



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

EFICIENȚA UNEI PILE CU COMBUSTIBIL CU MEMBRANĂ SCHIMBĂTOARE DE PROTONI

Oana ONEȚ, Elena BREAZ, Dumitru POP,
Daniela BORDENCEA, Radu TÎRNOVAN

EFFICIENCY OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL

Fuel cells power generating systems represent a solution to replace traditional power sources because of their high efficiency and multiple applications. Fuel cell technology is based on the concept of direct electrochemical energy conversion. Proton exchange membrane (PEM) fuel cells show great promise for use as distributed generation sources.

Keywords: fuel cell, efficiency, renewable

Cuvinte cheie: pilă cu combustibil, randament, surse regenerabile

1. Introducere

Cererea pentru energie electrică aflată într-o permanentă creștere, materia primă folosită pentru producerea de energie fiind pe cale de epuizare, impactul asupra calității mediului, favorizează intensificarea cercetărilor în domeniul surselor alternative de energie electrică.

Funcționarea unui generator cu pilă cu combustibil se bazează pe conversia directă a energiei chimice în energie electrică, mai avantajoasă decât tehnologiile clasice (energia chimică a combustibililor primari → energie calorică → energie mecanică → energie electrică) datorită eliminării echipamentelor costisitoare utilizate

în conversia indirectă a energiei chimice a combustibililor în energie electrică. Astfel, randamentul nu este limitat la valoarea teoretică corespunzătoare ciclului Carnot, deoarece temperatura procesului este constantă ci este limitat numai de fenomenele specifice de natură electrochimică.

Pilele cu combustibil funcționează atâta timp cât sunt alimentate cu combustibil și oxidant. Electrozii pililor cu combustibil conțin numai catalizatorii necesari reacțiilor chimice, reactanții provenind din exterior. În măsura în care combustibilul (hidrogenul) este obținut din surse regenerabile (electroliză) pila cu combustibil, poate fi considerată sursă regenerabilă de energie electrică. Ele nu numai că sunt caracterizate printr-o eficiență mai mare decât centralele convenționale de energie electrică, dar sunt de asemenea, nepoluante (hidrogenul), dar se mai pot folosi și gaze naturale, oxid de carbon sau metanol.

2. Clasificarea pililor cu combustibil

Pilele cu combustibil pot fi clasificate după mai multe criterii:

- După modul de utilizare a combustibilului:
 - pile de combustie directe – alimentate cu combustibil de la un stocator (exemplul hidrurilor metalice);
 - pile de combustie indirecte – prevăzute suplimentar cu sistem de reformare catalitică, acestea fiind alimentate cu metanol, etanol, gaz metan, benzină, hidrazină, amoniac etc., din care rezultă prin reformare H_2 .
- După temperatura de funcționare:
 - de temperaturi joase ($< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 - de temperaturi medii ($200 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 - de temperaturi înalte ($> 650\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Din punct de vedere al naturii electrolitului:
 - Pilele cu combustibil alcaline AFC (Alkaline Fuel Cell).
 - Pilele cu combustibil cu acid fosforic PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells);
 - Pilele cu combustibil cu oxizi solizi SOFC (Solid Oxide Fuel Cells);
 - Pilele cu combustibil cu carbonat topit MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells);

- Pilele cu combustibil cu membrană schimbătoare de protoni PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells);
- Pilele cu combustibil cu alimentare directă cu metanol DMFC (Direct Methanol Fuel Cells).

3. Pila cu combustibil cu membrană schimbătoare de protoni (PEMFC)

PEMFC utilizează un electrolit solid, constituit dintr-o membrană polimerică cu conducție protonică asigurată de o funcție sulfonică.

O pilă de combustie constă dintr-un anod alimentat cu combustibil (H_2) și un catod alimentat cu oxigen din aer, separați între ei printr-un conductor ionic, electrolitul și o membrană care permite transferul de ioni între cei doi electrozi și care împiedică reacții să se amestece și electronii să traverseze inima pilei. Electronii rezultați prin disocierea hidrogenului la anod se deplasează spre catod printr-un circuit extern pentru a participa la reducerea oxigenului cu formare de apă.

Anodul, sau electrodul de combustibil, este locul unde are loc oxidarea combustibilului (H_2 , CH_3OH , N_2H_4 , hidrocarburi etc.) cu care se alimentează pila.

Catodul, sau electrodul de oxigen (aer), este locul unde are loc reducerea oxigenului molecular.

Cel mai comercializat și utilizat polimer este cunoscut sub denumirea comercială NAFION. Aceste membrane au caracter hidrofili și necesită să fie în permanență hidratate pentru a asigura conducția protonică.

4. Randamentul pilei cu combustibil PEM

O analiză referitoare la modificările care au loc în generatorul cu pilă cu combustibil necesită o analiză din punct de vedere energetic. Pentru că sistemul trebuie să asigure energia necesară sarcinii în condițiile impuse, un bilanț energetic poate oferi o imagine de ansamblu a acestor fenomene.

Scopul modelării și simulării sistemului cu FC este de proiectare a unui modul de control care să asigure funcționarea optimă a sistemului (randamentul maxim al sistemului).

Este cunoscut faptul că energia chimică a hidrogenului (P_H) este transformată în energie electrică (P_{gen}) și căldură (Q_{gen}):

$$P_H = P_{\text{gen}} + Q_{\text{gen}} \cdot \quad (1)$$

Generarea de căldură în pila cu combustibil este asociată cu căderi de tensiune. Cele mai importante pierderi într-o pilă sunt de natură rezistivă (P_{PE}), și depind de natura și numărul de membrane. Acestea conțin alți termeni care sunt corespunzători potențialului de activare și de concentrare. Energia electrică disponibilă la terminalele pilei, luând în considerare pierderile interne, este:

$$P_{\text{gross}} = V(l, T_{fc}, p_{O_2}^*, p_{H_2}^* \dots) \cdot I \cdot \quad (2)$$

Dacă toată apa generată este evacuată ca vapori, poate fi folosită următoarea ecuație:

$$P_{\text{gen}} = \dot{m}_{H_2}^{\text{react}} \cdot H_{2_LH} = P_{L_H_2} = P_{H_H_2} \frac{H_{2_LH}}{H_{2_HH}} \approx 0.83 P_{H_H_2}, \quad (3)$$

cu:

- $\dot{m}_{H_2}^{\text{react}}$ - fluxul masic al hidrogen reactant;
- $H_{2_LH} = 119,860 \cdot 10^6$, puterea calorifică joasă a hidrogenului ($J \cdot kg^{-1}$);
- $H_{2_HH} = 141,890 \cdot 10^6$, puterea calorifică ridicată a hidrogenului ($J \cdot kg^{-1}$).

Energia electrică disponibilă la terminalele FC trebuie să acopere consumul sarcinii și a auxiliarelor:

- funcționarea compresorului, P_{cmp} ;
- consumul pompei de răcire, P_{PU} ;
- consumul ventilatorului radiatorului, P_{RF} ;
- consumul de funcționare al altor dispozitive electrice - electroventile, circuite de semnalizare, securitate etc, P_{as} .

Prin urmare, rezultă că energia electrică netă P_{net} , disponibilă pentru a asigura furnizarea de sarcină, este:

$$P_{\text{net}} = P_{\text{gross}} - P_{\text{aux}} = P_{\text{gross}} - (P_{\text{cmp}} + P_{\text{PU}} + P_{\text{RF}} + P_{\text{as}}) \quad (4)$$

Eficiența electrică a sistemului de pile de combustie, referitoare la o valoare mai mare a puterii calorifice a hidrogenului, a fost stabilită ținând cont de pierderile de energie datorate componentelor auxiliare și consumul de energie raportat la hidrogen în funcție de următoarele ecuații:

$$\begin{aligned}\eta_{el} &= \frac{P_{net}}{P_{H_2}} = \frac{P_{net}}{P_{L_{H_2}} / 0.83} = 0.83 \frac{V(l) \cdot I \cdot P_{net}}{E_{rev} \cdot I P_{L_{H_2}}} = \\ &= 0.83 \frac{V(l)}{E_{rev}} \frac{V(l) \cdot I - P_{aux}}{V(l) \cdot I} = 0.83 \eta_{volt} \cdot \eta_{system}\end{aligned}\quad (5)$$

Aproximativ jumătate din puterea electrochimică o reprezintă căldura care constă în :

- căldura utilizată pentru a încălzi sistemul dU/dt , ($Q_{dU/dt}$ aproximativ 8-9 %);
- căldura utilizată pentru a se evapora subprodusul Q_{vap} și să se încălzească gazele nereactive Q_{ng} (aproximativ 7 %);

Pierderile prin radiație și convecție, care sunt de o amplitudine similară Q_{RV} (aproximativ 17 %):

- căldura evacuată de către sistemul de răcire Q_{net} (aproximativ 50 % și un altul de 17 % sub formă de căldură latentă a lichidului de răcire evaporat), care pot fi utilizate în aplicații de cogenerare:

$$Q_{net} = Q_{gen} - Q_{dU/dt} - Q_{vap} - Q_{ng} - Q_{RV} \quad (6)$$

Eficiența electrică a sistemului de pile cu combustibil referitoare la valoarea mai mare a puterii calorifice a hidrogenului, a fost stabilită cu:

$$\eta_{heat} = \frac{Q_{net}}{P_{H_2}} \quad (7)$$

precum și eficiența globală a PEMFC este:

$$\eta_g = \frac{P_{net} + Q_{net}}{P_{H_2}} = \eta_{el} + \eta_{heat} \quad (8)$$

Randamentul unei astfel de celule este de 40-50 %. Pentru ca pila de combustie să aibă un randament cât mai bun este necesară menținerea unei temperaturi aproximativ constantă în pilă.

În cazul pilelor de tip PEM, temperatura se urmărește ca temperatura sa nu depășească 90 °C, pentru a se evita uscarea

membranei. De asemenea trebuie avut în vedere managementul apei produse în pilă, pentru a se evita înecarea membranei.

Uscarea membranei sau înecarea ei conduc la scăderea conductivității acesteia, rezultând un randament mai scăzut al pilei.

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Creșterea calității studiilor doctorale în științe ingineresti pentru sprijinirea dezvoltării societății bazate pe cunoaștere - QDOC", contract: POSDRU/107/1.5/S/78534, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] * * * U.S. Department of Energy, *Fuel Cell Handbook*, USA, 2000.
- [2] Famouri, P., Gemmen, R.S., *Electrochemical circuit model of a PEM fuel cell*, in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, Toronto, ON, Canada, Jul. 2003.
- [3] Larminie, J., Dicks, A., *Fuel Cell Systems Explained*. New York, Wiley, 2001, pag. 67-120.
- [4] Gilbert, M., Masters, *Renewable and Efficient Electric power Systems*, Wiley interscience, New Jersey, 2004.
- [5] * * * <http://universulenergiei.europartes.eu>

Drd.Ing. Oana ONET
Drd.Ing. Elena BREAZ
Drd.Ing. Dumitru POP
Drd.Ing. Daniela BORDENCEA, membru AGIR
Prof. Dr. Ing. Radu Tîrnovan
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultățile de Electroenergetică și Automatică
Email: oana.onet@eps.utcluj.ro