

NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG SỬ DỤNG PIN NHIÊN LIỆU

FUEL CELL POWER SYSTEMS RESEARCH

Lê Thanh Hùng^{1*}, Nguyễn Gia Đại²,
Phùng Văn Công³, Bùi Văn Huy⁴

TÓM TẮT

Công nghệ pin nhiên liệu là một công nghệ năng lượng tái tạo mới đầy triển vọng trong tương lai. Nghiên cứu và phát triển các hệ thống dựa trên công nghệ pin nhiên liệu cùng với các yêu cầu như có chất lượng cao hay có kích thước nhỏ gọn cho các thiết bị điện là hết sức cần thiết và nhiều tiềm năng. Trong nghiên cứu này, thực hiện xây dựng, phân tích, thiết kế bộ điều khiển điện tử công suất cho hệ thống pin nhiên liệu, sử dụng phương pháp mô hình hóa, phương pháp điều khiển bằng nguyên lý điều khiển điện áp. Thu được thiết kế hệ thống pin nhiên liệu như trên hoạt động tốt chứng minh được giải pháp đã đề xuất.

Từ khóa: Điều khiển, pin nhiên liệu, bộ biến đổi DC/DC.

ABSTRACT

Fuel cell technology is a promising new renewable energy technology in the future. Research and development of systems based on fuel cell technology, with requirements such as high quality or compact size for electrical equipment, is extremely necessary. In this paper, the analysis of power electronics for fuel cell systems is given, using modeling methods and the principle of voltage control. The experimental results has proved the correctness of the method.

Keywords: Control, Fuel cell, DC/DC converter.

¹Lớp TĐH2 - K12, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Lớp TĐH3 - K12, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Lớp TĐH4 - K12, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁴Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hunglt.ee@gmail.com

CHỮ VIẾT TẮT

FCV	Fuel Cell Vehicle
PWM	Pulse-width modulation

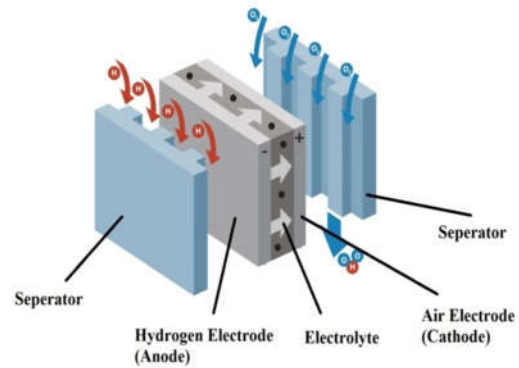
1. GIỚI THIỆU

Công nghệ pin nhiên liệu là một công nghệ năng lượng tái tạo mới đầy triển vọng trong tương lai với những ưu điểm nổi bật như: chỉ cần mất 5 phút sạc lại điện cho pin, cho ra năng lượng điện lớn gấp chục lần pin truyền thống, năng lượng sạch - không phát thải. Nhưng bài toán cần giải quyết của pin nhiên liệu như có đầu ra điện áp thấp và các đặc tính của điện áp rất nhạy với phương sai tải. Việc nghiên cứu và phát triển các hệ thống dựa trên công nghệ pin nhiên liệu cùng với yêu cầu có chất lượng cao hay có kích thước nhỏ gọn là rất cần thiết.

Sử dụng phương pháp mô hình hóa qua đó chọn lựa và thiết kế điều khiển bộ biến đổi boost để giải quyết bài toán của pin nhiên liệu: có đầu ra điện áp thấp và đặc tính của pin nhiên liệu rất nhạy với phương sai tải.

Nguyên lý điều chế và cấu trúc của bộ biến đổi boost DC/DC có kích thước nhỏ gọn, hiệu suất cao, thành phần trong mạch không tiêu thụ năng lượng nào, dễ điều khiển và tích hợp, đơn giản hóa mạch vòng điều chỉnh điện áp, tăng cường đặc tính động học toàn hệ thống.

2. CÔNG NGHỆ PIN NHIÊN LIỆU

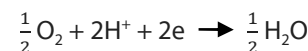


Hình 1. Cấu tạo và hoạt động của pin nhiên liệu

Hình 1 là cấu tạo và hoạt động của pin nhiên liệu, H₂ được đưa vào cực âm, đi xuyên qua chất xúc tác nhờ sức ép, ở đây H₂ nhường 2 electron để phân ra thành 2 ion H⁺, do dung môi không dẫn electron mà chỉ cho ion đi qua vì thế electron sẽ được dẫn qua dây dẫn tạo ra dòng điện và trở thành cực âm, còn ion H⁺ sẽ di chuyển qua vào màng điện phân (quá trình khử):



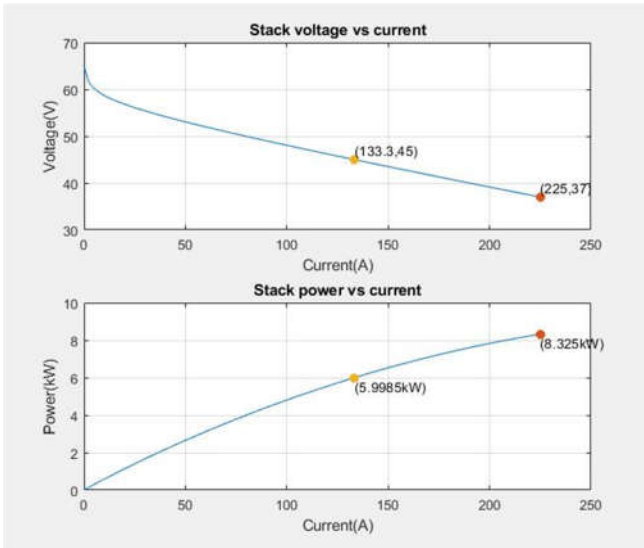
Trong khi đó, phân tử O₂ (có sẵn trong không khí nồng độ 21%) đi vào cực dương bằng sức ép tạo ra hai nguyên tử Oxi, mỗi nguyên tử Oxi nhận 2 ion H⁺ ở trong từ màng điện phân vào và 2 electron để tạo ra phân tử nước được đẩy ra ngoài (quá trình Oxi hóa):



Quá trình phản ứng như vậy tế bào pin nhiên liệu sinh ra 0,7V. Hơn hết nó còn mang lại những ưu điểm nổi bật như: sản phẩm duy nhất là nước rất sạch thân thiện với môi trường, không gây tiếng ồn, việc tiếp thêm nhiên liệu cho

pin nhiên liệu chỉ cần mất 5 phút để có thể di chuyển tiếp thay vì mất hàng giờ để sạc lại điện cho pin điện truyền thống, cho ra năng lượng điện 40000Wh/kg, trong khi đó pin Lithium ion cho ra chỉ 278Wh/kg nhỏ hơn 143 lần so với pin nhiên liệu, hiệu quả cao, có hiệu suất từ 50% lên đến 85% khi tận dụng cả nhiệt và điện, hiệu suất gấp 2, 3 lần động cơ đốt trong.

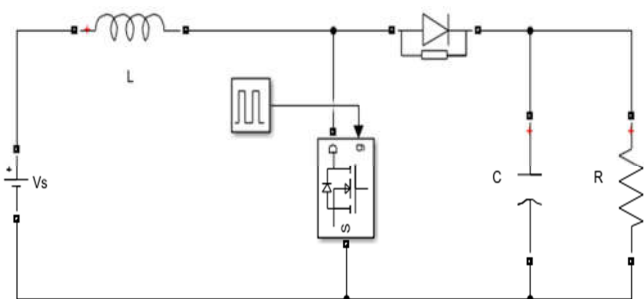
Ngoài ra công nghệ pin nhiên liệu được áp dụng vào các hệ thống xe, hệ thống điện sử dụng năng lượng tái tạo... Với yêu cầu giải quyết các bài toán cho pin nhiên liệu: có đầu ra điện áp thấp và đặc tính của pin nhiên liệu rất nhạy với phương sai tải theo đặc tuyến dưới đây



Hình 2. Đặc tuyến Volt-Ampe bộ pin nhiên liệu PEFC - 6kW - 45VDC

Để giải quyết vấn đề trên ta sử dụng bộ biến đổi boost để tăng điện áp đầu ra, ổn định điện áp đầu ra với phương sai tải. Bộ biến đổi này có ưu điểm nổi bật như kích thước nhỏ gọn, hiệu suất cao, thành phần trong mạch không tiêu thụ năng lượng nào, dễ điều khiển và tích hợp, đơn giản hóa mạch vòng điều chỉnh điện áp, tăng cường đặc tính động học toàn hệ thống.

3. PHƯƠNG PHÁP TRUNG BÌNH MÔ HÌNH HÓA BỘ BIẾN ĐỔI



Hình 3. Mạch biến đổi DC/DC boost đơn giản

Xét sơ đồ mạch biến đổi như hình 2, các thông số của hệ gồm: L - Độ tự cảm của cuộn cảm; C - Điện dung của tụ điện; i_L - Dòng điện qua cuộn cảm - dòng điện đầu vào; V_{in} - Điện áp đầu vào; V_{out} - Điện áp đầu vào; δ - Độ rộng xung.

Trong khoảng thời gian van đóng D.T ta có phương trình:

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{in}$$

$$C \frac{dv_C}{dt} = -\frac{v_C}{R}$$

$$\Leftrightarrow i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_{in} dt$$

$$\frac{1}{L} \int_0^{DT} V_{in} dt = i(DT) - i(0)$$

$$\Leftrightarrow \frac{DT}{L} \cdot V_{in_ave} = \Delta i_1$$

$$\Delta i_1 \leq I_L \delta$$

$$\Leftrightarrow \frac{DT}{L} \cdot V_{in_ave} \leq I_L \delta = I_{in} \delta$$

$$\Rightarrow L \geq \frac{V_{in} DT}{I_{in} \delta}$$

Để các biến trạng thái $x_1 = i_L (I_{in})$, $x_2 = V_C (V_{out})$, chúng ta có thể viết lại các phương trình trạng thái trong không gian trạng thái:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \text{ với } \dot{x} = A_1 x + B_1 u$$

Trong khoảng thời gian van mở (1-D).T ta có phương trình:

$$C \frac{dv_C}{dt} = i_L - \frac{v_C}{R}$$

$$L \frac{di_L}{dt} + V_{out} = V_{in}$$

$$\Leftrightarrow i_L(t) = \frac{1}{L} \int (V_{in} - V_{out}) dt$$

$$\Delta v_C \leq V_{out} \delta$$

$$\Rightarrow C \geq \frac{DT I_{out}}{V_{in} \delta} = \frac{D(1-D)^2 T I_{in}}{V_{in} \delta}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} \text{ với } \dot{x} = A_2 x + B_2 u$$

Sử dụng phương pháp trung bình không gian trạng thái:

$$f_{av}(x) = \frac{1}{T} \int_0^T f(\tau, x, 0) d\tau = D \times f_1(\tau, x, 0) + (1-D) \times f_2(\tau, x, 0)$$

Tại $f_{1,2}(t, x, \varepsilon)$ là phương trình đặc trưng của hai chế độ khác nhau, D là chu kỳ đóng cắt trong một chu kỳ T của mạch xung.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{-(1-D)}{L} \cdot x_2 + \frac{1}{L} \cdot V_{in} \\ \dot{x}_2 = \frac{(1-D)}{C} \cdot x_1 + \frac{-1}{RC} \cdot x_2 \end{cases}$$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & -(1-D) \\ (1-D) & L \\ C & -1 \\ RC & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ L \\ 0 \end{bmatrix} V_{in}$$

$$\Leftrightarrow \dot{x} = \bar{A}x + \bar{B}u$$

4. PHƯƠNG PHÁP TÍN HIỆU NHỎ VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN NGUYÊN LÝ ĐIỆN ÁP

Trạng thái xác lập có:

$$\begin{cases} X_2 = \frac{V_{in}}{1-D} \\ X_2 = R(1-D) \cdot X_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_1 = I_L = \frac{V_{in}}{R(1-D)} \\ X_2 = V_C = \frac{V_{in}}{1-D} \end{cases}$$

Qua đó, các biến có được viết theo:

$$\begin{cases} D(t) = D + \hat{D}(t) \\ x(t) = X + \hat{x}(t) \\ u(t) = U + \hat{u}(t) \end{cases} \text{ với } \begin{cases} D \square \hat{D} \\ X \square \hat{x} \\ U \square \hat{u} \end{cases}$$

$$\frac{d(X + \hat{x})}{dt} = [A_1(D + \hat{D}) + A_2(1-D - \hat{D})](X + \hat{x}) + [B_1(D + \hat{D}) + B_2(1-D - \hat{D})](U + \hat{u})$$

$$\Leftrightarrow \frac{d\hat{x}}{dt} = [A_1D + A_2(1-D)]\hat{x} + [B_1D + B_2(1-D)]\hat{u} + [(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)U]\hat{D}$$

Biến đổi Laplace ta có:

$$\Leftrightarrow s.\hat{x}(s) = A_{ss}\hat{x}(s) + B_{ss}\hat{u}(s) + [(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)U]\hat{D}(s)$$

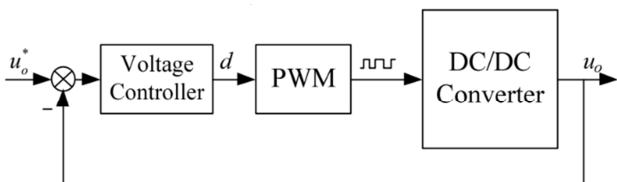
$$\text{Với (trạng thái xác lập): } \begin{cases} A_{ss} = A_1D + A_2(1-D) \\ B_{ss} = B_1D + B_2(1-D) \end{cases}$$

Vậy ta thu được hàm truyền đạt giữa đầu ra và chu kỳ đóng cắt, với tín hiệu vào $\hat{u}(s) = 0$:

$$G_{vd}(s) = \frac{\hat{x}(s)}{\hat{D}(s)} = (sI - A_{ss})^{-1} [(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)U]$$

$$\text{Hay: } G_{vd}(s) = \frac{\hat{u}_o(s)}{\hat{D}(s)} = \frac{R[(1-D)U_C - I_L Ls]}{R(D-1)^2 + Ls + RLCs^2}$$

Bộ điều khiển nguyên lý điện áp có sơ đồ như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ hệ thống điều khiển nguyên lý điều khiển điện áp

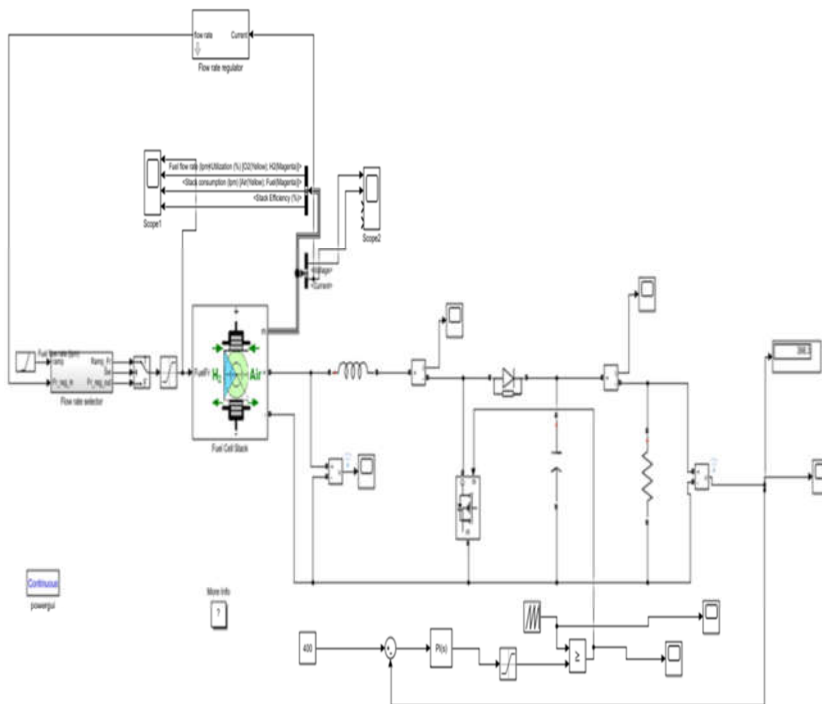
Bộ điều khiển PI có dạng như sau:

$$G_C(s) = G_{CO} \cdot \left(1 + \frac{\omega_L}{s} \right)$$

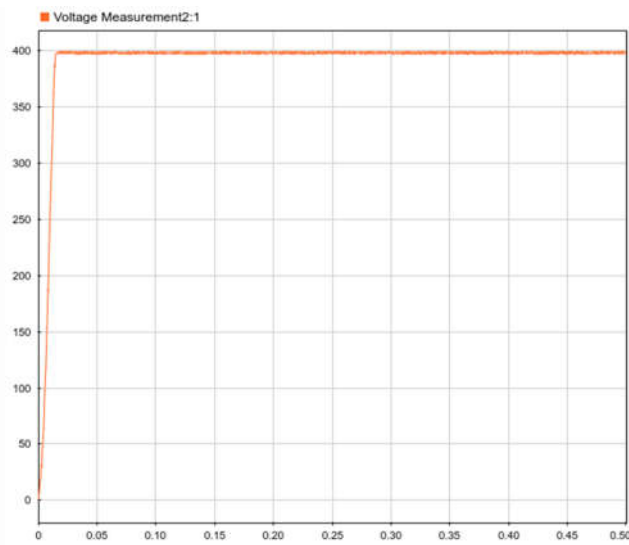
5. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Các tham số của mô hình $L = 9,375.10^{-4}H$, $C = 3,343.10^{-4}F$.
Xung răng cưa $f = 50kHz$, chu kỳ $T = 2.10^{-5}s$, điện áp $[0; 400V]$,

$R = 1000\Omega$, các hệ số: $K_i = 0,0005$, $K_p = 1$, thời gian lấy mẫu $T_s = 5.10^{-5}$, giá trị đặt 400.



Hình 5. Mô phỏng Matlab hệ thống pin nhiên liệu



Hình 6. Điện áp ra của hệ thống

Kết quả đầu ra hệ thống được khuếch đại lên mức 400VDC ổn định đúng như mục đích của ta đặt ra, không phụ thuộc vào tải, giảm sự phụ thuộc vào sự biến đổi của đầu vào, thời gian quá độ nhỏ.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày về nghiên cứu công nghệ pin nhiên liệu, xây dựng bộ điều khiển cho hệ thống pin nhiên liệu, các phương pháp mô hình hóa, phương pháp điều khiển bằng nguyên lý điều khiển điện áp được đưa ra phân tích và thiết kế. Trong đó bộ điện tử công suất đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong hệ thống.

Kết quả mô phỏng cho thấy thiết kế hệ thống pin nhiên liệu như trên hoạt động tốt và kết quả đưa ra đúng như yêu cầu, chứng minh được giải pháp đã đề xuất, có khả năng ứng dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Công Bình. *Bài giảng Năng lượng tái tạo*. Đại học Bách khoa Hồ Chí Minh.
- [2]. Jay T. Pukrushpan, Anna G. Stefanopoulou, Hwei Peng. *Modeling and Control of PEM Fuel Cell Stack System*. Automotive Research Center, Department of Mechanical Engineering, University of Michigan.
- [3]. Trần Trọng Minh, Vũ Hoàng Phương. *Thiết kế điều khiển cho các bộ biến đổi điện tử công suất*. Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [4]. Võ Minh Chính, Phạm Quốc Hải, Trần Trọng Minh, 2007. *Điện tử công suất*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [5]. Everett Rogers. *Understanding Boost Power Stages in Switchmode Power supplies*. Texas Instruments.
- [6]. Robert W. Erickson, Dragan Maksimović, 2004. *Fundamentals of Power Electronic*. Kluwer Academic Publishers.
- [7]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung, 2008. *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [8]. Nguyễn Phùng Quang, 2006. *Matlab&Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.