

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



### Fuel cell technologies –

**Part 4-600: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Fuel cell/battery hybrid systems performance test methods for excavators**

### Technologies des piles à combustible –

**Partie 4-600: Systèmes à piles à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Méthodes d'essai des performances des systèmes hybrides à piles à combustible/batterie pour les pelles**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



### Fuel cell technologies –

**Part 4-600: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Fuel cell/battery hybrid systems performance test methods for excavators**

### Technologies des piles à combustible –

**Partie 4-600: Systèmes à piles à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Méthodes d'essai des performances des systèmes hybrides à piles à combustible/batterie pour les pelles**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-4199-8

**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  |
| 1 Scope.....                                                      | 7  |
| 2 Normative references .....                                      | 8  |
| 3 Terms, definitions and abbreviated terms .....                  | 8  |
| 3.1 Terms and definitions.....                                    | 8  |
| 3.2 Abbreviated terms.....                                        | 10 |
| 4 Symbols .....                                                   | 10 |
| 5 Configuration of fuel cell and battery hybrid power system..... | 12 |
| 5.1 General.....                                                  | 12 |
| 5.1.1 Overview .....                                              | 12 |
| 5.1.2 Hybrid system.....                                          | 12 |
| 6 Reference conditions .....                                      | 13 |
| 7 Test preparation .....                                          | 13 |
| 7.1 General.....                                                  | 13 |
| 7.2 Measurement system analysis .....                             | 13 |
| 7.3 Data acquisition plan .....                                   | 13 |
| 8 Test set-up .....                                               | 13 |
| 9 Instruments and measurement methods .....                       | 15 |
| 9.1 General.....                                                  | 15 |
| 9.2 Measurement instruments .....                                 | 15 |
| 9.3 Measurement points.....                                       | 16 |
| 9.4 Minimum required measurement systematic uncertainty.....      | 17 |
| 10 Test conditions .....                                          | 18 |
| 10.1 Laboratory conditions.....                                   | 18 |
| 10.2 Installation and operating conditions of the system .....    | 18 |
| 10.3 Power source conditions .....                                | 18 |
| 10.4 Quality of test fuel.....                                    | 18 |
| 10.4.1 Hydrogen.....                                              | 18 |
| 10.4.2 Methanol solution .....                                    | 18 |
| 11 Operating process .....                                        | 18 |
| 12 Test plan .....                                                | 19 |
| 13 Type tests on electric performance .....                       | 20 |
| 13.1 General.....                                                 | 20 |
| 13.2 Fuel consumption test.....                                   | 20 |
| 13.2.1 Gaseous and liquid hydrogen fuel consumption test.....     | 20 |
| 13.2.2 Methanol fuel consumption test .....                       | 23 |
| 13.3 Electric power output test.....                              | 24 |
| 13.3.1 General .....                                              | 24 |
| 13.3.2 Test method .....                                          | 24 |
| 13.3.3 Calculation of average electric power output.....          | 24 |
| 13.3.4 Determination of state of charge of the battery .....      | 25 |
| 13.3.5 Computation of electrical efficiency .....                 | 25 |
| 13.4 Type test on operational performance .....                   | 25 |
| 13.4.1 Cold start maximum power output test .....                 | 25 |
| 13.4.2 Power cycling electrical load test .....                   | 26 |

|              |                                                                              |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 13.4.3       | Electric demand-following test .....                                         | 26 |
| 14           | Power stability during operation .....                                       | 27 |
| 14.1         | General .....                                                                | 27 |
| 14.2         | Delivered power .....                                                        | 27 |
| 14.3         | Regenerated power .....                                                      | 27 |
| 15           | Type tests on environmental performance .....                                | 28 |
| 15.1         | General .....                                                                | 28 |
| 15.2         | Noise test .....                                                             | 28 |
| 15.2.1       | General .....                                                                | 28 |
| 15.2.2       | Test conditions .....                                                        | 28 |
| 15.3         | Exhaust gas test .....                                                       | 30 |
| 15.3.1       | General .....                                                                | 30 |
| 15.3.2       | Components to be measured .....                                              | 30 |
| 15.3.3       | Test method .....                                                            | 30 |
| 15.3.4       | Processing of data .....                                                     | 31 |
| 15.4         | Discharge water test .....                                                   | 34 |
| 15.4.1       | General .....                                                                | 34 |
| 15.4.2       | Test method .....                                                            | 34 |
| 15.5         | Vibration test .....                                                         | 34 |
| 15.5.1       | General .....                                                                | 34 |
| 15.5.2       | Vertical axis test .....                                                     | 35 |
| 15.5.3       | Longitudinal and lateral axes tests .....                                    | 35 |
| 15.5.4       | Random vibration test .....                                                  | 35 |
| 16           | Test mode of fuel cell/battery hybrid system on an excavator .....           | 36 |
| 17           | Test reports .....                                                           | 36 |
| 17.1         | General .....                                                                | 36 |
| 17.2         | Title page .....                                                             | 36 |
| 17.3         | Table of contents .....                                                      | 36 |
| 17.4         | Summary report .....                                                         | 36 |
| Annex A      | (informative) Example of a test operation schedule .....                     | 37 |
| Annex B      | (informative) Example of test mode for fuel cell/battery hybrid system ..... | 38 |
| B.1          | Test modes for excavator .....                                               | 38 |
| B.1.1        | General .....                                                                | 38 |
| B.1.2        | Driving mode .....                                                           | 38 |
| B.1.3        | Lifting mode .....                                                           | 38 |
| B.1.4        | Excavating mode .....                                                        | 38 |
| B.1.5        | Levelling mode .....                                                         | 38 |
| B.1.6        | Breaking mode .....                                                          | 38 |
| B.2          | Test condition .....                                                         | 39 |
| Annex C      | (informative) Guidelines for the contents of detailed and full reports ..... | 40 |
| C.1          | General .....                                                                | 40 |
| C.2          | Detailed report .....                                                        | 40 |
| C.3          | Full report .....                                                            | 40 |
| Bibliography | .....                                                                        | 41 |
| Figure 1     | – Fuel cell/ battery hybrid systems block diagram .....                      | 8  |
| Figure 2     | – Fuel cell/battery hybrid system configuration .....                        | 12 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3 – Power hybridization of fuel cell and battery power system .....                                              | 12 |
| Figure 4 – Test set-up for fuel cell/battery hybrid system fed with hydrogen fuel which supplies only electricity ..... | 14 |
| Figure 5 – Test set-up for fuel cell power system fed with methanol fuel which supplies only electricity.....           | 15 |
| Figure 6 – Chronological series of changes in the operating state.....                                                  | 19 |
| Figure 7 – Energy flow for regenerated power and delivered power .....                                                  | 27 |
| Figure 8 – Noise measurement points for hybrid fuel cell power systems .....                                            | 29 |
| Figure 9 – Random vibration ASD .....                                                                                   | 35 |
| Figure B.1 – Operation modes for excavator installed fuel cell/battery hybrid system .....                              | 38 |
| Table 1 – Symbols and their meanings for electric/thermal performance .....                                             | 10 |
| Table 2 – Delivered power measurements .....                                                                            | 27 |
| Table 3 – Regenerated power measurements .....                                                                          | 28 |
| Table 4 – Compensation of readings against the effect of background noise.....                                          | 29 |
| Table A.1 – Example of a test operation schedule.....                                                                   | 37 |
| Table B.1 – Example of test mode for fuel cell/battery hybrid system with excavator.....                                | 39 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-600:2022

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## FUEL CELL TECHNOLOGIES –

**Part 4-600: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Fuel cell/battery hybrid systems performance test methods for excavators**

## FOREWORD

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

IEC 62282-4-600 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies. It is an International Standard.

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

| Draft        | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 105/914/FDIS | 105/925/RVD      |

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

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

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/standardsdev/publications](http://www.iec.ch/standardsdev/publications).

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-600:2022

## FUEL CELL TECHNOLOGIES –

### **Part 4-600: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Fuel cell/battery hybrid systems performance test methods for excavators**

#### **1 Scope**

This part of IEC 62282 covers the requirements for the performance test methods of fuel cell/battery hybrid systems intended to be used for electrically powered applications for excavators.

For this purpose, this document covers electrical performance and vibration tests for the fuel cell/battery hybrid system. This document also covers performance test methods which focus on vibration and other characteristics for balance of plant (BOP) installed in heavy-duty applications with fuel cell/battery hybrid system.

This document applies to both gaseous hydrogen-fuelled fuel cell power, liquid hydrogen-fuelled fuel cell power, direct methanol fuel cell power and battery hybrid power pack systems.

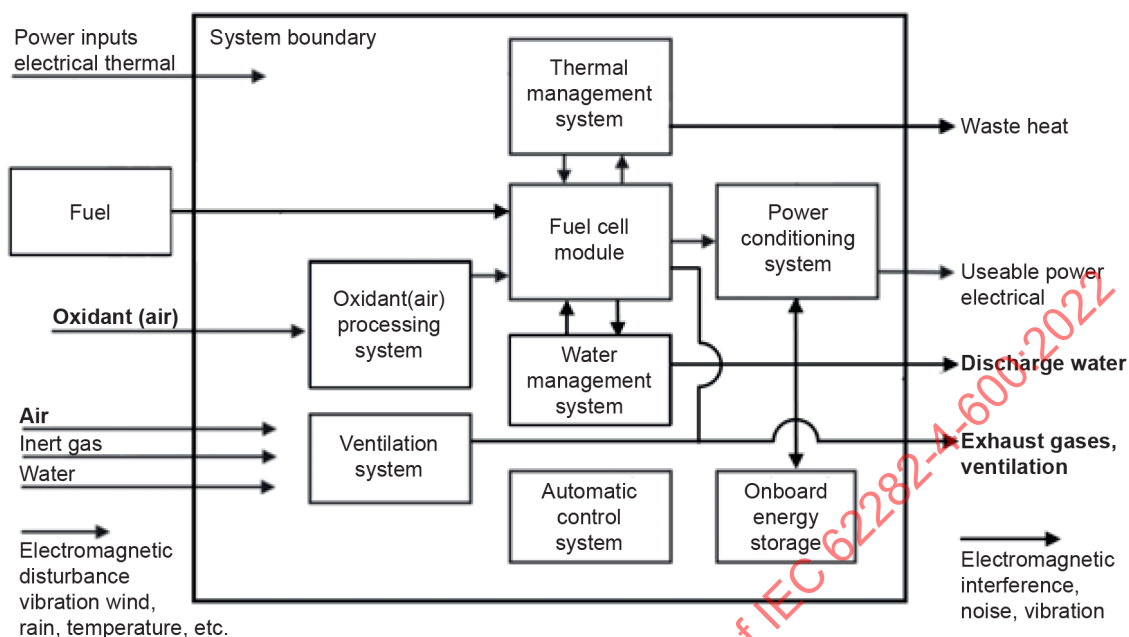
The following fuels are considered within the scope of this document:

- gaseous hydrogen, and
- methanol.

This document does not apply to reformer-equipped fuel cell power systems.

This document can be applied to fuel cell power systems used for either propulsion or for auxiliary power units (APU) purposes. In case of APU, the same hybrid power pack can be used on board or as a stationary APU. In case of the latter, this document can also be applied.

A block diagram of a fuel cell/battery hybrid system is shown in Figure 1. This document covers the configuration, mode of hybridization, operation mode for fuel cell and battery in power pack systems.



IEC

Figure 1 – Fuel cell/ battery hybrid systems block diagram

## 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-485, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 485: Fuel cell technologies*

IEC 60068-2-64:2008, *Environmental testing – Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration, broadband random and guidance*

IEC 60068-2-64:2008/AMD1:2019

IEC 62282-4-101:2022, *Fuel cell technologies – Part 4-101: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Fuel cell power systems for electrically powered industrial trucks – Safety*

IEC 62282-6-300:2012, *Fuel cell technologies – Part 6-300: Micro fuel cell power systems – Fuel cartridge interchangeability*

ISO 14687:2019, *Hydrogen fuel quality – Product specification*

## 3 Terms, definitions and abbreviated terms

### 3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given IEC 60050-485 and the following apply.

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

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

### 3.1.1

#### **fuel cell/battery hybrid system**

fuel cell power system combined with a battery, for delivering useful electric power

Note 1 to entry: The fuel cell power system can deliver electric power, charge the battery, or both. The system can deliver and accept electric energy.

[SOURCE: IEC 60050-485:2020, 485-09-18]

### 3.1.2

#### **fuel cell power system**

generator system that uses one or more fuel cell modules (IEV 485-09-03) to generate electric power and heat

### 3.1.3

#### **secondary battery**

##### **secondary cell**

cell which is designed to be electrically recharged

Note 1 to entry: The recharge is accomplished by way of a reversible chemical reaction. Secondary batteries such as lithium-ion battery, metal-air battery, lead acid battery, nickel-metal hydride battery, etc, can be recharged by electric power from the fuel cell and/or from an outside power source.

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-03, modified – the term “secondary battery” has been added and a second sentence has been added to the note.]

### 3.1.4

#### **power conditioning system**

electric or electronic system able to convert generated power into the requested output conditions

### 3.1.5

#### **load levelling system**

electric or electronic device able to balance the power flow among the fuel cell stack, secondary batteries and load

Note 1 to entry: It is a method where during periods of high-power demand the secondary batteries can provide additional electrical power to the energy provided from the fuel cell stack to meet electrical demand. During periods of lower electrical power demand, the power from the fuel cell stack can be stored in the secondary batteries.

### 3.1.6

#### **active hybrid system**

hybrid system equipped with a DC/DC converter between the fuel cell and the battery, adjusting the voltage of each power source to the bus voltage and managing the power sharing between each power source

### 3.1.7

#### **state of charge**

##### **SOC**

available capacity in a battery pack or system expressed as a percentage of rated capacity

### 3.2 Abbreviated terms

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| BMS | Battery management system   |
| BOD | Biochemical oxygen demand   |
| BOP | Balance of plant            |
| FID | Flame ionizer detector      |
| EMS | Energy management system    |
| FMS | Fuel cell management system |
| SOC | State of charge             |
| THC | Total hydrocarbon           |

## 4 Symbols

The symbols and their meanings used in this part of IEC 62282 are given in Table 1 for electric/thermal performance with the appropriate units.

**Table 1 – Symbols and their meanings for electric/thermal performance**

| Symbol                    | Definition                                                           | Unit              |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><math>E</math></b>     | <b>Energy</b>                                                        |                   |
| $E_{mf}$                  | Energy input of gaseous fuel per unit mass                           | kJ/kg             |
| $E_{vf}$                  | Energy input of the fuel per unit volume                             | kJ/m <sup>3</sup> |
| $E_{fin}$                 | Fuel energy input                                                    | kJ                |
| <b><math>H</math></b>     | <b>Heating value</b>                                                 |                   |
| $H_{f0}$                  | Heating value of fuel on a molar basis under reference conditions    | kJ/mol            |
| $H_{f0j}$                 | Heating value of component $j$ at reference temperature $T_0$        | kJ/mol            |
| $H_{fl}$                  | Heating value of liquid fuel                                         | kJ/kg             |
| <b><math>M</math></b>     | <b>Molar mass</b>                                                    |                   |
| $M_f$                     | Molar mass of fuel                                                   | kg/mol            |
| <b><math>m</math></b>     | <b>Mass</b>                                                          |                   |
| $m_f$                     | Fuel mass measured over the test duration                            | kg                |
| <b><math>P, dP</math></b> | <b>Power, power change rate</b>                                      |                   |
| $P_n$                     | Average net electric power output                                    | kW                |
| $P_d$                     | Electric power output change range between $P_{rated}$ and $P_{min}$ | kW                |
| $P_{rated}$               | Rated electric power output                                          | kW                |
| $P_{min}$                 | Minimum electric power output                                        | kW                |
| $dP_{down}$               | Decrease rate of electric power output                               | kW/s              |
| $dP_{up}$                 | Increase rate of electric power output                               | kW/s              |
| <b><math>p</math></b>     | <b>Pressure</b>                                                      |                   |
| $p_0$                     | Reference pressure (101,325 kPa(abs))                                | kPa<br>(abs)      |
| $p_f$                     | Average fuel pressure                                                | kPa<br>(abs)      |
| <b><math>q_m</math></b>   | <b>Mass flow rate</b>                                                |                   |
| $q_{mf}$                  | Average mass flow rate of fuel                                       | kg/s              |

| Symbol              | Definition                                                                                                                                                                                                                                                               | Unit                |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| $q_v$               | <b>Volumetric flow rate</b>                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $q_{vf}$            | Average volumetric flow rate of fuel under the test conditions                                                                                                                                                                                                           | m <sup>3</sup> /s   |
| $q_{vf0}$           | Average volumetric flow rate of fuel under reference conditions                                                                                                                                                                                                          | m <sup>3</sup> /s   |
| $T$                 | <b>Temperature</b>                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |
| $T_0$               | Reference temperature (288,15 K)                                                                                                                                                                                                                                         | K                   |
| $T_f$               | Average fuel temperature                                                                                                                                                                                                                                                 | K                   |
| $T_s$               | Standard temperature (273,15 K)                                                                                                                                                                                                                                          | K                   |
| $t$                 | <b>Time</b>                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $\Delta t$          | Test duration                                                                                                                                                                                                                                                            | s                   |
| $\Delta t_{st}$     | Start-up time                                                                                                                                                                                                                                                            | s                   |
| $t_{st1}$           | Start-up initiation time                                                                                                                                                                                                                                                 | s                   |
| $t_{st2}$           | Start-up completion time                                                                                                                                                                                                                                                 | s                   |
| $\Delta t_{shut}$   | Shutdown time                                                                                                                                                                                                                                                            | s                   |
| $t_{shut1}$         | Shutdown initiation time                                                                                                                                                                                                                                                 | s                   |
| $t_{shut2}$         | Shutdown completion time                                                                                                                                                                                                                                                 | s                   |
| $\Delta t_{lcdown}$ | Duration of the decrease in electric power output from $t_{lc1}$ to $t_{lc2}$                                                                                                                                                                                            | s                   |
| $\Delta t_{lcup}$   | Duration of the increase in electric power output from $t_{lc3}$ to $t_{lc4}$                                                                                                                                                                                            | s                   |
| $t_{rated}$         | Duration of the rated power output phase of an operation cycle from start-up, over ramp-up and rated power operation to shutdown                                                                                                                                         | s                   |
| $V$                 | <b>Volume</b>                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
| $V_f$               | Fuel volume measured over the test duration                                                                                                                                                                                                                              | m <sup>3</sup>      |
| $V_m$               | <b>Molar volume</b>                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |
| $V_m$               | Reference molar volume of ideal gas ( $2,364\ 5 \times 10^{-2}$ m <sup>3</sup> /mol at reference temperature $T_0 = 288,15$ K or $2,241\ 4 \times 10^{-2}$ m <sup>3</sup> /mol at standard temperature $T_s = 273,15$ K, both at reference pressure $p_0 = 101,325$ kPa) | m <sup>3</sup> /mol |
| $W$                 | <b>Electric energy</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |
| $W_{out}$           | Electric energy output                                                                                                                                                                                                                                                   | kW·h                |
| $W_{in}$            | Electric energy input                                                                                                                                                                                                                                                    | kW·h                |
| $W_{instbat}$       | Electric energy required over the duration from the start-up initiation time, $t_{st1}$ to the battery recharge completion time, $t_{st3bat}$                                                                                                                            | kW·h                |
| $W_{inshut}$        | Electric energy input during shutdown time                                                                                                                                                                                                                               | kW·h                |
| $W_{outcyc}$        | Net electric energy output during an operating cycle from start-up, over ramp-up and rated operation to shutdown                                                                                                                                                         | kW·h                |
| $x$                 | <b>Molar ratio</b>                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |
| $x_j$               | Molar ratio of component $j$                                                                                                                                                                                                                                             |                     |
| $\eta$              | <b>Efficiency</b>                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |
| $\eta_{el}$         | Electrical efficiency                                                                                                                                                                                                                                                    | %                   |
| $\eta_{cyc}$        | Operation cycle electrical efficiency                                                                                                                                                                                                                                    | %                   |

## 5 Configuration of fuel cell and battery hybrid power system

### 5.1 General

#### 5.1.1 Overview

There are two general types of configurations for the power mode operating electrically powered excavators contemplated by this document (-----see Figure 2):

- 1) pure fuel cell mode: operates only a fuel cell power source without a battery hybrid power source;
- 2) fuel cell/battery hybrid mode: operates in cooperation with a main fuel cell and a secondary battery.

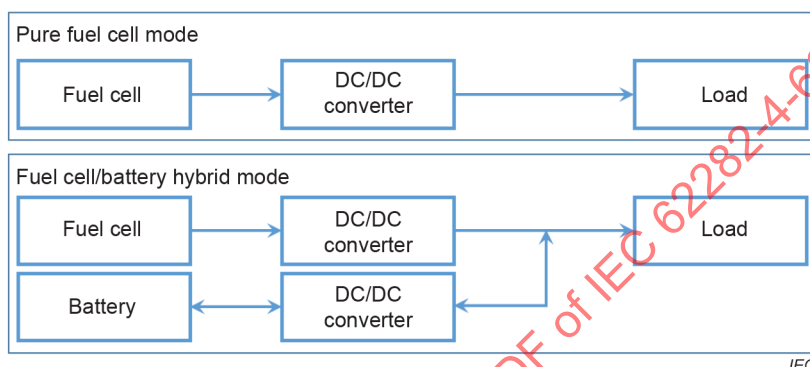


Figure 2 – Fuel cell/battery hybrid system configuration

#### 5.1.2 Hybrid system

In an active hybrid system, a DC/DC converter shall be installed between the fuel cell and each battery. The converter adjusts the voltage of each power source to the bus voltage and manages the power sharing between each power source (see Figure 3).

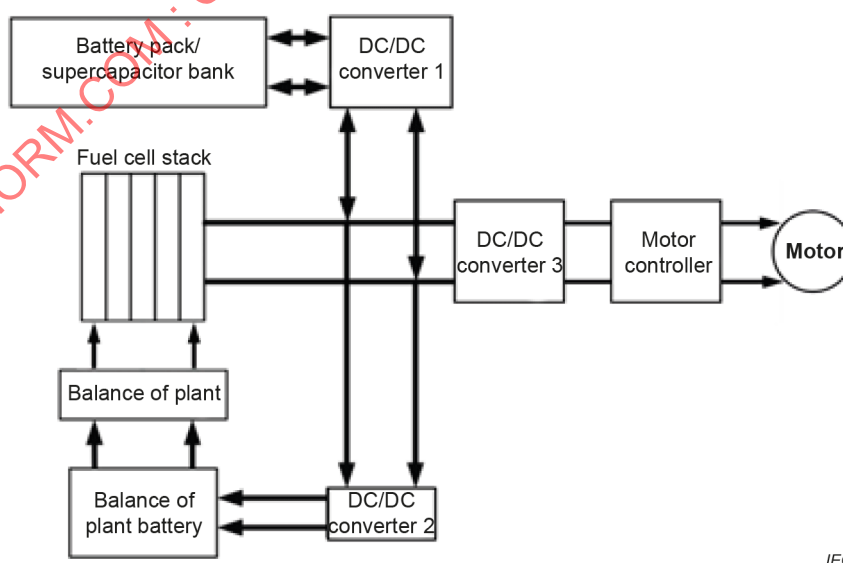


Figure 3 – Power hybridization of fuel cell and battery power system

## 6 Reference conditions

The reference conditions are specified as follows:

- reference temperature:  $T_0 = 288,15 \text{ K}$  (15 °C);
- reference pressure:  $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$  (abs).

## 7 Test preparation

### 7.1 General

Clause 7 describes typical items that shall be considered prior to the implementation of a test. For each test, an effort shall be made to minimize uncertainty by selecting high-precision instruments and planning the tests carefully with attention to detail. Detailed test plans shall be prepared by the parties to the test using this document as their basis. A written test plan shall be prepared.

The following items shall be considered for the test plan:

- a) objective;
- b) test specifications;
- c) test personnel qualifications;
- d) quality management standards (e.g. ISO 9000 or other equivalent standards);
- e) target uncertainty;
- f) identification of measurement instruments (refer to Clause 9);
- g) estimated range of test parameters;
- h) data acquisition plan.

### 7.2 Measurement system analysis

A measurement system analysis shall be performed on the test item below to indicate the reliability of the test results. The following test results shall be analysed to determine the absolute and relative uncertainty. A test shall be planned so that the reliability of the results can be evaluated for the following:

- electrical efficiency

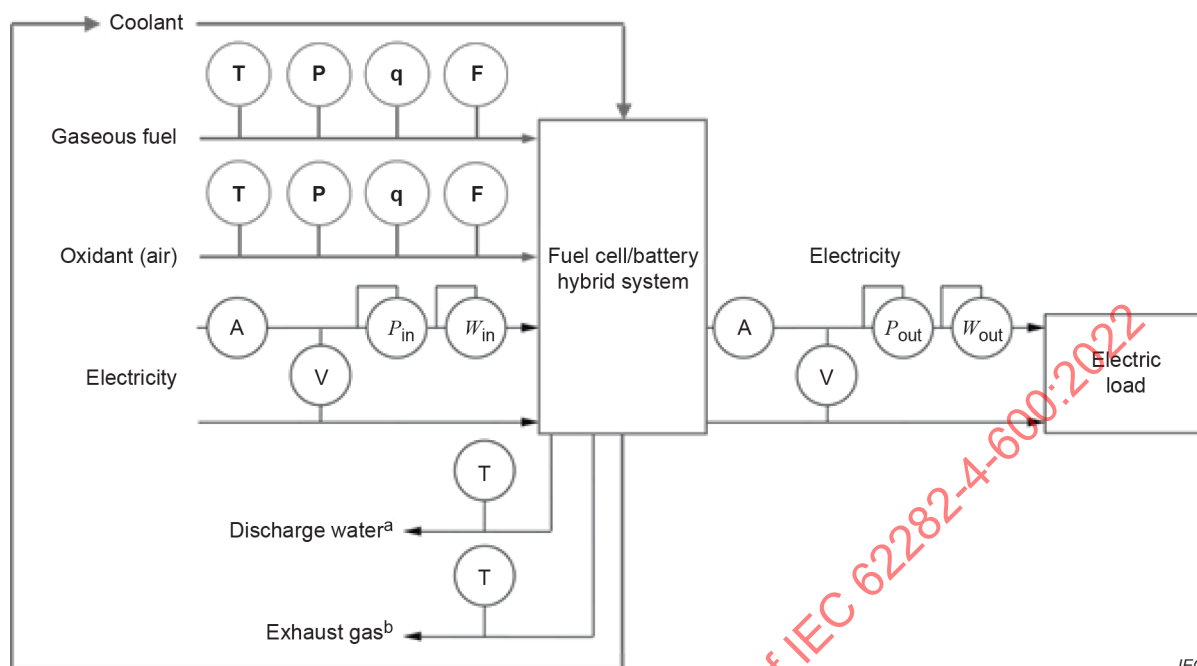
### 7.3 Data acquisition plan

In order to meet the target uncertainty, the proper duration and frequency of readings shall be defined and suitable data recording equipment shall be prepared before the performance test.

Automatic data acquisition using an appropriate digital system is preferable.

## 8 Test set-up

Figure 4 and Figure 5 are examples of the test set-up that are required to conduct fuel cell/battery hybrid systems with gaseous fuel and methanol described in this document.



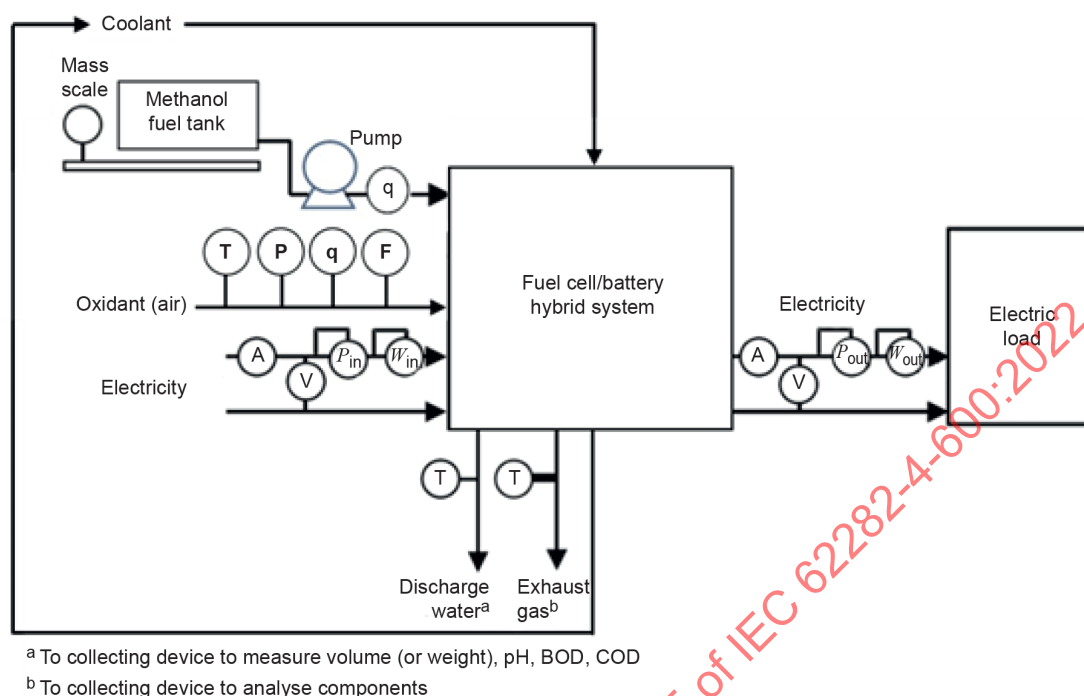
IEC

- Ⓐ ammeter
- Ⓥ voltmeter
- Ⓣ thermometer
- Ⓟ pressure gauge
- ⓕ integrating flowmeter
- Ⓟ electric power meter
- Ⓦ electric energy meter
- Ⓠ flowmeter

<sup>a</sup> The discharge water is directed to a collecting device to measure volume (or mass), pH, BOD (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand).

<sup>b</sup> The exhaust gas is directed to a collecting device to analyse components.

**Figure 4 – Test set-up for fuel cell/battery hybrid system fed with hydrogen fuel which supplies only electricity**



**Figure 5 – Test set-up for fuel cell power system fed with methanol fuel which supplies only electricity**

## 9 Instruments and measurement methods

### 9.1 General

Measurement instruments and measurement methods shall conform to the relevant international standards. They shall be selected to meet the measurement range specified by the manufacturer and the required accuracy of measurements.

### 9.2 Measurement instruments

Measurement instruments are listed according to their intended use:

- a) apparatus for measuring the electric power output, electric power input, electric energy input, and electric energy output:
  - electric power meters, electric energy meters, voltmeters, ammeters;
  - for systems that include batteries, a high-speed voltage recorder such as an oscilloscope is required for measuring the increase rate of electric power because the rate is extremely rapid in general (in the order of milliseconds);
- b) apparatus for measuring fuel input:
  - flowmeters, integrating flowmeters, scales, pressure sensors, temperature sensors;
- c) apparatus for measuring ambient conditions:
  - barometers, hygrometers, and temperature sensors;

d) apparatus for measuring the noise level:

- sound level meters as specified in IEC 61672-1 or other measuring instruments of equivalent or better accuracy.

The settings of the measuring instruments are as follows:

- frequency-weighted characteristic: A;
- time-weighted characteristic: S;
- unit: dB (for characteristic A, the display of the frequency-weighted characteristic may be omitted);

e) apparatus for measuring volume fractions (concentrations) of the exhaust gas components:

- oxygen analyzer (e.g. based on paramagnetic, electrochemical or zirconium oxide sensors);
- carbon dioxide analyzer (e.g. GC-MS or based on infrared absorption sensor);
- carbon monoxide analyzer (e.g. based on nondispersive infrared or electrochemical sensor);
- total hydrocarbon (THC) analyzer (e.g. a flame ionizer detector (FID));
- Hydrogen analyzer (e.g. based on semiconductor, field effect transistor or electrochemical sensor).

f) apparatus for determining the discharge water:

- graduated cylinder (for volume measurement), water trap, temperature sensor, pH meters, biochemical oxygen demand (BOD) probes, hydrometer.

### 9.3 Measurement points

Measurement points for different parameters are described below according to IEC 62282-4-101 and IEC 60945.

a) Hydrogen fuel flow rate:

place a mass flowmeter for fuel on the fuel supply line to the fuel cell power system to measure the fuel flow rate.

b) Hydrogen integrated fuel input:

place an integrating flowmeter for fuel on the fuel supply line to the fuel cell power system to measure the fuel input. The integrating flowmeter may combine a flowmeter that measures the fuel flow rate.

c) Methanol fuel flow rate:

place a mass flow meter or weight meter under the fuel tank to measure the weight of fuel and tank together. Methanol fuel input weight is measured by subtracting the weight after the test from that before the test.

d) Fuel temperature:

connect a thermometer immediately downstream of the fuel flowmeter.

e) Fuel pressure:

place a pressure meter immediately downstream of the fuel flowmeter to measure the gauge pressure of fuel.

f) Electric power output:

connect an electric power meter to the electric power output terminal of the fuel cell/battery hybrid system and close to the system boundary.

g) Electric power input:

connect an electric power meter to the electric power input terminal of the fuel cell/battery hybrid system and close to the system boundary. In case no separate electric power input terminal exists, this measuring point can be substituted with the electric power output, provided that it is equipped with a bidirectional meter.

## h) Electric energy output:

connect an electric energy meter to the electric power output terminal of the fuel cell/battery hybrid system and close to the system boundary. The electric energy meter may incorporate an electric power meter that indicates electric power output.

## i) Electric energy input:

connect an electric energy meter to the electric power input terminal of the fuel cell/battery hybrid system and close to the system boundary. The electric energy meter may incorporate an electric power meter that indicates electric power input. In case no separate electric energy input terminal exists, this measuring point can be substituted with the electric energy output, provided that it is equipped with a bidirectional meter.

## j) Fuel composition:

the fuel used during the tests shall be sampled and analyzed on its composition.

## k) Atmospheric pressure:

place an absolute pressure meter adjacent to the fuel cell power system where it will not be affected by ventilation of the fuel cell power system.

## l) Atmospheric temperature:

place a thermometer adjacent to the fuel cell power system where the thermometer will not be affected by air intake or exhaust of the fuel cell power system.

## m) Atmospheric humidity:

place a hygrometer adjacent to the fuel cell power system where the hygrometer will not be affected by air intake or exhaust of the fuel cell power system.

## n) Noise level:

see 15.2.2.2.

## o) Exhaust gas:

place one or more exhaust gas collecting probes combined with a temperature sensor in the exhaust stream at the exhaust gas outlet; see Figure 1.

## p) Discharge water:

place a discharge water reservoir combined with a temperature sensor at the discharge water outlet; see Figure 1.

#### 9.4 Minimum required measurement systematic uncertainty

Test equipment should be chosen in a way that the systematic uncertainty of measurement is below  $\pm 1$  % for the system except  $\pm 5$  of relative humidity for electrical efficiency.

In order to reach the desired efficiency uncertainties, the following systematic measurement uncertainties of the equipment are recommended. They are given in percentage of measured/calculated values or as absolute values:

- electric power:  $\pm 1$  %;
- electric energy:  $\pm 1$  %;
- fuel gas flow rate:  $\pm 1$  %;
- integrated gas flow:  $\pm 1$  %;
- liquid flow rate:  $\pm 1$  %;
- mass:  $\pm 1$  % of the mass to be determined (not including the tare weight);
- relative humidity:  $\pm 5$  %;
- absolute pressure:  $\pm 1$  %;
- fuel gas and discharge water temperature:  $\pm 1$  K.

## 10 Test conditions

### 10.1 Laboratory conditions

Unless otherwise specified, performance shall be tested in the environment specified below:

- temperature: 20 °C ± 5 °C;
- humidity: 65 % ± 20 % relative humidity;
- pressure: between 91 kPa (abs) and 106 kPa (abs).

For each test run, the laboratory conditions shall be measured. As air quality can affect fuel cell power system performance, laboratory air composition (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> and so forth) shall be reported with the test result.

### 10.2 Installation and operating conditions of the system

The installation and operating conditions of the fuel cell/battery hybrid system shall be the conditions specified by the manufacturer (as described in the instruction manual or otherwise) unless otherwise provided.

### 10.3 Power source conditions

Systems may be equipped with a means (for example, a display method or an output signal) to identify that the battery has reached a known nominal state of charge (including full charge state) that is determined by the manufacturer.

NOTE In the absence of such an indication, the results of energy consumption and efficiency calculations will be less precise.

### 10.4 Quality of test fuel

#### 10.4.1 Hydrogen

Hydrogen fuel used for the tests shall have the quality given in ISO14687:2019, Table 1.

#### 10.4.2 Methanol solution

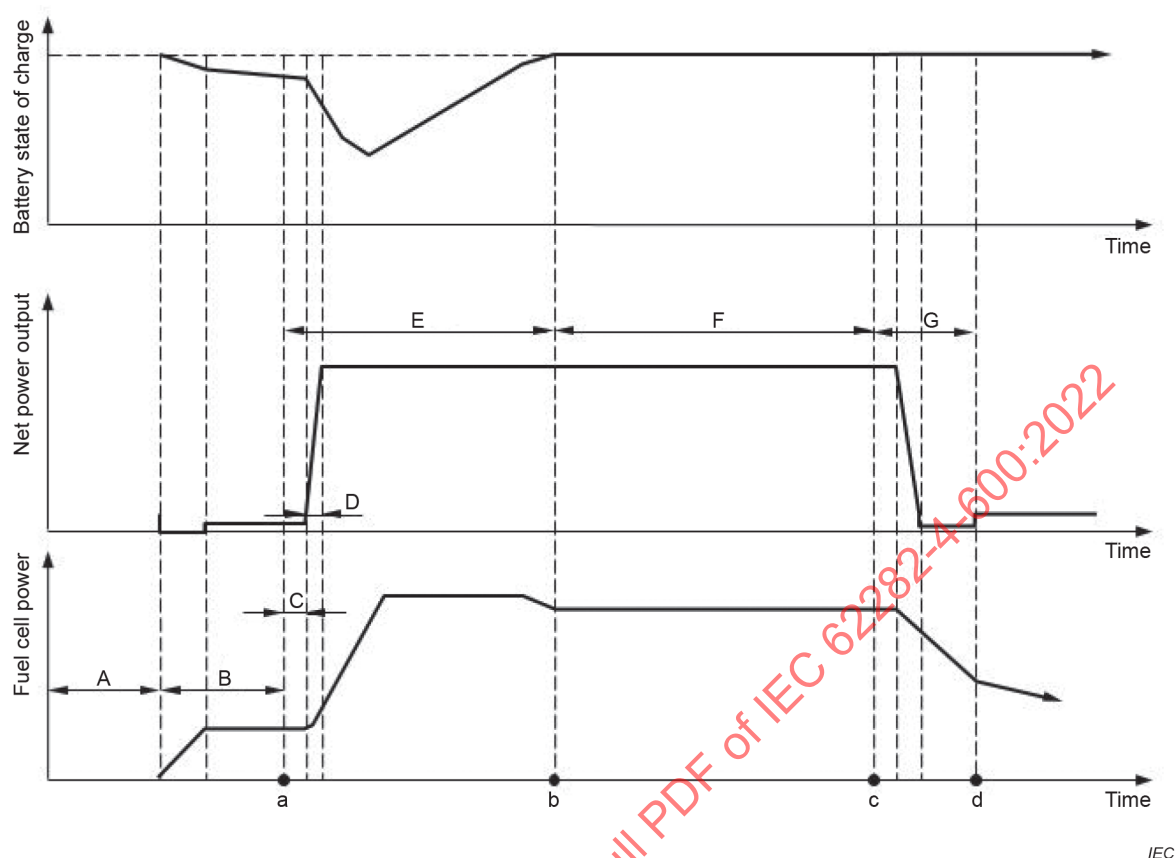
Methanol for preparing the methanol solution which is used for the tests shall be consistent with the specification given in IEC 62282-6-300:2012, 5.5.2.

Water mixed with methanol shall be ion-exchanged water with electrical conductivity of less than 1 µS/cm.

The methanol concentration in the methanol solution shall be specified by the manufacturer.

## 11 Operating process

Figure 6 shows a chronological series of changes in the operating state from start-up, to generation, and to shutdown, and provides definitions for the terms corresponding to the different operating states in the fuel cell/battery hybrid system.



### Key

- A cold state
- B storage state
- C start-up time
- D ramp-up time
- E time from start-up initiation to battery recharge completion
- F rated power output phase
- G shutdown time
- a time when start-up (output action) is initiated
- b battery recharge completion time
- c time when shutdown action is initiated
- d time when shutdown action is completed (shutdown completion conditions as specified by the manufacturer)
- a to d operation cycle (from the initiation of start-up to the completion of shutdown)

**Figure 6 – Chronological series of changes in the operating state**

## 12 Test plan

The type tests defined in Clause 13, Clause 14 and clause 15 can be partially carried out concurrently. For optimization of the test proceeding and planning of the type tests, a test operation schedule is presented in Annex A.

## 13 Type tests on electric performance

### 13.1 General

Type tests in Clause 13 are conducted in laboratories by manufacturers of fuel cell/battery hybrid systems. The type tests on electrical performance include:

- the fuel consumption test (13.2);
- the electric power output test (13.3);
- the cold start maximum power output test (13.4);
- the power cycling electrical load test (13.4.2).

The fuel consumption test (13.2) and electric power output test (13.3) shall be executed concurrently. The results of these two tests shall be used for the computation of efficiency (13.3.5), which comprises electrical efficiency and overall energy efficiency.

### 13.2 Fuel consumption test

#### 13.2.1 Gaseous and liquid hydrogen fuel consumption test

##### 13.2.1.1 General

This test is for measuring the gaseous fuel input at rated electric power output. If operation at partial loads of 50 %, 75 % and/or minimum power electric output are specified by the hydrogen fuel cell manufacturer or excavator manufacturer, these operating points shall be measured as well.

This test shall be carried out concurrently with the electric power output test (13.3).

NOTE This test can be conducted in the region between E and F in Figure 6.

##### 13.2.1.2 Test method

- a) Operate the system in laboratory conditions at the rated electric power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached and it is stable before starting the test.
- b) Start the test while keeping the system operating at the rated electric power output. If such operation is specified by the manufacturer, repeat the test at partial loads of 50 % and 75 % of rated output, and/or minimum output.
- c) Measure the fuel temperature, fuel pressure, and integrated fuel input flow (in volume or in mass). Each measurement shall be taken at intervals of 60 s for no less than 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be no less than 20 times the interval of the fuel supply and no less than 3 h.

##### 13.2.1.3 Calculation of results

###### 13.2.1.3.1 Calculation of average gaseous fuel input rate

The average gaseous fuel input rate may be described either as the volumetric flow rate at reference conditions,  $q_{Vf0}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ , or as the mass flow rate,  $q_{mf}$  in  $\text{kg}/\text{s}$ . It shall be calculated according to the following procedure:

###### a) Volumetric flow rate

- 1) The average volumetric flow rate of fuel under the test conditions,  $q_{Vf}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ , shall be obtained by dividing the fuel volume measured over the test duration by the test duration.

$$q_{Vf} = \frac{V_f}{\Delta t} \quad (1)$$

where

$q_{Vf}$  is the average volumetric flow rate of fuel under the test conditions (m<sup>3</sup>/s);

$V_f$  is the fuel volume measured over the test duration (m<sup>3</sup>);

$\Delta t$  is the test duration (s).

- 2) The average volumetric flow rate of fuel under the reference conditions,  $q_{Vf0}$  in m<sup>3</sup>/s, shall be calculated by the following formula. The average values of fuel temperature and pressure obtained during the test duration shall be used.

$$q_{Vf0} = q_{Vf} \cdot \frac{T_0}{T_f} \cdot \frac{p_f}{p_0} \quad (2)$$

where

$q_{Vf0}$  is the average volumetric flow rate of fuel under reference conditions (m<sup>3</sup>/s);

$q_{Vf}$  is the average volumetric flow rate of fuel under test conditions (m<sup>3</sup>/s);

$T_0$  is the reference temperature (288,15 K);

$p_0$  is the reference pressure (101,325 kPa (abs));

$T_f$  is the average fuel temperature measured over the test duration (K);

$p_f$  is the average fuel pressure measured over the test duration (kPa (abs)).

NOTE The pressure is absolute pressure.

#### b) Mass flow rate

The average mass flow rate of fuel under the test conditions,  $q_{mf}$  in kg/s, shall be obtained by dividing the fuel mass measured over the test duration by the test duration.

$$q_{mf} = \frac{m_f}{\Delta t} \quad (3)$$

where

$q_{mf}$  is the average mass flow rate of fuel under the test conditions (kg/s);

$m_f$  is the fuel mass measured over the test duration (kg);

$\Delta t$  is the test duration (s).

#### 13.2.1.3.2 Calculation of average hydrogen fuel power input

The average gaseous fuel power input,  $P_{fin}$  in kJ/s, shall be calculated either for volumetric flow rate or for mass flow rate according to the following procedure.

##### a) Volumetric flow rate

- 1) The energy of fuel per unit volume at reference conditions,  $E_{Vf}$  in kJ/m<sup>3</sup>, shall be calculated by the following formula:

$$E_{Vf} = \frac{H_{f0}}{V_m} \quad (4)$$

where

$E_{Vf}$  is the energy input of the fuel per unit volume (kJ/m<sup>3</sup>);

$H_{f0}$  is the heating value of fuel on a molar basis under reference conditions (kJ/mol);

$V_m$  is the reference molar volume of ideal gas ( $2,364\,5 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>/mol) at reference conditions ( $T_0 = 288,15$  K,  $p_0 = 101,325$  kPa) (m<sup>3</sup>/mol);

where

the heating value of fuel,  $H_{f0}$  in kJ/mol under reference conditions, shall be calculated as follows:

$$H_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j \cdot H_{f0j} \quad (5)$$

where

$H_{f0j}$  is the heating value of component  $j$  at reference temperature  $T_0$  (kJ/mol);

$x_j$  is the molar ratio of component  $j$ ;

$j$  is a component of fuel;

$N$  is the number of fuel gas constituents.

NOTE 1 The numerical values of  $H_{f0j}$  are given in ISO 6974 (all parts) and ISO 6975 and in Table A.1.

- 2) The average fuel power input,  $P_{fin}$  in kJ/s, shall be calculated with the following formula:

$$P_{fin} = q_{Vf0} \cdot E_{Vf} \quad (6)$$

where

$P_{fin}$  is the average fuel power input (kJ/s);

$q_{Vf0}$  is the average volumetric flow rate of fuel under reference conditions (m<sup>3</sup>/s);

$E_{Vf}$  is the energy input of the fuel per unit volume (kJ/m<sup>3</sup>).

NOTE 2 The specific enthalpy and pressure energy of gaseous fuel, which are considered in the calculation of fuel consumption energy in IEC 62282-3-200, are ignored in the calculation of fuel consumption energy described above because they are negligible values that are operated at low temperature and pressure.

#### b) Mass flow rate

- 1) The energy input of gaseous fuel per unit mass,  $E_{mf}$  in kJ/kg, shall be calculated with the following formula:

$$E_{mf} = \frac{H_{f0}}{M_f} \quad (7)$$

where

$E_{mf}$  is the energy input of gaseous fuel per unit mass (kJ/kg);

$H_{f0}$  is the heating value of fuel under reference conditions (kJ/mol);

$M_f$  is the molar mass of fuel (kg/mol), and is measured according to the methods detailed in ASTM F2602.

NOTE 3 The calculation of  $H_{f0}$  is described in “a) Volumetric flow rate” of 13.2.1.3.2.

2) The average fuel power input,  $P_{fin}$  in kJ/s, shall be calculated with the following formula:

$$P_{fin} = q_{mf} \cdot E_{mf} \quad (8)$$

where

$P_{fin}$  is the average gaseous fuel power input (kJ/s);

$E_{mf}$  is the energy input of gaseous fuel per unit mass (kJ/kg);

$q_{mf}$  is the average mass flow rate of fuel (kg/s).

### 13.2.2 Methanol fuel consumption test

#### 13.2.2.1 General

This test is for measuring the liquid fuel input at rated electric power output. If operation at partial loads of 50 %, 75 % and/or minimum power electric output are specified by the manufacturer, these operating points shall be measured as well.

This test shall be carried out concurrently with the electric power output test (13.3).

NOTE This test can be conducted in the region between E and F in Figure 6.

#### 13.2.2.2 Test method

- Operate the system at the rated electric power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached and it is stable before starting the test.
- Start the test while keeping the system operating at the rated electric power output. If such operation is specified by the manufacturer, repeat the test at partial loads of 50 % and 75 % of rated output, and/or minimum output.
- Measure the mass of the fuel tank or of the entire system, including the fuel tank, at the start.
- Continue the test for a minimum of 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be no less than 20 times the interval of the fuel supply but no less than 3 h.
- Measure the mass of the fuel tank or of the entire system, including the fuel tank, at the end of the test.

#### 13.2.2.3 Calculation of average methanol fuel power input

The total liquid fuel energy input over the test duration,  $E_{fin}$  in kJ, shall be calculated by the following formula:

$$E_{fin} = (A - B) \cdot H_{fl} \quad (9)$$

where

- $E_{fin}$  is the total fuel energy input (kJ);
- $A$  is the mass at the start of the test (kg);
- $B$  is the mass at the end of the test (kg);
- $H_{fl}$  is the heating value of methanol (kJ/kg).

The average fuel power input,  $P_{fin}$  in kJ/s, shall be calculated as follows:

$$P_{fin} = \frac{E_{fin}}{\Delta t} \quad (10)$$

where

- $P_{fin}$  is the average fuel power input (kJ/s);
- $E_{fin}$  is the total fuel energy input (kJ);
- $\Delta t$  is the test duration (s).

NOTE The heating value is measured according to the methods detailed in ASTM D4809-09.

### 13.3 Electric power output test

#### 13.3.1 General

This test is for measuring the average net electric output at rated electric power output. If operation at partial loads of 50 %, 75 % and/or minimum power electric output are specified by the manufacturer, these operating points shall be measured as well.

This test shall be carried out concurrently with the fuel consumption test (13.2).

#### 13.3.2 Test method

- a) Operate the system at the rated electric power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached and it is stable before starting the test.
- b) Start the test while keeping the system operating at the rated electric power output. If such operation is specified by the manufacturer, repeat the test at partial loads of 50 % and 75 % of rated output, and/or minimum output.
- c) Measure the electric energy output and electric energy input over the test duration. The test shall be conducted for at least 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be no less than 20 times the interval of the fuel supply but no less than 3 h.

#### 13.3.3 Calculation of average electric power output

The average net electric power output shall be calculated by the following formula:

$$P_n = \frac{W_{out} - W_{in}}{\Delta t} \times 3\,600 \quad (11)$$

where

- $P_n$  is the average net electric power output (kW);
- $W_{out}$  is the electric energy output measured over the test duration (kW·h);
- $W_{in}$  is the electric energy input measured over the test duration (kW·h);

$\Delta t$  is the test duration (s).

### 13.3.4 Determination of state of charge of the battery

The time when the battery is recharged to the known nominal state of charge can be determined by either one of the following three methods.

- For a system equipped with a means (for example, a display method or an output signal) to identify that the battery has reached a known nominal state of charge, the charge-out time is determined by that means (refer to 10.3)).
- For a system equipped with no means to identify that the battery has reached a known nominal state of charge, the charge-out time to reach the nominal state of charge can be determined by measuring the time when the input fuel flow rate becomes stabilized within  $\pm 2$  % of the rated fuel flow rate after the fuel flow increase for recharging the battery ceases. This measurement is not mandatory.
- SOC can be determined using an ammeter or voltmeter. When no current is supplied for charging the secondary battery, or when the voltage of the secondary battery reaches the specified maximum charging value, it is regarded as a fully charged state.

### 13.3.5 Computation of electrical efficiency

Electrical efficiency,  $\eta_{el}$  in %, shall be calculated by the following formula:

$$\eta_{el} = \frac{P_n}{P_{fin}} \times 100 \% \quad (12)$$

where

$\eta_{el}$  is the electrical efficiency (%);

$P_n$  is the average electric power output (kW) (refer to 13.3.3);

$P_{fin}$  is the average fuel power input (kJ/s) (refer to 13.2.1.3.2 and 13.2.2.3).

## 13.4 Type test on operational performance

### 13.4.1 Cold start maximum power output test

#### 13.4.1.1 General

The purpose of this test is to determine the system's ability to maintain the maximum electrical power load immediately after start-up. One scenario will be tested on the fuel cell after it has been in a pre-generation state for a period of time. Another scenario will be tested after running at nominal load for a period of time, powering down the system, then powering up the system with the maximum continuous load connected.

#### 13.4.1.2 Test method

- To condition the system prior to the test, operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- The fuel cell/battery hybrid system shall be powered down and cooled down to the ambient temperature. Connect the maximum rated electrical load, specified by manufacturer, to the fuel cell system. Power on the fuel cell system as per the manufacturer's recommendations.
- Operate the system at the maximum electrical power output for the manufacturer's specified time or for 1 h (whichever is shorter). Power down the fuel cell/battery hybrid system completely as per the manufacturer's specifications. Connect the maximum rated electrical load to the fuel cell system specified by the manufacturer. Power up the fuel cell/battery hybrid system within 2 min or according to the manufacturer's instruction (if more time is required).

NOTE The rated/nominal electrical power means the power of the system named by the manufacturer.

### 13.4.1.3 Processing of data

When powering up the fuel cell/battery hybrid system with loads, if the system disconnects power to the load, the time duration that the load is without power shall be recorded. If any warning lights on the system, such as a low-battery indicator, are activated, these shall also be recorded in the report.

### 13.4.2 Power cycling electrical load test

#### 13.4.2.1 General

The purpose of this test is to stress the fuel cell/battery hybrid system by cycling an electrical load connected to the system to reproduce the way in which the load in electric excavators varies.

#### 13.4.2.2 Test method

- 1) Operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- 2) Operate the system at the nominal electrical power output for 15 min, then operate the system at the maximum electrical power specified by the manufacturer for 15 min. Repeat this cycle for 8 h. The time when the fuel cell/battery hybrid system disconnects power to the load during this cycling and the time when the system reconnects to the load shall be recorded in the report.

#### 13.4.2.3 Processing of data

When the fuel cell/battery hybrid system is being cycled, if the system disconnects power to the load, or if any warning lights on the system, such as a low-battery indicator, are activated, these shall be recorded in the report. The time of the event shall be recorded, as well as the duration of the event. The measuring method of the gaseous fuel input by the power cycling electrical load test should be added to 13.2.1.2 c).

### 13.4.3 Electric demand-following test

#### 13.4.3.1 General

This test is for measuring the gaseous fuel input electric demand-following operation.

#### 13.4.3.2 Electric demand profile

The test shall be carried out using an electric demand profile, which is applied to the fuel cell system. It can be necessary to carry out tests with several different profiles.

#### 13.4.3.3 Test method

- a) Operate the system at the rated electric power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached before starting the test.
- b) Start the test by applying the values of the electric demand profile to the fuel cell system.
- c) Measure the fuel temperature, fuel pressure, and integrated fuel input flow (in volume or in mass). Each measurement shall be taken at intervals of 60 s or less for a minimum of 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be no less than 20 times the interval of the fuel supply but not less than 3 h.

## 14 Power stability during operation

### 14.1 General

The purpose of this test is to determine the stability of the power output of the fuel cell power system when operating the excavator in a real-life situation. The energy flow between fuel cell power system and the rotating electric load are shown in Figure 7.

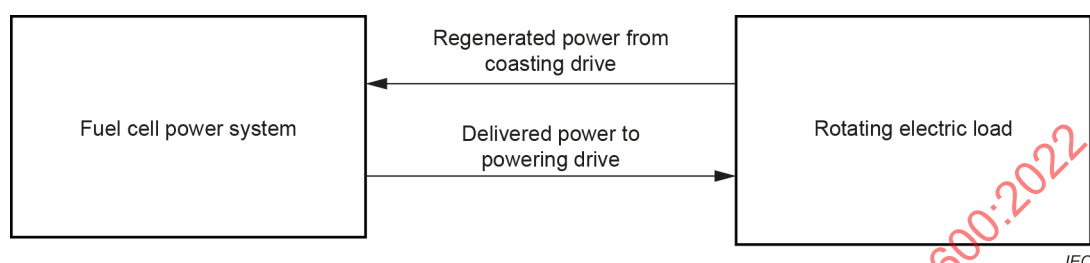


Figure 7 – Energy flow for regenerated power and delivered power

### 14.2 Delivered power

The delivered power stated by the excavator manufacturer shall be measured and recorded.

The fuel cell power system shall be operated at rated power output for 30 min for warming-up, and the battery shall be checked to have reached target SOC state before starting the test

The excavator shall be operated with the discharge times given in Table 2 and with no extra load (zero current) conditions. Additional discharge times can be added by the manufacturer. These are not a definition of the excavator's application requirements; they define the requirements of the excavator's control system.

The values requested in Table 2 shall be recorded during the operation of the excavator.

Table 2 – Delivered power measurements

| Discharge time                                                                  | Current<br>A | Average current<br>A | Maximum voltage<br>V | Minimum voltage<br>V |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 5 s                                                                             | $I_1$        |                      |                      |                      |
| 30 s                                                                            | $I_2$        |                      |                      |                      |
| 1 h                                                                             | $I_3$        |                      |                      |                      |
| 0 s                                                                             | 0            |                      |                      |                      |
| NOTE Currents $I_1$ , $I_2$ , and $I_3$ are given by the excavator manufacturer |              |                      |                      |                      |

### 14.3 Regenerated power

The excavator manufacturer shall specify the regenerated current and voltage requirements of the industrial excavator at various discharge time durations as necessary in order to maintain acceptable excavator performance.

Warm-up the fuel cell power system shall be made prior to the test. The test shall be started at the target SOC on the electrical storage device.

The excavator shall be operating with the discharge times given in Table 3. Additional discharge times can be added by the excavator manufacturer. These are not a definition of the excavator's application requirements; they define the requirements of the excavator's control system.

The values requested in Table 3 shall be recorded during the operation of the excavator.

**Table 3 – Regenerated power measurements**

| Discharge time                                                        | Current<br>A | Average current<br>A | Maximum voltage<br>V | Minimum voltage<br>V |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 5 s                                                                   | $I_1$        |                      |                      |                      |
| 30 s                                                                  | $I_2$        |                      |                      |                      |
| NOTE Currents $I_1$ and $I_2$ are given by the excavator manufacturer |              |                      |                      |                      |

Battery condition (state of charge and temperature upon measurement) shall be recorded.

## 15 Type tests on environmental performance

### 15.1 General

The type tests in Clause 15 are conducted in laboratories by manufacturers of fuel cell/battery hybrid systems. The type tests on environmental performance include:

- the noise test (15.2);
- the exhaust gas test (15.3);
- the discharge water test (15.4);
- the vibration test (15.5).

### 15.2 Noise test

#### 15.2.1 General

This test is for measuring the level of noise generated from the system at each operation phase, from start-up, over ramp-up and rated power operation, minimum power operation (if such operation is specified by the manufacturer and desired by the user) to shutdown. The rated electric power output is specified by the manufacturer.

#### 15.2.2 Test conditions

##### 15.2.2.1 Reference planes

The reference planes shall be set 1 m away from the four sides (front, back, left, and right) of the fuel cell/battery hybrid system. If this is not feasible, they shall be set at 50 cm, and the test report shall expressly state this.

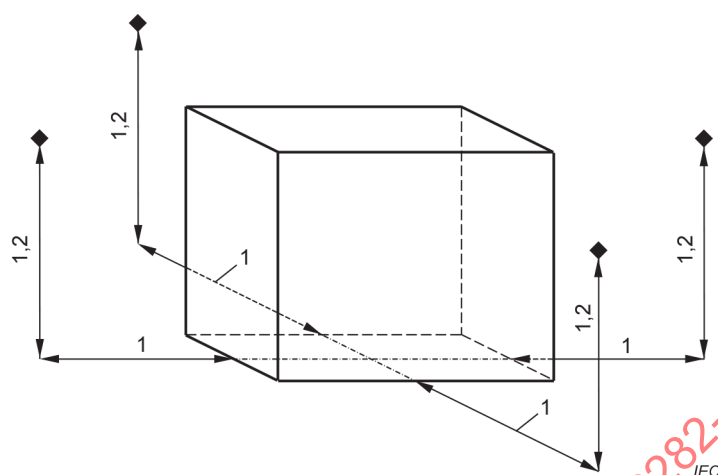
Any protrusions or projections on the fuel cell/battery hybrid system surfaces shall be ignored if they are deemed to have no significant effects on the surface noise. The power system surfaces are conceptually simplified in accordance with ISO 6798-1.

##### 15.2.2.2 Measurement points

Measurements shall be taken at four points, namely in two directions on the front-back centre line, and two directions on the right-left centre line of the fuel cell/battery hybrid system. The measurement points shall be located on the reference plane at a height of 1,2 m from the bottom of the power system (see Figure 8).

The sound level meter microphone shall be perpendicularly oriented with respect to the reference planes.

Dimensions in metres



◆ Measurement points

**Figure 8 – Noise measurement points for hybrid fuel cell power systems**

#### 15.2.2.3 Effect of background noise

It is desirable to have a difference of 10 dB or more in the noise meter readings between the time when there is noise to be measured and when there is no noise. If the difference in readings is 3 dB or more but less than 10 dB, the readings can be adjusted according to Table 4 to estimate the noise level when the fuel cell/battery hybrid system is the only noise source.

**Table 4 – Compensation of readings against the effect of background noise**

| Difference in readings with and without the subject noise (dB) | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8 | 9 |
|----------------------------------------------------------------|----|----|---|---|----|---|---|
| Compensation value (dB)                                        | -3 | -2 |   |   | -1 |   |   |

#### 15.2.2.4 Effect of sound reflection

When there is a large reflecting body near the microphones or the sound source, measurement errors will occur as sounds reflected from the reflecting body add to the sound from the source. Before taking measurements, it is desirable to remove, to the greatest extent possible, any objects that can reflect sounds. If that is not possible under the measurement conditions, state this in the test report.

#### 15.2.2.5 Test method

- Measure the background noise level with the system to be measured in the cold state.
- Start up the system from its cold state or storage state.
- Raise the output to the rated electric power output, and wait until at least 30 min pass after reaching the rated electric power output. Continue to operate the system at the rated electric power output for another hour or more.
- If the minimum electric power output operation is specified by the manufacturer and the measurement is desired by the user, set the system to minimum electric power output and wait at least 30 min after reaching that power output level. Continue to operate the system at the rated electric power output for another hour or more.
- Bring the system to shutdown.

- f) Measure the noise level from start-up to shutdown. The frequency of measurements shall be 1 s intervals. Readings shall be rounded off to the nearest whole number (e.g. 45,7 becomes 46).
- g) Measure the background noise level after shutdown is complete and verify that it does not deviate from the initial reading.

#### 15.2.2.6 Processing of data

- a) The effect of background noise shall be corrected as explained in 15.2.2.3.
- b) The following shall be reported as representative noise level values:
  - the maximum noise level throughout all operation phases and the operation phase in which the maximum value was generated;
  - the mean value of noise levels for 1 h of operation at rated electric power.

### 15.3 Exhaust gas test

#### 15.3.1 General

This test is for measuring the volume fraction of each component in the exhaust gas from the fuel cell/battery hybrid system. It calculates the following values during start-up time, rated electric power output phase, and shutdown time when methanol is used as fuel:

- the mass concentrations of CO, THC and H<sub>2</sub> (g/m<sup>3</sup>) (15.3.4.3);
- the masses of CO, THC and H<sub>2</sub> per unit energy of fuel input (g/kW·h) (15.3.4.4).

#### 15.3.2 Components to be measured

The components and values to be measured shall be as follows:

- carbon monoxide (CO);
- total hydrocarbons (THC);
- hydrogen (H<sub>2</sub>);
- oxygen (O<sub>2</sub>).

#### 15.3.3 Test method

- a) Use caution when putting the sampling probe(s) entirely into the exhaust stream. Ensure that the sampling probe(s) do(es) not block the exhaust duct. The probe(s) shall be placed close to the exhaust gas outlet of the fuel cell/battery hybrid system, either inside of the exhaust gas evacuation duct for closed exhaust ventilation systems or directly at the outlet of the exhaust gas for open exhaust ventilation systems. If the exhaust ducting is large in size, take readings at the centre of the exhaust duct and at representative points in a grid across the exhaust duct and average the readings.
- b) For open exhaust gas ventilation systems, use caution when placing the probe(s) in a way that prevents the mixing of the sample gas with ambient air.
- c) During measurements, ensure that condensation on the temperature sensor is avoided. Condensation on the sensor will invalidate the readings.
- d) Start up the system from its cold state or storage state and wait until the rated electric power output is reached. Wait until at least another 30 min pass after reaching the rated electric power output.
- e) Continue to operate the system at the rated electric power output for another 3 h or more, then shut down the system.
- f) Measure the volume fraction of each component in the exhaust gas (in vol % or ml/m<sup>3</sup>), fuel flow (in volume or mass flow), fuel pressure and temperature, room temperature and humidity from start-up to shutdown. The frequency of data collection shall be every 15 s or less.

### 15.3.4 Processing of data

#### 15.3.4.1 General

The corrected volume fraction at dry and air-free condition (15.3.4.2) shall be used in the following calculations:

- the mass concentration of CO, THC and H<sub>2</sub> (g/m<sup>3</sup>) (15.3.4.3);
- the masses of CO, THC and H<sub>2</sub> per unit energy of fuel input (g/kW·h) (15.3.4.4);
- the mass discharge rate of each component (g/h) (15.3.4.3) (optional).

The calculated values that shall be reported are indicated in 15.3.4.4, 15.3.4.5 and 15.3.4.6.

#### 15.3.4.2 Correction to volume fraction at dry and air-free condition

The measured volume fractions of the components H<sub>2</sub> (in vol %), O<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>O (in ml/m<sup>3</sup>) in the exhaust gas shall be corrected to the volume fraction at dry and air-free condition with the following formula using the measured O<sub>2</sub> volume fraction in the dry exhaust gas:

$$\varphi_{B,corr} = \varphi_{B,meas} \cdot \frac{\varphi_{at}(O_2)}{\varphi_{at}(O_2) - \varphi_{ex}(O_2)} \quad (13)$$

where

- $\varphi_{B,corr}$  is the corrected volume fraction of each component (vol % or ml/m<sup>3</sup>);
- $\varphi_{B,meas}$  is the measured volume fraction of each component (vol % or ml/m<sup>3</sup>);
- $\varphi_{at}(O_2)$  is the measured O<sub>2</sub> volume fraction in atmosphere at air inlet in the dry state (vol %, in case of fresh air,  $\varphi_{at}(O_2) \approx 21\%$ );
- $\varphi_{ex}(O_2)$  is the measured O<sub>2</sub> volume fraction in the dry exhaust gas (vol %).

#### 15.3.4.3 Mass concentration of each component

##### 15.3.4.3.1 CO mass concentration

The CO mass concentration shall be calculated with the following formula:

$$\gamma_{ex(CO)} = \varphi_{ex(CO),corr} \times 1,252 \quad (14)$$

where

- $\gamma_{ex(CO)}$  is the CO mass concentration in the dry exhaust gas (mg/Nm<sup>3</sup>);
- $\varphi_{ex(CO),corr}$  is the corrected CO volume fraction in the dry exhaust gas (ml/m<sup>3</sup>);
- 1,252 is the value for the CO density (kg/Nm<sup>3</sup>).

### 15.3.4.3.2 THC mass concentration

The THC mass concentration shall be calculated with the following formula:

$$\gamma_{\text{ex(THC)}} = \varphi_{\text{ex(THC),corr}} \times (0,537 + \alpha_{\text{THC}} \times 0,045) \quad (15)$$

where

- $\gamma_{\text{ex(THC)}}$  is the THC mass concentration in the dry exhaust gas (mg/Nm<sup>3</sup>);
- $\varphi_{\text{ex(THC),corr}}$  is the corrected THC volume fraction in the dry exhaust gas (ml/m<sup>3</sup> carbon equivalent);
- $\alpha_{\text{THC}}$  is the hydrogen to carbon atom ratio of the THC in the exhaust gas;
- 0,537 is the carbon atomic weight divided by the molar volume at standard condition (kg/Nm<sup>3</sup>);
- 0,045 is the hydrogen atomic weight divided by molar volume at standard condition (kg/Nm<sup>3</sup>).

NOTE The standard condition is 0 °C and 101,325 kPa (1 atm).

### 15.3.4.3.3 H<sub>2</sub> mass concentration

The H<sub>2</sub> mass concentration shall be calculated with the following formula:

$$\gamma_{\text{ex(H2)}} = \varphi_{\text{ex(H2),corr}} \times 0,08988 \quad (16)$$

where

- $\gamma_{\text{ex(H2)}}$  is the H<sub>2</sub> mass concentration in the dry exhaust gas (mg/Nm<sup>3</sup>);
- $\varphi_{\text{ex(H2),corr}}$  is the corrected H<sub>2</sub> volume fraction in the dry exhaust gas (ml/m<sup>3</sup>);
- 0,089 88 is the value for the H<sub>2</sub> density (kg/Nm<sup>3</sup>).

### 15.3.4.4 Mass of each component per unit energy of input fuel

#### 15.3.4.4.1 Mass of CO per unit energy of input fuel

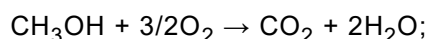
The mass of CO emission per unit energy of input fuel (mg/kW·h) shall be calculated with the following formula:

$$\varepsilon_{\text{CO}} = \varphi_{\text{ex(CO),corr}} \times \left( \frac{22,4 \times 10^{-3}}{H_{f0}} \right) \times 1,252 \times 3\,600 \quad (17)$$

where

- $\varepsilon_{\text{co}}$  is the mass of CO emission per unit energy of input fuel (mg/kW·h);
- $\varphi_{\text{ex(CO),corr}}$  is the corrected CO volume fraction in the dry exhaust gas (ml/m<sup>3</sup>);
- $H_{f0}$  is the molar heating value of methanol (kJ/mol);

$22,4 \times 10^{-3}$  is the theoretical dry exhaust gas volume ( $\text{CO}_2$ ) per 1 mol of methanol input according to the following reaction ( $\text{Nm}^3/\text{mol}$ ):



1,252 is the value for the  $\text{CO}$  density ( $\text{kg}/\text{Nm}^3$ );

3 600 is the conversion factor of kJ into  $\text{kW}\cdot\text{h}$ .

#### 15.3.4.4.2 Mass of THC per unit energy of input fuel

The mass of THC emissions per unit energy of input fuel ( $\text{mg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ) shall be calculated with the following formula:

$$\varepsilon_{\text{THC}} = \varphi_{\text{ex,THC,corr}} \times \left( \frac{22,4 \times 10^{-3}}{H_{f0}} \right) \times (0,537 + \alpha_{\text{THC}} \times 0,045) \times 3\,600 \quad (18)$$

where

$\gamma_{\text{ex(THC)}}$  is the THC mass concentration in the dry exhaust gas ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ );

$\varphi_{\text{ex(THC),corr}}$  is the corrected THC volume fraction in the dry exhaust gas ( $\text{ml}/\text{m}^3$ , carbon equivalent);

$\alpha_{\text{THC}}$  is the hydrogen to carbon atom ratio of the THC in the exhaust gas;

0,537 is the carbon atomic weight divided by molar volume at standard condition ( $\text{kg}/\text{Nm}^3$ );

0,045 is the hydrogen atomic weight divided by molar volume at standard condition ( $\text{kg}/\text{Nm}^3$ ).

NOTE The standard condition is  $0\text{ }^\circ\text{C}$  and  $101,325\text{ kPa}$  (1 atm).

#### 15.3.4.4.3 Mass of $\text{H}_2$ per unit energy of input fuel

The mass of  $\text{H}_2$  emission per unit energy of input fuel ( $\text{mg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ) shall be calculated with the following formula:

$$\varepsilon_{\text{H}_2} = \varphi_{\text{ex(H}_2\text{),corr}} \times \left( \frac{22,4 \times 10^{-3}}{H_{f0}} \right) \times 0,08988 \times 3\,600 \quad (19)$$

where

$\varepsilon_{\text{H}_2}$  is the mass of  $\text{H}_2$  emission per unit energy of input fuel ( $\text{mg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ );

$\varphi_{\text{ex(H}_2\text{),corr}}$  is the corrected  $\text{H}_2$  volume fraction in the dry exhaust gas ( $\text{ml}/\text{m}^3$ );

$H_{f0}$  is the molar heating value of fuel ( $\text{kJ}/\text{mol}$ );

0,089 88 is the value for the  $\text{H}_2$  density ( $\text{kg}/\text{Nm}^3$ );

3 600 is the conversion factor of kJ into  $\text{kW}\cdot\text{h}$ .

#### 15.3.4.5 Averaging the data

The mean mass concentration and the mean mass per unit input fuel energy for each measured harmful component during the rated power output operation (for 1 h starting from 30 min after the rated power output is reached) shall be calculated by averaging the mass concentration and the mass per unit input fuel energy, respectively.

The mean mass concentration and the mean mass per unit of input fuel energy shall be recorded with annex notes that include average electrical power output, average room temperature, and average humidity.

#### **15.3.4.6 Averaging the temperature of the exhaust gas**

The average exhaust gas temperature measured at the rated electric power output shall be reported.

### **15.4 Discharge water test**

#### **15.4.1 General**

This test is for measuring the quality of discharge water from the fuel cell/battery hybrid system throughout all phases of operation from start-up, rated electric power output to shutdown. The rated electric power output is specified by the manufacturer.

The discharge water measured does not include the heated water taken out as thermal output.

#### **15.4.2 Test method**

- a) After installing a device for collecting the discharge water, start the fuel cell/battery hybrid system.
- b) The discharge water shall be cooled down, collected and pooled together from start-up to shutdown through rated electric power output for 3,5 h or more.
- c) Measure the following items:
  - total amount of discharge water (time duration of operation shall be recorded);
  - temperature of discharge water;
  - pH;
  - biochemical oxygen demand (BOD);
  - chemical oxygen demand (COD) when necessary.

It is recommended to refer to ISO 10523 for pH measurement, ISO 5815-2 for BOD measurement, and ISO 6060 for COD measurement.

### **15.5 Vibration test**

#### **15.5.1 General**

The fuel cell/battery hybrid system shall have vibration resistance generated from various operation modes for the excavator's installation.

- 1) A fuel cell/battery hybrid system shall be subjected to a system vibration test in both the vertical and longitudinal/lateral axes in accordance with 15.5.2 and 15.5.3. The fuel cell/battery hybrid system shall not be operating for these tests. As a result of the tests, the fuel cell/battery hybrid system shall comply with IEC 62282-4-101:2022, 5.2 and ISO 5348.  
Exception: if the fuel cell/battery hybrid system is intended for use in an excavator with a known vibration profile, that profile may be used instead of the profile outlined in 15.5.2 and 15.5.3.
- 2) A self-contained fuel cell/battery hybrid system is permitted to be tested outside of the excavator in 15.5.2 and 15.5.3. The fuel cell/battery hybrid 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/battery hybrid system is not required to be tested in accordance with 15.5.2 and 15.5.3.

- 4) With reference to 2), 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 shall be included or simulated if there is any chance of interference or contact between the parts.
- 5) Before and after the vibration test, the rated performance of the system shall be equivalent to and within the specifications of the manufacturer.

### 15.5.2 Vertical axis test

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

### 15.5.3 Longitudinal and lateral axes tests

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

### 15.5.4 Random vibration test

This accelerated test verifies that the device under test (DUT) operates as designed under random vibration in various severities applicable to on-board electrical and electronic equipment. DUT failure modes include cracking or breakage of materials due to vibration fatigue.

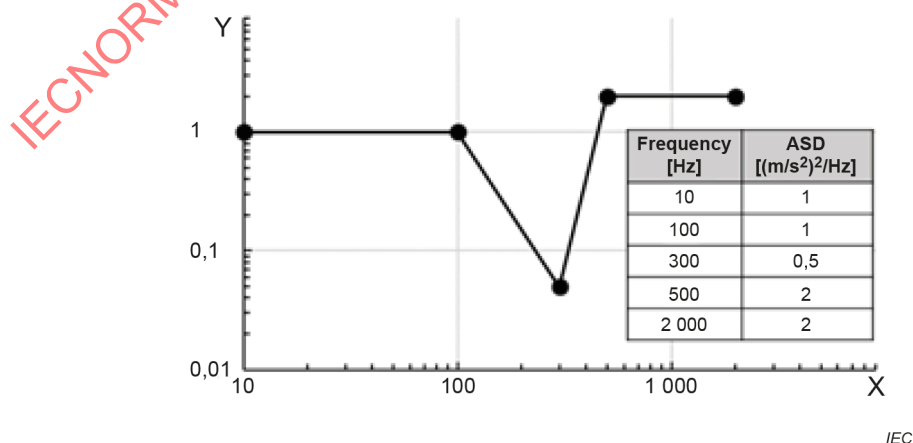
Vibration testing shall be performed in accordance with IEC 60068-2-64:2008 and IEC 60068-2-64:2008/AMD1:2019, 8.4.

The manufacturer and component supplier should choose the test G level, environmental temperature and accelerated vibration parameters depending on the specific mounting location.

If no vibration data is available for the specific mounting location of the DUT, or the acceleration spectral density (ASD) measured is lower than shown in Figure 9, the DUT shall be tested according to Figure 9.

The frequency range shall be defined as follows:  $f_1 = 10$  Hz,  $f_2 = 2\,000$  Hz. The ASD is linear between the listed frequencies.

The manufacturer shall select the appropriate duration of exposure according to the DUT expected life cycle. The minimum duration shall be 8 h per axis.



IEC

Frequency [Hz], Y: ASD [(m/s²)²/Hz]

**Figure 9 – Random vibration ASD**

## 16 Test mode of fuel cell/battery hybrid system on an excavator

If there is a need to evaluate the performance of the fuel cell in an excavator working in the field, then the test modes for an excavator installed fuel cell/battery hybrid power pack system are described in Annex B and Table B.1.

## 17 Test reports

### 17.1 General

Test reports shall accurately, clearly, and objectively present sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have been attained. The minimum requirement for the test report shall be a title page, a table of contents and a summary report. For fuel cell/battery hybrid systems tested in compliance with this document, the summary report shall be made available to interested parties.

More information obtained under Clause 14 and Clause 16 can be included with a detailed report and/or a full report for internal purposes. Guidelines for the contents of the detailed report and the full report are given in Annex C.

### 17.2 Title page

The title page shall present the following information:

- a) report identification number (optional);
- b) type of report (summary, detailed, or full);
- c) authors of report;
- d) entity conducting the tests;
- e) date of report;
- f) location of the tests;
- g) titles of the tests;
- h) date and time of the tests;
- i) fuel cell/battery hybrid system identification code and manufacturer's name.

### 17.3 Table of contents

The table of contents shall present the titles of clauses, subclauses, etc., in the report with the page numbers in an orderly sequence.

### 17.4 Summary report

The summary report shall include the following information:

- a) objective of the test;
- b) description of the test, equipment, and instruments;
- c) all test results;
- d) uncertainty for each test result;
- e) confidence for each test result;
- f) conclusions as appropriate;
- g) discussion of the tests and their results (i.e., comments and observations);
- h) results of fuel analysis.

## Annex A (informative)

### Example of a test operation schedule

Table A.1 shows an example of a test operation schedule for tests in Clause 13 and Clause 15, which are conducted by manufacturers of fuel cell/battery hybrid systems in laboratories.

**Table A.1 – Example of a test operation schedule**

| No | Type test                            | Operation                              | Subclause | Estimated duration |
|----|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------|--------------------|
| 1  | Fuel consumption test                | Operate system at rated output         | 13.2      | 3 h                |
|    | Electric power output test           |                                        | 13.3      |                    |
| 2  | Fuel consumption test                | Operate system at 75 % output          | 13.2      | 3 h                |
|    | Electric power output test           |                                        | 13.3      |                    |
| 3  | Fuel consumption test                | Operate system at 50 % output          | 13.2      | 3 h                |
|    | Electric power output test           |                                        | 13.3      |                    |
| 4  | Fuel consumption test                | Operate system at minimum output       | 13.2      | 3 h                |
|    | Electric power output test           |                                        | 13.3      |                    |
| 5  | Cold start maximum power output test | Operate system at rated output         | 13.4      | System-dependent   |
| 6  | Power cycling electrical load test   | Operate system at rated output         | 13.4      | 8 h                |
| 7  | Noise test                           | System in cold state                   | 15.2      | 30 min             |
| 8  | Noise test                           | Start-up system to rated output        | 15.2      | system-dependent   |
|    | Exhaust gas test                     |                                        | 15.3      |                    |
|    | Discharge water test                 |                                        | 15.4      |                    |
| 9  | Vibration test                       | Vertical and longitudinal/lateral axes | 15.5      | 3 h                |

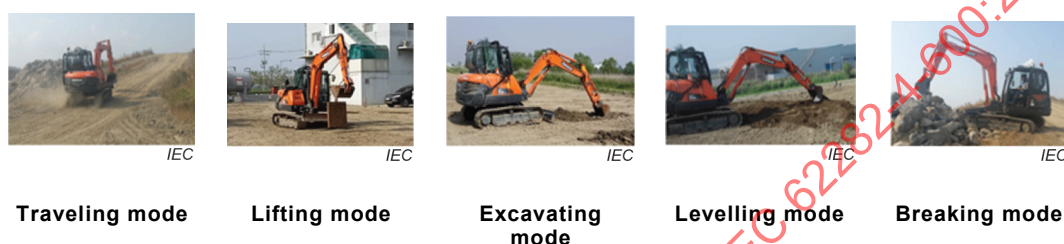
## Annex B (informative)

### Example of test mode for fuel cell/battery hybrid system

#### B.1 Test modes for excavator

##### B.1.1 General

The defined operation modes for an excavator installed fuel cell/battery hybrid system are described in Figure B.1 and the test mode of a fuel cell/battery hybrid system for an excavator is described below.



**Figure B.1 – Operation modes for excavator installed fuel cell/battery hybrid system**

##### B.1.2 Traveling mode

In this mode, the fuel cell is producing power to the load and can be charging the battery and/or capacitor at the same time. When the load is removed, the fuel cell automatically enters into standby state. This mode as low peak load state needs low power supplied only from the fuel cell.

##### B.1.3 Lifting mode

In this mode, the excavator lifts the object up. This mode as high peak load state needs full power supplied from the fuel cell and battery.

##### B.1.4 Excavating mode

In this mode, the excavator digs a hole in the ground or makes trenches. This mode as high peak load state needs full power supplied from the fuel cell and/or battery.

##### B.1.5 Levelling mode

In this mode, the excavator makes the ground level or smoothes the uneven spots. This mode as mid peak load state needs mid power supplied from the fuel cell and battery.

##### B.1.6 Breaking mode

In this mode, the excavator breaks rocks. This mode as sharp peak load state needs high power supplied from fuel cell and battery.

## B.2 Test condition

Unless otherwise specified, it is recommended to test the excavator in the environment specified below:

- temperature:  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ;
- humidity:  $65\% \pm 20\%$  relative humidity.

For each test run, the test conditions shall be measured. As air quality can affect the fuel cell power system performance, air composition ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{SO}_2$  and so forth) shall be reported with the test result.

**Table B.1 – Example of test mode for fuel cell/battery hybrid system with excavator**

| Type of operation mode                                                                                                                                                                                                                       | Example or options of movement                                                                                          | Time duration <sup>c</sup> (min) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Excavate                                                                                                                                                                                                                                     | Trench digging, or Loading                                                                                              | $t_1$                            |
| Levelling                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                         | $t_2$                            |
| Traveling at max speed <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                          | Max speed travel, for track type excavator (flat), or<br>Max speed travel, for wheel type excavator (flat) <sup>b</sup> | $t_3$                            |
| Other                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                         | $t_4$                            |
| ...                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         | $t_i$                            |
| Total                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                         | $\sum t_i$                       |
| <sup>a</sup> Driving load to be performed on flat surfaces < 3% slope.<br><sup>b</sup> Round test (25 m) or lap test (25 m or more).<br><sup>c</sup> Minimum time duration for each cycle to follow excavator manufacturer's recommendation. |                                                                                                                         |                                  |

## **Annex C**

(informative)

### **Guidelines for the contents of detailed and full reports**

#### **C.1 General**

It is recommended that the detailed report and/or the full report are created to record sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have been attained.

Each type of report should have a title page and a table of contents, and the title page should contain the same information as described in 17.2.

#### **C.2 Detailed report**

The detailed report should include the following information in addition to the information contained in the summary report:

- a) type, specifications, and operating configuration of the fuel cell/battery hybrid system and the process flow diagram showing the system boundary;
- b) description of the arrangements, location and operating conditions of the equipment and instruments;
- c) calibration results of instruments;
- d) reference to the calculation method;
- e) tabular and graphical presentation of the results.

#### **C.3 Full report**

The full report should include the following information in addition to the information contained in the detailed report:

- a) copies of original data sheets;
- b) original data sheets should include the following information in addition to the measurement data:
  - 1) date and time of the test run;
  - 2) model and serial number and measurement accuracy of instruments used for the test;
  - 3) ambient test conditions;
  - 4) name and qualifications of person(s) conducting the test;
  - 5) full and detailed uncertainty analysis.

## Bibliography

IEC 60050-482, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 482: Primary and secondary cells and batteries*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60945, *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – General requirements – Methods of testing and required test results*

IEC 61000-4-11:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 62282-3-200, *Fuel cell technologies – Part 3-200: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods*

IEC 62282-3-201, *Fuel cell technologies – Part 3-201: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods for small fuel cell power systems*

IEC 62282-4-102, *Fuel cell technologies – Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks – Performance test methods*

CISPR 11:2015, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

ISO 5815-2, *Water quality – Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD<sub>n</sub>) – Part 2: Method for undiluted samples*

ISO 6060, *Water quality – Determination of the chemical oxygen demand*

ISO 6798-1:2020, *Reciprocating internal combustion engines – Measurement of sound power level using sound pressure – Part 1: Engineering method*

ISO 6974 (all parts), *Natural gas – Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography*

ISO 6975, *Natural gas – Extended analysis – Gas-chromatographic method*

ISO 9000, *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*

ISO 10523, *Water quality – Determination of pH*

ASTM F2602, *Standard Test Method for Determining the Molar Mass of Chitosan and Chitosan Salts by Size Exclusion Chromatography with Multi-angle Light Scattering Detection (SEC-MALS)*

ASTM D4809-09, *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)*

JCMAS H020:2014, *Earth-moving machinery – Test methods for energy consumption-Hydraulic excavators*

## SOMMAIRE

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                            | 45 |
| 1 Domaine d'application .....                                                 | 47 |
| 2 Références normatives .....                                                 | 48 |
| 3 Termes, définitions et termes abrégés .....                                 | 49 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                               | 49 |
| 3.2 Termes abrégés .....                                                      | 50 |
| 4 Symboles .....                                                              | 50 |
| 5 Configuration du système hybride à pile à combustible/batterie .....        | 52 |
| 5.1 Généralités .....                                                         | 52 |
| 5.1.1 Vue d'ensemble .....                                                    | 52 |
| 5.1.2 Système hybride .....                                                   | 52 |
| 6 Conditions de référence .....                                               | 53 |
| 7 Préparation de l'essai .....                                                | 53 |
| 7.1 Généralités .....                                                         | 53 |
| 7.2 Analyse du système de mesure .....                                        | 53 |
| 7.3 Plan d'acquisition des données .....                                      | 53 |
| 8 Montage d'essai .....                                                       | 53 |
| 9 Appareils de mesure et méthodes de mesure .....                             | 55 |
| 9.1 Généralités .....                                                         | 55 |
| 9.2 Appareils de mesure .....                                                 | 55 |
| 9.3 Points de mesure .....                                                    | 56 |
| 9.4 Incertitudes de mesure systématiques minimales exigées .....              | 57 |
| 10 Conditions d'essai .....                                                   | 58 |
| 10.1 Conditions de laboratoire .....                                          | 58 |
| 10.2 Conditions d'installation et de fonctionnement du système .....          | 58 |
| 10.3 Conditions de la source d'alimentation .....                             | 58 |
| 10.4 Qualité du combustible d'essai .....                                     | 58 |
| 10.4.1 Hydrogène .....                                                        | 58 |
| 10.4.2 Solution de méthanol .....                                             | 58 |
| 11 Processus de fonctionnement .....                                          | 59 |
| 12 Plan d'essai .....                                                         | 60 |
| 13 Essais de type sur les performances électriques .....                      | 60 |
| 13.1 Généralités .....                                                        | 60 |
| 13.2 Essai de consommation de combustible .....                               | 60 |
| 13.2.1 Essai de consommation de combustible hydrogène gazeux et liquide ..... | 60 |
| 13.2.2 Essai de consommation du combustible méthanol .....                    | 63 |
| 13.3 Essai de puissance électrique de sortie .....                            | 64 |
| 13.3.1 Généralités .....                                                      | 64 |
| 13.3.2 Méthode d'essai .....                                                  | 65 |
| 13.3.3 Calcul de la puissance électrique de sortie moyenne .....              | 65 |
| 13.3.4 Détermination de l'état de charge de la batterie .....                 | 65 |
| 13.3.5 Calcul du rendement électrique .....                                   | 66 |
| 13.4 Essai de type sur les performances opérationnelles .....                 | 66 |
| 13.4.1 Essai de puissance de sortie maximale en démarrage à froid .....       | 66 |
| 13.4.2 Essai de cycle de charge électrique d'alimentation .....               | 67 |

|        |                                                                                                           |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 13.4.3 | Essai suivant la demande électrique .....                                                                 | 67 |
| 14     | Stabilité de la puissance pendant le fonctionnement.....                                                  | 68 |
| 14.1   | Généralités .....                                                                                         | 68 |
| 14.2   | Puissance délivrée.....                                                                                   | 68 |
| 14.3   | Puissance récupérée .....                                                                                 | 68 |
| 15     | Essais de type sur les performances environnementales .....                                               | 69 |
| 15.1   | Généralités .....                                                                                         | 69 |
| 15.2   | Essai de bruit.....                                                                                       | 69 |
| 15.2.1 | Généralités .....                                                                                         | 69 |
| 15.2.2 | Conditions d'essai .....                                                                                  | 69 |
| 15.3   | Essai de gaz d'échappement .....                                                                          | 71 |
| 15.3.1 | Généralités .....                                                                                         | 71 |
| 15.3.2 | Constituants à mesurer .....                                                                              | 71 |
| 15.3.3 | Méthode d'essai .....                                                                                     | 71 |
| 15.3.4 | Traitement des données .....                                                                              | 72 |
| 15.4   | Essai d'eau d'écoulement .....                                                                            | 75 |
| 15.4.1 | Généralités .....                                                                                         | 75 |
| 15.4.2 | Méthode d'essai .....                                                                                     | 75 |
| 15.5   | Essai de vibrations.....                                                                                  | 76 |
| 15.5.1 | Généralités .....                                                                                         | 76 |
| 15.5.2 | Essai dans l'axe vertical .....                                                                           | 76 |
| 15.5.3 | Essais dans les axes longitudinal et latéral.....                                                         | 76 |
| 15.5.4 | Essai de vibrations aléatoires .....                                                                      | 76 |
| 16     | Mode d'essai du système hybride à pile à combustible/batterie pour une pelle .....                        | 77 |
| 17     | Rapports d'essai.....                                                                                     | 77 |
| 17.1   | Généralités .....                                                                                         | 77 |
| 17.2   | Page de titre .....                                                                                       | 78 |
| 17.3   | Sommaire .....                                                                                            | 78 |
| 17.4   | Rapport résumé .....                                                                                      | 78 |
|        | Annexe A (informative) Exemple de programme d'essais de fonctionnement .....                              | 79 |
|        | Annexe B (informative) Exemple de mode d'essai pour un système hybride à pile à combustible/batterie..... | 80 |
| B.1    | Modes d'essai pour une pelle.....                                                                         | 80 |
| B.1.1  | Généralités .....                                                                                         | 80 |
| B.1.2  | Mode conduite .....                                                                                       | 80 |
| B.1.3  | Mode levage .....                                                                                         | 80 |
| B.1.4  | Mode excavation .....                                                                                     | 80 |
| B.1.5  | Mode terrassement.....                                                                                    | 80 |
| B.1.6  | Mode démolition .....                                                                                     | 80 |
| B.2    | Condition d'essai .....                                                                                   | 81 |
|        | Annexe C (informative) Lignes directrices sur le contenu du rapport détaillé et du rapport complet.....   | 82 |
| C.1    | Généralités .....                                                                                         | 82 |
| C.2    | Rapport détaillé .....                                                                                    | 82 |
| C.3    | Rapport complet .....                                                                                     | 82 |
|        | Bibliographie.....                                                                                        | 83 |

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Schéma de principe d'un système hybride à pile à combustible/batterie .....                                                                               | 48 |
| Figure 2 – Configuration d'un système hybride à pile à combustible/batterie .....                                                                                    | 52 |
| Figure 3 – Hybridation de puissance d'un système à pile à combustible et batterie .....                                                                              | 52 |
| Figure 4 – Montage d'essai pour un système hybride à pile à combustible/batterie<br>alimenté en combustible hydrogène, fournissant uniquement de l'électricité ..... | 54 |
| Figure 5 – Montage d'essai pour un système à pile à combustible alimenté en<br>combustible méthanol, fournissant uniquement de l'électricité .....                   | 55 |
| Figure 6 – Série chronologique de changements d'état de fonctionnement .....                                                                                         | 59 |
| Figure 7 – Flux d'énergie pour la puissance récupérée et la puissance délivrée.....                                                                                  | 68 |
| Figure 8 – Points de mesure du bruit pour les systèmes hybrides à piles à combustible.....                                                                           | 70 |
| Figure 9 – DSA dans l'essai de vibrations aléatoires.....                                                                                                            | 77 |
| Figure B.1 – Modes de fonctionnement pour un système hybride à pile à<br>combustible/batterie installé sur une pelle.....                                            | 80 |
| Tableau 1 – Symboles et signification associée pour les performances<br>électriques/thermiques.....                                                                  | 50 |
| Tableau 2 – Mesures de la puissance délivrée.....                                                                                                                    | 68 |
| Tableau 3 – Mesures de puissance récupérée .....                                                                                                                     | 69 |
| Tableau 4 – Compensation des valeurs lues par rapport à l'effet du bruit de fond .....                                                                               | 70 |
| Tableau A.1 – Exemple de programme d'essais de fonctionnement .....                                                                                                  | 79 |
| Tableau B.1 – Exemple de mode d'essai pour un système hybride à pile<br>à combustible/batterie monté sur une pelle.....                                              | 81 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-600:2022

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

**Partie 4-600: Systèmes à piles à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Méthodes d'essai des performances des systèmes hybrides à piles à combustible/batterie pour les pelles**

## 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.

L'IEC 62282-6-600 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

| Projet       | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 105/914/FDIS | 105/925/RVD     |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62282, publiée sous le titre général *Technologies des piles à combustible*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

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

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

## TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

### **Partie 4-600: Systèmes à piles à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Méthodes d'essai des performances des systèmes hybrides à piles à combustible/batterie pour les pelles**

#### **1 Domaine d'application**

La présente partie de l'IEC 62282 couvre les exigences relatives aux méthodes d'essai des performances des systèmes hybrides à piles à combustible/batterie destinés à être utilisés dans les applications électriques pour les pelles.

A cet effet, le présent document couvre les essais de performances électriques et de vibrations du système hybride à pile à combustible/batterie. Le présent document couvre également les méthodes d'essai des performances qui portent essentiellement sur les caractéristiques vibratoires et autres des organes auxiliaires (BOP) installés dans des applications intensives avec le système hybride à pile à combustible/batterie.

Le présent document s'applique à la fois aux piles à combustible à hydrogène gazeux, aux piles à combustible à hydrogène liquide, aux piles à combustible à méthanol direct et aux systèmes de bloc d'alimentation à batterie.

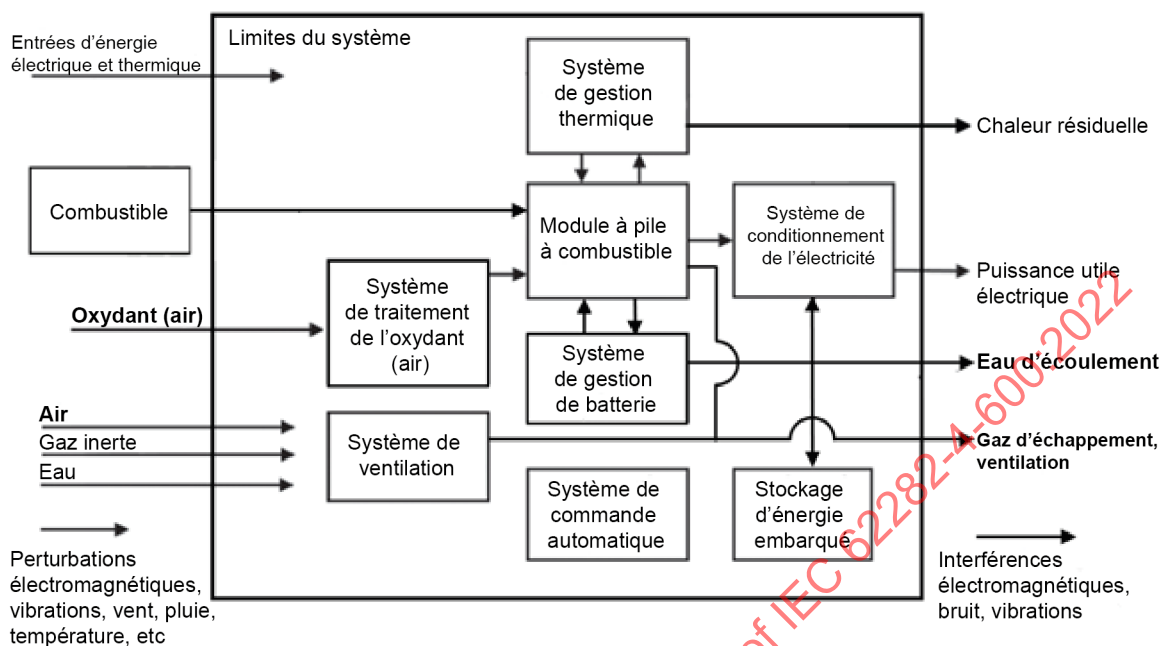
Les combustibles suivants relèvent du domaine d'application du présent document:

- hydrogène gazeux; et
- méthanol.

Le présent document ne s'applique pas aux systèmes à piles à combustible équipés d'un reformeur.

Le présent document peut être appliqué aux systèmes à pile à combustible utilisés à des fins de propulsion ou pour les groupes auxiliaires de puissance (GAP). Dans le cas des GAP, le même bloc d'alimentation hybride peut être utilisé en configuration embarquée ou comme GAP stationnaire. Dans ce dernier cas, le présent document peut également être appliqué.

Le schéma de principe d'un système hybride à pile à combustible/batterie est représenté à la Figure 1. Le présent document couvre la configuration, le mode d'hybridation et le mode de fonctionnement de la pile à combustible et de la batterie dans les systèmes de bloc d'alimentation.



IEC

**Figure 1 – Schéma de principe d'un système hybride à pile à combustible/batterie**

## 2 Références normatives

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

IEC 60050-485, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 485: Technologies des piles à combustible*

IEC 60068-2-64:2008, *Essais d'environnement – Partie 2-64: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande et guide*  
IEC 60068-2-64:2008/AMD1:2019

IEC 62282-4-101:2022, *Technologies des piles à combustible – Partie 4-101: Systèmes à pile à combustible pour la propulsion, autres que les véhicules routiers et groupes auxiliaires de puissance (GAP) – Systèmes à pile à combustible pour chariots de manutention électriques – Sécurité*

IEC 62282-6-300:2012, *Technologies des piles à combustible – Partie 6-300: Systèmes à micro-piles à combustible – Interchangeabilité de la cartouche de combustible*

ISO 14687:2019, *Qualité du carburant hydrogène – Spécification de produit*

### 3 Termes, définitions et termes abrégés

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-485, ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

##### 3.1.1

##### **système hybride à pile à combustible/batterie**

système à pile à combustible combiné à une batterie, pour délivrer de l'énergie électrique utile

Note 1 à l'article: Le système à pile à combustible peut délivrer de l'énergie électrique, charger la batterie, ou les deux. Le système peut délivrer et accepter de l'énergie électrique.

[SOURCE: IEC 60050-485:2020, 485-09-18]

##### 3.1.2

##### **système à pile à combustible**

système générateur qui utilise un ou plusieurs modules à pile à combustible (IEV 485-09-03) pour produire de l'énergie électrique et de la chaleur

##### 3.1.3

##### **batterie d'accumulateurs**

##### **accumulateur**

élément qui est conçu pour être rechargé électriquement

Note 1 à l'article: La recharge est accomplie au moyen d'une réaction chimique réversible. Les batteries d'accumulateurs telles que les batteries lithium-ion, les batteries métal-air, les batteries au plomb, les batteries nickel-hydrure métallique, etc., peuvent être rechargées par l'énergie électrique de la pile à combustible et/ou d'une source d'alimentation extérieure.

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-03, modifié: ajout du terme "batterie d'accumulateurs" et ajout d'une deuxième phrase à la note.]

##### 3.1.4

##### **système de conditionnement de l'électricité**

système électrique ou électronique à même de convertir la puissance générée dans les conditions de sortie demandées

##### 3.1.5

##### **système de nivellement de la charge**

dispositif électrique ou électronique à même d'équilibrer le flux de puissance entre la pile à combustible, les batteries d'accumulateurs et la charge

Note 1 à l'article: Il s'agit d'une méthode dans laquelle pendant les périodes de forte demande de puissance, les batteries d'accumulateurs peuvent fournir de l'énergie électrique venant s'ajouter à l'énergie fournie par la pile à combustible, afin de répondre à la demande électrique. Pendant les périodes où la demande électrique est plus faible, la puissance produite par la pile à combustible peut être stockée dans les batteries d'accumulateurs.

##### 3.1.6

##### **système hybride actif**

système hybride équipé d'un convertisseur continu/continu entre la pile à combustible et la batterie, qui ajuste la tension de chaque source d'alimentation à la tension du bus, et qui gère le partage d'alimentation entre chaque source d'alimentation

**3.1.7****état de charge****SOC**

capacité disponible dans un bloc ou un système de batteries, exprimée en pourcentage de la capacité assignée

**3.2 Termes abrégés**

BMS Battery Management System (système de gestion de batterie)

DBO Demande biochimique en oxygène

BOP Balance Of Plant (organes auxiliaires)

FID Flame Ionizer Detector (détecteur à ionisation de flamme)

EMS Energy Management System (système de gestion d'énergie)

FMS Fuel cell Management System (système de gestion de pile à combustible)

SOC State Of Charge (état de charge)

THC Total HydroCarbon (hydrocarbures totaux)

**4 Symboles**

Les symboles utilisés dans la présente partie de l'IEC 62282, et leur signification, sont donnés dans le Tableau 1 pour les performances électriques/thermiques, avec les unités appropriées.

**Tableau 1 – Symboles et signification associée pour les performances électriques/thermiques**

| Symbole                   | Définition                                                                              | Unité             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><math>E</math></b>     | <b>Energie</b>                                                                          |                   |
| $E_{mf}$                  | Apport d'énergie du combustible gazeux par unité de masse                               | kJ/kg             |
| $E_{vf}$                  | Apport d'énergie du combustible par unité de volume                                     | kJ/m <sup>3</sup> |
| $E_{fin}$                 | Apport d'énergie du combustible                                                         | kJ                |
| <b><math>H</math></b>     | <b>Valeur calorifique</b>                                                               |                   |
| $H_{t0}$                  | Valeur calorifique du combustible sur une base molaire dans les conditions de référence | kJ/mol            |
| $H_{t0j}$                 | Valeur calorifique du constituant $j$ à la température de référence $T_0$               | kJ/mol            |
| $H_{fl}$                  | Valeur calorifique du combustible liquide                                               | kJ/kg             |
| <b><math>M</math></b>     | <b>Masse molaire</b>                                                                    |                   |
| $M_f$                     | Masse molaire du combustible                                                            | kg/mol            |
| <b><math>m</math></b>     | <b>Masse</b>                                                                            |                   |
| $m_f$                     | Masse de combustible mesurée pendant la durée de l'essai                                | kg                |
| <b><math>P, dP</math></b> | <b>Puissance, taux de variation de puissance</b>                                        |                   |
| $P_n$                     | Puissance électrique de sortie nette moyenne                                            | kW                |
| $P_d$                     | Plage de variation de la puissance électrique de sortie entre $P_{rated}$ et $P_{min}$  | kW                |
| $P_{rated}$               | Puissance électrique de sortie assignée                                                 | kW                |
| $P_{min}$                 | Puissance électrique de sortie minimale                                                 | kW                |
| $dP_{down}$               | Taux de diminution de la puissance électrique de sortie                                 | kW/s              |
| $dP_{up}$                 | Augmentation de la puissance électrique de sortie assignée                              | kW/s              |

| Symbole                   | Définition                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Unité               |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Pression</b>           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $p$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $p_0$                     | Pression de référence [101,325 kPa (abs)]                                                                                                                                                                                                                                                                    | kPa (abs)           |
| $p_f$                     | Pression moyenne du combustible                                                                                                                                                                                                                                                                              | kPa (abs)           |
| <b>Débit massique</b>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $q_m$                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $q_{mf}$                  | Débit massique moyen du combustible                                                                                                                                                                                                                                                                          | kg/s                |
| <b>Débit volumique</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $q_v$                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $q_{vf}$                  | Débit volumique moyen du combustible dans les conditions d'essai                                                                                                                                                                                                                                             | m <sup>3</sup> /s   |
| $q_{vf0}$                 | Débit volumique moyen du combustible dans les conditions de référence                                                                                                                                                                                                                                        | m <sup>3</sup> /s   |
| <b>Température</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $T$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $T_0$                     | Température de référence (288,15 K)                                                                                                                                                                                                                                                                          | K                   |
| $T_f$                     | Température moyenne du combustible                                                                                                                                                                                                                                                                           | K                   |
| $T_s$                     | Température normalisée (273,15 K)                                                                                                                                                                                                                                                                            | K                   |
| <b>Temps</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $t$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $\Delta t$                | Durée de l'essai                                                                                                                                                                                                                                                                                             | s                   |
| $\Delta t_{st}$           | Temps de démarrage                                                                                                                                                                                                                                                                                           | s                   |
| $t_{st1}$                 | Temps d'initiation du démarrage                                                                                                                                                                                                                                                                              | s                   |
| $t_{st2}$                 | Temps de réalisation complète du démarrage                                                                                                                                                                                                                                                                   | s                   |
| $\Delta t_{shut}$         | Temps d'arrêt                                                                                                                                                                                                                                                                                                | s                   |
| $t_{shut1}$               | Temps d'initiation de l'arrêt                                                                                                                                                                                                                                                                                | s                   |
| $t_{shut2}$               | Temps de réalisation complète de l'arrêt                                                                                                                                                                                                                                                                     | s                   |
| $\Delta t_{lcdown}$       | Durée de la diminution de la puissance électrique de sortie entre $t_{lc1}$ et $t_{lc2}$                                                                                                                                                                                                                     | s                   |
| $\Delta t_{lcup}$         | Durée de l'augmentation de la puissance électrique de sortie entre $t_{lc3}$ et $t_{lc4}$                                                                                                                                                                                                                    | s                   |
| $t_{rated}$               | Durée de la phase de puissance de sortie assignée d'un cycle de fonctionnement (démarrage, phase d'accélération, fonctionnement à la puissance assignée et arrêt)                                                                                                                                            | s                   |
| <b>Volume</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $V$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $V_f$                     | Volume de combustible mesuré pendant la durée de l'essai                                                                                                                                                                                                                                                     | m <sup>3</sup>      |
| <b>Volume molaire</b>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $V_m$                     | Volume molaire de référence du gaz idéal ( $2,364\ 5 \times 10^{-2}$ m <sup>3</sup> /mol à la température de référence, $T_0 = 288,15$ K ou $2,241\ 4 \times 10^{-2}$ m <sup>3</sup> /mol à la température normalisée, $T_s = 273,15$ K, prises toutes deux à la pression de référence, $p_0 = 101,325$ kPa) | m <sup>3</sup> /mol |
| <b>Énergie électrique</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $W$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $W_{out}$                 | Energie électrique de sortie                                                                                                                                                                                                                                                                                 | kWh                 |
| $W_{in}$                  | Energie électrique d'entrée                                                                                                                                                                                                                                                                                  | kWh                 |
| $W_{instbat}$             | Energie électrique exigée sur la durée allant du temps d'initiation du démarrage, $t_{st1}$ , au temps de réalisation complète de la recharge de la batterie, $t_{st3bat}$                                                                                                                                   | kWh                 |
| $W_{inshut}$              | Energie électrique d'entrée pendant le temps d'arrêt                                                                                                                                                                                                                                                         | kWh                 |
| $W_{outcyc}$              | Energie électrique de sortie nette pendant un cycle de fonctionnement (démarrage, phase d'accélération, fonctionnement à la puissance assignée et arrêt)                                                                                                                                                     | kWh                 |
| <b>Fraction molaire</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $x$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $x_j$                     | Fraction molaire du constituant $j$                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |
| <b>Rendement</b>          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $\eta$                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |
| $\eta_{el}$               | Rendement électrique                                                                                                                                                                                                                                                                                         | %                   |
| $\eta_{cyc}$              | Rendement électrique du cycle de fonctionnement                                                                                                                                                                                                                                                              | %                   |

## 5 Configuration du système hybride à pile à combustible/batterie

### 5.1 Généralités

#### 5.1.1 Vue d'ensemble

Il existe deux types généraux de configurations pour le mode de puissance assurant le fonctionnement des pelles à alimentation électrique, visées par le présent document (voir Figure 2):

- 1) mode exclusivement à pile à combustible: fonctionnement uniquement à partir d'une source d'alimentation à pile à combustible, sans source d'alimentation hybride à batterie;
- 2) mode hybride pile à combustible/batterie: fonctionnement en simultané avec une pile à combustible principale et une batterie d'accumulateurs.

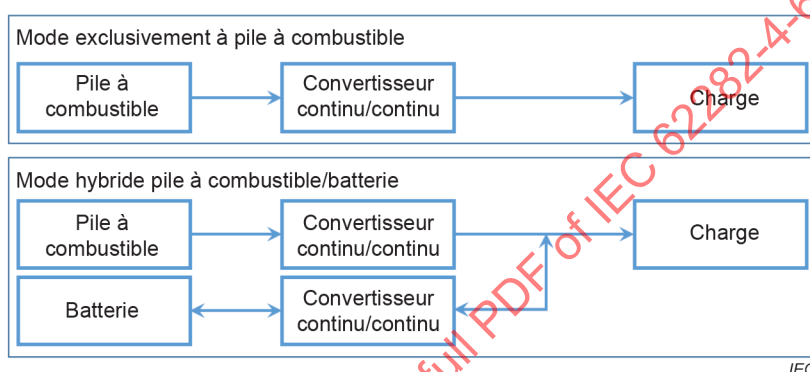


Figure 2 – Configuration d'un système hybride à pile à combustible/batterie

#### 5.1.2 Système hybride

Dans un système hybride actif, un convertisseur continu/continu doit être installé entre la pile à combustible et la batterie. Le convertisseur ajuste la tension de chaque source d'alimentation à la tension du bus, et gère le partage d'alimentation entre chaque source d'alimentation (voir Figure 3).

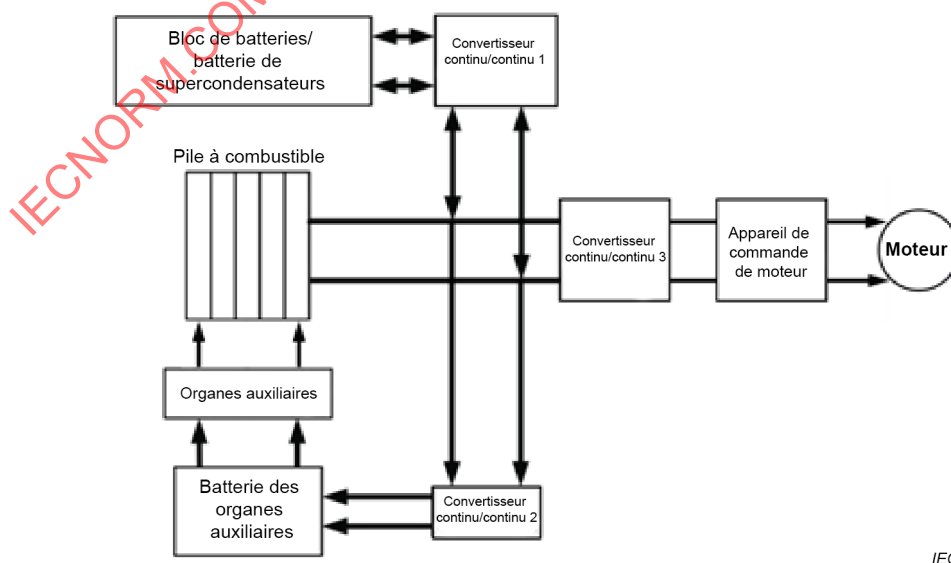


Figure 3 – Hybridation de puissance d'un système à pile à combustible et batterie

## 6 Conditions de référence

Les conditions de référence sont spécifiées ci-après:

- température de référence:  $T_0 = 288,15 \text{ K}$  ( $15 \text{ °C}$ );
- pression de référence:  $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$  (abs).

## 7 Préparation de l'essai

### 7.1 Généralités

L'Article 7 décrit les éléments types qui doivent être pris en compte avant la mise en œuvre d'un essai. Pour chaque essai, il doit être fait en sorte de réduire le plus possible l'incertitude en choisissant des appareils de haute précision et en planifiant soigneusement et minutieusement les essais. Des plans d'essai détaillés doivent être élaborés par les parties prenantes à l'essai, en utilisant le présent document comme base de travail. Un plan d'essai écrit doit être élaboré.

Les éléments suivants doivent être pris en compte pour l'élaboration du plan d'essai:

- a) Objectif;
- b) spécifications d'essai;
- c) qualifications du personnel réalisant l'essai;
- d) normes de management de la qualité (par exemple ISO 9000, ou autres normes équivalentes);
- e) incertitude cible;
- f) identification des appareils de mesure (voir l'Article 9);
- g) plage estimée des paramètres d'essai;
- h) plan d'acquisition des données.

### 7.2 Analyse du système de mesure

Une analyse du système de mesure doit être effectuée sur l'élément d'essai ci-après, afin de spécifier la fiabilité des résultats d'essai. Les résultats d'essai suivants doivent être analysés afin de déterminer l'incertitude absolue et l'incertitude relative. Un essai doit être planifié afin que la fiabilité des résultats puisse être évaluée pour l'élément suivant:

- rendement électrique.

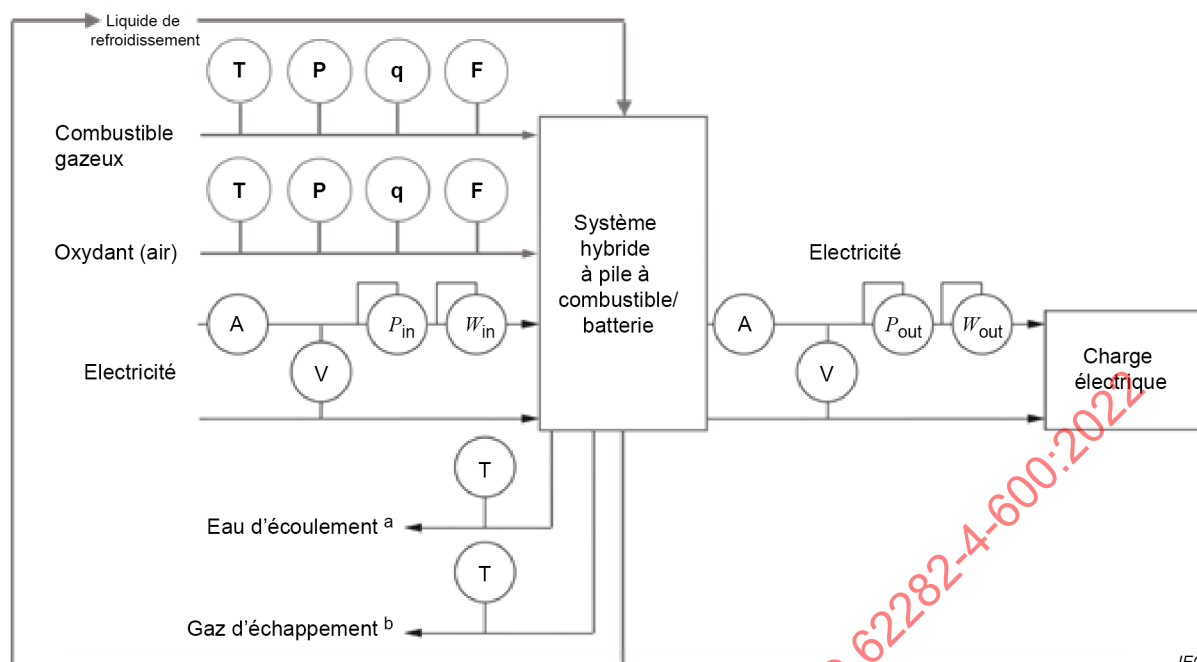
### 7.3 Plan d'acquisition des données

Afin d'atteindre l'incertitude cible, la durée et la fréquence appropriées des lectures doivent être définies, et un équipement adapté d'enregistrement de données doit être préparé avant l'essai de performances.

L'acquisition automatique de données à l'aide d'un système numérique approprié est préférable.

## 8 Montage d'essai

La Figure 4 et la Figure 9 représentent des exemples de montages d'essai exigés pour les systèmes hybrides à piles à combustible/batterie avec combustible gazeux et méthanol décrits dans le présent document.



IEC

Ⓐ ampèremètre

Ⓥ voltmètre

Ⓣ thermomètre

Ⓟ manomètre

ⓕ compteur totalisateur

Ⓟ appareil de mesure de la puissance électrique

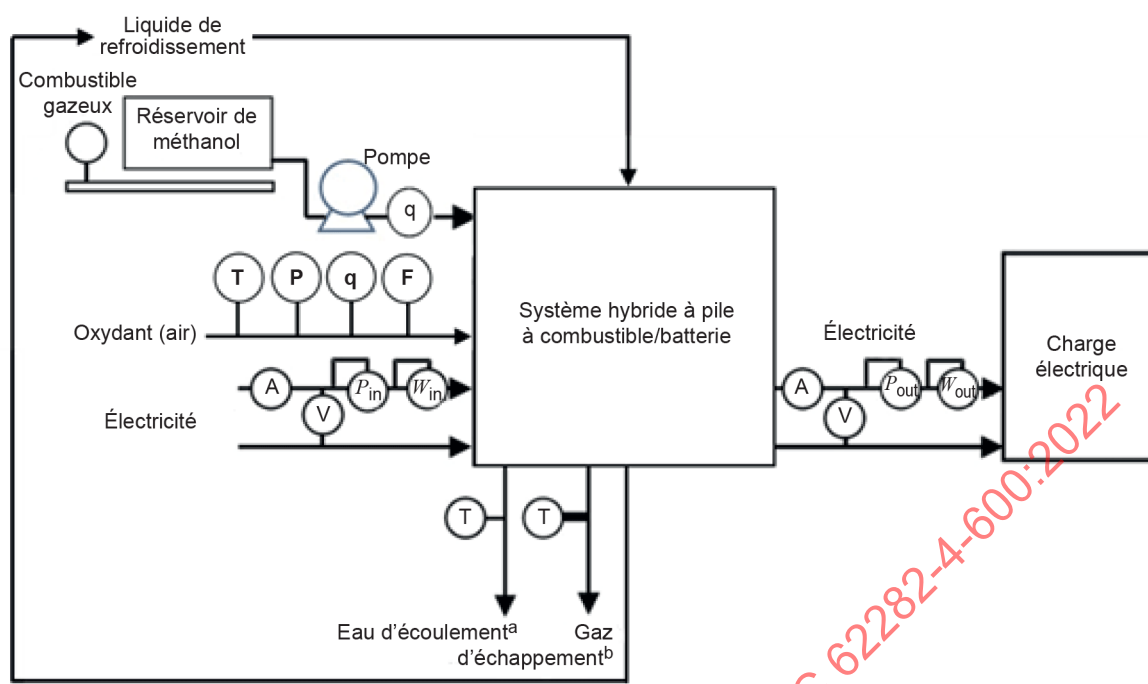
Ⓦ appareil de mesure de l'énergie électrique

Ⓠ débitmètre

<sup>a</sup> L'eau d'écoulement est acheminée vers un dispositif de collecte pour mesurer le volume (ou la masse), le pH, la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO).

<sup>b</sup> Le gaz d'échappement est dirigé vers un dispositif de collecte pour analyser les composants.

**Figure 4 – Montage d'essai pour un système hybride à pile à combustible/batterie alimenté en combustible hydrogène, fournissant uniquement de l'électricité**



<sup>a</sup> Acheminée vers un dispositif de collecte pour mesurer le volume (ou le poids), le pH, la DBO, la DCO

<sup>b</sup> Acheminés vers un dispositif de collecte pour analyser les constituants

IEC

**Figure 5 – Montage d'essai pour un système à pile à combustible alimenté en combustible méthanol, fournissant uniquement de l'électricité**

## 9 Appareils de mesure et méthodes de mesure

### 9.1 Généralités

Les appareils de mesure et les méthodes de mesure doivent être conformes aux Normes internationales applicables. Ils doivent être choisis en vue de respecter la plage de mesure spécifiée par le fabricant et l'exactitude de mesure exigée.

### 9.2 Appareils de mesure

Les appareils de mesure sont répertoriés selon leur utilisation prévue:

- a) appareillage de mesure de la puissance électrique de sortie, la puissance électrique d'entrée, l'énergie électrique d'entrée et l'énergie électrique de sortie:
  - appareils de mesure de la puissance électrique, appareils de mesure de l'énergie électrique, voltmètres, ampèremètres;
  - pour les systèmes incluant des batteries, un enregistreur de données de tension à haut débit, tel qu'un oscilloscope, est exigé pour mesurer l'augmentation de la puissance électrique assignée, car celle-ci est généralement extrêmement rapide (de l'ordre des millisecondes);
- b) appareillage de mesure du combustible d'entrée:
  - débitmètres, compteurs totalisateurs, balances, capteurs de pression, capteurs de température;
- c) appareillage de mesure des conditions ambiantes:
  - baromètres, hygromètres et capteurs de température;

d) appareillage de mesure du niveau de bruit:

- sonomètres tels que spécifiés dans l'IEC 61672-1 ou autres appareils de mesure d'exactitude équivalente ou meilleure.

Les réglages des appareils de mesure sont les suivants:

- pondération fréquentielle: A;
- pondération temporelle: S;
- unité: dB (pour la caractéristique A, l'affichage de la pondération fréquentielle peut être ignoré);

e) appareillage de mesure des fractions volumiques (concentrations) des constituants des gaz d'échappement:

- analyseur d'oxygène (par exemple basé sur des capteurs paramagnétiques, électrochimiques ou d'oxyde de zirconium);
- analyseur de dioxyde de carbone (par exemple chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) ou basé sur des capteurs d'absorption infrarouge);
- analyseur de monoxyde de carbone (par exemple basé sur des capteurs infrarouges non dispersifs ou des capteurs électrochimiques);
- analyseur d'hydrocarbures totaux (THC) [par exemple un détecteur à ionisation de flamme (FID)];
- analyseur d'hydrogène (par exemple à semiconducteurs, transistor à effet de champ ou capteur électrochimique);

f) appareillage de détermination de l'eau d'écoulement:

- cylindre gradué (pour la mesure du volume), piège à eau, capteur de température, appareils de mesure du pH, sondes de demande biochimique en oxygène (DBO), hydromètre.

### 9.3 Points de mesure

Les points de mesure pour les différents paramètres sont décrits ci-après conformément à l'IEC 62282-4-101 et l'IEC 60945.

a) Débit du combustible hydrogène:

placer un débitmètre massique pour le combustible sur la conduite d'alimentation en combustible du système à pile à combustible, afin de mesurer le débit de combustible.

b) Entrée de combustible hydrogène intégré:

placer un compteur totaliseur pour le combustible sur la conduite d'alimentation en combustible du système à pile à combustible, afin de mesurer l'entrée de combustible. Le compteur totaliseur peut comporter un débitmètre qui mesure le débit de combustible.

c) Débit du combustible méthanol:

placer un débitmètre massique ou une balance sous le réservoir de combustible afin de mesurer le poids total du combustible et du réservoir. Le poids de l'entrée de combustible méthanol est mesuré en soustrayant le poids obtenu après l'essai de celui obtenu avant l'essai.

d) Température du combustible:

connecter un thermomètre juste en aval du débitmètre de combustible.

e) Pression du combustible:

placer un appareil de mesure de la pression juste en aval du débitmètre de combustible afin de mesurer la pression relative du combustible.

f) Puissance électrique de sortie:

connecter un appareil de mesure de la puissance électrique à la borne de sortie de la puissance électrique du système hybride à pile à combustible/batterie et à proximité des limites du système.

## g) Puissance électrique d'entrée:

connecter un appareil de mesure de la puissance électrique à la borne d'entrée de la puissance électrique du système hybride à pile à combustible/batterie et à proximité des limites du système. Dans le cas où il n'existe aucune borne réservée à l'entrée de puissance électrique, ce point de mesure peut être remplacé par la borne de sortie de la puissance électrique, sous réserve qu'elle soit équipée d'un appareil de mesure bidirectionnel.

## h) Énergie électrique de sortie:

connecter un appareil de mesure de l'énergie électrique à la borne de sortie de la puissance électrique du système hybride à pile à combustible/batterie et à proximité des limites du système. L'appareil de mesure de l'énergie électrique peut comporter un appareil de mesure de la puissance électrique qui indique la puissance électrique de sortie.

## i) Énergie électrique d'entrée:

connecter un appareil de mesure de l'énergie électrique à la borne d'entrée de la puissance électrique du système hybride à pile à combustible/batterie et à proximité des limites du système. L'appareil de mesure de l'énergie électrique peut comporter un appareil de mesure de la puissance électrique qui indique la puissance électrique d'entrée. Dans le cas où il n'existe aucune borne réservée à l'entrée d'énergie électrique, ce point de mesure peut être remplacé par la borne de sortie de l'énergie électrique, sous réserve qu'elle soit équipée d'un appareil de mesure bidirectionnel.

## j) Composition du combustible:

la composition du combustible utilisé pendant les essais doit être échantillonnée et analysée.

## k) Pression atmosphérique:

placer un appareil de mesure de la pression absolue à côté du système à pile à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la ventilation du système à pile à combustible.

## l) Température de l'air:

placer un thermomètre à côté du système à pile à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la prise ou l'évacuation d'air du système à pile à combustible.

## m) Humidité de l'air:

placer un hygromètre à côté du système à pile à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la prise ou l'évacuation d'air du système à pile à combustible.

## n) Niveau de bruit:

voir 15.2.2.2.

## o) Gaz d'échappement:

placer une ou plusieurs sondes de collecte de gaz d'échappement avec un capteur de température dans le flux d'échappement à l'orifice de sortie des gaz d'échappement; voir la Figure 1.

## p) Eau d'écoulement:

placer un réservoir d'eau d'écoulement avec un capteur de température à l'orifice de sortie de l'eau d'écoulement; voir la Figure 1.

## 9.4 Incertitudes de mesure systématiques minimales exigées

Il convient de choisir les équipements d'essai de sorte que l'incertitude de mesure systématique soit inférieure à  $\pm 1$  % pour les incertitudes du système, sauf  $\pm 5$  % d'humidité relative pour le rendement électrique.

Afin d'atteindre les incertitudes souhaitées pour le rendement, les incertitudes de mesure systématiques suivantes sont recommandées pour les équipements. Elles sont exprimées en pourcentage des valeurs mesurées/calculées ou sous forme de valeurs absolues:

- puissance électrique:  $\pm 1$  %;
- énergie électrique:  $\pm 1$  %;

- débit du combustible gazeux:  $\pm 1 \%$ ;
- débit de gaz intégré:  $\pm 1 \%$ ;
- débit du combustible liquide:  $\pm 1 \%$ ;
- masse:  $\pm 1\%$  de la masse à déterminer (la tare étant exclue);
- humidité relative:  $\pm 5 \%$ ;
- pression absolue:  $\pm 1 \%$ ;
- température du combustible gazeux et de l'eau d'écoulement:  $\pm 1 \text{ K}$ .

## 10 Conditions d'essai

### 10.1 Conditions de laboratoire

Sauf spécification contraire, les performances doivent être soumises à essai dans l'environnement spécifié ci-après:

- température:  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
- humidité:  $(65 \pm 20) \%$  d'humidité relative;
- pression: entre 91 kPa (abs) et 106 kPa (abs).

Les conditions de laboratoire doivent être mesurées pour chaque session d'essai. Dans la mesure où la qualité de l'air peut affecter les performances du système à pile à combustible, la composition de l'air de laboratoire ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , etc.) doit être consignée avec le résultat d'essai.

### 10.2 Conditions d'installation et de fonctionnement du système

Les conditions d'installation et de fonctionnement du système hybride à pile à combustible/batterie doivent être celles spécifiées par le fabricant (telles qu'elles sont décrites dans le manuel d'instructions ou autre document), sauf si elles sont fournies d'une autre manière.

### 10.3 Conditions de la source d'alimentation

Les systèmes peuvent être équipés d'un dispositif (par exemple une méthode d'affichage ou un signal de sortie) permettant d'identifier que la batterie a atteint un état de charge nominal connu (y compris un état de pleine charge), qui est déterminé par le fabricant.

NOTE En l'absence d'une telle indication, les résultats de consommation d'énergie et les calculs de rendement sont moins précis.

### 10.4 Qualité du combustible d'essai

#### 10.4.1 Hydrogène

La qualité du combustible hydrogène utilisé pour les essais doit correspondre à la valeur indiquée dans l'ISO 14687:2019, Tableau 1.

#### 10.4.2 Solution de méthanol

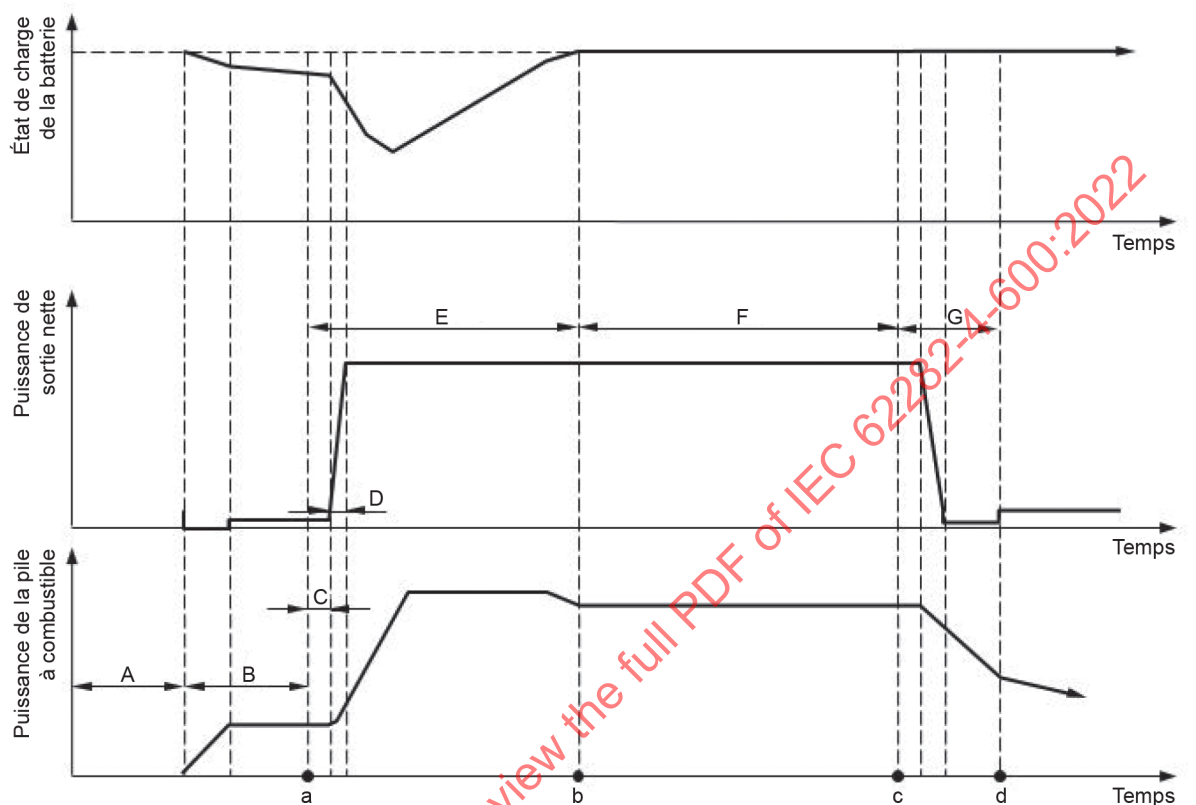
Le méthanol servant à préparer la solution de méthanol utilisée pour les essais doit être conforme à la spécification indiquée dans l'IEC 62282-6-300:2012, 5.5.2.

L'eau mélangée avec le méthanol doit être de l'eau à échange d'ions d'une conductivité électrique inférieure à  $1 \mu\text{S/cm}$ .

La concentration de méthanol dans la solution de méthanol doit être spécifiée par le fabricant.

## 11 Processus de fonctionnement

La Figure 6 représente une série chronologique de changements d'état de fonctionnement entre le démarrage, la génération et l'arrêt, et donne les définitions des légendes correspondant aux différents états de fonctionnement du système hybride à pile à combustible/batterie.



IEC

### Légende

- A état froid
- B état de stockage
- C temps de démarrage
- D temps d'accélération
- E temps de l'initiation du démarrage jusqu'à la réalisation complète de la recharge de la batterie
- F phase à la puissance de sortie assignée
- G temps d'arrêt
- a instant auquel le démarrage (action de sortie) est initié
- b instant de réalisation complète de la recharge de la batterie
- c instant auquel l'action d'arrêt est initiée
- d instant auquel l'action d'arrêt est entièrement réalisée (conditions de réalisation complète de l'arrêt telles que spécifiées par le fabricant)
- a à d cycle de fonctionnement (depuis l'initiation du démarrage jusqu'à la réalisation complète de l'arrêt)

**Figure 6 – Série chronologique de changements d'état de fonctionnement**

## 12 Plan d'essai

Les essais de type définis dans l'Article 13, l'Article 14 et l'Article 15 peuvent être partiellement réalisés simultanément. Pour l'optimisation de la procédure d'essai et la planification des essais de type, un programme d'essai de fonctionnement est présenté à l'Annexe A.

## 13 Essais de type sur les performances électriques

### 13.1 Généralités

Les essais de type de l'Article 13 sont réalisés dans des laboratoires par des fabricants de systèmes hybrides à pile à combustible/batterie. Les essais de type sur les performances électriques incluent:

- l'essai de consommation de combustible (13.2);
- l'essai de puissance électrique de sortie (13.3);
- l'essai de puissance de sortie maximale en démarrage à froid (13.4);
- l'essai de cycle de charge électrique d'alimentation (13.4.2).

L'essai de consommation de combustible (13.2) et l'essai de puissance électrique de sortie (13.3) doivent être réalisés simultanément. Les résultats de ces deux essais doivent être utilisés pour le calcul du rendement (13.3.5), qui comprend le rendement électrique et le rendement énergétique global.

### 13.2 Essai de consommation de combustible

#### 13.2.1 Essai de consommation de combustible hydrogène gazeux et liquide

##### 13.2.1.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer l'entrée de combustible gazeux à la puissance électrique de sortie assignée. Si des phases de fonctionnement aux charges partielles de 50 %, 75 % et/ou à la puissance électrique de sortie minimale sont spécifiées par le fabricant de la pile à combustible à hydrogène ou par le fabricant de la pelle, ces points de fonctionnement doivent également être mesurés.

Cet essai doit être réalisé en même temps que l'essai de puissance électrique de sortie (13.3).

NOTE Cet essai peut être réalisé dans la région entre E et F de la Figure 6.

##### 13.2.1.2 Méthode d'essai

- a) Faire fonctionner le système dans les conditions de laboratoire et à la puissance électrique de sortie assignée pendant au moins 30 min, et jusqu'à ce qu'un état de charge nominal connu soit atteint et reste stable, avant de commencer l'essai.
- b) Commencer l'essai tout en maintenant le système en fonctionnement à la puissance électrique de sortie assignée. Si cette phase de fonctionnement est spécifiée par le fabricant, répéter l'essai aux charges partielles de 50 % et 75 % de la sortie assignée, et/ou à la sortie minimale.
- c) Mesurer la température du combustible, la pression du combustible et le débit d'entrée de combustible intégré (en débit volumique ou débit massique). Chaque mesure doit être effectuée à des intervalles de 60 s pendant une durée supérieurs ou égaux à 3 h. Si le combustible est fourni par intermittence, la durée totale de l'essai ne doit pas être inférieure à 20 fois la durée de l'alimentation en combustible et supérieure ou égale à 3 h.

### 13.2.1.3 Calcul des résultats

#### 13.2.1.3.1 Calcul du débit d'entrée moyen du combustible gazeux

Le débit d'entrée moyen du combustible gazeux peut être exprimé soit sous la forme du débit volumique dans les conditions de référence,  $q_{Vf0}$ , exprimé en  $m^3/s$ , soit sous la forme du débit massique,  $q_{mf}$ , exprimé en  $kg/s$ . Il doit être calculé selon la procédure suivante:

##### a) Débit volumique

- 1) Le débit volumique moyen du combustible dans les conditions d'essai,  $q_{Vf}$ , exprimé en  $m^3/s$ , doit être obtenu en divisant le volume de combustible mesuré pendant la durée de l'essai par la durée de l'essai.

$$q_{Vf} = \frac{V_f}{\Delta t} \quad (1)$$

où:

$q_{Vf}$  est le débit volumique moyen du combustible dans les conditions d'essai ( $m^3/s$ );

$V_f$  est le volume de combustible mesuré pendant la durée de l'essai ( $m^3$ );

$\Delta t$  est la durée de l'essai (s).

- 2) Le débit volumique moyen du combustible dans les conditions de référence,  $q_{Vf0}$ , exprimé en  $m^3/s$ , doit être calculé à l'aide de la formule suivante. Les valeurs moyennes de température et de pression du combustible obtenues pendant la durée de l'essai doivent être utilisées.

$$q_{Vf0} = q_{Vf} \cdot \frac{T_0}{T_f} \cdot \frac{p_f}{p_0} \quad (2)$$

où:

$q_{Vf0}$  est le débit volumique moyen du combustible dans les conditions de référence ( $m^3/s$ );

$q_{Vf}$  est le débit volumique moyen du combustible dans les conditions d'essai ( $m^3/s$ );

$T_0$  est la température de référence (288,15 K);

$p_0$  est la pression de référence [101,325 kPa (abs)];

$T_f$  est la température moyenne du combustible mesurée pendant la durée de l'essai (K);

$p_f$  est la pression moyenne du combustible mesurée pendant la durée de l'essai (kPa (abs)).

NOTE La pression est la pression absolue.

##### b) Débit massique

Le débit massique moyen du combustible dans les conditions d'essai,  $q_{mf}$ , exprimé en  $kg/s$ , doit être obtenu en divisant la masse de combustible mesurée pendant la durée de l'essai par la durée de l'essai.

$$q_{mf} = \frac{m_f}{\Delta t} \quad (3)$$

où:

$q_{mf}$  est le débit massique moyen du combustible dans les conditions d'essai (kg/s);

$m_f$  est la masse de combustible mesurée pendant la durée de l'essai (kg);

$\Delta t$  est la durée de l'essai (s).

### 13.2.1.3.2 Calcul de la puissance d'entrée moyenne du combustible hydrogène

La puissance d'entrée moyenne du combustible gazeux,  $P_{fin}$ , exprimée en kJ/s, doit être calculée soit pour un débit volumique, soit pour un débit massique, selon la procédure suivante.

#### a) Débit volumique

- 1) L'énergie du combustible par unité de volume dans les conditions de référence,  $E_{Vf}$ , exprimée en kJ/m<sup>3</sup>, doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$E_{Vf} = \frac{H_{f0}}{V_m} \quad (4)$$

où:

$E_{Vf}$  est l'énergie d'entrée du combustible par unité de volume (kJ/m<sup>3</sup>);

$H_{f0}$  est la valeur calorifique du combustible sur une base molaire dans les conditions de référence (kJ/mol);

$V_m$  est le volume molaire de référence du gaz idéal ( $2,364\,5 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>/mol) dans les conditions de référence ( $T_0 = 288,15$  K,  $p_0 = 101,325$  kPa) (m<sup>3</sup>/mol).

où

la valeur calorifique du combustible,  $H_{f0}$ , exprimée en kJ/mol dans les conditions de référence, doit être calculée comme suit:

$$H_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j \cdot H_{f0j} \quad (5)$$

où:

$H_{f0j}$  est la valeur calorifique du constituant  $j$  à la température de référence  $T_0$  (kJ/mol);

$x_j$  est la fraction molaire du constituant  $j$ ;

$j$  est un constituant du combustible;

$N$  est le nombre de constituants du combustible gazeux.

NOTE 1 Les valeurs numériques de  $H_{f0j}$  sont données dans l'ISO 6974 (toutes les parties) et l'ISO 6975, ainsi que dans le Tableau A.1.

- 2) La puissance d'entrée moyenne du combustible,  $P_{fin}$ , exprimée en kJ/s, doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$P_{fin} = q_{Vf0} \cdot E_{Vf} \quad (6)$$

où:

$P_{fin}$  est la puissance d'entrée moyenne du combustible (kJ/s);

$q_{vf0}$  est le débit volumique moyen du combustible dans les conditions de référence ( $m^3/s$ );

$E_{vf}$  est l'énergie d'entrée du combustible par unité de volume (kJ/ $m^3$ ).

NOTE 2 L'enthalpie spécifique et l'énergie de pression du combustible gazeux, qui sont prises en compte dans le calcul de l'énergie de consommation du combustible dans l'IEC 62282-3-200, sont ignorées dans le calcul de l'énergie de consommation du combustible décrit ci-dessus, car il s'agit de valeurs négligeables à basse température et à basse pression.

#### b) Débit massique

- 1) L'énergie d'entrée du combustible gazeux par unité de masse,  $E_{mf}$ , exprimée en kJ/kg, doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$E_{mf} = \frac{H_{f0}}{M_f} \quad (7)$$

où:

$E_{mf}$  est l'énergie d'entrée du combustible gazeux par unité de masse (kJ/kg);

$H_{f0}$  est la valeur calorifique du combustible dans les conditions de référence (kJ/mol);

$M_f$  est la masse molaire du combustible (kg/mol), mesurée conformément aux méthodes détaillées dans l'ASTM F2602.

NOTE 3 Le calcul de  $H_{f0}$  est décrit en "a) Débit volumique" de 13.2.1.3.2.

- 2) La puissance d'entrée moyenne du combustible,  $P_{fin}$ , exprimée en kJ/s, doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$P_{fin} = q_{mf} \cdot E_{mf} \quad (8)$$

où:

$P_{fin}$  est la puissance d'entrée moyenne du combustible gazeux (kJ/s);

$E_{mf}$  est l'énergie d'entrée du combustible gazeux par unité de masse (kJ/kg);

$q_{mf}$  est le débit massique moyen du combustible (kg/s).

### 13.2.2 Essai de consommation du combustible méthanol

#### 13.2.2.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer l'entrée de combustible liquide à la puissance électrique de sortie assignée. Si des phases de fonctionnement aux charges partielles de 50 %, 75 % et/ou à la puissance électrique de sortie minimale sont spécifiées par le fabricant, ces points de fonctionnement doivent également être mesurés.

Cet essai doit être réalisé en même temps que l'essai de puissance électrique de sortie (13.3).

NOTE Cet essai peut être réalisé dans la région entre E et F de la Figure 6.

### 13.2.2.2 Méthode d'essai

- a) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie assignée pendant au moins 30 min, et jusqu'à ce qu'un état de charge nominal connu soit atteint et reste stable, avant de commencer l'essai.
- b) Commencer l'essai tout en maintenant le système en fonctionnement à la puissance électrique de sortie assignée. Si cette phase de fonctionnement est spécifiée par le fabricant, répéter l'essai aux charges partielles de 50 % et 75 % de la sortie assignée, et/ou à la sortie minimale.
- c) Mesurer la masse du réservoir de combustible ou celle de l'ensemble du système, comprenant le réservoir de combustible, au début de l'essai.
- d) Poursuivre l'essai pendant au moins 3 h. Si le combustible est fourni par intermittence, la durée totale de l'essai ne doit pas être inférieure à 20 fois la durée de l'alimentation en combustible, mais supérieure ou égale à 3 h.
- e) Mesurer la masse du réservoir de combustible ou celle de l'ensemble du système, comprenant le réservoir de combustible, à la fin de l'essai.

### 13.2.2.3 Calcul de la puissance d'entrée moyenne du combustible méthanol

L'énergie d'entrée totale du combustible liquide pendant la durée d'essai,  $E_{fin}$ , exprimée en kJ, doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$E_{fin} = (A - B) \cdot H_{fl} \quad (9)$$

où:

$E_{fin}$  est l'énergie d'entrée totale du combustible (kJ);

$A$  est la masse au début de l'essai (kg);

$B$  est la masse à la fin de l'essai (kg);

$H_{fl}$  est la valeur calorifique du méthanol (kJ/kg).

La puissance d'entrée moyenne du combustible,  $P_{fin}$ , exprimée en kJ/s, doit être calculée comme suit:

$$P_{fin} = \frac{E_{fin}}{\Delta t} \quad (10)$$

où:

$P_{fin}$  est la puissance d'entrée moyenne du combustible (kJ/s);

$E_{fin}$  est l'énergie d'entrée totale du combustible (kJ);

$\Delta t$  est la durée de l'essai (s).

NOTE La valeur calorifique est mesurée conformément aux méthodes détaillées dans l'ASTM D4809-09.

## 13.3 Essai de puissance électrique de sortie

### 13.3.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer la sortie électrique nette moyenne à la puissance électrique de sortie assignée. Si des phases de fonctionnement aux charges partielles de 50 %, 75 % et/ou à la puissance électrique de sortie minimale sont spécifiées par le fabricant, ces points de fonctionnement doivent également être mesurés.

Cet essai doit être réalisé en même temps que l'essai de consommation de combustible (13.2).

### 13.3.2 Méthode d'essai

- Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie assignée pendant au moins 30 min, et jusqu'à ce qu'un état de charge nominal connu soit atteint et reste stable, avant de commencer l'essai.
- Commencer l'essai tout en maintenant le système en fonctionnement à la puissance électrique de sortie assignée. Si cette phase de fonctionnement est spécifiée par le fabricant, répéter l'essai aux charges partielles de 50 % et 75 % de la sortie assignée, et/ou à la sortie minimale.
- Mesurer l'énergie électrique de sortie et l'énergie électrique d'entrée pendant la durée de l'essai. L'essai doit être réalisé pendant au moins 3 h. Si le combustible est fourni par intermittence, la durée totale de l'essai ne doit pas être inférieure à 20 fois la durée de l'alimentation en combustible, mais supérieure ou égale à 3 h.

### 13.3.3 Calcul de la puissance électrique de sortie moyenne

La puissance électrique de sortie nette moyenne doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$P_n = \frac{W_{\text{out}} - W_{\text{in}}}{\Delta t} \times 3\,600 \quad (11)$$

où:

$P_n$  est la puissance électrique de sortie nette moyenne (kW);

$W_{\text{out}}$  est l'énergie électrique de sortie mesurée pendant la durée de l'essai (kWh);

$W_{\text{in}}$  est l'énergie électrique d'entrée mesurée pendant la durée de l'essai (kWh);

$\Delta t$  est la durée de l'essai (s).

### 13.3.4 Détermination de l'état de charge de la batterie

Le temps auquel la batterie est rechargée à un état de charge nominal connu peut être déterminé par l'une des trois méthodes suivantes.

- Pour un système équipé d'un dispositif (par exemple une méthode d'affichage ou un signal de sortie) permettant d'identifier que la batterie a atteint un état de charge nominal connu, le temps de rechargement est déterminé par ce dispositif (voir 10.3).
- Pour un système qui n'est pas équipé d'un dispositif permettant d'identifier que la batterie a atteint un état de charge nominal connu, le temps de rechargement pour atteindre l'état de charge nominal peut être déterminé en mesurant le temps nécessaire pour que le débit du combustible en entrée se stabilise à  $\pm 2\%$  du débit du combustible assigné après cessation de l'augmentation du débit de combustible pour recharger la batterie. Cette mesure n'est pas obligatoire.
- Le SOC peut être déterminé en utilisant un ampèremètre ou un voltmètre. Lorsqu'aucun courant n'est fourni pour recharger la batterie d'accumulateurs, ou lorsque la tension de la batterie d'accumulateurs atteint la valeur de charge maximale spécifiée, ce temps est considéré comme un état de pleine charge.

### 13.3.5 Calcul du rendement électrique

Le rendement électrique,  $\eta_{el}$ , exprimé en %, doit être calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\eta_{el} = \frac{P_n}{P_{fin}} \times 100 \% \quad (12)$$

où:

$\eta_{el}$  est le rendement électrique (%);

$P_n$  est la puissance électrique de sortie moyenne (kW) (voir 13.3.3);

$P_{fin}$  est la puissance d'entrée moyenne du combustible (kJ/s) (voir 13.2.1.3.2 et 13.2.2.3).

## 13.4 Essai de type sur les performances opérationnelles

### 13.4.1 Essai de puissance de sortie maximale en démarrage à froid

#### 13.4.1.1 Généralités

L'objet de cet essai est de déterminer l'aptitude du système à conserver la charge électrique maximale immédiatement après le démarrage. Un scénario consiste à réaliser l'essai sur la pile à combustible après conditionnement à l'état de prégénération pendant une période donnée. Un autre scénario consiste à réaliser l'essai après fonctionnement à la charge nominale pendant une période donnée, puis réduction de la puissance du système, puis augmentation de la puissance du système avec connexion de la charge maximale continue.

#### 13.4.1.2 Méthode d'essai

- 1) Pour conditionner le système avant l'essai, faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie nominale pendant au moins 30 min avant de commencer l'essai.
- 2) Le système hybride à pile à combustible/batterie doit fonctionner à puissance réduite et être refroidi jusqu'à la température ambiante. Connecter au système à pile à combustible la charge électrique assignée maximale spécifiée par le fabricant. Mettre le système à pile à combustible sous tension selon les recommandations du fabricant.
- 3) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie maximale pendant la durée spécifiée par le fabricant, ou pendant 1 h (la durée retenue étant la plus courte des deux). Réduire complètement la puissance du système hybride à pile à combustible/batterie selon les spécifications du fabricant. Connecter au système à pile à combustible la charge électrique assignée maximale spécifiée par le fabricant. Augmenter la puissance du système hybride à pile à combustible/batterie dans un délai de 2 min, ou selon les instructions du fabricant (si un délai plus important est exigé).

NOTE La puissance électrique assignée/nominale désigne la puissance du système spécifiée par le fabricant.

#### 13.4.1.3 Traitement des données

Lorsque le système hybride à pile à combustible/batterie coupe l'alimentation à la charge pendant l'augmentation de sa puissance avec les charges, la période pendant laquelle la charge n'est pas alimentée doit être consignée. Si un quelconque avertisseur lumineux du système, tel qu'un indicateur de batterie faible, est activé, cela doit également être consigné dans le rapport.

### **13.4.2 Essai de cycle de charge électrique d'alimentation**

#### **13.4.2.1 Généralités**

L'objet de cet essai est de soumettre le système hybride à pile à combustible/batterie à des cycles de contraintes en appliquant une charge électrique reliée au système, de manière à reproduire la façon dont la charge d'une pelle électrique varie.

#### **13.4.2.2 Méthode d'essai**

- 1) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie nominale pendant au moins 30 min avant de commencer l'essai.
- 2) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie nominale pendant 15 min, puis pendant 15 min à la puissance électrique maximale spécifiée par le fabricant. Répéter ce cycle pendant 8 h. Le moment auquel le système hybride à pile à combustible/batterie coupe son alimentation à la charge pendant les cycles et le moment auquel il se reconnecte à la charge doivent être consignés dans le rapport.

#### **13.4.2.3 Traitement des données**

Lorsque le système hybride à pile à combustible/batterie coupe l'alimentation à la charge pendant qu'il est soumis aux cycles de variation, ou si un quelconque avertisseur lumineux du système, tel qu'un indicateur de batterie faible, est activé, cela doit être consigné dans le rapport. Le moment auquel survient l'événement doit être consigné, ainsi que sa durée. Il convient d'ajouter en 13.2.1.2 c) la méthode de mesure de l'entrée de combustible gazeux, par l'intermédiaire de l'essai de cycle de charge électrique d'alimentation.

### **13.4.3 Essai suivant la demande électrique**

#### **13.4.3.1 Généralités**

Cet essai permet de mesurer l'entrée de combustible gazeux en fonctionnement suivant la demande électrique.

#### **13.4.3.2 Profil de demande électrique**

L'essai doit être réalisé en utilisant un profil de demande électrique qui est appliqué au système à pile à combustible. Il peut être nécessaire de réaliser des essais avec plusieurs profils différents.

#### **13.4.3.3 Méthode d'essai**

- a) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie assignée pendant au moins 30 min, et jusqu'à ce qu'un état de charge nominal connu soit atteint, avant de commencer l'essai.
- b) Commencer l'essai en appliquant les valeurs du profil de demande électrique au système à pile à combustible.
- c) Mesurer la température du combustible, la pression du combustible et le débit d'entrée de combustible intégré (en débit volumique ou débit massique). Chaque mesure doit être effectuée à des intervalles de 60 s ou moins pendant un minimum de 3 h. Si le combustible est fourni par intermittence, la durée totale de l'essai ne doit pas être inférieure à 20 fois la durée de l'alimentation en combustible, mais supérieure ou égale à 3 h.

## 14 Stabilité de la puissance pendant le fonctionnement

### 14.1 Généralités

L'objectif de cet essai est de déterminer la stabilité de la puissance de sortie du système à pile à combustible lors de la conduite de la pelle dans une situation réelle. Le flux d'énergie entre le système à pile à combustible et la charge électrique tournante est représenté à la Figure 7.

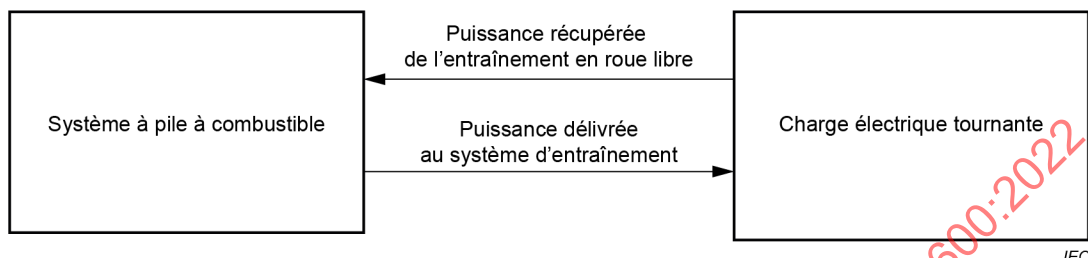


Figure 7 – Flux d'énergie pour la puissance récupérée et la puissance délivrée

### 14.2 Puissance délivrée

La puissance délivrée déclarée par le constructeur de la pelle doit être mesurée et consignée.

Le système à pile à combustible doit fonctionner à la puissance assignée pendant 30 min pour le préchauffage et il faut vérifier si la batterie a atteint l'état de charge cible avant de commencer l'essai.

La pelle doit être manœuvrée avec les temps de décharge donnés dans le Tableau 2 et sans conditions de charge supplémentaire (courant zéro). Des temps de décharge supplémentaires peuvent être ajoutés par le fabricant. Il ne s'agit pas d'une définition des exigences d'application de la pelle; elles définissent les exigences du système de commande de la pelle.

Les valeurs demandées dans le Tableau 2 doivent être consignées pendant le fonctionnement de la pelle.

Tableau 2 – Mesures de la puissance délivrée

| Temps de décharge                                                                    | Courant<br>A | Courant moyen<br>A | Tension maximale<br>V | Tension minimale<br>V |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 5 s                                                                                  | $I_1$        |                    |                       |                       |
| 30 s                                                                                 | $I_2$        |                    |                       |                       |
| 1 h                                                                                  | $I_3$        |                    |                       |                       |
| 0 s                                                                                  | 0            |                    |                       |                       |
| NOTE Les courants $I_1$ , $I_2$ et $I_3$ sont donnés par le constructeur de la pelle |              |                    |                       |                       |

### 14.3 Puissance récupérée

Le constructeur du chariot doit spécifier les exigences de courant et de tension récupérés du chariot de manutention pour différents temps de décharge, si nécessaire, afin de maintenir des performances acceptables des chariots.

Le préchauffage du système à pile à combustible doit être effectué avant l'essai. L'essai doit commencer à l'état de charge cible sur le dispositif de stockage de l'électricité.