

Course guide

240268 - 240AU124 - Fuel Cells

Last modified: 17/06/2024

Unit in charge: Barcelona School of Industrial Engineering
Teaching unit: 707 - ESAII - Department of Automatic Control.

Degree: MASTER'S DEGREE IN INDUSTRIAL ENGINEERING (Syllabus 2014). (Optional subject).
MASTER'S DEGREE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING (Syllabus 2019). (Optional subject).

Academic year: 2024 **ECTS Credits:** 4.5 **Languages:** English

LECTURER

Coordinating lecturer: Maria Serra Prat

Others: Cecilia Piñol, Andreu
Serra Prat, Maria

REQUIREMENTS

Engineering Bachelor, especially Industrial Engineering, Mechanic Engineering, Electric Engineering, Chemical Engineering or Engineering of Energy

DEGREE COMPETENCES TO WHICH THE SUBJECT CONTRIBUTES

Specific:

CEAU 1. (ENG) Realitzar models d'enginyeria, aplicar mètodes innovadors en la resolució de problemes i aplicacions informàtiques adequades, per al disseny, simulació, optimització i control de processos i sistemes.

CEAU 3. (ENG) Explicar l'arquitectura d'un vehicle d'automoció, el seu comportament, les seves parts i els sistemes que l'integren.

CEAU12. (ENG) Dissenyar sistemes i components per a vehicles híbrids i elèctrics, així com infraestructures necessàries per a la recàrrega dels vehicles elèctrics (competència específica de l'especialitat Electromobilitat).

CEAU14. (ENG) Seleccionar i utilitzar les eines adequades per dissenyar elements d'automoció en resposta a les especificacions tècniques donades.

Generical:

CGAU 2. Conceive, design, calculate and design processes, equipment, facilities and plants related to the design and manufacture of vehicles and their systems

CGAU10. Adapt to changes, being able to apply new and advanced technologies and other relevant processes, initiative and entrepreneurship

Transversal:

CTAU2. (ENG) SOSTENIBILITAT I COMPROMÍS SOCIAL: Conèixer i comprendre la complexitat dels fenòmens econòmics i socials típics de la societat del benestar; tenir capacitat per relacionar el benestar amb la globalització i la sostenibilitat; aconseguir habilitats per usar de forma equilibrada i compatible la tècnica, la tecnologia, l'economia i la sostenibilitat.

CTAU4. (ENG) ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informacions en l'àmbit d'especialitat i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

CTAU5. (ENG) ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informacions en l'àmbit d'especialitat i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

Basic:

CB 6. (ENG) Tenir i comprendre coneixements que aportin una base o oportunitat de ser originals en el desenvolupament i/o aplicació d'idees, sovint en un context d'investigació

CB 8. (ENG) Que els estudiants siguin capaços de d'integrar coneixements i enfrontar-se a la complexitat de formular judicis a partir d'una informació que, essent incompleta o limitada, inclogui reflexions sobre les responsabilitats socials i ètiques vinculades a l'aplicació del seus coneixements i judicis.

TEACHING METHODOLOGY

There are two kind of lessons:

- Theory lessons
- Practical lessons

Theory lessons will combine theory and problems of the hydrogen fuel cells fundamentals as well as the description of the technology state of the art and a view of the market options. The practical lessons are divided into laboratory sessions and informatics classroom sessions. The laboratory sessions consist in the realization of simple experimental tasks at the fuel cell laboratory. The informatics classroom sessions consist in modeling and simulation activities.

LEARNING OBJECTIVES OF THE SUBJECT

Competences provided by the subject:

- Global vision of the hydrogen in transportation
- Fundamentals of hydrogen Fuel Cells
- Fuel cell systems operation and control
- Fuel cell vehicles design and integration
- Fuel cell systems modeling

STUDY LOAD

Type	Hours	Percentage
Hours large group	27,0	24.00
Hours small group	13,5	12.00
Self study	72,0	64.00

Total learning time: 112.5 h

CONTENTS

Fuel Cells

Description:

1. Hydrogen economy
 - 1.1 Hydrogen use motivation
 - 1.2 Hydrogen as an energy vector
 - 1.3 Hydrogen economy schemes
2. Fuel cells introduction, types and applications
 - 2.1 Fuel cell principles
 - 2.2 Fuel cell types
 - 2.3 Fuel cell applications: portable, stationary, transportation
3. PEM fuel cells: structure and components
 - 3.1 PEM fuel cells introduction
 - 3.2 PEM fuel cells components
 - 3.3 PEM fuel cells stacks
4. PEM fuel cell thermodynamics
 - 4.1 Hydrogen fuel cell thermodynamics
 - 4.2 PEM fuel cell polarization curve
 - 4.3 PEM fuel cell reaction kinetics
5. PEM fuel cell Balance of Plant
 - 5.1 Cathode subsystem
 - 5.2 Anode subsystem

5.3 Thermal management subsystem

5.4 Power conditioning

6. PEM fuel cell system operation and control

6.1 Control strategies

6.2 Automatic control instrumentation

6.3 Fuel cell modelling and characterization

7. Fuel cell road vehicles

7.1 Fuel cell vehicles description. Market examples

7.2 Hybrid power supply

7.3 Hydrogen storage

8. Infrastructure for hydrogen fuel cell vehicles

8.1 Hydrogen pipelines and hydrogen transport

8.2 Charging stations

8.3 Current infrastructures around the world

Specific objectives:

- Hydrogen and fuel cells within the context of the climate actions towards decarbonization. The future of transportation.
- Basic knowledge of fuel cells, deepening in PEM technology.
- Design and analysis of hydrogen fuel cell systems. Fuel cell systems modelling and characterization.
- Balance of plant for the operation and control of hydrogen fuel cell systems.
- Fuel cell systems in transportation applications. Hybridization of fuel cell electric vehicles.

Related activities:

PRACTICAL SESSIONS

There are two types of practical sessions: laboratory sessions, and informatics classroom sessions. In the laboratory sessions (L1 and L2), students will analyse disassembled units and operate fuel cell systems. In the informatic classroom sessions (IC1, IC2 and IC3), students will develop and run fuel cell simulation models. The laboratory sessions will take place at the Fuel Cell Laboratory of the Institut de Robòtica i Informàtica Industrial.

The content of the practical sessions is the following:

IC1. PEM fuel cell stack modelling and simulation in MATLAB-Simulink.

L1. Laboratory introduction. Disassembled fuel cell analysis. Fuel cell system Balance of Plant components.

IC2. PEM fuel cell system modelling and simulation in MATLAB-Simulink.

L2. Software and hardware for fuel cell systems operation and control: sensors, actuators, data acquisition system, control law programming. Polarization curve. Electrochemical Impedance Spectroscopy characterisation.

IC3. PEM fuel cell vehicle modelling and simulation in MATLAB-Simulink.

Related competencies :

CB 6. (ENG) Tenir i comprendre coneixements que aportin una base o oportunitat de ser originals en el desenvolupament i/o aplicació d'idees, sovint en un context d'investigació

CB 8. (ENG) Que els estudiants siguin capaços de d'integrar coneixements i enfrontar-se a la complexitat de formular judicis a partir d'una informació que, essent incompleta o limitada, inclogui reflexions sobre les responsabilitats socials i ètiques vinculades a l'aplicació del seus coneixements i judicis.

CEAU14. (ENG) Seleccionar i utilitzar les eines adequades per dissenyar elements d'automoció en resposta a les especificacions tècniques donades.

CEAU 1. (ENG) Realitzar models d'enginyeria, aplicar mètodes innovadors en la resolució de problemes i aplicacions informàtiques adequades, per al disseny, simulació, optimització i control de processos i sistemes.

CEAU12. (ENG) Dissenyar sistemes i components per a vehicles híbrids i elèctrics, així com infraestructures necessàries per a la recàrrega dels vehicles elèctrics (competència específica de l'especialitat Electromobilitat).

CEAU 3. (ENG) Explicar l'arquitectura d'un vehicle d'automoció, el seu comportament, les seves parts i els sistemes que l'integren.

CGAU10. Adapt to changes, being able to apply new and advanced technologies and other relevant processes, initiative and entrepreneurship

CGAU 2. Conceive, design, calculate and design processes, equipment, facilities and plants related to the design and manufacture of vehicles and their systems

CTAU5. (ENG) ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de dades i informacions en l'àmbit d'especialitat i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

CTAU4. (ENG) ÚS SOLVENT DELS RECURSOS D'INFORMACIÓ: Gestionar l'adquisició, l'estructuració, l'anàlisi i la visualització de



dades i informacions en l'àmbit d'especialitat i valorar de forma crítica els resultats d'aquesta gestió.

CTAU2. (ENG) SOSTENIBILITAT I COMPROMÍS SOCIAL: Conèixer i comprendre la complexitat dels fenòmens econòmics i socials típics de la societat del benestar; tenir capacitat per relacionar el benestar amb la globalització i la sostenibilitat; aconseguir habilitats per usar de forma equilibrada i compatible la tècnica, la tecnologia, l'economia i la sostenibilitat.

Full-or-part-time: 112h 30m

Theory classes: 30h 30m

Laboratory classes: 10h

Self study : 72h

GRADING SYSTEM

Ordinary assessment

There are four marks during the course.

- Partial Exam. It is an exam consisting of conceptual questions and/or short problems. The exam subject includes all the matter seen up to the exam date. For the exam resolution, students can have a personal double-sided DIN A4 with formulas and one calculator. The mark of this exam is Npe.

- Practical Works Deliveries. They are individual reports of the results obtained during the practical sessions. The mark of these deliveries is Npww, and it is the mean of the marks of the five practical sessions. No attendance to any of the practical sessions will be penalized with a zero mark for this session.

- State of the Art Analysis. It is an analysis of the state of the art or a market study of one element of the hydrogen fuel cell technology. The collected information has to be summarized in a document with a maximum extension of 3 pages. The mark of this work is Nsaa.

- Final Exam. It is an exam of all the course matter, consisting of conceptual questions and problems. For the exam resolution, students can have a personal double-sided DIN A4 with formulas and one calculator. The mark of this exam is Nfe.

The final mark, Nf, is calculated as follows:

$$Nf = \max(0,5 \cdot Nfe + 0,2 \cdot Npe + 0,15 \cdot Npww + 0,15 \cdot Nsaa, 0,7 \cdot Nfe + 0,15 \cdot Npww + 0,15 \cdot Nsaa)$$

Extraordinary assessment

The students that have failed the subject ($Nf < 5$) can do an extraordinary exam.

- Extraordinary exam. It is an exam of all the course matter, consisting of conceptual questions and problems. For the exam resolution, students can have a personal double-sided DIN A4 with formulas and one calculator. The mark of this exam is Nee.

For the students presented to the extraordinary exam, the final mark, Nf, is calculated as follows:

$$Nf = 0,7 \cdot Nee + 0,15 \cdot Npww + 0,15 \cdot Nsaa$$

BIBLIOGRAPHY

Basic:

- Gou, Bei [et al.]. Fuel Cells: Dynamic Modeling and Control with Power Electronics Applications [on line]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2017 [Consultation: 02/11/2022]. Available on: <https://www.taylorfrancis-com.recursos.biblioteca.upc.edu/books/mono/10.1201/9781315369860/fuel-cells-woonki-na-bill-diong-bei-gou>. ISBN 9781315369860.

- O'Hayre, Ryan P. Fuel cell fundamentals. Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, [2016]. ISBN 9781119113805.

- Dicks, Andrew ; David AJ Rand. Fuel cell systems explained [on line]. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018 [Consultation: 11/11/2022]. Available on: <https://onlinelibrary-wiley-com.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1002/9781118706992>. ISBN 9781118706992.

Complementary:

- Spiegel, Colleen. PEM fuel cell modeling and simulation using Matlab. Amsterdam [etc.]: Academic Press/Elsevier, cop. 2008. ISBN 9780123742599.

- Barbir, Frano. PEM fuel cells : theory and practice [on line]. San Diego, California: Elsevier Academic Press, cop. 2005 [Consultation: 30/03/2023]. Available on: <https://www-sciencedirect-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/9780120781423/pem-fuel-cells>. ISBN 0120781425.