

MODELING AND SIMULATION APPROACHES FOR HYBRID FUEL CELL POWER SYSTEMS²⁷

Prof. Velizara Pencheva, PhD

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 588
E-mail: vpenceva@uni-ruse.bg

Assoc. prof. Tsvetelina Georgieva, PhD

Department of Automatics and Mechatronics,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 668
E-mail: cgeorgieva@uni-ruse.bg

Assoc. prof. Asen Asenov, PhD

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 605
E-mail: asasenov@uni-ruse.bg

Eng. Sechkin Remzi–PhD Student

Department of Automatics and Mechatronics,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 676
E-mail: sremzi@uni-ruse.bg

Prof. Plamen Daskalov, PhD

Department of Automatics and Mechatronics,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 668
E-mail: daskalov@uni-ruse.bg

Abstract: *In the paper are presented modeling and simulation approaches for hybrid fuel cells. One of the biggest challenges is increasing of energy consumption. Against the backdrop of the depleted natural fuels, the planet's growing population is increasingly consuming energy. On the other hand, the use of traditional carbon-containing fuels to meet energy needs leads to an increasing environmental pollution. The use of new, greener sources and converters of energy is becoming one of the most current and urgent tasks of our time. Fuel cells are a new promising technology for producing electricity from hydrogen or other high-efficiency, low-emission fuels. They are still more expensive than existing technologies and there are technical challenges that need to be overcome their commercialization. Therefore, accurate and effective methodologies for fuel cellular systems design are important. The type of hybrid fuel cellular systems, different approaches for modeling and simulation of the systems are described in the paper.*

Keywords: *Hybrid Fuel Cell, Modeling, Simulation, Software Tools.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Горивните клетки са преходна технология за производство на електроенергия от водород или други горива с висока ефективност и ниски емисии (Dayton, D.C., Ratcli, M., & Bain, R., 2001). Подходящи са за стационарни, транспортни и преносими приложения (Ruettinger, W.,

²⁷Докладът е представен на с оригинално заглавие на български език: ПОДХОДИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА ХИБРИДНИ СИСТЕМИ С ГОРИВНИ КЛЕТКИ

Ilinich, O., & Farrauto, R.J., 2003). Въпреки това те все още са по-скъпи от съществуващите технологии и има технически предизвикателства, които трябва да бъдат преодоляни за тяхната комерсиализация. Следователно, точните и ефикасни методологии за проектиране на системите за горивни клетки стават все по-необходими и значими. Моделирането и оптимизирането (Wu, Y. & Gao, H. W., 2006) представляват голям потенциал при проектирането на системите с горивни клетки, което често води до спестяване на време и разходи за проектиране, както и по-добър дизайн и експлоатация.

Системите с горивни клетки се разработват за голямо разнообразие от приложения при производството на енергия. Те се използват основно за транспортни приложения при автомобили, автобуси, комунални превозни средства, скутери и велосипеди. Използват се също така и за производство на енергия за сгради, като в този случай се използват както за енергия, така и за топлина, генерирана от горивните клетки. Те се използват и за преносими приложения, или като резервни генератори на енергия, или като заместители на батерии в различни електронни устройства и приспособления.

Горивните клетки обаче все още са по-скъпи от съществуващите технологии. Освен това има много предизвикателства, технически и нетехнически, които трябва да бъдат преодоляни. Основните технически проблеми включват следното (Ang, S. M. C., Brett, D. J. L., & Fraga, E. S., 2010):

- намаляване на разходите във всички аспекти на производството на горивни клетки, материали, системи и приложения, както и други компоненти;
- демонстрация на трайността, надеждността и наличността на горивните клетки;
- избор и цена на горивото;
- подобряване на производителността.

Нетехнически проблеми са:

- оценка на външни разходи (например емисии, въздействие върху околната среда, безопасност и здраве и др.);
- социално-икономически последици от въвеждането на нови технологии за горивни клетки;
- идентифициране на проблемите пред развитието на търговските горивни клетки;
- наличие на инвестиционен и рисков капитал за осигуряване на нова горивна инфраструктура и производствени мощности.

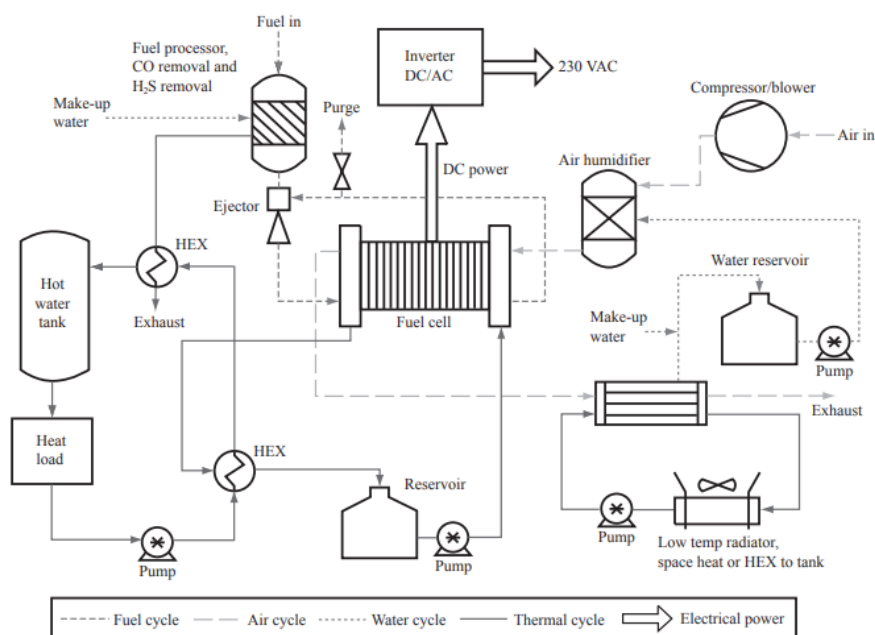
Това са само част от причините, поради които изследванията и развитието на системите с горивни клетки са необходими през последните години.

В доклада са представени подходи за моделиране и симулация на хибридни горивни клетки.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Същност на системите с хибридни горивни клетки

Модулът с горивни клетки представлява основният компонент на цялата система (Biyikoglu, A., 2005). Необходимо е да се използват и спомагателни модули, които да управляват модула и да функционират като цялостна система. На фиг. 1 е представен пример за система от горивни клетки. Прецизната конфигурация (Kim, M. J. & Peng, H., 2007) ще зависи до голяма степен от вида на използваната технология за горивни клетки, но като цяло една типична система за горивни клетки изисква няколко подсистеми: подсистема горивни клетки, подсистема за снабдяване с гориво, подсистема за снабдяване с окислител, модули за управление на водата, модули за управление на топлината, модули за съхранение на енергия, а в някои случаи и хибридни спомагателни компоненти.



Фиг. 1. Пример за система с горивни клетки

Модулът с горивни клетки е сърцето на подсистемата от горивни клетки. Типичният модул с горивни клетки може да съдържа стотици горивни клетки. Горивната клетка е електрохимичен двигател, който преобразува химическата потенциална енергия на горивото в електрическа енергия. Класификацията на горивните клетки се извършва предимно от вида на използвания електролит. Електролитът определя видовете реакции, които се провеждат в клетката, необходимите видове катализатор, температурния диапазон, в който клетката работи, и необходимото гориво. Сред най-обещаващите видове са директният метанол, разтопен карбонат, фосфорна киселина, полимерен електролит и твърда оксидна горивна клетка. Една горивна клетка е присъщо устройство с ниско напрежение, имащо изходно напрежение обикновено по-малко от 1 V. За да се увеличи количеството произведена електроенергия, отделните клетки се комбинират последователно в модул, който се нарича модул.

Моделиране на системи с горивни клетки

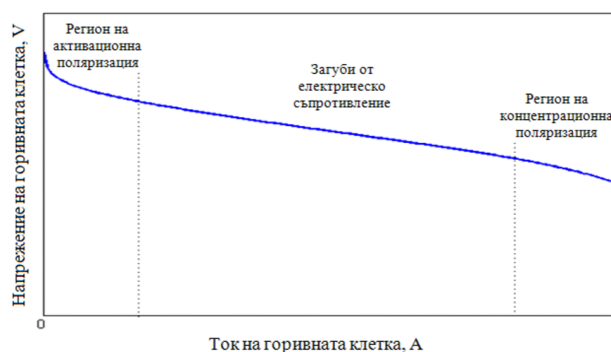
Моделирането на система с горивни клетки (Schell, A., at all, 2005) се базира и включва математични модели на основните й елементи – горивна клетка, акумулаторна батерия, двупосочен DC/DC преобразувател, електрически двигател със съответното за него управление, трансмисия и основните масови и геометрични параметри на автомобила (Ang, S.M.C., Brett, D.J.L., & Fraga, E.S., 2011).

Например при моделиране на автомобил с хибридно електрическо задвижване е необходимо да е ясна схемата на свързване на източниците на енергия - горивна клетка и акумулаторна батерия.

Следващата основна стъпка е определяне режимите на работа на системата на задвижване. Определя се и зоната на работа на горивната клетка, като критерий за определяне зоната на натоварване, в която да работи горивната клетка е работата с максимално висок коефициент на полезно действие.

За извършване на изчисленията за съпротивителните сили и моменти при движение на автомобила са необходими изходни данни, като това са необходимите параметри от техническата характеристика на автомобила.

Моделът на горивната клетка я описва като клетка, използваща за гориво чист водород и окислител - кислород от околния въздух. Приема се, че работната температура и налягане на водорода и въздуха са оптимални за работата на системата. Волт-амперната характеристика на водороден горивен елемент (фиг. 2), описана чрез уравнение се състои от три зони. В първата зона най-голямо влияние оказват загубите от активационна поляризация. Ширината на зоната зависи от работната температура и налягане, вид на използваните електроди и катализатори. Втората зона се характеризира със загубите от вътрешно електрическо съпротивление в горивните елементи. В третата зона основно влияние оказват загубите от концентрационна поляризация.



Фиг. 2. Волт-амперна характеристика на водороден горивен елемент

В математичния модел на системата, батерията се моделира чрез нейната волт –амперна характеристика и степента ѝ на зареденост. Определя се необходимата мощност и се избира двигател. Изчислява се и разхода на водород, като това се извършва на база на специфичната енергия и енергийна плътност.

След като са известни необходимите параметри за изчисленията се преминава към въвеждане на системата в софтуерната среда, за да се проведе симулационния анализ.

Моделът на тези системи (Haraldsson, K. & Wipke, K., 2004) се използва основно за проучване на зависимостта между консумацията на гориво и произведената електрическа енергия, за сравняване на различни оперативни стратегии за микро-когенерация и проучване на взаимодействието между оперативните режими и електрическата мрежа. При подходяща формулировка (Frangopoulos, C. A. & Nakos, L. G., 2006) моделите биха били полезни инструменти при проектирането на системи за горивни клетки, поради това, че чрез тях ще се получи информация за поведението на системата, на база, на която да се вземат информирани решения, да се приложат различни алтернативи за проектиране и да се разработи най – ефективно решение за конкретния случай.

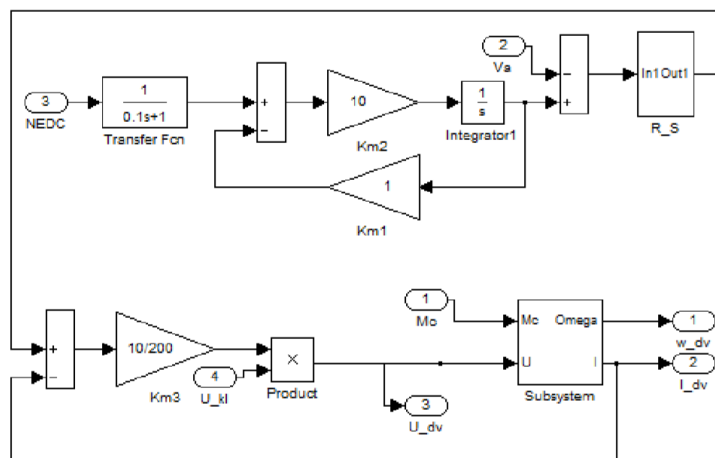
Софтуерни приложения за симулация на модели на системи с горивни клетки

В преобладаваща част от изследванията на подобни системи за симулацията им се използва софтуерната платформа MATLAB/Simulink. Продуктът MATLAB и неговата графична среда за симулиране SIMULINK са се наложили както в практиката, така и в обучението при почти всички инженерни области. Една от възможните области на приложение на този продукт е за решаване на основните типове задачи по моделиране, симулиране и анализ на динамични системи. Със SIMULINK се симулират системи, които се описват най-общо с набор диференциални (непрекъснати системи) или диферентни уравнения (дискретни системи).

В MATLAB средата (Spiegel, C., 2008) модела на системата се въвежда чрез подходящи блокове, като например реализация на математичния модел на задвижващ електродвигател е представена на фиг. 3.

Друг използван софтуер е и HOMER Pro (Okedu, K.E. & Roland, U., 2014). Лицевият панел на софтуера е представен на фиг. 4. Предимство на софтуера е оптимизация на енергийната ефективност на различни по вид системи. Недостатък от гледна точка на

моелирането на хибридни системи с горивни клетки е това, че не позволява да се въвеждат математични модели на отделните основни компоненти с техните параметри, за да се изследват различни по вид хибридни системи.



Фиг. 3. Реализация на математичния модел на задвижващ електродвигател

Size (kg)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Фиг. 4. Лицев панел на софтуера HOMER Pro

ИЗВОДИ

Горивните клетки имат много ползи за микрогенерация в превозните средства, поради високата си електрическа ефективност, ниските емисии и ниското съотношение топлина/мощност, въпреки че тепърва ще достигат пълна комерсиализация. Има няколко основни технически предизвикателства, като подобряване на ефективността и дълготрайността на операционните системи и намаляване на капиталовите разходи, които трябва да бъдат преодоляни, за да бъде успешна тази технология.

Проектирането на система с горивни клетки е процес на вземане на решение, който включва идентифициране на възможните алтернативи за проектиране и избор на най-подходящата.

Моделирането на хибридните системи е базирано на математични модели на отделните им компоненти. За симулационно изследване на тези системи е подходящо да се използва средата MATLAB/SIMULINK поради това, че притежава редица функции позволяващи въвеждане и моделиране на системата, задаване на необходимите входни параметри за оптимизацията ѝ, разработване на графичен инструмент за конкретната задача и визуализация на получените зависимости.

БЛАГОДАРНОСТ

Този доклад е подкрепен от Министерството на образованието и науката в България по Националната изследователска програма Е+ „Нисковъглеродна енергия за транспорта и бита”, по договор за безвъзмездна помощ D01-14 / 2018.

REFERENCES

- Ang, S. M. C., Brett, D. J. L., & Fraga, E. S., (2010). *A multi-objective optimisation model for a general polymer electrolyte membrane fuel cell system*. Journal of Power Sources, 195(9):2754_2763
- Dayton, D.C., Ratcli, M., & Bain, R. (2001). *Milestone completion report. Fuel cell integration - a study of the impacts of gas quality and impurities*: Technical report, National Renewable Energy Laboratory.
- Ruettinger, W., Ilinich, O., & Farrauto, R.J., (2003). *A new generation of water gas shift Catalysts for fuel cell applications*. Journal of Power Sources, 118(1-2):61_65.
- Wu, Y. & Gao, H. W., (2006). *Optimization of fuel cell and super capacitor for fuel-cell Electric vehicles*. IEEE Transactionson Vehicular Technology, 55(6):1748_1755.
- Kim, M. J. & Peng, H., (2007). *Power management and design optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles*. Journal of Power Sources, 165(2):819_832.
- Schell, A., Peng, H., Tran, D., Stamos, E., Lin, C. C., & Kim, M. J. (2005). *Modelling And control strategy development for fuel cell electric vehicles*. Annual Reviewsin Control, 29(1):159_168.
- Spiegel, C., (2008). *PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab*.
- Ang, S.M.C., Brett, D.J.L., & Fraga, E.S., (2011). *Fuel Cell Efficiency*, chapter *Optimal Design of fuel cell systems*. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Ang, S.M.C., Fraga, E.S., Brandon, N.P., Samsatli, N.J., & Brett, D.J.L. (2011). *Fuel cell systems optimisation – methods and strategies*. International Journal of Hydrogen Energy. InPress.
- Biyikoglu, A., (2005). *Review of proton exchange membrane fuel cell models*. International Journal of Hydrogen Energy, 30(11):1181_1212.
- Haraldsson, K. & Wipke, K., (2004). *Evaluating PEM fuel cell system models*. Journal Of Power Sources, 126(1-2):88_97.
- Frangopoulos, C. A. & Nakos, L. G., (2006). *Development of a model for thermoeconomic design and operation optimization of a PEM fuel cell system*. Energy, 31(10-11):1501_1519.
- Okedu, K.E. & Roland, U., (2014). *Optimization of Renewable Energy Efficiency using HOMER*, International Journal of Renewable Energy Research 4(2):421-427