel – Tuyauteries*

ISO/TS 15869:2009, *Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks*
(disponible en anglais seulement)

ISO 15916, *Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à hydrogène*

ISO 16010, *Garnitures d'étanchéité en élastomères – Exigences matérielles pour les joints utilisés dans les canalisations et les raccords véhiculant des combustibles gazeux et des hydrocarbures liquides*

ISO 16111:2008, *Appareils de stockage de gaz transportables – Hydrogène absorbé dans un hydrure métallique réversible*

ISO 17268, *Dispositifs de raccordement pour le ravitaillement des véhicules terrestres en hydrogène comprimé*

ISO 21927-3, *Smoke and heat control systems – Part 3: Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators* (disponible en anglais seulement)

ISO 23551-1, *Dispositifs de contrôle et de sécurité pour brûleurs à gaz et pour les appareils utilisant le gaz – Exigences particulières – Partie 1: Robinets automatiques*

3 Termes et définitions

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

3.1

fonctionnement anormal

fonctionnement du système à piles à combustible avec dysfonctionnement ou défaillance d'un quelconque composant électrique ou de commande, en tout mode de défaillance considéré comme raisonnablement probable dans l'AMDE; à l'exclusion cependant de toute rupture ou panne accidentelle des conteneurs de liquides, vapeurs et/ou gaz inflammables

3.2

liaison équipotentielle

assemblage permanent de parties métalliques de manière à constituer un chemin électriquement conducteur positif assurant une continuité électrique entre parties métalliques non conductrices et capable de conduire tout courant de défaut éventuel

Note 1 à l'article: Ceci s'applique à la liaison au sein du système à piles à combustible, ainsi qu'entre le système à piles à combustible et le chariot; il n'est pas fait référence aux moyens de mise à la terre du chariot proprement dit, par exemple avec un ruban de mise à la terre ou par l'intermédiaire des pneumatiques. Les méthodes de liaison acceptables doivent être tous moyens positifs, tels qu'attaches, rivets, boulons, vis, joints soudés, joints brasés ou une jarretière de mise à la terre avec connecteur à boucle fermée, assujetti par une vis.

3.3

clapet antiretour

dispositif de régulation des fluides qui permet aux fluides de s'écouler dans une seule direction

3.4

circuit à puissance limitée

circuit qui implique un potentiel supérieur à 42,4 V crête (30 V_{eff}) ou 60 V c.c. et dont la puissance après 60 s de fonctionnement satisfait aux valeurs indiquées dans les Tableaux 2B et 2C de l'IEC 60950-1:2005

Note 1 à l'article: Un circuit qui présente une basse tension à la fois dans des conditions normales et de défaut unique est appelé dans l'IEC 60950-1 circuit à très basse tension de sécurité (TBTS).

3.5

circuit basse tension

circuit qui implique un potentiel crête en circuit ouvert d'au maximum 42,4 V (30 V efficace) ou 60 V c.c. alimenté par une batterie, une pile à combustible, un transformateur ayant une puissance assignée maximale d'au moins 100 VA et une sortie secondaire maximale de 30 V c.a. ou en associant un transformateur et une impédance fixe qui, en tant que système, satisfait à l'IEC 61558-1

Note 1 à l'article: Un circuit obtenu en connectant une résistance en série avec un circuit d'alimentation en tension comme moyen de limitation de la tension et du courant, n'est pas considéré comme un circuit basse tension.

3.6

limite de zone de dilution

étendue d'une région ou d'une zone inflammable générée par un dégagement limité de gaz ou de vapeur inflammable, interne au système à piles à combustible ou au chariot dans lequel le système est monté et contrôlé par une ventilation mécanique ou autre moyen efficace

Note 1 à l'article: Ceci est décrit dans l'IEC 60079-10.

3.7

décharge électrostatique

DES

décharge générée par de l'électricité statique

3.8**système à pile à combustible**

système générateur qui utilise un ou des modules à piles à combustible pour produire de l'énergie électrique et de la chaleur

Note 1 à l'article: La Figure 1 illustre un schéma de principe d'un système à piles à combustible. Un système à piles à combustible peut comporter tous ou certains des éléments illustrés en Figure 1. Le système à piles à combustible destiné à être utilisé avec des chariots apparaîtra dans l'une des formes montrées en 3.9 et 3.10.

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.49, modifié – Ajout d'une deuxième phrase à la Note à l'article]

3.9**système autonome**

système complet intégré dans son enveloppe propre, destiné à remplacer ou à être associé à un système de batterie pour alimenter un chariot de manutention

Note 1 à l'article: Les fonctions d'affichage et de contrôle peuvent être situées à l'extérieur de l'enveloppe du système à proximité du compartiment de l'opérateur. Cependant, si un contrepoids est nécessaire à l'extérieur de l'enveloppe du système ou si une communication directe est requise entre le système et le contrôleur du chariot, il sera considéré comme un système intégré (voir 3.10).

3.10**système à piles à combustible intégré**

ensemble d'un système d'organes et de pièces de piles à combustible incorporé dans le chariot de manutention avec les diverses parties du système éventuellement réparties sur tout le chariot

3.11**zones (classées) dangereuses**

toute zone ou espace de travail où des poussières combustibles, des fibres inflammables ou des composés liquides, du gaz, des vapeurs ou des mélanges inflammables ou volatils sont ou peuvent être présents dans l'air en quantités suffisantes pour produire des mélanges explosifs ou inflammables comme défini dans l'IEC 60079-10-1

3.12**intégré**

ce qui est contenu soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du système à piles à combustible, mais qui fait partie dudit système à piles à combustible

3.13**limite inférieure d'inflammabilité**

LFL

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 (LFL), ou une quantité supérieure à la quantité critique dite limite supérieure d'inflammabilité (UFL), ne sera pas inflammable.

Note 2 à l'article: L'abréviation "LFL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "lower flammability limit".

3.14**pression de service admissible maximale**

MAWP

pression manométrique maximale à laquelle une pile à combustible ou un système à piles à combustible peut être mis en service

Note 1 à l'article: Voir l'Annexe A qui présente un tableau comparatif des termes relatifs à la pression.

Note 2 à l'article: La pression de service admissible maximale est exprimée en Pa.

Note 3 à l'article: La pression de service admissible maximale est la pression utilisée dans le réglage des dispositifs limiteurs de pression installés pour protéger un organe ou un système contre les surpressions accidentelles.

Note 4 à l'article: L'abréviation "MAWP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "maximum allowable working pressure".

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.86.3, modifié – Ajout de la nouvelle Note 1 à l'article]

3.15

charge nominale maximale admissible en continu

puissance maximale continue que le système à piles à combustible est en mesure de supporter, indépendamment de tout appareil ou organe de stockage de l'énergie électrique à une température de 25 °C et une pression ambiante de 0,1 MPa

3.16

pression de service maximale

MOP

pression manométrique la plus élevée d'un organe ou du système susceptible d'apparaître en fonctionnement normal

Note 1 à l'article: Voir l'Annexe A qui présente un tableau comparatif des termes relatifs à la pression.

Note 2 à l'article: L'abréviation "MOP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "maximum operating pressure".

3.17

dégagement normal

valeur limite des volumes internes présents localement de concentrations de vapeurs inflammables dégagées en fonctionnement normal, y compris éventuellement les purges de piles à combustible

3.18

fonctionnement normal

tout mode, en fonctionnement et hors-fonctionnement, rencontré pendant l'utilisation du produit et qui ne résulte pas d'une défaillance

3.19

dispositif limiteur de pression (dispositif de décharge de pression)

PRD

dispositif déclenché par la pression et/ou la température, utilisé pour éviter que la pression ne dépasse une valeur maximale préétablie et par conséquent prévenir la défaillance d'une pièce ou d'un système sous pression

Note 1 à l'article: L'abréviation "PRD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "pressure relief device".

3.20

dispositif de décharge de pression à activation thermique

TPRD

dispositif de décharge de pression qui est activé thermiquement

Note 1 à l'article: L'abréviation "TPRD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "thermally activated pressure relief device".

3.21

dispositif de commande de sécurité

dispositif de commande automatique et de verrouillage qui comprend les relais, commutateurs, capteurs et autres équipements auxiliaires utilisés conjointement à ces derniers pour constituer un système de commande de sécurité, destiné à prévenir un fonctionnement contraire à la sécurité du matériel contrôlé

3.22**élément sécuritaire**

critique du point de vue de la sécurité

organe, dispositif, circuit, logiciel ou pièce similaire dont la défaillance pourrait affecter la sécurité du système à piles à combustible, comme déterminé en 4.15

3.23**pression de service**

pression de service nominale

pression, telle que spécifiée par le fabricant, à une température de gaz uniforme de 15 °C, le réservoir étant plein

Note 1 à l'article: Ce terme fait uniquement référence au réservoir d'hydrogène sous pression.

Note 2 à l'article: Voir l'Annexe A qui présente un tableau de comparaison des termes relatifs à la pression.

3.24**purge du gaz**

opération de protection pour retirer des gaz et/ou des liquides, tels que le combustible, l'hydrogène, l'air ou l'eau, d'un système à piles à combustible

[SOURCE: IEC TS 62282-1:2013, 3.60]

3.25**courant de contact**

courant électrique à travers un corps humain ou animal lorsqu'il touche une ou plusieurs parties accessibles

3.26**système de classification de zones**

moyens de classement des zones dans le système à piles à combustible, utilisant les méthodes décrites dans l'IEC 60079-10-1

Note 1 à l'article: Les zones potentielles de ce système sont les suivantes:

Groupe II, zone 0 – Un emplacement où des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables sont présentes pendant de longues périodes (par exemple, à l'intérieur de la pile à combustible ou autre élément contenant de l'hydrogène).

Groupe II, zone 1 – Un emplacement:

- a) dans lequel des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables sont susceptibles d'être présentes dans des conditions normales de fonctionnement; ou
- b) dans lequel des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables sont susceptibles d'être fréquemment présentes du fait d'opérations de réparation ou de maintenance ou à cause d'éventuelles fuites; ou
- c) dans lequel les équipements utilisés ou les processus mis en œuvre sont de nature telle qu'une panne de l'équipement ou des opérations défectueuses pourraient engendrer la libération de concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables, ainsi qu'une défaillance simultanée du matériel électrique dans un mode tel que le matériel électrique devienne une source d'inflammation; ou
- d) adjacent à un emplacement de Groupe II, zone 0, d'où des concentrations de vapeurs inflammables pourraient être communiquées, à moins que la communication ne soit empêchée par une ventilation appropriée à pression positive à partir d'une source d'air propre et que soient prévues des protections efficaces contre une éventuelle défaillance de la ventilation (par exemple, un espace où les gaz de purge sont immédiatement libérés, de manière à être dilués, ou des zones à proximité immédiate de la pile à combustible et du système de circulation de l'hydrogène).

Groupe II, zone 2 – Un emplacement:

- a) dans lequel il est peu probable que des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables se produisent en fonctionnement normal et, si elles se produisent, elles ne durent qu'un court instant; ou
- b) dans lequel des liquides volatils inflammables, des gaz ou des vapeurs inflammables sont manipulés, traités ou utilisés, mais dans lequel les liquides, gaz ou vapeurs sont en général confinés dans des conteneurs fermés de systèmes clos dont ils ne peuvent s'échapper que suite à une rupture ou à une panne accidentelle des conteneurs ou du système, ou suite à un fonctionnement anormal du matériel dans lequel les liquides ou gaz sont manipulés, traités ou utilisés; ou

- c) dans lequel des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables sont en général évitées grâce à une ventilation mécanique positive, mais qui peuvent devenir dangereuses suite à une défaillance ou à un fonctionnement anormal du matériel de ventilation; ou
- d) adjacent à un emplacement de Groupe II, zone 1, d'où des concentrations de gaz ou de vapeurs inflammables pourraient être communiquées, à moins que la communication ne soit empêchée par une ventilation appropriée à pression positive à partir d'une source d'air propre et que soient prévues des protections efficaces contre une éventuelle défaillance de la ventilation (par exemple, une zone comportant une canalisation et des raccords de combustible à hydrogène au niveau de la cloison, mais sans éléments – une traversée).

Zone non classée – Un emplacement:

- a) dans une zone où n'existe aucun risque de concentrations de gaz inflammables; ou
- b) dans lequel des gaz inflammables ne sont pas présents dans le cadre de procédés normalisés; ou
- c) dans lequel il n'y a pas de raccords susceptibles de fuite; ou
- d) uniquement adjacent à d'autres zones non classées ou emplacements de zone 2 (par exemple, un compartiment comportant une canalisation de combustible passant sans traverser les cloisons ou autres raccords adjacents, uniquement à des emplacements de zone 2 ou de zones se trouvant à l'extérieur des systèmes).

4 Exigences de construction en matière de sécurité

4.1 Généralités

4.1.1 Tout élément d'un produit couvert par la présente norme doit satisfaire aux exigences applicables audit élément. Les références normatives traitant des éléments utilisés dans les produits objet de la présente norme sont indiquées à l'Article 2.

4.1.2 Il n'est pas exigé d'un élément qu'il soit conforme aux exigences spécifiques de la norme référencée si:

- a) il comporte une fonction ou une caractéristique non exigée par l'application de l'élément dans le produit de la présente norme, ou si
- b) il est annulé et remplacé par une exigence de la présente norme.

4.1.3 Tout élément doit être utilisé conformément à ses valeurs assignées établies dans des conditions d'utilisation prévues.

4.1.4 Les composants spécifiques sont incomplets en termes de caractéristiques de construction ou limités en termes de performance. Ils sont prévus pour être uniquement utilisés dans des conditions limitées, telles que certaines températures qui ne dépassent pas les limites spécifiées et ne doivent être utilisés que dans lesdites conditions spécifiques.

4.2 Parties contenant de l'hydrogène et autres fluides

4.2.1 Généralités

4.2.1.1 Les pièces sous pression ou contenant des fluides doivent résister à l'action des fluides.

4.2.1.2 L'interface de ravitaillement du système en hydrogène doit être conforme à l'ISO 17268.

4.2.1.3 Les parties métalliques contenant de l'hydrogène doivent être résistantes à la fragilisation par l'hydrogène, conformément à l'ISO 15916. S'il est utilisé un matériau autre que ceux décrits dans l'ISO 15916, une évaluation de la susceptibilité à la fragilisation par l'hydrogène est à effectuer conformément à l'ISO 11114-4 ou à l'ISO 2626.

4.2.1.4 Lorsque la corrosion atmosphérique d'une pièce contenant des fluides interfère avec sa fonction prévue, ou entraîne une fuite externe du fluide qui crée une situation dangereuse,

ladite pièce doit être réalisée en matériau résistant à la corrosion ou être munie d'un revêtement de protection résistant à la corrosion.

4.2.1.5 Les pièces en élastomère ayant une fonction de sécurité telle que l'étanchéité à des fluides autres que l'hydrogène et susceptibles de générer une situation dangereuse en cas de fuite (par exemple, un joint entre des pièces électriques et des pièces mouillées), doivent convenir à l'application prévue, conformément aux spécifications de l'ISO 1419, de l'ISO 1421, de l'ISO 13226, de l'ISO 16010 et de l'ISO 4675, selon le cas.

4.2.1.6 Toute pièce en élastomère employée pour assurer l'étanchéité de l'hydrogène doit convenir à l'utilisation avec de l'hydrogène. Les références et lignes directrices de l'ISO 15916 doivent être prises en compte pour les matériaux élastomères. La résistance à la traction et à l'allongement du matériau doit être évaluée à l'état de réception puis après vieillissement en étuve (sur la base des températures de service) conformément à 5.21.

4.2.2 Tuyauteries, flexibles, tubulures et raccords

4.2.2.1 Lorsqu'elles transportent des gaz ou des vapeurs à des pressions manométriques supérieures à 103,4 kPa ou des liquides à des pressions supérieures à 1 103 kPa ou à des températures supérieures à 120 °C, les tuyauteries et les pièces accessoires correspondantes doivent être conçues, fabriquées et soumises aux essais conformément aux spécifications applicables de l'ISO 15649.

4.2.2.2 Les tuyauteries utilisées à des niveaux de pression et/ou à des températures inférieur(e)s à ceux indiqués en 4.2.2.1, ainsi que les tuyauteries non métalliques, doivent être évaluées au vu des exigences de la présente norme, en tenant dûment compte des matériaux et fluides contenus, ainsi que des conditions de service, y compris les pressions et les températures. Les tuyauteries non métalliques transportant du combustible hydrogène ou méthanol gazeux doivent être conçues, fabriquées et soumises aux essais conformément aux exigences supplémentaires de 4.2.2.6.

4.2.2.3 Les flexibles non métalliques utilisés pour du combustible hydrogène ou méthanol gazeux, situés à l'extérieur du système à piles à combustible et soumis à des contraintes physiques, doivent satisfaire aux essais hydrostatiques, d'adhérence (caoutchouc uniquement), de souplesse, de souplesse à faible température, de résistance à l'ozone (pour les flexibles comportant un couvercle de protection extérieur en caoutchouc), de résistance aux UV (pour les flexibles recouverts de matière plastique), de perméabilité aux gaz, de conductivité électrique; ainsi qu'aux essais d'intégrité des raccords, tels que décrits dans l'ISO 14113. Les matériaux doivent convenir à une utilisation avec du combustible hydrogène ou avec le fluide contenu (c'est-à-dire le méthanol), conformément aux points en 4.2.1. Les flexibles d'une longueur supérieure à 1,5 m doivent être renforcés par une tresse en fil d'acier inoxydable.

4.2.2.4 Les connecteurs en métal souples, ainsi que les raccords correspondants, lorsqu'ils sont utilisés pour transporter de l'hydrogène gazeux, doivent être conformes à l'ISO 10806, ainsi qu'à l'ISO 10380, selon le cas.

4.2.2.5 Une canalisation de combustible hydrogène doit être soutenue de manière à réduire l'usure par frottement et de la maintenir à une distance d'au moins 51 mm de l'échappement et des pièces du système électrique.

4.2.2.6 Les canalisations non métalliques de combustible hydrogène et méthanol doivent:

- être protégées dans des enceintes ventilées, dans lesquelles toutes les contraintes mécaniques ou physiques sont réduites au minimum;
- être conductrices pour éviter les décharges électrostatiques. La conformité est déterminée par l'essai de continuité décrit au point 2) de 5.9 pour les canalisations métalliques et au point 3) de 5.9 pour ce qui est des canalisations non métalliques;

- utiliser des matériaux évalués comme étant appropriés pour les fluides qu'elles transportent, en tenant dûment compte des températures auxquelles elles sont exposées en service. La conformité doit être déterminée comme décrit en 5.21 et 5.22, selon le cas; et
- être conformes aux exigences DES définies dans l'ISO 3996 ou l'ISO 4038 lorsqu'elles sont connectées entre le circuit de combustible et la pile.

4.2.2.7 Les tuyauteries, tubulures, raccords et autres éléments de tuyauteries doivent pouvoir supporter un essai hydrostatique à une pression égale à au moins 1,5 fois la pression de service assignée sans présenter de défaillance structurelle.

Exception: les tuyauteries, tubulures, raccords et autres éléments de tuyauteries haute pression doivent avoir une marge de sécurité équivalente à la bouteille de stockage utilisée. Voir 4.2.3.

4.2.3 Réservoirs d'hydrogène sous pression

4.2.3.1 Les réservoirs sous pression doivent être spécifiquement conçus pour les conditions de service de l'application chariot de manutention, ce qui inclut le nombre maximal de cycles de remplissage prévus, les plages de pression et de température prévues en fonctionnement et lors du remplissage, l'effet de l'hydrogène sur la durée de vie en fatigue, ainsi que la fréquence des contrôles.

4.2.3.2 En référence à 4.2.3.1, un réservoir sous pression doit être conçu, fabriqué et soumis aux essais, en tenant compte des conditions et restrictions suivantes:

- a) S'agissant des réservoirs en acier de Type 1, ils doivent être conçus conformément à l'ISO 9809-1.
- b) Dans la version anglaise, le terme "working pressure" ("pression de service") du conteneur, comme défini dans l'ISO/TS 15869, est identique au terme "service pressure" (même signification) de la présente norme; qui doit correspondre à une pression manométrique de 25 MPa, 35 MPa ou 70 MPa uniquement.
- c) La bouteille doit être conçue pour au moins 11 250 cycles de remplissage complets, ce qui représente une durée de vie de 10 ans. Les dispositions en 4.5, 11 k) et 11 l), ainsi que l'Annexe A de la norme ISO/TS 15869:2009, ne sont pas applicables.

NOTE 11 250 cycles de remplissage complets, c'est-à-dire 3 remplissages/jour, 365 jours/an, 10 ans = 10 950 cycles.

- d) Les dispositions en 9.5 et l'Annexe E de l'ISO/TS 15869:2009, qui couvrent d'autres essais de type, ne doivent pas s'appliquer.
- e) Les dispositions en 9.2.2 de l'ISO/TS 15869:2009 ne doivent pas s'appliquer. Cependant, les aciers inoxydables SUS316L, AISI316L et AISI316 ayant une teneur en nickel >12 % et des phases magnétiques par volume <0,1 %, sont exemptés des essais de compatibilité à l'hydrogène définis à l'Article B.2 de l'ISO/TS 15869:2009. Le processus de fabrication qui utilise ces matériaux ne doit pas comprendre de soudures.
- f) Les dispositions en 9.2.3 de l'ISO/TS 15869:2009 concernant l'exemption des alliages d'aluminium conformes à 6.1 et à 6.2 de l'ISO 7866:2012 ne doivent pas s'appliquer. Cependant, les alliages d'aluminium A6061-T6, A6061-T62, A6061-T651 et A6061-T6511 sont exemptés des essais de compatibilité à l'hydrogène définis à l'Article B.2 de l'ISO/TS 15869:2009. Le processus de fabrication qui utilise ces matériaux en aluminium ne doit pas comprendre de soudures.
- g) Outre les indications données en d) ou en e), la compatibilité à l'hydrogène des matériaux métalliques en contact avec du gaz hydrogène doit être démontrée par satisfaction aux exigences en b) ou c) à l'Article B.2 de l'ISO/TS 15869:2009, en utilisant de l'hydrogène conforme aux exigences de l'ISO/TS 14687-2, ainsi qu'aux exigences supplémentaires selon lesquelles la limite de teneur en oxygène doit être modifiée à moins de 1 µmole par mole et la limite de teneur en eau doit être modifiée à moins de 3 µmoles par mole.

- h) Si les essais de fatigue sont réalisés conformément au point c) en Article B.2 de l'ISO/TS 15869:2009, la qualité de l'hydrogène utilisée doit être telle que spécifiée en f) ci-dessus et à un débit ne dépassant pas 10 cycles par minute. Le réservoir échantillon doit être soumis à des cycles de pression jusqu'à défaillance ou au minimum 3 fois aux cycles de remplissage complets spécifiés au point c) ci-dessus. Il est admis une défaillance du réservoir échantillon par fuite et non par rupture, à un nombre de cycles supérieur au nombre de cycles de remplissage complets spécifié au point c) ci-dessus. Si le réservoir échantillon subit 3 fois le nombre de cycles de remplissage complets spécifié au point c) ci-dessus sans défaillance, les essais de cycles de pression à température ambiante spécifiés à l'Article B.7 de l'ISO/TS 15869:2009 et l'essai de «fuite avant rupture» (LBB – leak-before-break) défini à l'Article B.8 de l'ISO/TS 15869:2009 ne sont pas nécessaires.
- i) En ce qui concerne le point h) ci-dessus, le terme fuite désigne un échappement de gaz d'un réservoir, qui n'est pas attribué à une éventuelle fuite au niveau d'un raccord ou à une quelconque perméabilité du matériau, et qui n'est pas dû à une rupture. L'échappement de gaz d'une fissure est considéré comme une fuite et non comme une rupture. La rupture désigne une effraction violente des parois du couvercle ou du fond du réservoir.
- j) Le point a) de l'Article B.2 de l'ISO/TS 15869:2009 ne doit pas s'appliquer.

4.2.3.3 Un réservoir sous pression et un raccord de remplissage doivent être placés dans le périmètre d'encombrement du chariot de manutention ou dans une enceinte telle que définie en 4.12, et situé de façon à réduire toute possibilité d'endommagement du réservoir ou des raccords utilisés pour le transport d'hydrogène.

4.2.3.4 Un limiteur de débit et un clapet antiretour, éventuellement, doivent être directement branchés au réservoir sous pression ou montés sur la même canalisation que lui, en un lieu où il n'existe pas de dispositif de fermeture entre le réservoir sous pression et le clapet antiretour, de manière à réduire au minimum les effets négatifs des chocs et vibrations, ainsi que les éventuels dommages accidentels.

4.2.3.5 La canalisation de ravitaillement des circuits doit être munie d'un clapet antiretour, assurant une fonction redondante par rapport à celle du clapet antiretour du récipient indiqué dans l'ISO 17268.

4.2.3.6 Les réservoirs sous pression doivent disposer d'un moyen de vidange (dépressurisation) et de purge d'hydrogène utilisant un gaz inerte, comme souligné dans les instructions d'utilisation ou dans le manuel de maintenance, selon le cas, fourni(es) avec le système à piles à combustible.

4.2.3.7 Un robinet manuel permettant d'isoler l'alimentation en combustible doit être placé à proximité du réservoir sous pression, de façon à ce que l'alimentation en combustible vers le système à piles à combustible puisse être fermée pour maintenance ou pour emmagasinage à long terme.

4.2.3.8 Le réservoir d'hydrogène sous pression doit être monté à demeure sur le module du système à piles à combustible ou sur le chariot de manutention, afin de s'assurer que le réservoir sous pression ne quitte pas son logement en cours d'utilisation ou ne puisse pas être déposé en cas de ravitaillement.

4.2.4 Conteneur en hydrure métallique

Les systèmes de stockage de combustible hydrogène dans des conteneurs en hydrure métallique doivent satisfaire aux Articles 4, 5 et 6 de l'ISO 16111:2008.

4.2.5 Réservoir de combustible méthanol

4.2.5.1 Les réservoirs de combustible méthanol doivent être construits en matériaux appropriés conformément à 4.2.1 et à 4.2.2 et doivent satisfaire aux exigences indiquées ci-

dessous. Ces réservoirs, ainsi que les joints d'étanchéité et raccords correspondants, doivent être conçus et construits avec une résistance qui convient à la fonctionnalité prévue et une résistance aux fuites évitant tout dégagement non intentionnel.

4.2.5.2 Les réservoirs de combustible méthanol doivent être spécifiquement conçus pour les conditions de service de l'application chariot de manutention qui couvre les plages de pression et de température prévues en fonctionnement et lors du remplissage, l'effet du méthanol sur la durée de vie en fatigue du réservoir et les fréquences des contrôles.

4.2.5.3 Un robinet manuel permettant d'isoler l'alimentation en combustible doit être placé à proximité du réservoir de combustible, de façon à ce que l'alimentation en combustible vers le système à piles à combustible puisse être fermée pour maintenance ou pour emmagasinage à long terme.

4.2.5.4 Un réservoir de combustible méthanol et un raccord de remplissage doivent être situés dans l'encombrement du chariot de manutention ou dans une enceinte telle que définie en 4.12, et situé de façon à réduire toute possibilité d'endommagement du réservoir ou des raccords utilisés pour le transport d'hydrogène.

Le réservoir de combustible méthanol doit être monté à demeure sur le module du système à piles à combustible ou sur le chariot de manutention, afin de s'assurer que le réservoir ne quitte pas son logement en cours d'utilisation ou ne puisse pas être déposé en cas de ravitaillement.

4.3 Protection contre les surpressions et protection thermique

4.3.1 Le réservoir d'hydrogène sous pression doit être protégé contre les effets du feu par un dispositif de décharge de pression à activation thermique (TPRD) sans refermeture, conçu, fabriqué et soumis aux essais conformément à l'ISO 15500-12.

4.3.2 Les éléments et tuyauteries situés en aval d'un réducteur de pression dont le réglage assigné est inférieur à la pression d'admission maximale du réducteur de pression, doivent être protégés contre les surpressions en cas de défaillance du réducteur de pression au moyen d'une soupape de sûreté ou d'un dispositif limiteur de pression.

4.3.3 Les dispositifs limiteurs de pression doivent convenir à l'application correspondante, y compris pour ce qui concerne les matériaux en contact avec l'hydrogène, ainsi que les pressions et débits assignés.

4.3.4 Les dispositifs limiteurs de pression fonctionnant à des pressions supérieures à 1 000 kPa doivent être dimensionnés et conçus de manière à limiter la pression en cas de défaut à moins de 110 % de la pression de service maximale admissible. La refermeture ne doit pas avoir lieu à moins de 90 % du point de consigne. Les dispositifs limiteurs de pression fonctionnant à des pressions inférieures ou égales à 1 000 kPa doivent être dimensionnés et conçus de manière à limiter la pression en cas de défaut à moins de 125 % de la pression de service maximale admissible. La refermeture ne doit pas avoir lieu à moins de 90 % du point de consigne.

4.3.5 La décharge d'un dispositif limiteur de pression donné doit être placée de façon à ce que le fonctionnement du dispositif n'entraîne pas de situation dangereuse, telle que:

- a) le dégagement d'hydrogène gazeux à plus de 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL) vers une zone non classée ou à pression confinée dans le système à piles à combustible. La décharge du dispositif limiteur de pression peut être placée dans l'encombrement du système à piles à combustible en utilisant une ventilation adéquate ou en mettant en œuvre un système de commande de sécurité adéquat constitué d'un capteur d'hydrogène et d'un robinet d'arrêt d'hydrogène obturant la fuite en cas de détection.

- b) un dépôt d'humidité sur des parties sous tension, qui pourrait générer un risque de choc électrique;
- c) des objets étrangers, de l'humidité ou des débris, qui pourraient entrer dans le système de ventilation non protégé par des capots, des couvercles ou autres;
- d) un risque pour que le système de ventilation ne soit plus fixé ou qu'il soit retiré de manière à affecter la trajectoire du débit; ou
- e) le dégagement de pression soit dirigé ou dévié vers la position normale de l'opérateur.

4.3.6 Un orifice de mise à l'air libre du dispositif limiteur de pression doit être fixé à intervalles réguliers, de manière à réduire la possibilité d'endommagement, de corrosion ou de rupture de la canalisation de mise à l'air libre ou du dispositif limiteur de pression du fait de la dilatation, de la contraction, des vibrations, des contraintes ou de l'usure et d'éviter tout desserrement en fonctionnement.

4.3.7 Le système de mise à l'air libre, y compris le raccord de sortie du dispositif limiteur de pression et des canalisations de mise à l'air libre correspondantes, doit être conçu de manière à supporter la pression maximale développée pendant le fonctionnement à plein débit du dispositif limiteur de pression, sans qu'il ne soit séparé de ses fixations et sans que l'éventuel bouchon ne soit expulsé.

4.3.8 Tous les éléments placés en aval du régulateur de pression et connectés au dispositif limiteur de pression, comme illustré sur l'exemple aux Figures 2, 3 et 4, doivent avoir

- a) une pression assignée égale à au moins 110 % de la pression aval maximale du régulateur sur les systèmes ayant des pressions assignées supérieures à 1 000 kPa, et
- b) une pression assignée égale à au moins 125 % de la pression aval maximale du régulateur sur les systèmes ayant des pressions assignées inférieures à 1 000 kPa, conformément à 4.3.4.

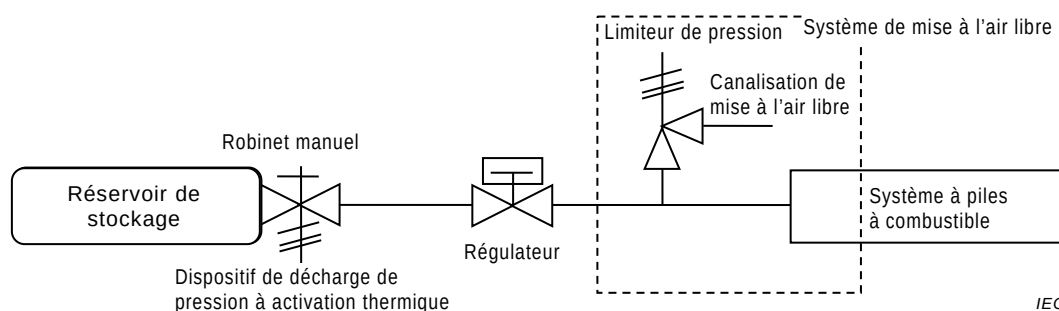


Figure 2 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour des éléments en aval du régulateur

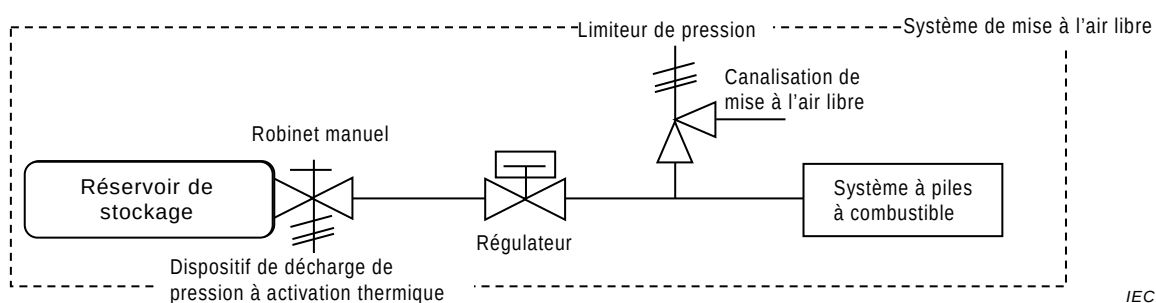


Figure 3 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour tous les éléments

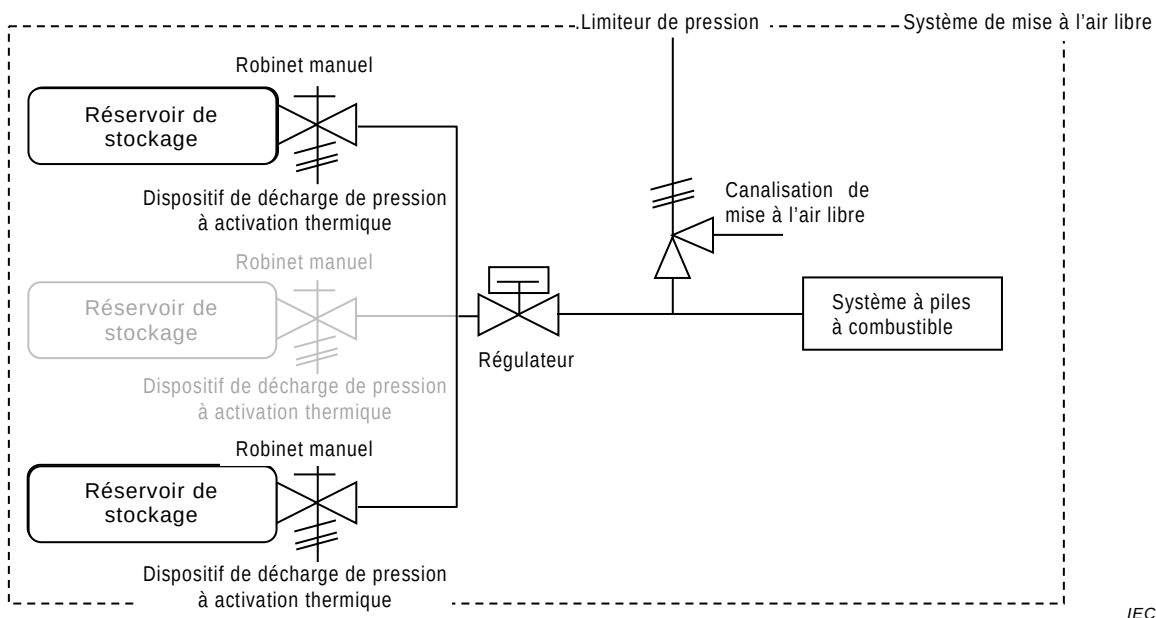


Figure 4 – Exemple schématique d'un système de mise à l'air libre pour tous les éléments dans un système à plusieurs réservoirs de stockage

4.4 Régulateurs

Le régulateur de pression de gaz doit être muni d'un limiteur de débit ou d'une canalisation de mise à l'air libre.

4.5 Robinets de commande et d'arrêt

4.5.1 Les vannes et robinets doivent avoir les caractéristiques assignées conformes à l'application, y compris en termes de pression, de température ou de fluides en contact et de valeurs assignées électriques, le cas échéant. Les robinets pour fluides inflammables doivent être conformes à l'ISO 23551-1. Les électrovannes doivent être conformes à l'IEC 60730-2-17.

4.5.2 Les combustibles alimentant le système à piles à combustible doivent être fournis par des canalisations de combustible munies d'au moins un robinet d'arrêt automatique de sécurité. Le robinet d'arrêt de sécurité peut également être un robinet de commande. Le temps de fermeture d'un robinet d'arrêt de sécurité ne doit pas être supérieur à 5 s.

4.5.3 Si un robinet manuel d'arrêt d'urgence est considéré nécessaire en vertu de 4.15, il doit être situé en un emplacement facilement accessible qui ne doit pas nécessiter une rotation supérieure à 90 degrés de la position ouverte à la position fermée. L'accès au robinet d'arrêt manuel ne doit pas nécessiter l'utilisation d'une quelconque clé ou d'un outil. Le robinet doit être monté à demeure et blindé ou installé en un lieu protégé afin de réduire les éventuels dommages dus à des vibrations ou à des chocs.

4.5.4 Lorsqu'un robinet manuel est utilisé, il doit comporter un marquage conforme à 3) g) de l'Article 7.

4.5.5 Les robinets d'arrêt électriques, automatiques et autres doivent, en cas de défaillance, retourner à une position de sécurité (sécurité intrinsèque).

4.5.6 Les électrovannes placées dans des zones classées doivent être conçues pour la zone de classification considérée.

4.6 Filtres

Les filtres à air et à fluide doivent convenir à l'application et être facilement accessibles s'il est nécessaire de les contrôler, de les nettoyer ou de les remplacer.

4.7 Pompes et compresseurs

4.7.1 Les compresseurs d'air et les pompes à vide utilisés dans le système doivent être conformes à l'ISO 10442.

4.7.2 Les pompes à eau doivent être conformes à l'IEC 60335-2-41.

4.7.3 Les pompes et compresseurs pour produits chimiques et hydrogène gazeux doivent être évalués au vu des exigences de compatibilité du matériau applicable, ainsi qu'au vu des exigences mécaniques et électriques de la présente norme.

4.7.4 Un compresseur ou une pompe à fluide inflammable, à joints rotatifs ou autres types de joints dynamiques, doit être muni d'une ventilation appropriée, de sorte que de faibles dégagements d'hydrogène ou autres vapeurs inflammables, dans des conditions normales de fonctionnement, ne doivent pas permettre la concentration de vapeurs inflammables à un niveau supérieur à 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL) dans les zones non classées du système à piles à combustible, en cas de dégagement normal.

4.8 Dispositifs électriques de commande et de détection de la pression

4.8.1 Les commutateurs et transducteurs activés par la pression doivent avoir des valeurs assignées qui conviennent à l'application. Une commande de régulation de la pression de fluide inflammable ou combustible doit convenir à sa classification et au fluide transporté.

4.8.2 La pression de service maximale d'une commande de limitation ou de régulation de la pression ne doit pas dépasser 90 % de la pression de service d'un dispositif limiteur de pression. Une commande de régulation de la pression accessible et réglable qui peut dépasser les limites du système, doit être scellée de manière fiable à la pression de service maximale à laquelle il est prévu qu'elle fonctionne.

4.9 Ventilation destinée à éviter l'accumulation de gaz et de vapeurs inflammables

4.9.1 Un système à piles à combustible doit être muni d'une ventilation appropriée, de sorte que des dégagements normaux, dans des conditions normales de fonctionnement, ne doivent pas permettre la concentration de vapeurs inflammables à un niveau supérieur à 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL) dans les zones non classées du système à piles à combustible. Ce dégagement normal doit inclure les débits nominaux de fuite de combustible à pile ou les purges de combustible qui peuvent avoir lieu en cours de fonctionnement.

4.9.2 Les concentrations diluées de vapeurs inflammables qui sortent du système à piles à combustible, même en fonctionnement anormal, ne doivent pas dépasser 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL).

NOTE Voir l'IEC 62282-3-100 ou l'IEC 62282-5-1.

4.9.3 L'étendue d'une région inflammable, au niveau de la source de dégagement limité (limite de dilution) doit être déterminée par une analyse appropriée, comme décrit dans l'IEC 60079-10-1.

4.9.4 Tout matériel placé à l'intérieur de la limite de dilution doit convenir à la classification correspondante. Il est admis de faire référence à l'IEC 60079-0.

4.9.5 Les dégagements anormaux des fluides inflammables ne doivent pas générer de danger pour la sécurité, conformément à 4.15 et doivent donner lieu à l'action appropriée, y compris la fermeture rapide du matériel si nécessaire, de manière à réduire le danger ou à prévenir l'apparition de dangers supplémentaires.

4.9.6 Une ventilation mécanique doit être prévue pour maintenir la limite de dilution à 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL), dans des conditions normales de dégagement, loin des éléments non classés. Toute défaillance de la ventilation doit entraîner une réaction du système à piles à combustible qui doit permettre de réduire tout danger ou prévenir l'apparition de dangers supplémentaires, conformément à 4.15. Ceci peut inclure l'arrêt, du fait de la détection de concentrations élevées de gaz/vapeurs, ou par le biais de dispositions d'enclenchement de la ventilation.

- 1) Exception n° 1: des volumes limités et localisés de concentrations de vapeurs inflammables dans le système à piles à combustible peuvent momentanément dépasser les 25 % de LFL de vapeurs inflammables; il doit cependant être établi, conformément à 4.15, que cette situation transitoire n'engendre pas un danger pour la sécurité.
- 2) Exception n° 2: une ventilation mécanique n'est pas exigée s'il peut être établi que les niveaux de concentrations de gaz/vapeurs inflammables chutent à un niveau inférieur à 25 % de LFL en toutes conditions de dégagement normal.

4.9.7 Si une détection de gaz est utilisée en tant qu'élément de sécurité critique dans le système à piles à combustible, le système de détection de gaz doit être conforme à l'IEC 60079-29-1 et à l'IEC 60079-29-4. Les systèmes de détection de gaz doivent être placés dans des lieux où ils peuvent mesurer efficacement l'accumulation de vapeurs dans le système à piles à combustible et surveiller la sortie de ventilation en fonction des besoins.

4.9.8 Si la détection de gaz est utilisée en tant qu'élément de sécurité critique dans le système à piles à combustible, le dispositif correspondant doit être placé dans un circuit de commande conforme à l'Annexe H de l'IEC 60730-1:2013, et conformément à 4.14.1 de la présente norme.

4.9.9 Les ouvertures et conduites de ventilation ne doivent pas être obstruées ou gênées lorsque le système à piles à combustible est normalement utilisé sur le chariot.

4.9.10 Les ventilateurs, soufflantes et autres dispositifs utilisés pour le système de ventilation, doivent convenir à l'application prévue. Si des ventilateurs et aérateurs sont utilisés en tant que principaux mécanismes de sécurité pour éviter l'accumulation de gaz/vapeurs inflammables, la défaillance du système de ventilation ne doit pas engendrer un danger pour la sécurité, conformément à 4.15. Les ventilateurs doivent être conformes à l'IEC 60335-2-80. Les aérateurs doivent être conformes à l'ISO 21927-3.

4.10 Décharges électrostatiques (DES)

4.10.1 Les pièces contenant du combustible hydrogène, ainsi que les parties situées dans des zones classées (voir 3.26) de l'équipement doivent être conçues en des matériaux ne générant pas de décharges électrostatiques.

4.10.2 La partie exposée des pièces métalliques mobiles, telles que les pales de ventilateurs et les roues, situées dans des zones classées du système, doit être fabriquée ou recouverte de laiton, bronze, cuivre ou aluminium moyen d'une dureté Rockwell d'au maximum B66. Les boîtiers conducteurs extérieurs des organes de stockage d'énergie, tels que les batteries ou les ultracondensateurs, ainsi que les composants électroniques de puissance majeurs, tels que les modules de piles à combustible, doivent disposer d'une liaison de métallisation.

4.10.3 Les organes comportant des pièces métalliques non conductrices et les boîtiers placés dans des zones classées de l'équipement doivent être munis d'une liaison de métallisation.

4.10.4 Lorsqu'un système à piles à combustible autonome est monté sur un chariot, un chemin conducteur doit être prévu entre les éléments de la pile à combustible qui nécessitent une liaison équipotentielle et les moyens de mise à la terre du chariot.

4.10.5 Tout récipient de combustible du système à piles à combustible utilisé pour le ravitaillement doit être relié au châssis du chariot.

4.10.6 Les instructions d'installation du système à piles à combustible doivent indiquer qu'il doit être prévu dans l'installation finale un moyen permettant de constituer un chemin conducteur entre la caisse du chariot et la terre. Les instructions d'installation doivent indiquer que la résistance totale entre le système à piles à combustible et la terre ne doit pas dépasser 25 MΩ et que tout récipient de combustible placé sur le système à piles à combustible pour le ravitaillement doit être relié au châssis du chariot.

4.10.7 Les pièces non métalliques qui contiennent des fluides, telles que les flexibles, ainsi que les pièces mobiles non métalliques, telles que les pales de ventilateurs et les courroies, situées dans la limite de dilution (voir 3.6 et 4.9.3), doivent être conformes au point 3) de 5.10 ou à l'essai réalisé conformément à l'exception de 3) de 5.10.

4.10.8 Le marquage et les instructions concernant le danger qu'implique l'accumulation de décharges électrostatiques et les moyens mis en œuvre pour y remédier doivent être conformes à 3) f) de l'Article 7 et à 2) de 8.4.

4.11 Décharges, y compris les émissions de méthanol et les rejets

4.11.1 Le système à piles à combustible doit être construit de façon à ce que les matériaux rejetés, y compris l'eau, ne soient pas évacués, déchargés ou éliminés de manière à provoquer des situations contraires à la sécurité.

4.11.2 Les émissions des systèmes à piles à combustible méthanol ne doivent pas dépasser les limites de sécurité. Leur conformité est déterminée par l'essai d'émission d'effluents en 5.16. Les systèmes doivent être conçus de manière à prévenir la pénétration d'émissions dans le compartiment passager de l'application chariot de manutention d'utilisation finale.

4.12 Enceintes

4.12.1 Un système à piles à combustible doit être muni d'une protection empêchant toute personne d'accéder aux pièces électriques, aux circuits de sécurité, aux pièces mobiles dangereuses, aux parties chaudes et autres parties susceptibles de provoquer un risque de blessure.

4.12.2 Les ouvertures d'une enceinte de système à piles à combustible permettant l'accès aux pièces dangereuses, doivent être placées et dimensionnées de manière à assurer une protection appropriée contre l'accès aux pièces dangereuses et être conformes à un degré minimum de protection IPXXB ou IP2X, comme défini dans l'IEC 60529.

4.12.3 Une enceinte de système à piles à combustible disposant d'un degré de protection IP concernant la pénétration d'eau à effets nocifs, doit satisfaire au 1) de 5.18.1. Voir également 2) de 5.18.1.

4.12.4 Une enceinte extérieure doit satisfaire à l'essai de 5.18.1, à moins que le chariot n'assure la protection requise pour un système à piles à combustible intégré.

4.12.5 Les matériaux d'enceinte non métalliques doivent avoir une résistance minimale à la flamme V-1 conformément à l'IEC 60695-11-10 ou doivent satisfaire à l'essai des matériaux thermoplastiques décrit en 5.19.

4.12.6 Toute enceinte en matériau thermoplastique d'un système à piles à combustible, doit convenir à la plage de températures à laquelle elle est soumise pendant l'utilisation.

4.12.7 L'enceinte du système doit être conçue de sorte que l'eau (par exemple, la pluie, la condensation) ne puisse pas y rester confinée. Il convient d'intégrer des tuyaux d'écoulement dans l'enceinte.

4.12.8 En cas de fuite d'hydrogène, le robinet d'arrêt doit être automatiquement mis en service. De même, le commutateur électrique doit être arrêté automatiquement. Le capteur d'hydrogène doit demeurer en état de fonctionnement, à condition que ceci n'augmente pas le risque. En cas de défaillance du capteur d'hydrogène, le robinet d'arrêt doit être automatiquement mis en service. De même, le commutateur électrique doit être arrêté automatiquement. Pour ce qui concerne les essais de sécurité de la batterie et du réservoir, il convient d'appliquer les normes appropriées telles que l'IEC 62133.

4.13 Composants électriques du système à piles à combustible

4.13.1 Généralités

4.13.1.1 Les valeurs assignées des composants électriques doivent correspondre à l'application et être conformes à la norme applicable auxdits composants. Ils doivent être placés et fixés de façon à ne pas pouvoir être affectés de manière préjudiciable par les vibrations, la température, l'environnement et d'autres effets pendant le fonctionnement normal du système à piles à combustible.

4.13.1.2 Le matériel électrique interne au système à piles à combustible situé dans des zones dangereuses doit être identifié comme étant un danger. On peut faire référence à l'IEC 60079-0.

4.13.1.3 Les exigences CEM dépendent des exigences régionales. Voir l'ISO/TS 3691-7 et l'ISO/TS 3691-8.

4.13.2 Câblage interne

- 1) Le câblage interne doit être constitué de conducteurs d'usage général, comme spécifié dans l'IEC 60204-1, ou de matériaux de câblage d'appareil d'un ou de plusieurs des types spécifiés au Tableau 1. Le câblage doit tenir compte de la température et des conditions de service auxquelles il est soumis au niveau de l'installation finale du chariot.
Exception: au raccordement d'un composant donné, il est admis que le câblage s'étende au-delà de la tresse sur une longueur d'au maximum 254 mm.
- 2) Le matériau de câblage d'appareil ayant une épaisseur d'isolation inférieure à la valeur minimale acceptable spécifiée au Tableau 1, est autorisé pour une application particulière, à condition que l'isolation tienne compte de la température et des conditions de service et qu'elle soit équivalente à celle de l'un des matériaux spécifiés dans ledit tableau.
- 3) Il est admis d'utiliser des conducteurs nus à isoler au moyen de tubes isolants ou de manchons non carbonisables.
- 4) Le câblage doit être protégé contre les dommages mécaniques:
 - en l'enfermant dans l'enceinte du système à piles à combustible pour ce qui concerne les systèmes à piles à combustible autonomes, et
 - en l'enfermant dans la caisse du chariot pour les systèmes à piles à combustible intégrés.
- 5) Un conducteur branché à une pièce mobile ou amovible qu'il est impossible de protéger doit être conçu pour l'usage prévu et satisfaire aux exigences d'essai de la présente norme. La résistance du conducteur aux dommages résultant de la flexion, de l'abrasion ou des chocs, doit être prise en compte. Les conduites métalliques souples sont à utiliser uniquement pour les connexions souples soumises à des mouvements de faible amplitude et peu fréquents.
- 6) Le câblage de connexion à une pièce en mouvement continu ou à une pièce dont le degré de déplacement est significatif doit être conforme à l'IEC 60227-5.
Exception: il est admis d'omettre les tubulures de protection pour les conducteurs mobiles exposés directement visibles par l'opérateur et qui sont par conséquent remplacés dès endommagement. Le manuel de maintenance doit fournir les instructions concernant le contrôle de ces conducteurs et leur remplacement en cas de dommage, conformément à e) de 8.2.
- 7) Toutes les épissures et connexions doivent être mécaniquement sûres et doivent assurer un contact électrique sans contrainte sur les connexions et les bornes. L'épissure doit être munie d'une isolation équivalente à celle des conducteurs proprement dits.
- 8) Tout orifice par lequel passent des conducteurs isolés doit être muni d'une traversée lisse et ronde ou doit avoir une surface lisse et ronde sur laquelle les conducteurs isolés peuvent s'appuyer.
- 9) Les passe-fils doivent être lisses et exempts d'arêtes vives et de bavures ou de pièces mobiles qui risqueraient d'endommager le câblage.
- 10) Une connexion de câblage interne doit être réalisée au moyen de cosses soudées ou de bornes à pression.
Exception: câblage de commande et autres petits conducteurs connectés par des cosses ou des œillets sertis ou soudés, de type spécialement conçu pour satisfaire à cette exigence.
- 11) Une cosse doit être conçue de façon à ce que, quelle que soit sa position, elle ne puisse pas entrer en contact avec l'enceinte métallique et avec des pièces métalliques

accessibles qui ne sont pas sous tension ou autres circuits électriques ou alors le fût de la cosse doit être muni d'une isolation équivalente à celle du conducteur.

Tableau 1 – Matériau de câblage d'appareil

Isolation du conducteur	Épaisseur moyenne minimale acceptable de l'isolant mm
Caoutchouc, néoprène ou thermoplastique (PVC)	0,38 plus une tresse imprégnée ou 0,75 sans tresse

4.13.3 Câblage externe

- 1) Un conducteur de sortie externe doit avoir des dimensions et une capacité telles que, pour une sortie maximale continue, la température de l'isolation ne dépasse pas sa valeur assignée à la température ambiante maximale. Il doit être muni d'une isolation capable de supporter des contraintes de flexion, de manipulation et de choc à des températures comprises entre 50 °C et –20 °C. S'il est prévu que ce câblage soit exposé à des températures extrêmes supérieures à 50 °C et inférieures ou égales à –20 °C, le conducteur doit satisfaire aux spécifications de 5.23. L'épaisseur moyenne de l'isolation doit être établie conformément à l'IEC 60227-3. La longueur de l'ensemble conducteur/connecteur doit être aussi courte que possible sans gêner l'opération de débranchement et sans imposer de contrainte aux bornes lorsque l'ensemble est monté sur le chariot.
- 2) Un connecteur de sortie électrique externe doit avoir des valeurs assignées compatibles avec la sortie du système à piles à combustible. Les pièces sous tension doivent être en retrait par rapport à la face du connecteur afin de réduire tout risque de court-circuit. Une partie amovible du connecteur doit être fournie et disposer de moyens de débranchement. Le connecteur doit être placé de manière à assurer une protection mécanique lorsque le système à piles à combustible est installé en configuration d'utilisation finale.
- 3) Le câblage externe doit être protégé contre tout dommage mécanique
 - a) en l'enfermant dans la caisse du chariot,
 - b) en l'enfermant dans un chemin métallique tel que câblage blindé, conduit métallique rigide ou tube métallique électrique, ou
 - c) en le protégeant avec du métal, des composés phénoliques ou autres matériaux thermodurcissables ayant une résistance mécanique et une résistance aux chocs équivalente et dont la combustibilité n'est pas supérieure à celle des composés phénoliques.
- 4) Cette enceinte ou protection doit être telle que toute flamme ou matériau en fusion, du fait d'une éventuelle perturbation électrique du câblage, ne puisse atteindre le matériau combustible environnant.

Exception n° 1: Cette exigence ne s'applique pas aux conducteurs flexibles extérieurs dont la flexibilité est nécessaire pour le débranchement – les conducteurs de sortie du système à piles à combustible par exemple – lorsqu'ils sont conformes à 1) de 4.13.3.

Exception n° 2: Cette exigence ne s'applique pas aux conducteurs qui, lorsqu'ils sont endommagés, ne provoquent pas de phénomènes dangereux.

4.13.4 Exigences de mise hors tension (déconnexion) d'urgence pour les connexions de systèmes à piles à combustible

- 1) Une commande de mise hors tension d'urgence ou un connecteur de batterie, lorsqu'il(elle) est utilisé(e) comme dispositif de mise hors tension d'urgence, doit être à tout moment accessible à l'opérateur en position normale de fonctionnement.
- 2) Le dispositif de mise hors tension d'urgence doit pouvoir interrompre, sans aucun danger, les alimentations de tous les éléments mobiles lorsqu'une interruption n'augmente pas le risque potentiel. Il doit pouvoir interrompre le courant maximal normal (y compris le courant de démarrage du moteur) selon l'une des méthodes suivantes:

- a) un connecteur de pile à combustible pour des tensions allant jusqu'à 120 V c.c compris. Au-delà de 120 V c.c, des dispositions doivent être prises pour éviter l'utilisation du connecteur de batterie pour la mise hors tension d'urgence;
- b) un interrupteur d'alimentation actionné manuellement permettant de déconnecter directement une phase d'alimentation;
- c) un commutateur de commande actionné manuellement qui permet de débrancher l'alimentation de la bobine d'un contacteur sur une phase de l'alimentation. Simultanément, la commande de puissance (par exemple, onduleur ou manipulateur pour des moteurs excités séparément) doit être désactivée. Sur les chariots entraînés par un moteur à courant continu à enroulement série, avec collecteur mécanique sans commande de puissance, deux connecteurs indépendants sont nécessaires pour mettre hors tension l'alimentation de la batterie.

Dans le cas b) ou c), l'action doit être de type positif, conformément à l'IEC 60947-5-1 et l'actionneur doit être de couleur rouge. Voir également l'IEC 60947-3.

Si le fond est rouge, on doit utiliser une couleur contrastée.

Il doit être possible de rétablir l'alimentation des éléments mobiles uniquement par réinitialisation manuelle du dispositif de mise hors tension, suivie par un actionnement normal des commandes.

- 3) Si le connecteur des piles à combustible est utilisé comme système de mise hors tension d'urgence, la partie amovible du connecteur doit disposer d'un moyen de déconnexion sans endommager les connecteurs ou les câbles de la pile à combustible.

Lorsque le connecteur est utilisé pour la mise hors tension d'urgence, le dispositif doit pouvoir être rapidement débranché en cas d'urgence et les deux demi-connecteurs doivent pouvoir être facilement séparés. La force maximale nécessaire pour séparer les deux demi-connecteurs ne doit pas dépasser 150 N.

4.13.5 Commutateurs et appareils de commande de moteurs

- 1) Un appareil de commande ou commutateur de moteur doit avoir les caractéristiques assignées nécessaires qui correspondent à la charge contrôlée. Un appareil de commande de moteur doit disposer d'une capacité d'interruption du courant au moins égale à la charge du rotor verrouillé du moteur commandé, conformément à l'IEC 60204-1.
- 2) Un commutateur qui commande une charge inductive autre qu'un moteur, telle qu'un transformateur, doit avoir des caractéristiques assignées au moins égales à deux fois le courant assigné à pleine charge du transformateur ou dispositif similaire, à moins que le commutateur n'ait été analysé et qu'il se soit révélé acceptable pour l'application.

4.13.6 Transformateur et alimentations

- 1) Les transformateurs situés dans des circuits sous tension dangereux doivent être munis d'une protection contre les surintensités.
- 2) Les transformateurs de Classes 2 et 3 doivent être conformes à l'IEC 60950-1 ou à l'IEC 61204-7.
- 3) Les alimentations autres que celles de Classe 2 doivent être conformes à l'IEC 60950-1 ou à l'IEC 61204-7, selon le cas.

4.13.7 Onduleurs, convertisseurs et appareils de commande

Les onduleurs, convertisseurs et appareils de commande doivent être soumis aux essais dans les conditions anormales (composants en défaut) de l'IEC 62103.

4.13.8 Lampes et douilles

- 1) Les lampes et douilles doivent être totalement enfermées. Un objectif de lampe doit être protégé contre le dommage mécanique par des barres, des grilles, des mises en renforcement ou des moyens équivalents.
- 2) Les diodes électroluminescentes (DEL), les affichages électroluminescents (EL), les afficheurs à cristaux liquides (LCD) rétroéclairés et tous autres afficheurs susceptibles

d'être une source d'inflammation lorsqu'ils sont mécaniquement endommagés doivent être protégés contre les dommages mécaniques.

4.13.9 Organes de stockage d'énergie

4.13.9.1 Batteries

- 1) Les batteries au lithium doivent être conformes à l'IEC 62133. Les piles au lithium doivent être munies d'une protection appropriée contre les inversions de charge dans le circuit de la batterie.
- 2) Les batteries au plomb doivent être conformes à l'IEC TS 61430.
- 3) Les autres types de piles, telles que les piles au nickel-cadmium ou nickel-hydrure métallique, doivent être conformes à l'IEC 62133.
- 4) Pour les batteries utilisées comme une combinaison de système à piles à combustible/batterie de puissance:
 - a) Les piles utilisant des conteneurs métalliques tels que les batteries alcalines, doivent être isolées les unes des autres, ainsi que par rapport au plateau métallique ou au compartiment batterie en métal. Les isolations en bois ou autre matériau doivent être:
 - i) traitées ou peintes pour réduire les éventuelles détériorations dues à l'électrolyte de la batterie, et
 - ii) construites de manière à réduire tout risque de dommage de l'isolation en fonctionnement normal et lors de la maintenance du chariot.
 - b) Lorsqu'elles sont filetées, les bornes de la batterie doivent être munies de rondelles-freins ou moyen équivalent permettant d'éviter le desserrage de la connexion écrou de câblage-borne, qui pourrait entraîner une inflammation des éventuels gaz de la batterie, due à un amorçage d'arc. Une rondelle plate doit être utilisée entre une rondelle-frein et toute surface en plomb.
 - c) Les bornes des batteries doivent être protégées par des gaines ou des enveloppes isolantes, le cas échéant.

Exception n° 1: il n'est pas nécessaire de protéger avec une gaine ou une enveloppe une borne utilisée pour la mise à la terre par l'intermédiaire du châssis du chariot.

Exception n° 2: cette exigence ne s'applique pas au chargeur de batterie intégré muni d'un interrupteur de circuit en défaut à la terre ou disposant d'une sortie secondaire isolée.

4.13.9.2 Condensateurs à double couche (ultracondensateurs)

Pour les ultracondensateurs utilisés comme combinaison de système à piles à combustible/ultracondensateur:

- a) Les circuits de charge intégrés pour les ultracondensateurs doivent être munis de moyens de protection fiables contre les conditions de charge en surtension et, si nécessaire, contre les conditions de charge et de décharge en surintensité.
- b) Les ultracondensateurs utilisant des conteneurs métalliques doivent être isolés les uns des autres, ainsi que par rapport au plateau métallique ou au compartiment condensateur en métal. L'isolation doit être conçue de manière à réduire tout risque de dommage de l'isolation en fonctionnement normal et lors de la maintenance du chariot.
- c) Le conteneur métallique d'un ultracondensateur connecté à l'électrode négative du condensateur (électrode négative et conteneur métallique ou absence d'isolation interne de l'un par rapport à l'autre) doit être considéré comme faisant partie de l'électrode négative et doit être enfermé ou muni d'une enveloppe isolante.
- d) Lorsqu'elles sont filetées, les bornes de l'ultracondensateur doivent être munies de rondelles-freins ou moyen équivalent permettant d'éviter le desserrage de la connexion écrou de câblage-borne qui pourrait entraîner un court-circuit externe entre les bornes.
- e) Les bornes de l'ultracondensateur doivent être protégées par des gaines ou des enveloppes isolantes, le cas échéant.

- f) Avant maintenance ou entretien des ultracondensateurs, s'assurer qu'ils sont pleinement déchargés.

Exception n° 1: il n'est pas nécessaire de protéger avec une gaine ou une enveloppe une borne spécialement utilisée pour la mise à la terre par l'intermédiaire du châssis du chariot.

Exception n° 2: cette exigence ne s'applique pas au chargeur d'un ultracondensateur intégré muni d'un interrupteur de circuit en défaut à la terre ou disposant d'un secondaire isolé.

4.13.10 Isolation électrique

- 1) Les matériaux utilisés comme isolants électriques doivent être conformes à l'ISO 1798, à l'ISO 2440, à la série ISO 179, à l'ISO 180 et à la série ISO 877.
- 2) Une barrière isolante utilisée en tant qu'isolation unique entre des pièces sous tension non isolées et des pièces métalliques non conductrices ou entre pièces de polarité opposée, doit avoir une épaisseur minimale de 0,71 mm.

Exception: pour un système de tension de sortie assignée d'au maximum 24 V, l'épaisseur doit être d'au minimum 0,33 mm.

- 3) Pour un système ayant une tension assignée supérieure à 24 V, lorsque la distance dans l'air minimale est égale à la moitié de la distance acceptable requise, il peut être utilisé une barrière ou une garniture d'une épaisseur minimale de 0,33 mm.

Exception: pour un système de tension assignée d'au maximum 24 V, l'épaisseur doit être d'au minimum 0,15 mm.

4.13.11 Circuit à puissance limitée

Un circuit à puissance limitée doit satisfaire à l'essai de 5.14.

4.13.12 Espacements électriques

Les espacements dans un système à piles à combustible pour chariots de manutention ne doivent pas être inférieurs aux valeurs indiquées dans le Tableau 2.

Exception n° 1: Les espacements minimaux acceptables ne sont pas spécifiés dans un circuit à puissance limitée, comme défini en 4.11.

Exception n° 2: Les espacements minimaux acceptables au niveau d'un élément donné, doivent être déterminés par la norme correspondante.

Exception n° 3: Les espacements minimaux acceptables peuvent être réduits par rapport à ceux indiqués au Tableau 2 si les circuits sont évalués conformément à l'IEC 60664-1, et conformément aux spécifications suivantes:

- a) Les exigences d'espacements réduits ne doivent pas être utilisées au niveau des connexions électriques vers le chariot ou pour les espacements concernant les enceintes métalliques non conductrices.
- b) Les caractéristiques assignées de la pile à combustible sont tenues de correspondre à la catégorie I de surtension et au degré de pollution 3, comme défini dans l'IEC 60664-1. Les circuits munis d'enceintes de protection sans ouvertures de ventilation qui permettraient la pénétration de poussière, d'humidité ou d'autres débris conducteurs, peuvent être considérés de degré de pollution 2; les circuits hermétiquement scellés ou les enceintes enrobées peuvent être considérés de degré de pollution 1.
- c) Pour appliquer des distances B (surtensions contrôlées), le contrôle de la surtension doit être réalisé en prévoyant un dispositif ou un système de protection contre les surtensions comme faisant partie intégrante de la pile à combustible.
- d) Toutes les cartes de circuits imprimés sont considérées avoir une valeur minimale d'indice de résistance au cheminement (IRC) de 100 (groupe de matériaux IIIb).

Tableau 2 – Espacements

Emplacement	Tension nominale 24 V ou moins		Tension nominale supérieure à 24 V ^a	
	Dans l'air mm	À la surface mm	Dans l'air mm	À la surface mm
Dans un circuit de puissance – entre une pièce sous tension nue et (1) une pièce sous tension nue de polarité opposée, ou (2) une pièce mise à la terre nue autre que l'enceinte	1,6	3,2	3,2	6,4
Dans un circuit de puissance en un emplacement où il ne peut pas y avoir accumulation de poussières conductrices, comme une petite cavité totalement fermée ^d	0,8	1,6	1,6	3,2
En tout emplacement autre qu'un circuit de puissance – entre une pièce sous tension nue et (1) une pièce sous tension nue de polarité opposée, ou (2) une pièce mise à la terre nue autre que l'enceinte	1,6	1,6	1,6	1,6
En tout emplacement autre qu'un circuit de puissance en un lieu où il ne peut pas y avoir accumulation de poussières conductrices, comme une petite cavité totalement fermée	0,8	0,8	0,8	0,8
Entre toute pièce sous tension non isolée et la dernière enceinte	12,7	12,7	12,7	12,7
Entre toute pièce sous tension non isolée et la dernière enceinte lorsque l'enceinte est en fonte de 3,2 mm d'épaisseur ou en tôle d'acier de 6,4 mm d'épaisseur	6,4	6,4	6,4	6,4
NOTE Un circuit est considéré être un circuit de puissance s'il alimente un circuit de commande de moteur qui ne dispose pas d'une protection contre les surintensités. Un circuit n'est pas considéré comme étant un circuit de puissance s'il alimente un circuit qui dispose d'une protection contre les surintensités.				
a Tension maximale de 150 V.				
b Ces espacements s'appliquent à un système qui n'est pas électriquement connecté au châssis.				
c Ces espacements s'appliquent également à un système électriquement connecté au châssis, de tension nominale maximale de 24 V.				
d Par exemple un point par lequel une borne du moteur traverse la carcasse du moteur.				
e En cas de probabilité de déformation de l'enceinte au point de mesure, les espacements après déformation doivent être tels que spécifiés.				

4.13.13 Séparation des circuits

- 1) Un circuit à puissance limitée doit être séparé des autres circuits, soit:
 - a) en plaçant le circuit dans une enceinte séparée,
 - b) en vérifiant les espacements dans l'air et au-dessus de la surface comme indiqué au Tableau 2, soit
 - c) en utilisant des barrières.
- 2) Un conducteur isolé de câblage d'un circuit à puissance limitée doit être soit séparé par des barrières, soit éloigné des pièces sous tension reliées à différents circuits, ou muni d'une isolation acceptable pour la tension la plus élevée concernée.
- 3) Il est admis que les barrières indiquées en 1) c) de 4.13.13 soient constituées par une liaison de métallisation d'une épaisseur d'au moins 0,51 mm, ou par un matériau isolant d'une épaisseur d'au moins 0,71 mm.

- 4) Les conducteurs de circuits fonctionnant à différents potentiels doivent être séparés les uns des autres de manière fiable, à moins que chacun d'entre eux ne soit muni d'une isolation acceptable pour le potentiel le plus élevé concerné.
- 5) La séparation électrique d'un circuit individuel doit être appliquée conformément aux exigences de l'Article 413 de l'IEC 60364-4-41:2005.

4.14 Circuits de commande

4.14.1 Commandes de sécurité

- 1) Les circuits électroniques utilisés pour une fonction de sécurité (par exemple, un élément sécuritaire) doivent être évalués conformément à l'Annexe H de l'IEC 60730-1:2013.
- 2) Les logiciels utilisés pour une fonction de sécurité, par exemple, un élément sécuritaire, doivent être évalués conformément au niveau C donné dans l'ISO 13849-1. Le matériel électronique du système de sécurité logicielle doit être évalué conformément à l'Annexe H de l'IEC 60730-1:2013.

4.14.2 Démarrage

- 1) Le démarrage d'une opération ne doit être possible qu'une fois que toutes les protections sont en place et qu'elles fonctionnent conformément à 4.15. Le système à piles à combustible ne doit être lancé que par une mise en œuvre intentionnelle de la séquence de démarrage, à moins qu'il ne puisse être établi qu'un redémarrage automatique constitue un risque minimal, comme indiqué en 4.15.
- 2) Le redémarrage du système à piles à combustible à partir d'une position d'arrêt ne doit pas entraîner de situation dangereuse, comme indiqué en 4.15.

4.15 Analyse de sécurité/danger

Le fabricant de systèmes à piles à combustible doit réaliser une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) ou autre analyse de fiabilité équivalente pour identifier les éventuels défauts qui pourraient affecter la sécurité du système.

NOTE Des informations d'ordre général concernant l'AMDE sont données dans l'IEC 60812.

5 Exigences de performances pour les essais de sécurité et de type

5.1 Généralités

- 1) Pour les essais décrits de 5.2 à 5.23, le système à piles à combustible doit fonctionner à une puissance maximale, les commandes étant réglées sur les limites normales maximales, sauf spécifications contraires dans les méthodes d'essai.
- 2) Suite aux essais décrits de 5.2 à 5.23, sauf spécifications contraires, il ne doit y avoir aucune fuite des pièces contenant du liquide ou du gaz, qui pourrait engendrer une situation dangereuse.

5.2 Essai de vibration

5.2.1 Généralités

- 1) Un système à piles à combustible doit être soumis à un essai de vibration de système dans les axes vertical et longitudinal/latéral, conformément à 5.2.2 et à 5.2.3. Le système à piles à combustible ne doit pas être en fonctionnement pour ces essais. Suite aux essais, le système à piles à combustible doit satisfaire à 5.5 et 5.6.

Exception: si le système à piles à combustible est destiné à être utilisé sur un chariot de manutention dont le profil vibratoire est connu, ce profil peut être utilisé au lieu du profil défini en 5.2.2 et 5.2.3.

- 2) Un système à piles à combustible autonome est à soumettre à essai hors du chariot conformément à 5.2.2 et 5.2.3. Le système à piles à combustible est à monter au moyen de ses propres dispositifs de fixation ou d'un dispositif de fixation représentatif, et à fixer sur l'appareillage d'essai de vibrations dans la position qu'il occupe en utilisation.

- 3) Il n'est pas exigé de soumettre à essai conformément à 5.2.2 et 5.2.3 un système à piles à combustible intégré.
- 4) En référence à 2) de 5.2.1, les éléments individuels ou les sous-systèmes peuvent être soumis à des essais spécifiques, dans la mesure où ils sont montés et soutenus dans les mêmes conditions que dans le système complet. Les éléments normalement montés à proximité de l'objet d'essai doivent être inclus ou simulés s'il n'y a aucun risque d'interférence ou de contact entre les pièces.

5.2.2 Essai dans l'axe vertical

Les données d'accélération relatives à l'essai dans l'axe vertical doivent être définies en collaboration avec le fabricant du chariot.

5.2.3 Essais dans les axes longitudinal et latéral

Les données d'accélération relatives aux essais dans les axes longitudinal et latéral doivent être définies en collaboration avec le fabricant du chariot.

5.3 Essais de fixation du conteneur de combustible

- 1) Il doit être prévu des moyens permettant de fixer les conteneurs de combustible et d'éviter qu'ils ne quittent le logement en cours d'utilisation ou lorsqu'ils sont stockés sur le système à piles à combustible. L'importance du mouvement latéral ne doit pas entraîner de situation dangereuse. Tout conteneur intégré de combustible gaz comprimé doit comprendre un raccord de connexion qui ne permet l'écoulement du gaz que si une étanchéité positive au gaz a été réalisée. Le dispositif de raccordement entre l'alimentation en combustible et le système doit convenir à l'application prévue.
- 2) Un effort latéral égal au poids total du conteneur ou de la bouteille de combustible doit être appliqué en toute direction au centre de la hauteur verticale du conteneur ou de la bouteille de combustible. Le conteneur de combustible (c'est-à-dire la bouteille de combustible) ou toute partie dudit conteneur, ne doit pas être séparé(e) de ses moyens de rétention.

5.4 Essai d'endurance

- 1) Un système à piles à combustible utilisant des pièces non métalliques de manutention du combustible inflammable et/ou des pompes de combustible inflammable munies de joints dynamiques doit être soumis à des essais d'endurance appropriés, conformément à 2) de 5.5. Le système à piles à combustible doit satisfaire aux exigences de 5.6 avant et après l'essai. Le système à piles à combustible ne doit pas présenter de dommages qui pourraient donner lieu à une situation dangereuse. Le système à piles à combustible doit demeurer en état de fonctionnement.
- 2) Le système à piles à combustible doit être connecté à une source de combustible et mis en fonctionnement à 50 % au minimum des conditions maximales de charge en fonctionnement continu. Ce fonctionnement doit être maintenu pendant 720 h à des pressions et des températures de fonctionnement normales.

5.5 Essai de fuites externes

5.5.1 Fuites externes – Parties contenant des gaz dangereux (détermination de la limite de zone de dilution)

- 1) La concentration moyenne de gaz mesurée dans les zones non classées du système à piles à combustible, à proximité des points de dégagement ou de purge, ne doit pas dépasser 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL).
- 2) Les concentrations diluées de vapeurs inflammables qui sortent du système à piles à combustible ne doivent pas dépasser 50 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LFL).
- 3) Le système à piles à combustible est tenu de fonctionner dans des conditions normales d'utilisation jusqu'à stabilisation des températures. L'essai doit être effectué dans des zones exemptes de courants d'air, le système étant placé à au moins 3 m des aérations de la salle ou de la ventilation forcée.

- 4) La concentration de gaz inflammables est à mesurer à l'emplacement du matériel non classé ou aux sources possibles d'inflammation les plus proches des éventuelles sources de dégagement anormal, compte tenu de la trajectoire du débit de ventilation, telle que déterminée conformément à 4.15. Les mesures sont à effectuer à une distance d'au maximum 305 mm de la source de dégagement, en des emplacements situés au-dessus et horizontalement par rapport à la source de dégagement, dans le centre du flux.
- 5) L'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que quatre mesures consécutives aient démontré qu'une augmentation de la concentration de gaz inflammables ne dépasse pas de plus de 5 % la moyenne des quatre mesures effectuées. L'essai est à poursuivre jusqu'à ce que la moyenne ainsi obtenue ne montre pas d'augmentation supérieure à 5 % sur une période de 2 h. Aucune mesure individuelle au-dessus d'une limite LFL de 25 % ne doit engendrer de situation dangereuse, conformément à 4.15.
- 6) L'intervalle entre les mesures doit être supérieur ou égal à 30 min.
- 7) L'essai est à réaliser autant de fois que nécessaire pour obtenir suffisamment de données, le minimum étant de 2 fois.
- 8) L'essai doit comprendre au moins un cycle de purge, le cas échéant.

5.5.2 Fuites externes – Parties contenant des liquides dangereux

- 1) L'essai doit être réalisé avant et après l'essai d'endurance de 5.4.
- 2) Toutes les parties du système contenant un liquide dangereux doivent être soumises à une pression hydrostatique égale à 1,5 fois la pression de service maximale du système. La pression d'essai doit être appliquée progressivement à la section soumise à l'essai, tout en libérant les éventuels gaz présents jusqu'à ce que la pression d'essai soit atteinte. La pression d'essai est ensuite maintenue pendant au moins 30 min.
- 3) Pour cet essai, il est admis d'utiliser de l'eau ou le combustible liquide spécifié par le fabricant.
- 4) Au cours de cet essai, le système ne doit présenter aucun signe de fuite de liquide.

5.6 Essai de résistance à la rupture

5.6.1 Résistance à la rupture – Liquides dangereux et parties sous pression

- 1) Toutes les parties transportant des liquides dangereux et tous autres liquides à des pressions de 206,8 kPa ou plus, sont à soumettre à cet essai.
- 2) Les parties sont à soumettre à l'essai à une pression hydrostatique égale à 1,5 fois la pression de service maximale admissible, qui est à appliquer progressivement, en éliminant d'éventuels gaz, puis maintenue pendant au minimum 5 min (en fonction des instructions applicables aux récipients sous pression). Les parties du système soumises à des pressions différentes peuvent être soumises aux essais séparément, à la pression d'essai qui convient.
- 3) Pour cet essai, il est admis d'utiliser de l'eau ou tout autre liquide d'essai approprié ayant des propriétés similaires à celles du liquide utilisé dans le système.
- 4) Les parties du système soumises à cet essai doivent supporter la pression d'essai, et, après relâchement de la pression, elles ne doivent pas présenter de rupture, de fracture ou de déformation permanente ou autre dommage physique.

5.6.2 Résistance à la rupture – Gaz dangereux et parties sous pression

- 1) Toutes les parties transportant des gaz inflammables et d'autres gaz à des pressions de 206,8 kPa ou plus, sont à soumettre à cet essai.
- 2) Les parties sont à soumettre à l'essai hydrostatique à 1,5 fois leur pression de service maximale admissible (MAWP). Si le milieu d'essai liquide n'est pas pratique, les parties peuvent être soumises à un essai de pression pneumatique en utilisant de l'air ou un autre gaz inerte à 1,1 fois leur pression de service maximale admissible. La pression d'essai est à appliquer progressivement. Lorsqu'un essai de pression hydrostatique est réalisé, tous les gaz résiduels contenus dans les parties soumises à l'essai sont à dégager. Lorsque la pression d'essai est atteinte, elle est à maintenir pendant au minimum 1 min.

- 3) Les parties sous pression ne doivent pas présenter de signes de rupture, de fracture, de déformation ou tout autre dommage physique.

5.6.3 Résistance à la rupture – Modules à piles à combustible

- 1) Un module à pile à combustible doit satisfaire aux exigences d'essai de pression de service admissible de l'IEC 62282-2.
- 2) Les parties oxydant et combustible de la pile peuvent être interconnectées et soumises à l'essai simultanément, à la même pression.

5.7 Essai des modes de défaillance potentiels

- 1) Un examen de l'analyse des phénomènes dangereux, réalisé par le fabricant conformément au 4.15, détermine l'étendue de cette procédure d'essai, ainsi que l'état (en fonctionnement ou non) du système au cours de cet essai. Il est également possible de déterminer la conformité à cet article sur la base de preuves fournies à l'appui par le fabricant.
- 2) Les modes de défaillance critiques, tels que définis en 4.15, sont à simuler afin de déterminer si le système de sécurité est fonctionnel et s'il y a arrêt du système en toute sécurité.
- 3) La conformité à cet article doit être déterminée par un arrêt en sécurité du système, conformément à l'analyse des phénomènes dangereux réalisée par le fabricant, sur apparition d'un mode de défaillance critique.

5.8 Essai de température

- 1) Lorsque le système à pile à combustible fonctionne dans des conditions de charge assignée maximale continue, les températures ne doivent pas s'élever à un niveau tel qu'elles soient susceptibles d'engendrer un risque d'incendie ou d'endommager les matériaux utilisés; les températures mesurées sur les surfaces accessibles, ainsi que sur les éléments et matériaux sensibles à la température doivent être conformes au Tableau 3.
- 2) Aucun déclenchement d'un éventuel dispositif de protection thermique ou de surcharge ne doit se produire au cours de cet essai.
- 3) Toutes les valeurs d'échauffement du Tableau 3 sont fondées sur une hypothèse de température ambiante de 25 °C. Les essais peuvent être réalisés à toute température ambiante dans une plage de 10 °C à 40 °C, corrigée par addition (si la température ambiante est inférieure à 25 °C) ou soustraction (si la température ambiante est supérieure à 25 °C) de la différence entre 25 °C et la température ambiante.
- 4) L'essai doit être poursuivi jusqu'à stabilisation des températures. Des températures stables sont obtenues lorsque trois mesures successives effectuées à des intervalles inférieurs à 5 min n'indiquent pas d'augmentation de température.
- 5) Les températures doivent être mesurées au moyen de couples thermoélectriques. Les températures des bobinages peuvent être mesurées soit au moyen de couples thermoélectriques, soit par la méthode par variation de la résistance.
- 6) Les couples thermoélectriques sont constitués de conducteurs d'une section maximale de 0,21 mm² et minimale de 0,05 mm². Le fil du couple thermoélectrique doit être conforme aux exigences spécifiées dans les tableaux de référence concernant les tolérances sur les valeurs initiales de la FEM en fonction des tableaux de température (IEC 60584-1).
- 7) Lorsque la méthode de la résistance est utilisée, les enroulements sont tenus d'être à température ambiante au début de l'essai et l'échauffement d'un enroulement est à calculer en utilisant la formule suivante:

$$\Delta t = \frac{R}{\gamma} (k + t_1) - (k + t_2)$$

où

Δt est l'échauffement en °C;

R est la résistance de la bobine en ohms à la fin de l'essai;

- r est la résistance de la bobine en ohms au début de l'essai;
- t_1 est la température ambiante initiale en °C au moment où la résistance « r » est mesurée (ce qui correspondant également à la température initiale de la bobine) ;
- t_2 est la température ambiante en °C à la fin de l'essai; et
- k = 234,5 pour le cuivre et 225,0 pour l'aluminium conducteur électrique (CE); les valeurs de la constante pour d'autres conducteurs sont à déterminer.

Tableau 3 – Limites d'échauffement

Matériaux et éléments	Limites d'échauffement °C
Moteurs:	
Systèmes d'isolation de classe 105 (A)	
Méthode du couple thermoélectrique	65
Méthode par variation de la résistance	75
Systèmes d'isolation de classe 130 (B)	
Méthode du couple thermoélectrique	85
Méthode par variation de la résistance	95
Systèmes d'isolation de classe 155 (F)	
Méthode du couple thermoélectrique	110
Méthode par variation de la résistance	120
Systèmes d'isolation de classe 180 (H)	
Méthode du couple thermoélectrique	125
Méthode par variation de la résistance	135
Bobines autres que moteurs:	
Systèmes d'isolation de classe 105 (A)	
Méthode du couple thermoélectrique	65
Méthode par variation de la résistance	75
Systèmes d'isolation de classe 130 (B)	
Méthode du couple thermoélectrique	85
Méthode par variation de la résistance	95
Systèmes d'isolation de classe 155 (F)	
Méthode du couple thermoélectrique	110
Méthode par variation de la résistance	120
Systèmes d'isolation de classe 180 (H)	
Méthode du couple thermoélectrique	125
Méthode par variation de la résistance	135
Conducteurs:	
Fils et cordons isolés en caoutchouc ou en thermoplastique (sauf s'ils sont conçus pour des températures plus élevées)	35
Températures de surface des éléments (sauf s'ils sont conçus pour des températures plus élevées):	
Condensateurs électrolytiques	40
Autres condensateurs	65
Fusibles	65
Isolation électrique (lorsqu'une éventuelle détérioration constituerait un danger pour la sécurité):	

Matériaux et éléments	Limites d'échauffement °C
Fibre	65
Résine phénolique stratifiée	100
Résine phénolique moulée	125
Autres matériaux d'isolation ^a	–
Enceinte non métallique, matériaux structurels et fonctionnels ^a	–
Joints et garnitures d'étanchéité critiques du point de vue de la sécurité ^a	–
Faces d'appui et surfaces adjacentes	65
Surface soumise à un contact continu lorsque le système à piles à combustible est utilisé, par exemple un interrupteur à contact momentané, etc.:	
Métallique	50
Non métallique	60
Surface soumise à un contact délibéré lorsque le système à piles à combustible est utilisé, mais non soumise à un contact continu, par exemple un interrupteur:	
Métallique	60
Non métallique	85
Surface soumise à un contact occasionnel:	
Métallique	65
Non métallique	83
^a Les limites de température dépendent des caractéristiques assignées de tenue en température du matériau.	

5.9 Essai de continuité

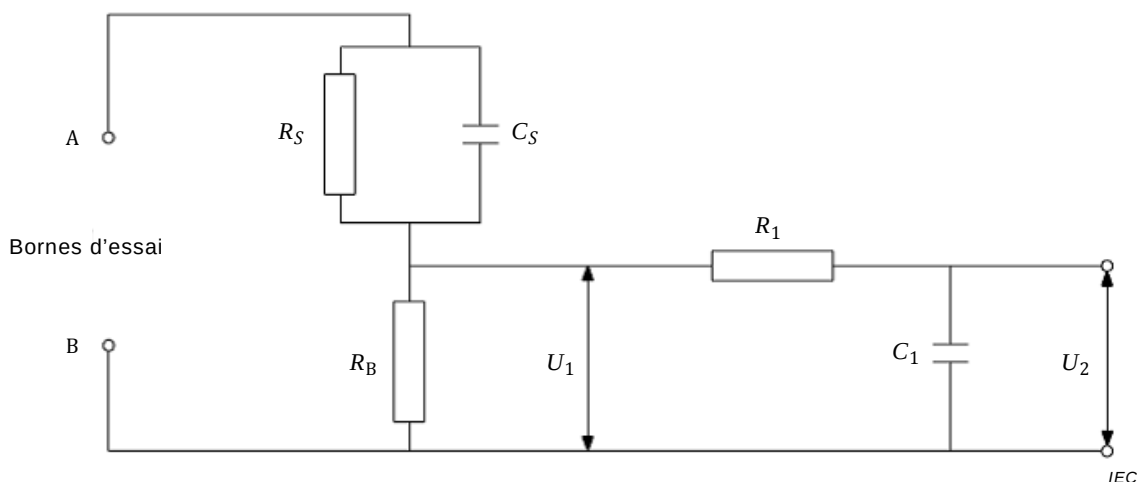
- 1) Les parties du système à piles à combustible prévues pour être reliées au chariot afin de disposer d'une protection contre les décharges électrostatiques doivent être soumises à un essai d'adhérence.
- 2) L'impédance des pièces métalliques devant être connectées pour éviter les décharges électrostatiques, doit être mesurée au moyen d'un ohmmètre approprié entre tous les points de la connexion des pièces métalliques, afin de s'assurer que la résistance ne dépasse pas 1 Ω.
- 3) Les canalisations de fluide non métalliques doivent avoir une résistivité maximale de 1 MΩ par mètre lorsque cette valeur est évaluée conformément à l'essai de conductivité de l'IEC 60079-0 (qui identifie le niveau de protection requis et dispose de références normatives pour le niveau de protection).

5.10 Essai du courant de contact

- 1) Un système à piles à combustible dont les circuits et/ou les sorties ont une tension crête supérieure à 42,4 V (60 V c.c. ou 30 V_{eff}) doit être soumis à un essai de mesure du courant de contact, comme décrit de 2) à 7) de 5.10.
- 2) La limite du courant de contact mesurée pour un système à piles à combustible soumis aux essais conformément à 3) de 5.10, ne doit pas être supérieure à
 - a) 0,5 mA pour les circuits c.a., et
 - b) 2,0 mA pour les circuits c.c.
- 3) Toutes les surfaces conductrices exposées du matériel doivent être soumises à l'essai de mesure du courant de contact. Si une surface conductrice autre que métallique est utilisée pour les parties accessibles, le courant de contact doit être mesuré en utilisant une feuille métallique d'une surface maximale de 10 mm × 20 mm en contact avec ladite surface.

NOTE L'aire de la feuille métallique placée sur la surface soumise à l'essai est la plus grande possible, sans pour autant dépasser les dimensions spécifiées.

- 4) Au cours de l'essai, le système à piles à combustible doit fonctionner à la charge maximale de service continu et être isolé de la terre. Le courant de contact doit être mesuré lorsque le système à piles à combustible se trouve dans un état de stabilité thermique, comme décrit en 5.9.
- 5) L'essai doit être réalisé en utilisant n'importe quel interrupteur unipolaire en position de marche et d'arrêt.
- 6) Le réseau de mesure du courant de contact pondéré, de manière à tenir compte de la perception ou de la réaction, est illustré à la Figure 5.



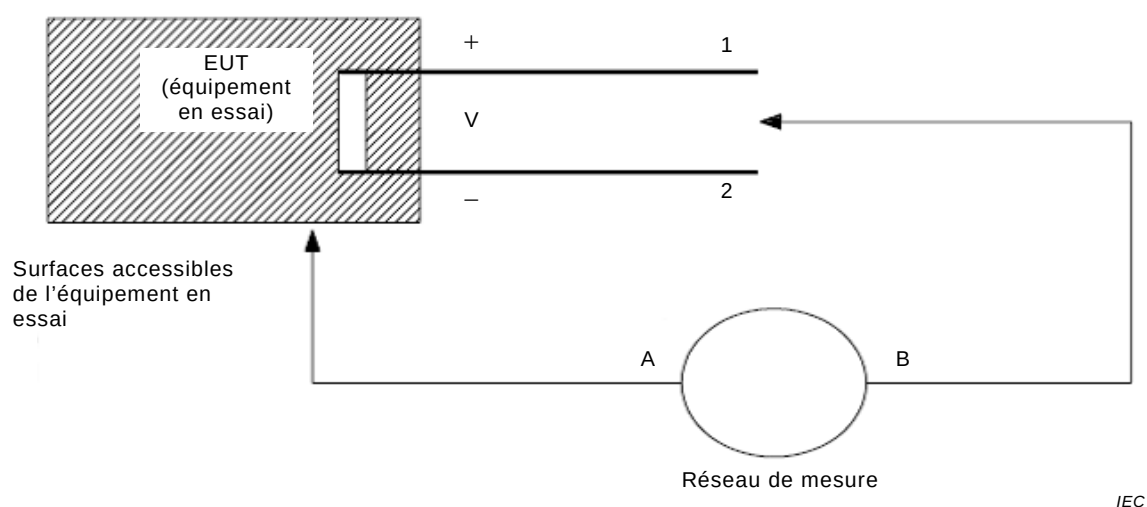
Légende

R_S	= 1 500 Ω	R_1	= 10 000 Ω
R_B	= 500 Ω	C_1	= 0,022 μF
C_S	= 0,022 μF		

NOTE La tension U_2 est la valeur pondérée en fréquence de U_1 de façon à ce qu'une seule indication équivalente à la basse fréquence du courant de contact soit obtenue pour toutes les fréquences présentes au-dessus de 15 Hz. La valeur pondérée du courant de contact est prise comme étant la valeur la plus élevée de U_2 mesurée au cours de l'essai, divisée par 500 W. Pour le courant continu, les mesures sont effectuées de manière similaire, mais la valeur du courant de contact est prise comme étant égale à simplement U_1 divisée par 500 W.

Figure 5 – Réseau de mesure du courant de contact pondéré pour tenir compte de la perception ou de la réaction

- 7) Le montage d'essai et la connexion du contrôleur de mesure au système à piles à combustible soumis à l'essai sont illustrés à la Figure 6 .



NOTE La sonde d'essai B est connectée à la borne de sortie 1 et puis à la borne de sortie 2.

Figure 6 – Schéma de l'essai de mesure du courant de contact

5.11 Essai de tenue diélectrique en tension

- 1) Chaque circuit haute-tension (supérieur à 30 V eff ou 42,4 V crête ou 60 V c.c.) du système à piles à combustible, doit supporter, sans claquage, l'application d'un potentiel essentiellement sinusoïdal de 60 Hz à 1 000 V, plus deux fois la tension assignée, si celle du système du chariot est supérieure à 72 V, ou, dans le cas contraire, 500 V. Les semi-conducteurs ou composants électroniques similaires susceptibles d'être endommagés par application de la tension d'essai peuvent être contournés ou débranchés.

Exception: un potentiel c.c. égal à 1,414 fois la valeur du potentiel c.a. peut être utilisé en remplacement.

- 2) Les tensions d'essai doivent être appliquées pendant une durée minimale de 1 min.

5.12 Essai d'accumulation de l'électricité statique pour les tubes non métalliques

5.12.1 Critères de réussite

Il ne doit pas être observé d'étincelles lorsqu'une sphère métallique mise à la terre est amenée en contact progressif avec le tube non métallique après qu'il ait été chargé d'électricité statique.

5.12.2 Méthode d'essai

Trois échantillons du tube avec des électrodes ponctuelles reliés à la terre (c'est-à-dire des raccords métalliques) doivent être conditionnés pendant au moins 48 h à une humidité relative de $(25 \pm 10) \%$.

Immédiatement après retrait de la chambre à faible humidité, les échantillons sont à placer en appui sur des isolants dans une salle ayant une humidité relative d'au maximum 35 % et dont toutes les sources de lumière, autres que les étincelles électriques, ont été retirées. Les électrodes ponctuelles sont à mettre à la terre. Une charge électrostatique est à appliquer sur les parties non conductrices du produit, au moyen d'un générateur électrostatique délivrant une tension maximale de 5 000 V.

Une sphère métallique mise à la terre, d'un diamètre de 9,5 mm (3/8 pouces) est à mettre en contact progressif avec l'échantillon. Si aucune étincelle n'apparaît, l'échantillon est considéré avoir réussi l'essai.

5.13 Essai de circuit à puissance limitée

- 1) Une source de puissance limitée doit satisfaire à l'une des spécifications suivantes:
 - a) la sortie est par essence limitée, conformément au Tableau 4;
 - b) la sortie a une impédance limitée, conformément au Tableau 4. Si un dispositif à coefficient de température positif est utilisé, il doit satisfaire aux Articles 15 et 17, ainsi qu'à l'Annexe J de l'IEC 60730-1:2013;
 - c) un dispositif de protection contre les surintensités, sans formation d'arcs, est utilisé et la sortie est limitée conformément au Tableau 5;
 - d) un réseau de régulation limite la sortie, conformément au Tableau 4, dans des conditions normales de fonctionnement et après une éventuelle condition de défaut unique dans le réseau de régulation (circuit ouvert ou court-circuit); ou
 - e) un réseau de régulation limite la sortie, conformément au Tableau 4 dans des conditions normales de fonctionnement et un dispositif de protection contre les surintensités, sans formation d'arcs, limite la sortie, conformément au Tableau 5, après une éventuelle condition de défaut unique dans le réseau de régulation (circuit ouvert ou court-circuit). Si le dispositif de protection contre les surintensités est un dispositif à amorçage d'arcs discret, il convient d'effectuer une évaluation supplémentaire en termes d'isolation contre les vapeurs de gaz potentiellement inflammables.

NOTE Lors des mesures, les moyens de protection contre les surintensités sont contournés afin de pouvoir déterminer la quantité d'énergie disponible qui peut entraîner un échauffement au cours de la durée de fonctionnement des moyens de protection contre les surintensités.

- 2) La charge référencée dans les notes de bas de page b) et c) des Tableaux 4 et 5, doit être ajustée de manière à produire respectivement le transfert de valeurs maximales d'intensité et de puissance. Les défauts uniques dans un réseau de régulation sont appliqués dans ces conditions de valeurs maximales d'intensité et de puissance.

Tableau 4 – Limites pour des sources de puissance intrinsèquement limitée

Tension de sortie c.c. ^a V_{oc}	Courant de sortie ^b I_{sc}	Puissance apparente ^c $ S $
$V_{c.c.}$	A	VA
≤ 20	$\leq 8,0$	$\leq 5 \times V_{oc}$
$20 < V_{oc} \leq 30$	$\leq 8,0$	≤ 100
$30 < V_{oc} \leq 60$	$\leq 150 / V_{oc}$	≤ 100
^a V_{oc} : Tension de sortie mesurée avec tous les circuits de charge déconnectés. Les tensions correspondent à un courant continu sans ondulation. ^b I_{sc} : Courant de sortie maximal avec toute charge non capacitive, y compris un court-circuit, mesuré 60 s après application de la charge. ^c S (VA): Puissance (VA) de sortie maximale avec toute charge non capacitive, mesurée 60 s après application de la charge.		

Tableau 5 – Limites pour des sources de puissance non intrinsèquement limitées (protection contre les surintensités exigée)

Tension de sortie ^a V_{oc}	Courant de sortie ^b I_{sc}	Puissance apparente ^c $ S $	Courant assigné de la protection contre les surintensités ^d
$V_{c.c.}$	A	VA	A
≤ 20			$\leq 5,0$
$20 < V_{oc} \leq 30$	$\leq 1\,000/V_{oc}$	≤ 250	$\leq 100/V_{oc}$
$30 < V_{oc} \leq 60$			$\leq 100/V_{oc}$
^a V_{oc} : Tension de sortie mesurée avec tous les circuits de charge déconnectés. Les tensions correspondent à un courant continu sans ondulation. ^b I_{sc} : Courant de sortie maximal avec toute charge non capacitive, y compris un court-circuit, mesuré 60 s après application de la charge. Des impédances de limitation de courant dans l'appareillage demeurent dans le circuit pendant la mesure, mais les dispositifs de protection contre les surintensités sont contournés. ^c S (VA): Puissance (VA) de sortie maximale avec toute charge non capacitive, mesurée 60 s après application de la charge. Des impédances de limitation de courant dans l'appareillage demeurent dans le circuit pendant la mesure, mais les dispositifs de protection contre les surintensités sont contournés. ^d Les courants assignés du dispositif de protection contre les surintensités sont fondés sur les fusibles et disjoncteurs qui coupent le circuit dans les 120 s en présence d'un courant égal à 210 % du courant assigné spécifié dans le tableau.			

5.14 Essai de VA maximale

- 1) Un échantillon du système à piles à combustible doit être soumis à un essai de sortie VA maximale conformément aux points 2) et 3) de 5.14.
- 2) La sortie du système à piles à combustible étant connectée à une charge variable, la VA maximale du système est à mesurer pendant 60 s. La charge doit pouvoir varier de zéro jusqu'au court-circuit pendant l'essai.
- 3) La sortie VA du système ne doit pas dépasser la valeur de sortie assignée repérée (voir 2) c) à l'Article 7) de plus de $\pm 10\%$.

5.15 Essai de fonctionnement anormal – Défaillance du matériel électrique

- 1) Le système à piles à combustible doit être soumis aux défauts de composants électriques, notés de 2) à 4) en 5.15. Les défauts introduits dans les composants électriques ne doivent pas entraîner de chocs ou de danger d'incendie généré par le système à piles à combustible.
- 2) Les conditions de défaut sont à maintenir pendant 7 h ou jusqu'à apparition des résultats définitifs. Les résultats définitifs comprennent une stabilisation thermique du système, ou l'ouverture d'un fusible ou de tout autre dispositif de protection.
- 3) Les conditions de défaut suivantes, en fonction de leur applicabilité au système, sont à mettre en œuvre:
 - a) sortie du système à piles à combustible en court-circuit;
 - b) rotor du moteur de chaque soufflante ou ventilateur bloqué, un à la fois, si le système utilise une ventilation forcée;
 - c) inversion de la polarité de batteries, si les batteries utilisées dans le système peuvent être remplacées par l'utilisateur ou si le connecteur de la batterie n'est pas polarisé;
 - d) fonctionnement du système à piles à combustible à la puissance maximale disponible, telle que déterminée par la valeur VA maximale en 5.14, sauf s'il y a déclenchement d'un fusible;
 - e) fonctionnement du système à 135 % de l'intensité assignée du fusible de protection, le fusible étant contourné, si un fusible se déclenche dans les conditions définies en d) ci-dessus; et

- f) absence du liquide fourni par les pompes lorsqu'il est nécessaire à des fins de refroidissement.
- 4) Si un dispositif de protection se déclenche dans les cas 3), a) à d) et f) en 5.15, l'essai doit être
 - a) arrêté si un dispositif de protection non réinitialisable et non automatique fonctionne,
 - b) poursuivi pendant 7 h si un dispositif de protection à réinitialisation automatique fonctionne, ou
 - c) poursuivi pendant 10 cycles à un rythme d'au maximum 10 manœuvres par minute, si un dispositif à réinitialisation manuelle fonctionne.

5.16 Essai d'émission d'effluents (uniquement pour des piles à combustible méthanol)

- 1) Un système à piles à combustible méthanol capable de générer des émissions de l'une des matières indiquées en Tableau 6 ne doit pas dépasser les limites d'émission indiquées dans ce même Tableau 6.
- 2) Le système à piles à combustible méthanol doit fonctionner à la puissance assignée dans une salle ouverte ou à l'extérieur. Pendant le fonctionnement, une quantité suffisante d'échantillons d'effluent doit être obtenue pour permettre de déterminer la conformité au présent paragraphe.
- 3) Les échantillons d'effluents doivent être maintenus en un point de décharge d'échappement du système à piles à combustible méthanol. Les résultats d'analyses doivent être comparés aux limites indiquées dans le Tableau 6. Si le taux d'émission mesuré est inférieur à la limite, le système à piles à combustible méthanol direct est considéré avoir réussi l'essai.

Tableau 6 – Limites du taux d'émission

	Limite du taux d'émission
Méthanol	1,8 g/h
CO	0,20 g/h
CO ₂	Aucune limite

5.17 Essais d'environnement

5.17.1 Généralités

Un système à piles à combustible méthanol ne doit pas générer de situation dangereuse ou contraire à la sécurité lorsqu'il est exposé à des vents ayant des vitesses nominales jusqu'à et y compris 16 km/h. La conformité à cet article est démontrée par des essais réalisés conformément à 5.17.3.

5.17.2 Essai de résistance à la pluie

Les enceintes doivent être de classe de protection IPX4, conformément à l'IEC 60529. La conformité à cet article est démontrée par les essais exigés dans la norme IEC 60529.

Une classe de protection IP2X est acceptable pour les unités conçues et étiquetées pour une utilisation à l'intérieur uniquement.

5.17.3 Essai du matériel – Exposition au vent

- 1) Un système à piles à combustible dont la résistance maximale à la vitesse du vent est marquée conformément à 2) k), de l'Article 7, doit être soumis au présent essai d'exposition au vent.
- 2) Le système à piles à combustible ne doit pas être affecté par le vent de manière préjudiciable.

- 3) Le système à piles à combustible doit fonctionner sans dommage ou dysfonctionnement d'une quelconque partie et sans générer de conditions dangereuses lorsqu'il est exposé à des vents ayant des vitesses nominales de 50 km/h ou la vitesse du vent maximale assignée marquée sur le produit par le fabricant, selon que l'une ou l'autre valeur est la plus élevée.
- 4) Un vent produit par un ventilateur ou une soufflante, ayant une vitesse de 50 km/h ou ayant la vitesse de vent maximale assignée indiquée par le fabricant sur le produit, selon que l'une ou l'autre valeur est la plus élevée, est à diriger contre une surface extérieure au système à piles à combustible dans des directions considérées représenter le cas le plus défavorable. Le ventilateur ou la soufflante est à placer de façon à ce qu'un vent uniforme, couvrant l'ensemble de la zone projetée de la surface extérieure du système, soit dirigé horizontalement vers le système à piles à combustible, à la vitesse spécifiée, mesurée dans un plan vertical à 457,2 mm de la surface du système à piles à combustible face au vent.

5.18 Essais de l'enceinte

5.18.1 Essai de charge de l'enceinte

- 1) Le boîtier de l'enceinte du système à piles à combustible autonome doit être construit de façon à ce qu'une charge appliquée n'endommage pas la pile à combustible, n'entraîne pas la mise en court-circuit des espacements électriques dans la pile à combustible ou autre danger.
- 2) Une force de 1 110 N doit être appliquée à toute surface de 930 cm² à la partie supérieure de l'enceinte, pendant une période de 1 min, si le système à piles à combustible comporte une partie supérieure de son enceinte.

5.18.2 Essai des enceintes thermoplastiques

5.18.2.1 Essai d'impact

Une enceinte thermoplastique doit satisfaire aux essais réalisés conformément à l'IEC 60695-10-2. L'enceinte doit également être soumise à un essai d'impact de 136 J. L'essai d'impact est à réaliser en faisant chuter une sphère en acier de 101,6 mm de diamètre et d'un poids de 4,5 kg d'une hauteur de 3,0 m.

5.18.2.2 Essai d'impact dans des conditions de basse température

Un système à piles à combustible destiné à être utilisé dans des conditions de température inférieure ou égale à –20 °C, conformément à 2) f) de l'Article 7, qui utilise une enceinte thermoplastique, doit satisfaire à l'essai d'impact dans des conditions de basse température, avec conditionnement à moins de 30 °C ou 10 °C sous la température assignée marquée indiquée sur l'enceinte, selon que l'une ou l'autre valeur est la plus faible, conformément à l'IEC 60695-1-30 et à la série IEC 60695, à l'exception du fait que l'enceinte doit être soumise à un impact de 136 J pendant l'essai. L'essai doit être réalisé en faisant chuter une sphère d'acier de 101,6 mm de diamètre et d'un poids de 4,5 kg d'une hauteur de 3,0 m.

5.18.2.3 Essai sous contrainte du moulage

- 1) Une enceinte thermoplastique doit être soumise à l'essai conformément à l'IEC 60695-10-2.
- 2) Suite à l'essai de contrainte de moulage, il ne doit pas y avoir de gauchissement, de fusion ou autre déformation de l'enceinte qui pourrait exposer des pièces dangereuses ou affecter la ventilation ou tout autre système qui pourrait gêner un fonctionnement en toute sécurité du système à piles à combustible.

5.19 Essai au brûleur aiguille de 20 mm de la partie moulée des matériaux thermoplastiques

- 1) En variante à la méthode de classification des matériaux thermoplastiques d'enceinte, tels que V-0 ou V-1, un essai à la flamme de 20 mm de la ou des parties moulées peut être effectué, comme décrit de 2) à 4) en 5.19.

- 2) L'essai doit être réalisé en utilisant l'appareil et la flamme d'essai décrits dans l'IEC 60695-11-4.
- 3) Deux applications pendant 30 s de la pointe de la flamme de 20 mm doivent être effectuées à chaque section de l'enceinte choisie, comme indiqué ci-dessus, à des intervalles de 1 min entre les applications. Une source d'alimentation en gaz méthane de qualité technique doit être utilisée, avec un régulateur et un appareil de mesure pour assurer un débit de gaz uniforme.
- 4) Les enceintes ne doivent pas s'enflammer pendant plus de 1 min après deux applications de 30 s d'une flamme d'essai à un intervalle de 1 min entre applications. Les résultats ne sont pas acceptables si l'échantillon est entièrement consumé.

5.20 Essai d'adhérence de la plaque signalétique

- 1) Afin de déterminer si une plaque signalétique assujettie par adhérence satisfait à l'Article 7, l'échantillon représentatif doit être soumis aux essais décrits de 2) à 5) en 5.20. A cours de chaque essai, trois échantillons de plaques signalétiques doivent être placés sur les mêmes surfaces d'essai que celles utilisées pour l'application prévue.
- 2) Immédiatement après chacun des essais décrits de 3) à 5) en 5.20 et après exposition à la température ambiante pendant 24 h, chaque échantillon doit
 - a) démontrer une bonne adhérence et les bords ne doivent pas être recourbés,
 - b) résister à toute détérioration ou enlèvement, ceci étant vérifié en grattant le panneau d'essai au moyen d'une lame métallique plate de 1,76 mm d'épaisseur, maintenue à angle droit sur le panneau d'essai, et
 - c) conserver une impression lisible qui ne peut être détériorée par gommage ou par pression du pouce ou d'un autre doigt. Il convient que l'impression ne puisse pas être retirée par des produits chimiques de nettoyage général ou par frottement, pression du pouce ou d'un autre doigt.
- 3) Pour le vieillissement en étuve à circulation d'air, trois échantillons de plaques signalétiques doivent être placés dans l'étuve et maintenus à une température de 85 °C pendant 240 h.
- 4) Pour les essais d'immersion, trois échantillons de plaques signalétiques doivent être placés dans une atmosphère contrôlée maintenue à (23 ± 2) °C et à une humidité relative de (50 ± 5) % pendant 24 h. Les échantillons doivent être ensuite immergés dans de l'eau à une température de (23 ± 2) °C pendant 48 h.
- 5) Pour les essais en atmosphère normale, trois échantillons de plaques signalétiques doivent être placés dans une atmosphère contrôlée maintenue à (23 ± 2) °C et à une humidité relative de (50 ± 5) % pendant 72 h.

5.21 Essais des joints, garniture et tubes en élastomère

5.21.1 Généralités

Les joints, garnitures et tubes en matériau élastomère ayant une fonction de sécurité, doivent être soumis à l'essai de 5.21.2 et de 5.21.3, selon le cas.

5.21.2 Essai de vieillissement accéléré à l'étuve à circulation d'air

Les joints, garnitures et tubes en matériau élastomère ayant une fonction de sécurité, doivent être appropriés pour les températures rencontrées et doivent satisfaire à l'essai décrit dans l'ISO 16010.

5.21.3 Essai d'exposition aux basses températures

- 1) Les joints, garnitures et tubes en matériau élastomère ayant une fonction de sécurité et destinés à être utilisés sur des systèmes fonctionnant à des températures extrêmement froides, inférieures ou égales à 20 °C, ne doivent pas être fragilisés au point de ne plus assurer la fonction prévue suite à l'essai de 2) de 5.21.3.
- 2) Les pièces décrites en 5.21.1 doivent être soumises à l'essai conformément à l'ISO 16010.

5.21.4 Essai d'immersion

Les joints, garnitures et tubes en matériau élastomère ayant une fonction de sécurité doivent être appropriés pour exposition aux fluides rencontrés en utilisation, tels que le méthanol, et doivent satisfaire aux essais de variation de volume du liquide B, conformément à l'ISO 16010, à l'exception du fait que ledit liquide d'essai doit être représentatif du liquide auquel le matériau sera exposé (c'est-à-dire 100 % de méthanol ou un mélange de méthanol) et du fait que la variation de volume doit être de (25 ± 1) % de la valeur à l'état de réception.

5.22 Essai de perméabilité des tuyauteries et canalisations non métalliques

- 1) Les tuyauteries et canalisations non métalliques transportant des gaz et vapeurs inflammables doivent être suffisamment imperméables à ces gaz et vapeurs.
- 2) Les tuyauteries et canalisations non métalliques doivent être soumises à un essai de perméabilité à l'hydrogène, conformément à l'ISO 4080.

5.23 Essai des conducteurs électriques de sortie

- 1) Les conducteurs électriques de sortie d'un système à piles à combustible, prévus pour être exposés à des températures extrêmes supérieures à 50 °C et inférieures ou égales à –20 °C, doivent être construits de manière à pouvoir supporter l'essai décrit en 2) de 5.23, fondés sur les températures extrêmes objet du marquage effectué conformément à 2) f) de l'Article 7.
- 2) Les pièces décrites en 1) de 5.23 doivent être soumises à l'essai conformément à l'ISO 16010, à une température de 10 K supérieure à la température assignée indiquée mais au moins égale à 70 °C, pendant 168 h. Suite à ce conditionnement, les conducteurs doivent être examinés afin de déceler d'éventuels signes de détérioration, tels que fissuration et fusion.

Exception: il n'est pas exigé que les conducteurs munis d'une isolation et dont le marquage indique une température assignée conforme à la température élevée marquée sur le système, conformément à 2) f) de l'Article 7, soient soumis à cet essai.

6 Essais individuels de série

6.1 Essai de tenue diélectrique en tension

L'essai décrit en 5.11 doit être réalisé sur 100 % de la production, à l'exception du fait que la durée peut être réduite à 1 s si le potentiel d'essai est augmenté de 120 % de la tension assignée $(1\,000 + 2,4 \times V_{\text{assignée}})$.

Exception: il n'est pas exigé d'effectuer cet essai sur une ligne de production pour les circuits basse tension.

6.2 Fuites externes

- 1) Les parties du système transportant des fluides inflammables doivent être soumises à un essai de fuite externe sur 100 % de la production.
- 2) Aux pressions de service normales, les parties du système transportant du gaz ne doivent pas fuir après fonctionnement pendant 1 min. Des signes visibles de bulles de savon, une chute de pression ou autre événement similaire, en fonction de la méthode d'essai, doivent indiquer des fuites dans le système.
- 3) Le système à piles à combustible ou les parties concernées soumises à l'essai doivent fonctionner à la pression normale de service. Les zones de fuites potentielles telles que les raccords, sont à soumettre aux essais de fuites au moyen d'une solution de détection des fuites (savon et eau) ou moyen équivalent.

7 Marquages

- 1) Les marquages de la plaque signalétique spécifiés en 2) de l'Article 7, doivent être fixés en permanence au système à piles à combustible. Si un adhésif est utilisé pour fixer la plaque signalétique sur la pile à combustible, l'adhésif doit satisfaire à l'essai de 5.20.
- 2) La plaque signalétique du système à piles à combustible doit comprendre les informations suivantes:
 - a) le nom du fabricant, la marque déposée ou autre marquage descriptif permettant d'identifier l'organisation responsable du produit;
 - b) un numéro de catalogue ou référence équivalente;
 - c) les caractéristiques électriques assignées de sortie, en volts nominaux du système, l'intensité maximale continue et la puissance VA maximale;
 - d) le type de combustible utilisé, y compris la pression de service et la pression de service maximale;
 - e) lorsque le réservoir de combustible est fixe et ne peut être facilement visualisé, l'étiquette doit fournir le volume total d'eau du conteneur de combustible, en litres, ainsi que la ou les dates de contre-essai ou d'expiration;
 - f) les températures ambiantes minimales et maximales de fonctionnement;
 - g) les températures ambiantes minimales et maximales de stockage si différentes de f) ci-dessus;
 - h) la masse du système à piles à combustible, pour les systèmes autonomes uniquement;
 - i) le centre de gravité du système à piles à combustible, pour les systèmes autonomes uniquement;
 - j) le degré IP peut être fourni s'il est prévu d'évaluer la classe IP minimale d'un système à piles à combustible. Voir 5.18.1; et
 - k) un marquage indiquant la vitesse maximale du vent pour les systèmes à piles à combustible (destinés à être exposés à des vitesses de vent élevées, jusqu'à 50 km/h ou la vitesse maximale assignée du vent indiquée par le fabricant sur le produit, selon que l'une ou l'autre valeur est la plus élevée).
- 3) Tous les autres marquages exigés de 3) a) à 3) j) de l'Article 7 doivent être permanents, conformément à 1.7.11 de l'IEC 60950-1:2005.
 - a) Un système à piles à combustible destiné à être installé sur le terrain doit également comprendre un marquage indiquant que ce système est effectivement destiné à être installé sur le terrain par du personnel qualifié uniquement.
 - b) Les systèmes munis de fusibles remplaçables doivent porter, à proximité du porte-fusible, un marquage indiquant les valeurs assignées de courant et de tension des fusibles.
 - c) La polarité des conducteurs de sortie doit être marquée sur les conducteurs, à moins qu'ils ne se terminent dans un connecteur polarisé.
 - d) Les réservoirs de combustible prévus pour le système doivent comporter un marquage indiquant le combustible et la pression appropriés.
 - e) Le système à piles à combustible doit comporter un marquage indiquant qu'il doit être correctement connecté au système de métallisation du chariot.
 - f) En référence à 4.5.4, lorsqu'un robinet manuel est utilisé pour le gaz inflammable fourni au système à piles à combustible, il doit comporter un marquage indiquant "FERMETURE MANUELLE."
 - g) L'ensemble de la documentation, ainsi que les plaques signalétiques des récipients sous pression, doivent indiquer la norme à laquelle satisfont les récipients sous pression, ainsi que les opérations de maintenance et les essais pertinents requis.
 - h) La plaque signalétique et la documentation des réservoirs doivent comprendre la date effective de fin de service des récipients sous pression, en se fondant sur une analyse du cas le plus défavorable.

- i) Les marquages doivent être rédigés dans la ou les langues du pays d'utilisation du chariot, conformément à la législation nationale (ISO 3691-1) Un pictogramme suffit également.
- j) Il convient également que l'utilisation des symboles soit conforme à l'ISO 7010 et/ou à l'ISO 3864-1.

8 Instructions

8.1 Généralités

- 1) Le système à piles à combustible doit être accompagné d'un manuel d'instructions rédigé dans la langue nationale du pays d'utilisation.
- 2) Le manuel d'instructions doit comprendre des consignes de maintenance, de fonctionnement et d'installation conformes aux dispositions indiquées de 8.2 à 8.4.
- 3) Le manuel d'instructions doit comporter un schéma de câblage, ainsi qu'un plan d'implantation de la canalisation de combustible.
- 4) Les instructions de fonctionnement et de stockage doivent décrire les dangers potentiels résultant de l'utilisation des combustibles, ainsi que les éventuelles précautions à prendre pour la manipulation des matières.
- 5) Des informations indiquant les exigences d'installation, de maintenance, de charge et de manutention, doivent être incluses dans le manuel d'installation de la pile à combustible et/ou du chariot.
- 6) Le manuel d'instructions doit comporter des informations sur le recyclage et la manutention d'une pile à combustible endommagée.

8.2 Instructions de maintenance

Les instructions de maintenance doivent comprendre, dans la mesure où elles sont applicables, les informations suivantes:

- a) Pour un système à piles à combustible muni de batteries remplaçables, des instructions de remplacement des batteries, y compris le type et les valeurs assignées desdites batteries.
- b) Pour un système à piles à combustible à fusibles remplaçables, des instructions de remplacement des fusibles, y compris le type et les valeurs assignées de tension et de courant desdits fusibles.
- c) Des instructions indiquant que la zone dans laquelle un système à piles à combustible est utilisé doit être exempte de matériaux inflammables et de combustibles tels que l'essence.
- d) Des instructions relatives à la nécessité de conserver l'ensemble des orifices de ventilation et d'échappement libres, de façon à ce que le flux d'air ne soit pas obstrué et indiquant que les éventuelles distances requises pour assurer une ventilation et des échappements appropriés doivent être maintenues une fois le système installé sur le chariot.
- e) Des instructions relatives à l'inspection et à la maintenance de base, par exemple le nettoyage des filtres, le remplacement des pièces et le graissage des pièces. Voir également l'exception en 7) de 4.13.2.
- f) La source d'approvisionnement des pièces de rechange.
- g) Une explication concernant la nécessité et la fréquence minimale d'examen et de contrôle périodique par un personnel qualifié. Par exemple, la vérification des éventuels éléments sécuritaires nécessitant un étalonnage, par exemple les détecteurs de gaz et les pressostats.
- h) L'affichage des piles à combustible doit indiquer si une opération de maintenance est nécessaire ou bien le fabricant des piles à combustible doit spécifier et indiquer le moment où une opération de maintenance est nécessaire.

8.3 Instructions d'exploitation

Les instructions d'exploitation doivent inclure, dans la mesure où elles sont applicables, les informations suivantes:

- a) Les instructions de démarrage et d'arrêt du système à piles à combustible.
- b) Des instructions complètes pour un ravitaillement correct du système à piles à combustible.
- c) Pour un système à piles à combustible sans indication de degré IP pour la pénétration d'eau, l'avertissement «ATTENTION: non prévu pour utilisation dans des conditions d'humidité élevée jusqu'à 95 % ou de pluie».
- d) Pour un système à piles à combustible non conçu pour fonctionner à des températures extrêmes, l'indication «ATTENTION: non prévu pour utilisation à une température inférieure à _____ degrés. Non prévu pour utilisation à une température supérieure à _____ degrés».
- e) Des informations concernant la fourniture d'air de processus et de ventilation approprié. Ceci doit comprendre l'indication suivante: «Le présent système à piles à combustible utilise l'oxygène de la zone dans laquelle il est utilisé. Il convient de ne pas l'utiliser dans un espace confiné ou dans une construction inhabituellement étroite, à moins de prévoir des sources appropriées d'air de processus et de ventilation». Il convient également d'inclure un exemple de détermination du volume d'une zone type.

NOTE En général, une construction étroite est une construction où

- 1) les murs et le plafond exposés à l'atmosphère extérieure sont dotés d'un retardateur de vapeur d'eau continu d'une valeur assignée de $6 \times 10^{-11} \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{Pa} \times \text{s})$ (1 perm) ou moins, avec des ouvertures munies de garnitures ou de joints d'étanchéité;
- 2) des bourrelets coupe-froid ont été ajoutés sur les portes et fenêtres qui peuvent être ouvertes; et
- 3) des calfeutrements ou des produits d'étanchéité sont appliqués en des emplacements tels que les joints autour des cadres de fenêtres et de portes, entre les semelles et les planchers, entre les joints murs/plafond, entre parois et murs, au niveau des pénétrations de la plomberie, des canalisations d'électricité et de gaz, ainsi qu'au niveau d'autres ouvertures.

8.4 Instructions d'installation

- 1) Des instructions doivent être fournies pour assurer une installation correcte du système à piles à combustible, y compris, de manière non limitative, les exigences relatives aux espacements, à l'emplacement des ouvertures de ventilation et d'échappement, aux éléments de fixation, aux connexions électriques et aux connexions de combustible. Lorsqu'il peut y avoir un danger du fait de l'orientation ou du positionnement du système, des instructions doivent être fournies et le système porter les étiquettes correspondantes.
- 2) Les instructions d'installation doivent indiquer une métallisation correcte du système à piles à combustible sur les dispositifs de mise à la terre du chariot (voir 4.10.5).
- 3) Si des réservoirs de stockage sont prévus, des instructions d'installation correcte du système de stockage, y compris des instructions de raccordement des canalisations de combustible au système à piles à combustible, doivent être incluses.
- 4) Les instructions d'installation d'un système à piles à combustible installé sur le terrain doivent comprendre une déclaration indiquant que le système est destiné à être installé sur le terrain par du personnel qualifié uniquement.

Annexe A (informative)

Comparaison des termes relatifs à la pression

Table A.1 – Table de comparaison des termes relatifs à la pression

Terminologie relative à la pression	Normes/codes				
	ISO/TS 15869 (2009)	NFPA 52 (2010)	ASME B & PV Code Sec. VIII	SAE J2600 (2002)	UL 2267 (2006)
Pression de service (SP)	–	Identique à NWP	–	–	25 MPa ou 35 MPa
Pression de service nominale (NWP) ou simplement pression de service (WP)	WP identique à NWP ou SP	–	–	Identique à SP	–
Pression de service maximale (MOP)	–	1,25 × SP, Identique à MFP	–	1,25 × NWP, Identique à MFP	1,25 × SP, 31,25 MPa ou 43,75 MPa
Pression maximale de remplissage (MFP)	1,25 × WP, Identique à MOP	–	–	1,25 × NWP, Identique à MOP	–
Pression de calcul	–	–	DP	–	–
Pression de service maximale admissible (MAWP)	–	1,38 × SP	MAWP	1,38 × NWP	1,38 × SP, 34,5 MPa ou 48,3 MPa

Bibliographie

IEC 60034 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes*

IEC 60034-11, *Machines électriques tournantes – Partie 11: Protection thermique*

IEC 60079-20-1, *Atmosphères explosives – Partie 20-1: Caractéristiques des substances pour le classement des gaz et des vapeurs – Méthodes et données d'essai*

IEC 60093, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

IEC 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

IEC 60243 (toutes les parties), *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai*

IEC 60695-11-5, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Flammes d'essai – Méthode d'essai au brûleur aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

IEC 60812, *Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)*

IEC TS 62282-1:2013, *Technologies des piles à combustible – Partie 1: Terminologie*

IEC 62282-3-100, *Fuel cell technologies – Part 3-100: Stationary fuel cell power systems – Safety* (disponible en anglais seulement)

IEC 62282-5-1, *Fuel cell technologies – Part 5-1: Portable fuel cell power systems – Safety* (disponible en anglais seulement)

ISO/TS 15869, *Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks* (disponible en anglais seulement)

ISO 16000-3, *Air intérieur – Partie 3: Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés dans l'air intérieur et dans l'air des chambres d'essai – Méthode par échantillonnage actif*

ISO 16000-6, *Air intérieur – Partie 6: Dosage des composés organiques volatils dans l'air intérieur des locaux et enceintes d'essai par échantillonnage actif sur le sorbant Tenax TA, désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse utilisant MS/FID*

ISO 16017-1, *Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail – Echantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire – Partie 1: Echantillonnage par pompage*

UL 2267, *Fuel Cell Power Systems for Installation in Industrial Electric Trucks*

UL 60730-1A, *Automatic Electrical Controls for Household and Similar Use, Part 1: General Requirements*

UL 2054, *Batteries, Household and Commercial*

UL 1642, *Batteries, Lithium*

UL 1989, *Batteries, Standby*

UL 877, *Circuit Breakers and Circuit-Breaker Enclosures for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 507, *Fans, Electric*

UL 2075, *Gas and Vapour Detectors and Sensors*

UL 157, *Gaskets and Seals*

UL 536, *Connectors for Gas Appliances, ANSI Z21.24/CSA/CGA 6.10, or the Standard for Flexible Metallic Hose*

UL 698, *Industrial Control Equipment for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 583, *Industrial Trucks, Electric-Battery-Powered*

UL 60950-1, *Information Technology Equipment Safety – Part 1: General Requirements*

UL 840, *Insulation Coordination Including Clearances and Creepage Distances for Electrical Equipment*

UL 1741, *Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources*

UL 969, *Markings and Labeling Systems*

UL 1450, *Motor-Operated Air Compressors, Vacuum Pumps, and Painting Equipment*

UL 1004, *Motors, Electric*

UL 2111, *Motors, Overheating Protection for*

UL 886, *Outlet Boxes and Fittings for Use in Hazardous (Classified) Locations*

UL 746C, *Polymeric Materials – Use in Electrical Equipment Evaluations*

UL 1012, *Power Units Other Than Class 2*

UL 778, *Pumps, Motor-Operated Water*

UL 79, *Pumps, Power-Operated for Petroleum Dispensing Products*

UL 1998, *Software in Programmable Components*

UL 991, *Tests for Safety-Related Controls Employing Solid-State Devices*

UL 1585, *Transformers, Class 2 and Class 3*

UL 429, *Valves, Electrically Operated*

UL 842, *Valves for Flammable Fluids*

UL 705, *Ventilators, Power*

NFPA 54, *The National Fuel Gas Code*,

ANSI/NFPA 70, *National Electrical Code*

NFPA 497, *Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases or Vapours and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*

NFPA 505, *Powered Industrial Trucks Including Type Designations, Areas of Use, Conversions, Maintenance, and Operation*

ANSI/ASME B31.1, *Power Piping*

ANSI/ASME B31.3, *Process Piping*

ANSI/IAS NGV 4.2, *Hoses for Natural Gas Vehicles and Dispensing Systems*

ANSI/ASME B31.12, *Hydrogen Piping and Pipelines, Part IP*

ANSI/ISA MC96.1, *Thermocouples table in Temperature-Measurement Thermocouples*

ANSI Z21.24/CSA/CGA 6.10, *Connectors for Gas Appliances* CSA America HPRD1, *Basic Requirements for Pressure Relief Devices for Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Containers*

SAE J2600, *Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refuelling Connection Devices*

SAE J2719, *Hydrogen Quality Guideline for Fuel Cell Vehicles*

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), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)*

SAE J517, *Hydraulic hose*

ASTM G 142, *Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both*

ASTM F 1459, *Determination of the Susceptibility of Metallic Materials to Gaseous Hydrogen Embrittlement*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch