CHAPTER 5
CONCLUSIONS

CHAPTER (5)
CONCLUSIONS

5.1 CONCLUSIONS

The conclusions of mathematical model are listed below:

1. The results of mathematical model showed that for air and hydrogen the parallel or straight bipolar plate design achieved minimum pressure drop and acceptable effective area but small residence time (0.535 sec). This is not accepted in fuel cell design.

2. If the parallel or straight bipolar plate design will be implemented aback pressure unit must be operated but it will be complicated configurations.

3. Spiral design is the most attractive design in this study which has the minimum pressure drop and six channel header serpentine has the maximum effective area.

4. The six channel header serpentine design has a higher pressure drop than the spiral design by 89.9 % for air and 85.7 % for hydrogen but six channel header serpentine design has a higher effective area than the spiral design by 29.9% .For residence time six channel header serpentine design is more increase than the spiral design by 31 %. So, the spiral design is the optimum design.

The conclusions of parametric study are:

1. For air, in each design pressure drop increases when velocities increase. But for each velocity the lowest pressure drop occurs in semicircle design followed by square design then trapezoidal design finally triangle design. So the optimum cross section design is semicircle design followed by square design in air side (cathode side).

2. For H_2, in each design pressure drop increases when velocities increase. But for each velocity the lowest pressure drop occurs in semicircle design followed by square design then trapezoidal design finally triangle design. So the optimum cross section design is semicircle design followed by square design in H_2 side (anode side).

The results of experiments validated the numerical results and indicated equivalent agreement between numerical and experimental results, the serpentine flow channels with curvilinear bends showed high performance numerically and experimentally compared with serpentine flow channels with square bends, this improvement about 29%.

References

1] Information Resource for Highlands & Islands Enterprise, "Stationary and portable fuel cells information resource", (2006). http://www.hi-energy.org.uk/

2] J.I. San Martín, I. Zamora and J.J. San Martín , V. Aperribay , P. Eguía, "Hybrid Technologies: Fuel Cells and Renewable Energies", International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Sevilla, Spain. 2007.

3] DARRELL WINTERS, P.E. and C.E.M, "fuel cells past, present and future", working report, Louisiana Department of Natual Resources/Technology Assessment Division, (June 2005).

4] Chris Rayment and Scott Sherwin, "Introduction to Fuel Cell Technology", working report, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame, USA, (2003).

5] B.J. Holland, J.G. Zhu, and L. Jamet, "FUEL CELL TECHNOLOGY AND APPLICATION", (2007), http://educypedia.karadimov.info/library/AUPEC01_111.pdf.

6] F Barbir," PEM FUEL CELLS: THEORY AND PRACTICE", 2nd edition, Academic Press, 1-16, 2013.

7] PROF. Dr.-Ing. Ingo Romey, Dipl.-Ing. Dirk Behrens, Dipl.-Ing. and Sven Schmitz, "Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) For CO2-Redcuced Decentral Cogenerati", working report, Technology of Energy Supply Systems and Energy Conversion Plants, University of Essen.

8] EG&G Technical Services persons, "Fuel Cell Handbook", Seventh Edition, November 2004.

9] A Technology and Marketing Summary, "Fuel Cells for Distributed Generation", March 2000.

10] Praveen Kala, Mike Hicks and Vice President, "PROPOSAL FOR FUEL CELL AND OTHER CLEAN-FUEL POWERED FERRIES FOR PEARL HARBOR (USS ARIZONA MEMORIAL)" NDIA Environmental and Energy Symposium & Exhibition.

11] T. Maiyalagan and Sivakumar Pasupathi, "Components for PEM Fuel cells: An Overview", SCIENCE FORUM, 2010, vol. 657: 143-189.

12] Ralph, T. R. and M. P. Hogarth, "Catalysis for Low Temperature Fuel Cells, Part I: The Cathode Challenges, Platinum Metals Review", Vol. 46, No. 1, 3-14, (2002).

13] Gasteiger, H. A., W. Gu, R. Makharia, and M. F. Mathias, "Catalyst Utilization and Mass Transfer Limitations in the Polymer Electrolyte Fuel Cells", Electrochemical Society Meeting (Orlando, FL, September 2003).

14] Maher A.R. Sadiq Al-Baghdadi, "Studying the effect of material parameters on cell performance of tubular-shaped PEM fuel cell" , Energy Conversion and Management, No. 49 , 2986–2996, (2008).

15] Lin Wang, Attila Husar, Tianhong Zhou and Hongtan Liu, "A parametric study of PEM fuel cell performances", International Journal of Hydrogen Energy, No. 28 ,1263 – 1272, (2003).

16] Yong Tang , Wei Yuan, Minqiang Pan , Zongtao Li , Guoqing Chen and Yong Li, "Experimental investigation of dynamic performance and transient responses of a kW-class PEM fuel cell stack under various load changes, Applied Energy", No. 87 ,1410–1417, (2010).

17] Linfa Peng , Xinmin Lai, Dong'an Liu and Peng Hu, "Flow channel shape optimum design for hydroformed metal bipolar plate in PEM fuel cell", Journal of Power Sources, No. 178, 223–230, (2008).

18] Reiser CA and Sawyer RD. "Solid polymer electrolyte fuel cell stack water management system". US Patent No. 4, 769, 297, (1988).

19] Reiser CA. "Water and heat management in solid polymer fuel cell stack". US Patent No. 4,826,742, (1989).

20] Pollegri A and Spaziante PM. US Patent No. 4,197,178, (1980).

21] Johnson MC, Wilkinson DP, Kenna J, Vanderleeden OR, Zimmerman J and Tabatabaian M. US Patent No. 6,586,128, (2003).

22] Spurrier FR, Pierce BE and Wright MK. US Patent No. 4, 631, 239, (1986).

23] Granata Jr SJ and Woodle BM. US Patent No. 4,684,582, (1987).

24] Chow CY, Wozniczka B and Chan JKK. "Integrated reactant and coolant fluid flow field layer for a fuel cell with membrane electrode assembly". Canadian Patent No. 2, 274, 974,(1999).

25] Chow CY, US Patent No. 5,804,326, (1998).

26] Gurau V, US Patent No. 6,551,736, (2003).

27] Rock JA. US Patent No. 6,503,653, (2003).

28] Jason P. Kloess, XiaWang, Joan Liu, Zhongying Shi and Laila Guessous, "Investigation of bio-inspired flow channel designs for bipolar plates in proton exchange membrane fuel cells", Journal of Power Sources ,No.188, 132–140, (2009).

29] A. Kopanidis , A. Theodorakakos , M. Gavaises and D. Bouris, "Pore scale 3D modelling of heat and mass transfer in the gas diffusion layer and cathode channel of a PEM fuel cell", International Journal of Thermal Sciences NO. 50, 456- 467, (2011).

30] Atul Kumar and Ramana G. Reddy, "Effect of gas flow-field design in the bipolar/end plates on the steady and transient state performance of polymer electrolyte membrane fuel cells", Journal of Power Sources, NO. 155, 264–271, (2006).

31] Atul Kumar and Ramana G. Reddy, "Materials and design development for bipolar/end plates in fuel cells", Journal of Power Sources, No.129, 62–67, (2004).

32] Rajesh Boddu, Uday Kumar Marupakula, Benjamin Summers and Pradip Majumdar, "Development of bipolar plates with different flow channel configurations for fuel cells", Journal of Power Sources, No. 189,1083–1092, (2009).

33] D. Martín, D.M. Guine, B. Moreno , L. González , M.C. García-Alegre and D. Guinea, "Electric modeling and image analysis of channel flow in bipolar plates", International Journal of Hydrogen Energy, No. 32 ,1572 – 1581, (2007).

34] A. Lozano, L. Vali˜no, F. Barreras and R. Mustata, "Fluid dynamics performance of different bipolar plates, Part II. Flow through the diffusion layer", Journal of Power Sources, No.179, 711–722, (2008).

35] F. Barreras , A. Lozano, L. Vali˜no, R. Mustata and C. Mar´ın, "Fluid dynamics performance of different bipolar plates , Part I. Velocity and pressure fields", Journal of Power Sources, No. 175, 841–850,(2008).

36] F. Barreras, A. Lozano, L. Vali˜no, C. Mar´ın and A. Pascau, "Flow distribution in a bipolar plate of a proton exchange membrane fuel cell: experiments and numerical simulation studies", Journal of Power Sources 144, 54–66, (2005).

37] Bladimir Ramos-Alvarado, Abel Hernandez-Guerrero, Francisco Elizalde-Blancas and Michael W. Ellis, "Constructal flow distributor as a bipolar plate for proton exchange membrane fuel cells", international journal of hydrogen energy, No. 36 ,12965- 12976 , (2011).

38] Alfredo Iranzo , Miguel Mun˜oz , Felipe Rosa and Javier Pino, "Numerical model for the performance prediction of a PEM fuel cell. Model results and experimental validation", international journal of hydrogen energy, No. 35, 11533 - 11550, (2010).

39] A. Iranzo, M. Muñoz, E. López, J. Pino, and F. Rosa, "Experimental fuel cell performance analysis under different operating conditions and bipolar plate designs," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 35, no. 20, 11437–11447, Oct. 2010.

40] A. Kumar and R. G. Reddy, "Materials and design development for bipolar/end plates in fuel cells," Journal of Power Sources, vol. 129, no. 1, 62–67, Apr. 2004.

41] J. Nie, Y. Chen, S. Cohen, B. D. Carter, and R. F. Boehm, "Numerical and experimental study of three-dimensional fluid flow in the bipolar plate of a PEM electrolysis cell," International Journal of Thermal Sciences, vol. 48, no. 10, 1914–1922, Oct. 2009.

42] F. Barreras, a. Lozano, L. Valiño, R. Mustata, and C. Marín, "Fluid dynamics performance of different bipolar plates," Journal of Power Sources, vol. 175, no. 2, 841–850, Jan. 2008.

43] Guilin, H. U., Yousheng Xu, and Zhiguo Zhang. "Numerical Simulation of Heat/Mass Transfer in a Single Proton Exchange Membrane Fuel Cell with Serpentine Fluid Channels." International Journalof Electrochem. Vol. 9 1902-1910, 2014

44] San Martín, Idoia, Alfredo Ursúa, and Pablo Sanchis. "Modelling of PEM Fuel Cell Performance: Steady-State and Dynamic Experimental Validation". Journal of Energie vol 7, 670-700,2014.

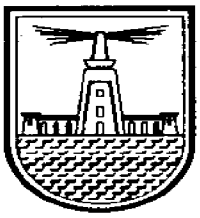
45] Ahmadi Nima , Rezazadeh Sajad and Mirzaee, Iraj. "Numerical study the effect of downward and upward deflected membrane electrode assembly on species distribution in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell with experimental validations." Journal of the Energy Institute, 1-12, 2014.

46] P.T. Nguyen, T. Berning, and N. Djilali, "Computational model of PEM fuel cell with serpentine gas flow channels", Journal of Power Sources, Volume 130,149-157 (2004).

47] S. Karvonen, T. Rottinen, J. Saarinen and O. Himanen, "Modeling of flow field in polymer electrolyte membrane fuel cell", Journal of Power Sources, Volume 161, 876-884 (2006).

48] G. Squadrito, O. Barbera, I. Gatto, G. Giacoppo, F. Urbani and E. Passalacqua, "CFD analysis of the flow field scale-up influence on the electrodes performance in a PEFC", Journal of Power Sources, Volume 152, 67-74 (2005).

49] Bates, Alex, Sunwook Hwang, Santanu Mukherjee, Sang C. Lee, Osung Kwon, Gyeung Ho Choi, and Sam Park. "Simulation of an innovative polymer electrolyte membrane fuel cell design for self-control thermal management."International Journal of Hydrogen Energy 38, no. 20 8422-8436, 2013.



دراسه وتحسين أداء خلايا وقود غشاء تبادل البرتون نظريا وعمليا بهدف الوصول للأداء الأمثل لخلايا الوقود

رسالة علمية

مقدمة الى قسم الهندسة الميكانيكيه بكليه الهندسة – جامعه الاسكندرية

استيفاء للدراسات المقررة للحصول على درجة

ماجستير العلوم

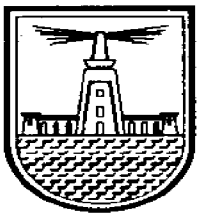
فى

الهندسة الميكانيكيه

مقدمة من

ولاء محمد جلال مصطفى

2014



دراسه وتحسين أداء خلايا وقود غشاء تبادل البرتون نظريا وعمليا بهدف الوصول للأداء الأمثل لخلايا الوقود

رسالة مقدمه من

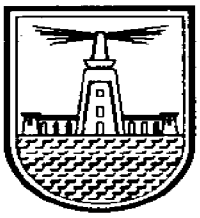
ولاء محمد جلال مصطفى

للحصول على درجة

ماجستير العلوم فى الهندسة الميكانيكيه

لجنة المناقشة والحكم على الرسالة	التوقيع
الاستاذ الدكتور / مدحت محمود سرور.	.....
الاستاذ الدكتور / كمال عبد العزيز إبراهيم.	.....
الدكتور / محمد السيد على.	.....
الدكتور / وائل محمد المغلانى.	.....

وكيل الكلية للدراسات العليا والبحوث
كلية الهندسة – جامعة الاسكندرية



لجنة الاشراف	التوقيع
الاستاذ الدكتور / مدحت محمود سرور.	.....
الدكتور / محمد السيد على.	.....

المستخلص المختصر

تكنولوجيا خلايا وقود غشاء تبادل البروتون (PEMF) هي واحدة من معظم الطاقات النظيفة والتى لديها كفاءة كبيرة. و خلايا وقود غشاء تبادل البروتون هو نظام معقد للغاية. لأن مبادىء تشغيل هذا النظام تتكون من الديناميكا الحرارية، الكيمياء الكهربائية، الهيدروديناميكا ونظرية أنتقال الكتله. ولذلك، فإنه من الصعب عمل تصميم نموذج رياضي كامل لها. كما أن أداء خلايا وقود غشاء تبادل البروتون يتناسب طرديا مع قنوات تدفق الغازات على لوحات ثنائى القطب. ولذلك نقوم بدراسة لوحات ثنائى القطب نظريا ومعمليا.

وقد تم دراسة لوحات ثنائى القطب عدديا باستخدام برنامج كومسل (COMSOL) وهو يستخدم فى النمذجه والمحاكاه. وهو يقوم بحل معادلات تفاضليه في قنوات التدفق وطبقات نشر الغاز المسامية (GDLS)، ومن العوامل الفعاله الرئيسية فى هذه الدراسه هى فرق الضغط والمساحه الفعاله ووقت التفاعل.وبذلك قد يتم الحصول على أفضل تصميم ليعطى أفضل أداء وقد تم التحقق من صحه نموذجنا بمقارنة النتائج بإحدى النتائج المنشورة فى مجله علميه. وقد أجريت دراسات بارامترايه لدراسة المعايير المختلفة التي تؤثر على كفاءة أداء لوحات ثنائى القطب بالتالى أداء خلايا وقود غشاء تبادل البروتون.

لقد قمنا بعمل دراسة معملية فى معملنا بإستخدام محطه إختبار خلايا الوقود (850 e). وهناك بعض العوامل التى نقوم بقياسها مثل جهد الخليه وكثافه التيار والقوى المتولده من خلايا الوقود مع الأخذ فى الإعتبار درجة حرارة الخلية، درجة حرارة الأنود ، درجة حرارة الكاثود و معدل تدفق كل من الهواء والهيدروجين وغيرهم. وسوف نقوم بعمل تحقق من صحة النتائج العددية بإستخدام النتائج العملية. وبالتالى وجدنا أتفاق جيد بين النتائج العددية والمعملية.

الملخص

التلوث البيئى مشكلة كبيرة تواجه العالم.ومن الملحوظ في السنوات الأخيرة زيادة معدل الاحتباس الحرارى. ويعتبرثانى أكسيد الكربون المسئول تقريبا عن حوالى نصف معدل الإحتباس الحرارى. خلايا الوقود هي واحدة من أفضل الطرق التي يمكن إستخدامها للتغلب على المشاكل المذكورة أعلاه .

في الآونة الأخيرة، جميع المدن بحاجة إلى نظم طاقة ذو كفاءة عاليه. موارد الوقود لدينا مثل النفط والفحم وغيرها محدودة. كما أنها فى نفس الوقت ذات كفاءه عاليه تعني نسبه أقل من التلوث، حيث يتم إستهلاك كمية أقل من الوقود، و أنبعاثات أقل. خلايا الوقود هي واحدة من أفضل الطرق لتحقيق هذه الأهداف.

في هذه الأيام يواجه العالم أزمة فى الطاقة ولحل هذه المشكله أتجهنا لدراسه خلايا الوقود وتحسين أدائها. كما هو معروف هناك أنواع عديده من خلايا الوقود مثل خلايا الوقود القلوية (AFC)، وحمض الفوسفوريك خلايا الوقود (PAFC)، وكربونات خلايا الوقود المنصهر (MCFC)، خلية وقود الأكسيد الصلب (SOFC)، و خلايا وقود غشاء تبادل البروتون (PEMFC).

خلايا وقود غشاء تبادل البروتون (PEMF) هى إحدى الأنواع الناجحة من خلايا الوقود وهى تعتبر أيضا أفضلهم لأنها تعمل في درجات حرارة منخفضة وذات كفاءة عالية.كما أن أداء خلايا وقود غشاء تبادل البروتون يتناسب طرديا مع قنوات تدفق الغازات على لوحات ثنائى القطب. ومن عوامل تصميم هذه القنوات، حجم القناة، شكل القناة وترتيب القنوات وهم يتحكموا فى رفع الجهد لخلايا وقود غشاء تبادل البروتون ، وبالتالى كثافة التيار .

وقد درست لوحات ثنائى القطب (BPPS) تصاميم عدديا مثل تصميم القنوات الموازية أو المستقيمة للوحة ثنائى القطب، مزدوجة، ثلاثية وستة قنوات رأس أعوج، مزدوجة، ثلاثية وستة قنوات تدفق أعوج مع الأنحناءات مربع ، مزدوجة ،ثلاثية وستة قنوات تدفق أعوج مع الأنحناءات النصف دائريه والتصميم الدوامى. من ناحية أخرى تدرس بعض التصاميم تجريبيا ست قنوات تدفق أعوج مع الأنحناءات مربع وست قنوات تدفق أعوج مع الأنحناءات النصف دائرية.

وقد تم دراسة لوحات ثنائى القطب عدديا بإستخدام برنامج كومسل (COMSOL) وهو يستخدم فى النمذجه والمحاكاه. وهو يقوم بحل معادلات تفاضلية في قنوات التدفق وطبقات نشر الغاز المسامية (GDLS)، ومن العوامل الفعاله الرئيسية فى هذه الدراسة هى فرق الضغط والمساحه الفعالة ووقت التفاعل .وبذلك قد يتم الحصول على أفضل تصميم ليعطى أفضل أداء وقد تم التحقق من صحة نموذجنا بمقارنة النتائج بإحدى النتائج المنشوره فى مجلة علمية.

ومن نتائج نموذجنا الرياضي هي أن تصميمات مربع الأنحناءات يتعرض إلى فرق ضغط اكبر من تصميمات الأنحناءات النصف دائرية ويرجع ذلك إلى الحدة فى الأنحناءات المربعة.كما أن إستخدام قنوات عديده يقل من طول مسار الغاز . ولكن عندما تقل هذه المساحه الفعاله قد تؤدى إلى توزيع منتظم أكثر لتركيزات الغازات على وجهى الأقطاب الكهربيه اذا لم تؤثر على فرق الضغط ولكن مع زيادة فرق الضغط سوف يتأثر الأداء. فرق الضغط نقطة مهمه لكلا من الهواء والهيدروجين ولكن المساحه فعالة لثنائى القطب والوقت يلعبان أيضا دورا هاما لتحسين أداء خلايا وقود غشاء تبادل البروتون. و تصميم القنوات الموازية أو المستقيمة للوحة ثنائى القطب هو التصميم الأمثل اذا وضع له وحده الضغط الخلفى. لكن التصميم الدوامى هو التصميم الأمثل للهواء و للهيدروجين .

وقد أجريت دراسات بارامترايه لدراسة المعايير المختلفة التي تؤثر على كفاءة أداء لوحات ثنائى القطب وبالتالي أداء خلايا وقود غشاء تبادل البروتون للحصول على أفضل تصميم للوحة ثنائى القطب في خلايا وقود غشاء تبادل البروتون. وقد أجريت هذه الدراسة البارامترايه عدديا بإستخدام نموذجنا السابق.

العوامل التي تم دراستها فى هذه الدراسه البارامترايه هي : إستخدام سرعات مختلفة لكل من الهواء والهيدروجين، وتغيير عرض القنوات للوحه ثنائى القطب ، وتغيير عمق القنوات للوحه ثنائى القطب و تغيير تصميم القطاع العرضى للقنوات فى لوحة ثنائى القطب كالتالى المثلث، نصف دائرة، مربع وشبه منحرف ودراستهم عند سرعات مختلفه.

نتائج الدراسة البارامترايه هي : عند إستخدام سرعات مختلفة لكل من الهواء والهيدروجين ، نجد أن فرق الضغط يزيد مع زيادة سرعة الهواء عند القطب السالب (الكاثود) والهيدروجين عند القطب الموجب (الأنود). ولتغيير عرض القنوات للوحه ثنائى القطب نجد أن فرق الضغط يقل مع زيادة عرض القناة عند كل من الهواء عند القطب السالب (الكاثود) والهيدروجين عند القطب الموجب (الأنود). و لتغيير عمق القنوات للوحه ثنائى القطب نجد أن فرق الضغط حيث يقل مع زيادة عمق القناة عند كل من الهواء عند القطب السالب (الكاثود) والهيدروجين عند القطب الموجب (الأنود). ولتغيير تصميم القطاع العرضى للقنوات فى لوحة ثنائى القطب عند سرعات مختلفه نجد أن عند دراسه القطب السالب (الكاثود) نجد أن عند كل تصميم يزيد فرق الضغط مع زياده السرعات ولكن عند سرعه ثابته نجد أن أقل فرق ضغط عند تصميم النصف دائره يتبع بالتصميم المربع ثم الشبه منحرف واخيرا التصميم المثلث. وبالتالى التصميم الأمثل هو تصميم النصف دائرى عند السرعات المنخفضه. وأيضا عند دراسه القطب الموجب (الأنود) نجد أن عند كل تصميم يزيد فرق الضغط مع زياده السرعات ولكن عند سرعه ثابته نجد أن أقل فرق ضغط عند تصميم النصف دائره يتبع بالتصميم المربع ثم الشبه منحرف وأخيرا التصميم المثلث. وبالتالى التصميم الأمثل هو تصميم النصف دائرى عند السرعات المنخفضه.

عند عمل دراسة معمليه ، قمنا باستخام تصميمن فقط وإختبارهم فى معملنا بإستخدام محطة إختبار خلايا الوقود (850 e). هناك بعض العوامل التى نقوم بقياسها مثل جهد الخلية وكثافة التيار والقوى المتولدة من خلايا الوقود مع الأخذ فى الأعتبار درجة حرارة الخلية، درجة حرارة الأنود ، درجة حرارة الكاثود و معدل تدفق كل من الهواء والهيدروجين وغيرها. وسوف نقوم بعمل تحقق من صحة النتائج العددية بإستخدام النتائج العمليه. وبالتالى وجدنا إتفاق جيد بين النتائج العددية والمعمليه.