



วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok

ISSN 1905-3819

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556

Vol. 4, No. 1 January - June, 2013

บทความวิจัย

- ๑ การพัฒนาแบบจำลองระบบเนื้อหาแบบปรับเหมาะสำหรับการเรียนแบบปรับเหมาะเพื่อพัฒนาผู้เรียน
ที่มีความสามารถทางการเรียนแตกต่างกัน
พินันทา ฉัตรวัฒนา และ ปณิดา วรรณพิรุณ 1
- ๒ การพัฒนามาตรฐานการฝึกอาชีพช่างอุตสาหกรรม
วิรัตน์ อัครานวัตร สมยศ เจตน์เจริญรักษ์ และ ชนะ กสิภรณ์ 11
- ๓ การพัฒนาบทเรียนบนเว็บรูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือ เรื่อง Tense สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา
ปีที่ 5 ของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร
ชาตินีย์ จิตธีธาดู และ พัลลภ พิริยะสุรวงศ์ 20
- ๔ การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมครูคอมพิวเตอร์เพื่อวางแผนการสอนแบบผสมผสาน
กฤช สีนธะกุล ไพโรจน์ สติธยากร จริญญา แสนราช และ พิสิฐ เมธภัทร 28
- ๕ เทคนิคการหักล้างวงจรกรองสำหรับการหาค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
Melika Hinaje ภาณี น้อยยิ่ง วัฒนา แก้วมณี Stéphane Rael and Bernard Davat 36
- ๖ การประเมินความต้องการจำเป็นในการใช้เครือข่ายสังคมออนไลน์เพื่อการจัดการเรียนการสอน
สำหรับนักศึกษาในระดับปริญญาตรี
ชวินทร์ ชุกศล และ ชนะกัญจน์ ศรีรัตนบัลล์ 43
- ๗ การศึกษาความพึงพอใจของบุคลากรในการใช้ระบบบริหารคุณภาพ มอก. 18001สำหรับการประเมิน
ความเสี่ยงของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
บดีนทร์ สาตมุล สบสันต์ อุดกฤษญ์ และ ณฐรพล วุฒิพันธุ์ 52
- ๘ ผลกระทบของปริมาณซิลิกาอสัณฐานในดินขาวเผา ต่อกำลังอัดและปฏิกิริยาปอซโซลานของซีเมนต์เพสต์ผสม
ปิยะฉัตร ศุภวิทยาเจริญกุล และ ชีรวัฒน์ สิ้นศิริ 66
- ๙ การพัฒนารูปแบบการสอนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบครูผู้ช่วยเสมือนจริงแบบอัจฉริยะ
เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ของนักศึกษาภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ชูชาติ สีเทา สุรพันธ์ ต้นศรีวงษ์ และ พูลศักดิ์ โกษิยาภรณ์ 76
- ๑๐ การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาภาษาไทยเรื่องการอ่านสะกดคำ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4
ผ่านบทเรียนระบบออนไลน์กับการสอนปกติ โรงเรียนวัดชัยพฤกษมาลา
ทวี ไชยถาวร และ พัลลภ พิริยะสุรวงศ์ 85
- ๑๑ การพัฒนารูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบยูบิควิตัส โดยใช้ปัญหาเป็นหลัก
เพื่อพัฒนาทักษะการคิดแก้ปัญหาของนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต
นพดล ผู้มีจรรยา และ ปณิดา วรรณพิรุณ 93
- ๑๒ การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ร่วมกันโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ในสภาพแวดล้อม
การเรียนรู้แบบยูบิควิตัสเพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ของนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต
สิทธิชัย ลายเสมา และ ปณิดา วรรณพิรุณ 104

บทความวิชาการ

- ๑ ระบบอาจารย์ที่ปรึกษาตามแนวทางการจัดการลูกค้าสัมพันธ์สำหรับสถาบันอุดมศึกษาเอกชนในประเทศไทย
สุริยะ พุ่มเฉลิม และ ปรัชญนันท์ นิลสุข 115
- ๒ แบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM อย่างง่ายสำหรับวิศวกรไฟฟ้า
วัฒนา แก้วมณี 122



เทคนิคการหักล้างวงจรรองสำหรับการหาค่าอิมพีแดนซ์ ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

Melika Hinaje¹ ภาณี น้อยยิ่ง² วัฒนา แก้วมณี² Stéphane Rael¹ and Bernard Davat¹

บทคัดย่อ

นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกคาดว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นเครื่องมือสำคัญในการก้าวข้ามยุคน้ำมันเชื้อเพลิงจากซากฟอสซิล อย่างไรก็ตามการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อปรับระดับแรงดันที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงให้สามารถเข้ากันได้กับภาระทางไฟฟ้าที่นำมาต่อ ในการออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละตัวจำเป็นต้องมีข้อมูลที่สำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงนั้น เช่นกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส รวมถึงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเซลล์ที่ความถี่ต่าง ๆ อุปกรณ์สำหรับวัดหาค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการในสาขาเคมีหรือวัสดุศาสตร์ ไม่สามารถนำมาใช้ในการหาค่าอิมพีแดนซ์ของระบบเซลล์เชื้อเพลิงขณะทำการจ่ายกระแสได้เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องกระแสสูงสุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ ข้อจำกัดนี้ทำให้ผู้ออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าต้องทำการวัดหาค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์เชื้อเพลิงเองด้วยวิธีการแบบพื้นฐาน บทความนี้กล่าวถึงข้อควรระวังที่ทำให้การวัดได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ผิดพลาดและวิธีการวัดที่ถูกต้อง โดยวิธีการวัดที่นำเสนอในบทความนี้จะทำให้สามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์เชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือชั้นสูง

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิง อิมพีแดนซ์ วงจรรอง

¹ กลุ่มวิจัย GREEN มหาวิทยาลัยแห่งลอแรน ฝรั่งเศส

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้พิมพ์ประสานงาน โทร. 02-555-2000 ต่อ 3300 อีเมล wattanak@kmutnb.ac.th

Filter Cancellation Technique for PEMFC Impedance Evaluation

Melika Hinaje^{1*} Panee Noiying² Wattana Kaewmanee² Stéphane Rael¹ and Bernard Davat¹

av¹

Abstract

Scientists around the world regard fuel cells as a promise solution to the fossil fuel mitigation. However, PEMFC needs a proper electric power converter to convert their dc voltage output to match the conventional dc or ac electric load. To design the proper electric power converter, the characteristic of the targeted PEMFC like the characteristic curve or the cell impedance is required. The equipment for measuring the electrochemical impedance, which is usually available in chemical or material science laboratory, is not suited for evaluating the fuel cell system at the rated operating point. The limit is mainly on the current rating of the measuring equipment. This forces the electric converter designers to evaluate the cell impedance manually. This paper presents several pitfalls and solutions in evaluating the cell impedance. With proper measuring configuration presented in this paper the cell impedance can be extracted from the measured signals without using any high-end equipment.

Keywords: Fuel Cell, Impedance, Filter

^{1*} Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy (GREEN), Université de Lorraine, France

² Lecturer, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,

* Corresponding Author Tel. 02-555-2000 Ext 3300, Email: wattanak@kmutnb.ac.th

1. Introduction

Scientists around the world regard fuel cells as a promise solution to the fossil fuel mitigation. Fuel cells can bridge energy from renewable sources, which are not constant during each day, to the conventional consumption demand by using gas hydrogen as energy carrier [1, 2]. This method is very useful, especially in the transport applications.

Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) are suited for the transport and residential applications because their operating temperatures are less than 100°C [3]. However, the PEMFCs are low voltage dc sources. Each PEMFC needs a proper electric power converter to convert their dc voltage output to match the conventional dc or ac electric load. To design the proper electric power converter, the characteristic of the targeted PEMFC like the characteristic curve or the cell impedance is required [4-7].

The equipment for measuring the electrochemical impedance is usually available in chemical or material science laboratory. Although the equipment can test impedance from very low to very high frequency, the testing current is limited at very low level, which is in order of micro to milli-ampere [8]. Moreover, it can test only a small sample of material, which is not suited for testing the impedance of the whole cell simultaneously. These force electric converter designers to evaluate the impedance of the targeted fuel cell by them self.

The simplest way to measure the fuel cell impedance is shown in figure 1. In the figure, the cell is set to operate at the certain operating point. Then a small-signal ac current is added to the dc

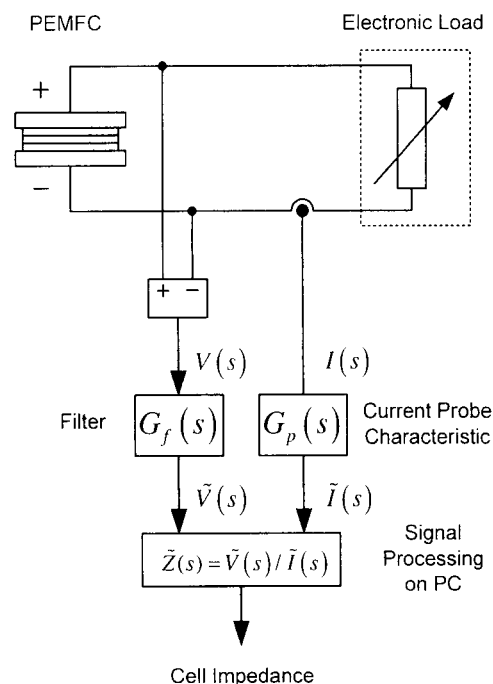
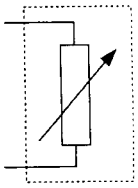


Figure 1 Fuel cell impedance evaluation

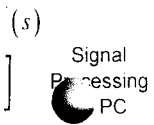
operating point. This results in the deviation of the cell voltage at the terminal. The deviation is due to the overall cell impedance. With the help of Fast-Fourier transformation (FFT), the cell impedance can be evaluated from the small-signals of the current and voltage response. The process of using FFT can be done on the personal computer by recording and importing signals from an oscilloscope to the PC.

The mentioned method is quite simple, but in fact, it comes with two hidden problems. The first problem is due to the current probe which used to measuring the cell current. The conventional current probe, which uses the principle of Hall Effect sensor usually have bandwidth about 100kHz [9]. This bandwidth seems to be enough for testing the impedance for the electric converter design where the range of interesting frequency is

Electronic Load



(s)
Current Probe
Characteristic



Impedance evaluation

The deviation of the measured impedance is due to the help of Fast-Fourier Transform (FFT) of the cell impedance signals from an oscilloscope.

quite simple, but in the process of using a personal computer by signals from an oscilloscope. The first problem is the current probe which used to measure the current. The conventional principle of Hall effect probe has a bandwidth about 10 kHz, which seems to be enough for the electric converter operating frequency is

lower than the converter switching frequency, which is about 25 kHz. Unfortunately, the problem is due to the phase lag of the measured signal which appears much earlier before the bandwidth limit of the current probe. This is obviously affecting the precision of the impedance testing.

Another problem is the need of proper filter. The current waveform which represents the change of the load can be measured without any filter, but the amplitude of the cell voltage response from the injected ac current perturbation is quite small. The low-pass filter is required to improve the signal/noise ratio of the measured signal and the high-pass is also necessary to eliminate the dc part of the signal. Although the ac coupling is available in every oscilloscope, their cutoff frequency, which is about 3 Hz, is too high. Adding a filter to the voltage measuring path will also decrease the precision of the resulting impedance.

This paper proposes a simple method for measuring the PEMFC impedance correctly.

2. Problem analysis and the proposed solution

According to figure 1, the ac component of the voltage waveform recorded by the oscilloscope is obtained from the filter output. The recorded signal, $\tilde{V}(s)$, can be described as

$$\tilde{V}(s) = G_f(s) \cdot V(s) \quad (1)$$

where $G_f(s)$ is the filter transfer function and $V(s)$ is the real voltage response signal.

The current obtained from the current probe needs no filter. This is because the ac component of current waveform is large enough to be extracted directly from the raw signal in the signal processing stage. However, by the imperfection of

the current probe, the measured signal obtained from the current probe without any additional filter is still different from the real current signal. The measured signal, $\tilde{I}(s)$, can be described as

$$\tilde{I}(s) = G_p(s) \cdot I(s) \quad (2)$$

where $G_p(s)$ is the probe characteristic and $I(s)$ is the real current waveform. As a result, the impedance evaluated from the measured signal is

$$\tilde{Z}(s) = \frac{G_f(s) \cdot V(s)}{G_p(s) \cdot I(s)} = \frac{G_f(s)}{G_p(s)} Z(s) \quad (3)$$

which is obviously different from the cell impedance, $Z(s)$.

The simplest way to eliminate the effect of the current probe is to use a resistor as a current sensor. The current through the resistor can be obtained by dividing the voltage across the resistor by its resistance. The measured impedance becomes

$$\tilde{Z}(s) = \frac{G_f(s) \cdot V(s)}{I(s)} = G_f(s) \cdot Z(s) \quad (4)$$

At this point the evaluated impedance is still incorporating the effect of the filter in the voltage path. To eliminate the effect of the filter characteristic we propose to insert the identical filter to the current measuring path. This introduces the same transfer function to the denominator which results in the cancellation of filter transfer function as follows

$$\tilde{Z}(s) = \frac{G_f(s) \cdot V(s)}{G_f(s) \cdot I(s)} = Z(s) \quad (5)$$

By using this method, the real cell impedance can be measured. The diagram of the proposed method is shown in figure 2.

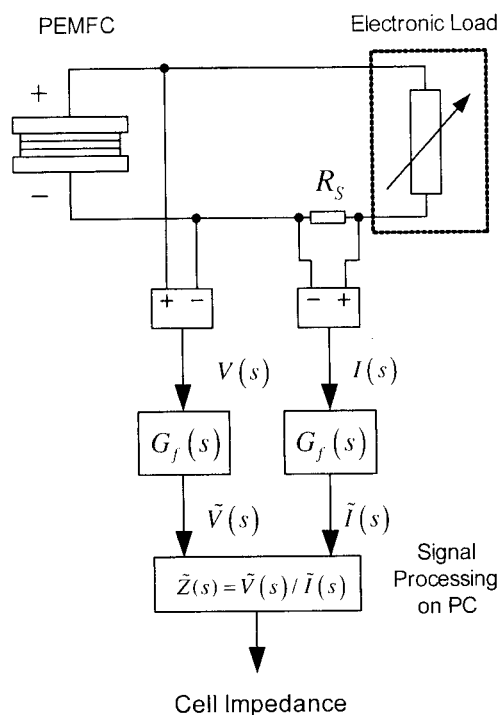


Figure 2 The proposed method

3. Experimental Preparation

The experimental was done on the test bench described in [10]. The fuel cell is single-cell module of PEM type. The dc operating point of the cell was set to 15 A, which resulted in 0.69 V of the cell terminal potential. The ac current of ± 3 A were added to the cell current by using the electronic load described in [11].

The band-pass filters which have lower cut-off frequency at 0.1 Hz and upper cut-off frequency at 100 kHz were used. The circuit and component parameters were selected by the software called Filterlab®. This software is dedicated for active filter design and is provided from Microchip with free of charge.

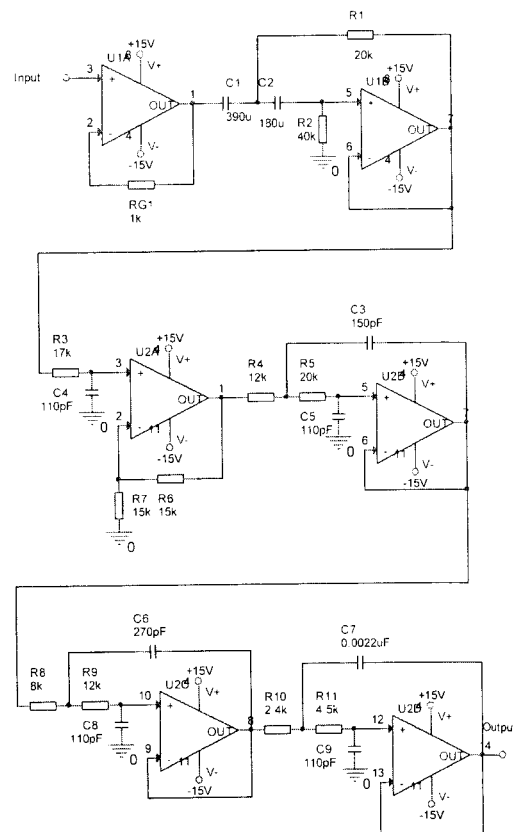


Figure 3 The schematic of the designed filter

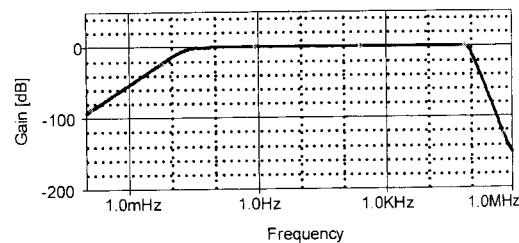


Figure 4 Frequency response of the designed filter

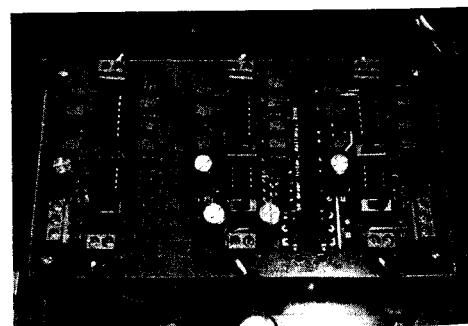
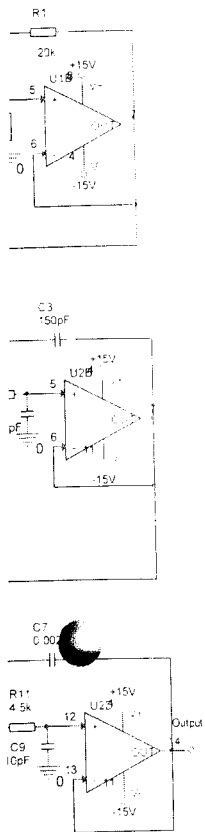
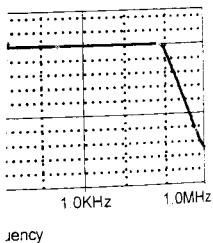


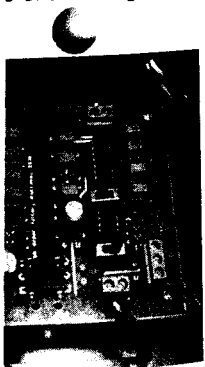
Figure 5 The implemented filter



the designed filter



the designed filter



assembled filter

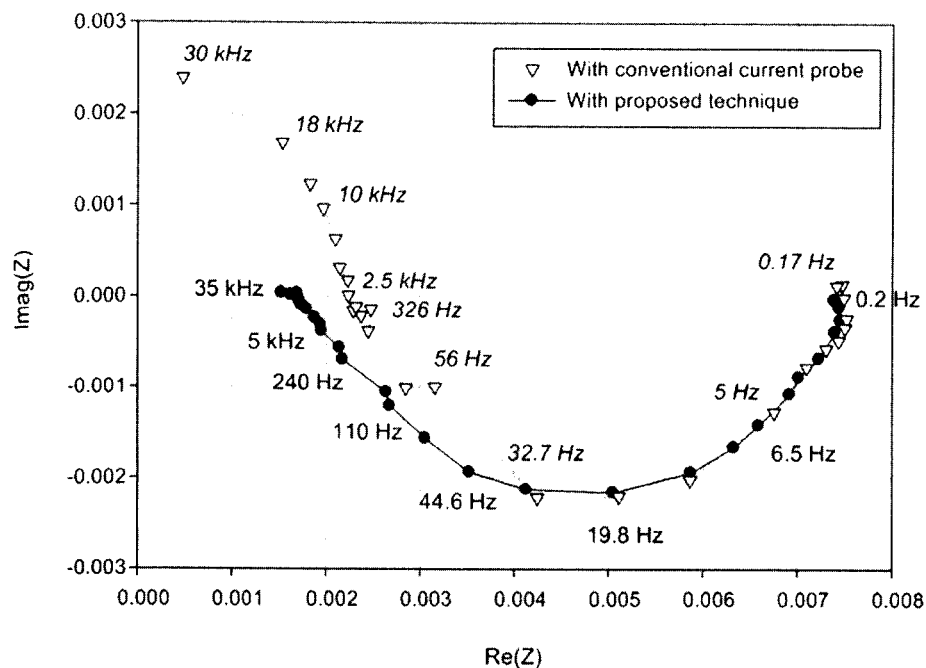


Figure 6 Comparison of the impedance trajectory

The designed circuit is shown in figure 3 and the frequency response obtained from SPICE simulation is shown in figure 4. The assembled PCB of the filter is shown in figure 5. Please note that there are 3 sets of filter on the PCB and only two were used.

4. Experimental Result and Discussion

The measured fuel cell impedances obtained from the experimental are shown in figure 6. The figure compares two impedances resulted from two different methods. The impedance with white triangle marks is the impedance obtained by using a filter for voltage measurement and using a current probe for current measurement. The impedance with black dot marks is the result of using the proposed method.

It can be seen that the impedance with white triangle have positive complex element at

frequency higher than 2.5 kHz. This indicates that there is some inductive element in the system under test. This does not agree with the theory of fuel cell where the equivalent circuit of the cell is compose of only R and C elements [12, 13]. In contrast with the impedance obtained from the proposed method where the trajectory of the impedance is a semi-circle curve. This is much agreeing with the general fuel cell theories.

5. Conclusion

This paper proposed an economical and effective method for evaluating the PEMFC impedance at specified operating point. The method suggested using the a resistance as a current sensing element and uses two identical filters which resulted in a cancellation of filter effect on the measured impedance. The result showed that the measured impedance agreed with the theory of the fuel cell.



6. Reference

- [1] S. Al-Hallaj and K. Kiszynski, *Hybrid Hydrogen Systems: Stationary and Transportation Applications*, 1st ed. London: Springer-Verlag, 2011.
- [2] M. Mouliney, *et al.*, *Hydrogen Energy and Fuel Cells: A vision of our future*. Luxembourg:: European Communities, 2003.
- [3] M. M. Mench, *Fuel Cell Engines*: John Wiley & Sons, 2008.
- [4] J. M. Andújar, *et al.*, "A suitable model plant for control of the set fuel cell-DC/DC converter," *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 813-826, 2008.
- [5] G. Fontes, *et al.*, "A Large-Signal and Dynamic Circuit Model of a H₂/O₂ PEM Fuel Cell: Description, Parameter Identification, and Exploitation," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 1874-1881, 2010.
- [6] P. Thounthong and S. Pierfederici, "A New Control Law Based on the Differential Flatness Principle for Multiphase Interleaved DC/DC Converter," *Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 903-907, 2010.
- [7] P. Thounthong, *et al.*, "Modeling and Control of Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Source Based on Differential Flatness Control," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 2700-2710, 2010.
- [8] CV-50W Voltammetric Analyzer MF-9093 INSTRUCTION MANUAL. Indiana: Bioanalytical Systems, Inc., 2001.
- [9] F. Costa, *et al.*, "Wide bandwidth, large AC current probe for power electronics and EMI measurements," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 44, pp. 502-511, 1997.
- [10] W. KAEWMANEE, *et al.*, "Single-Cell PEMFC Test Bench Development at Thai-French Innovation Institute," presented at the The 3rd National Conference on Technical Education, Bangkok, 2010.
- [11] W. KAEWMANEE, *et al.*, "An Electronic Load Controlled by Microcontroller for Examining a Static Characteristic Curve of Fuel Cells," presented at the The 3rd National Conference on Technical Education, Bangkok, 2010.
- [12] E. Barsoukov and J. R. Macdonald, *Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications*: John Wiley & Sons, 2005.
- [13] M. E. Orazem and B. Tribollet, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*: Wiley, 2011.