

# Điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC

Huỳnh Minh Ngọc<sup>1,2</sup>, Dương Hoài Nghĩa<sup>3,\*</sup>, Nguyễn Vĩnh Hào<sup>1</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## TÓM TẮT

Trong bài báo này, điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC được đề nghị. Ngõ ra của bộ biến đổi công suất boost DC-DC là dòng điện chạy qua cuộn cảm. Ngõ vào là tỉ lệ nhiệm vụ  $\mu$ . Sử dụng phép biến đổi tọa độ của các biến trạng thái và tín hiệu điều khiển, bộ biến đổi công suất boost DC-DC được chứng minh là thụ động. Hệ mới là quan sát được trạng thái 0 và điểm cân bằng ở gốc tọa độ của hệ này là ổn định tiệm cận. Sau đó, luật điều khiển dựa vào tính thụ động được áp dụng vào hệ mới này để điện áp trên tụ  $x_2$  bằng giá trị điện áp mong muốn  $V_d$  khi thay đổi tín hiệu điều khiển, tỉ lệ nhiệm vụ  $\mu$ . Các tham số của bộ điều khiển dựa vào tính thụ động cũng được chỉnh một cách tối ưu bằng giải thuật di truyền sử dụng mã hóa thập phân. Kết quả mô phỏng của điều khiển dựa vào tính thụ động là khá tốt khi thay đổi điện áp vào E, điện trở tải R, và điện áp mong muốn  $V_d$ . Khi thay đổi  $V_d$ , bộ điều khiển dựa vào tính thụ động cung cấp giá trị IAE bé (integral absolute error-IAE, tích phân sai số tuyệt đối của  $V_d$  và  $x_2$ ), sai lệch nhỏ và thời gian quá độ ngắn. Cuối cùng, kết quả mô phỏng chứng tỏ điều khiển dựa vào tính thụ động có dùng giải thuật di truyền là tốt hơn điều khiển dựa vào tính thụ động.

**Từ khóa:** Bộ biến đổi công suất boost DC-DC, điều khiển dựa vào tính thụ động, giải thuật di truyền

## GIỚI THIỆU

Điều khiển dựa vào tính thụ động và ứng dụng vào điện tử công suất đã được nghiên cứu nhiều bởi các nhà khoa học. Ortega và cộng sự<sup>1</sup> đã trình bày về điều khiển dựa vào tính thụ động và các ứng dụng trong hệ cơ điện. Tác giả cũng trình bày điều khiển dựa vào tính thụ động kết hợp điều khiển trượt cho bộ biến đổi công suất DC-DC. Các tác giả Zare Sh, Tavakolpour-Saleh AR, và Binazadeh T<sup>2</sup> trình bày kỹ thuật điều khiển dựa trên tính thụ động có tích hợp giải thuật di truyền.

Tác giả Dương Hoài Nghĩa<sup>3</sup> trình bày các phương pháp điều khiển hệ đa biến tuyến tính, điều khiển trượt hệ phi tuyến và tính thụ động. Tác giả Khalil<sup>4</sup> trình bày ổn định hệ phi tuyến dùng lý thuyết Lyapunov, tính thụ động và điều khiển dựa vào tính thụ động với áp dụng cho robot hai bậc tự do. Các tác giả Mohammedi, O. Kraa, M. Becherif, A. Aboubou, M.Y. Ayad, và M. Bahr<sup>5</sup> đã xây dựng bộ điều khiển dựa trên tính thụ động kết hợp logic mờ áp dụng vào xe điện sử dụng tế bào nhiên liệu và nguồn lai siêu dẫn.

Các tác giả Huỳnh Minh Ngọc, Dương Hoài Nghĩa và Nguyễn Vĩnh Hào<sup>6</sup> đề xuất hệ thống điều khiển robot xe đạp dùng phương pháp dựa trên tính thụ động. Robot xe đạp có tín hiệu vào thứ nhất là momen điều

khiển bánh lái và tín hiệu vào thứ hai có mối liên hệ với động năng. Hai tín hiệu ra là vận tốc góc bánh lái  $\alpha$  và vận tốc góc nghiêng của xe  $\beta$ . Robot xe đạp được chứng minh là hệ thụ động. Xét bài toán điều khiển để làm góc bánh lái  $\alpha$  bám giá trị 0 và góc nghiêng của xe  $\beta$  bám giá trị 0 để xe cân bằng thẳng đứng. Tác giả đặt biến điều khiển mới  $\eta$  để hệ là thụ động với ngõ vào  $\eta$  và ngõ ra  $y = [\alpha; \beta]$ , tức là vận tốc góc bánh lái và vận tốc góc nghiêng của xe. Ổn định hóa điểm cân bằng ở gốc tọa độ dùng điều khiển PI (proportional integral-PI) dựa trên tính thụ động. Phân tích ổn định dùng lý thuyết thụ động chứng minh rằng điểm cân bằng ở gốc tọa độ là ổn định tiệm cận trong trường hợp điều khiển PI dựa trên tính thụ động vì hệ có hàm tích trữ  $V_b$  xác định dương,  $\dot{V}_b$  bán xác định âm và hệ quan sát được trạng thái 0. Tác giả Melanie Mitchell<sup>7</sup> trình bày giới thiệu về giải thuật di truyền.

Các tác giả Zaynab Jalili Yegane, và Amin Asghari<sup>8</sup> trình bày một thiết lập cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC dựa trên điện cảm ghép tích hợp và kỹ thuật nhân điện áp (tăng áp) dùng cho ứng dụng năng lượng tái tạo. Các tác giả W.J. Gil-Gonzalez, O.D. Montoya, A. Garces, F.M. Serra và G. Magaldi<sup>9</sup> trình bày điều khiển PI dựa vào tính thụ động cho bộ biến đổi buck DC-DC để ổn định điện áp đầu ra.

<sup>1</sup>Trường ĐH Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường ĐH Công nghiệp TP. HCM, Việt Nam

<sup>3</sup>Trường ĐH Quốc tế Miền Đông, Việt Nam

### Liên hệ

**Dương Hoài Nghĩa**, Trường ĐH Quốc tế Miền Đông, Việt Nam

Email: nghia.duong@eiu.edu.vn

### Lịch sử

- Ngày nhận: 26-11-2022
- Ngày chấp nhận: 18-7-2023
- Ngày đăng: 28-7-2023

### DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i2.1053>



Check for updates

### Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Trích dẫn bài báo này:** Ngọc H M, Nghĩa D H, Hào N V. Điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2023; 6(2):1891-1905.

Các tác giả Mustafa Alrayah Hassan, Er-Ping Li, Xue Li, Tianhang Li, Chenyang Duan, và Song Chi<sup>10</sup> đã trình bày điều khiển dựa vào tính thụ động kết hợp điều khiển thích nghi của bộ biến đổi công suất buck DC-DC với tải không đổi trong hệ thống vi lưới DC. Các tác giả F. Herrera, M. Lozano, và J.L. Verdegay<sup>11</sup> đã chỉnh luật mờ và hàm thành viên của bộ điều khiển mờ bằng giải thuật di truyền và áp dụng cho hệ con lắc ngược.

Các tác giả R.F. Muktiadji, M.A.M. Ramli, H.R.E.H. Boucekara, A.H. Milyani, M. Rawa, M.M.A. Seedahmed và F.N. Budiman<sup>12</sup> đã trình bày điều khiển bộ biến đổi công suất boost DC-DC dùng điều khiển trượt cuộn chiếu dựa vào bộ quan sát cho vi lưới DC.

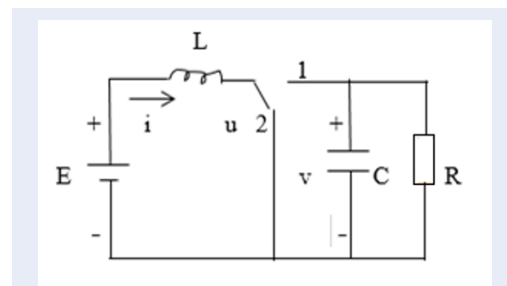
Trong bài báo này, điều khiển dựa vào tính thụ động và chỉnh tham số của bộ điều khiển dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC được đề nghị. Giải thuật di truyền dùng mã hóa thập phân. Kết quả mô phỏng được thực hiện bằng MATLAB/Simulink.

Bài báo được bố cục như sau. Giới thiệu được trình bày trong phần 1. Mô hình động học của bộ biến đổi công suất boost DC-DC và tính chất thụ động của bộ biến đổi công suất boost DC-DC được trình bày trong phần 2. Điều khiển dựa vào tính thụ động và chỉnh tham số bộ điều khiển dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC được trình bày trong phần 3. Kết quả mô phỏng và thảo luận được trình bày trong phần 4. Phần 5 kết luận bài báo.

## ĐIỀU CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### Mô hình động học của bộ biến đổi công suất boost DC-DC

Hình 1 minh họa mạch của bộ biến đổi công suất boost DC-DC được điều khiển chuyển mạch.



Hình 1: Bộ biến đổi công suất boost DC-DC.

Các phần tử thụ động gồm tụ điện C, điện cảm L và điện trở R.  $i$  là dòng điện chạy qua điện cảm, và  $v$  là

điện áp trên tụ điện. Đại lượng E dương là giá trị điện áp không đổi của nguồn điện áp ngoài. E có thể là điện áp lấy từ mạch chỉnh lưu điện áp xoay chiều hay từ điện áp ra của hệ thống quang điện (photovoltaic – PV).

Nguyên lý hoạt động: Khi khóa chuyển mạch K ở vị trí 2, dòng điện  $i$  tăng dần và tích lũy năng lượng cho cuộn cảm. Năng lượng cung cấp ngõ vào đi qua cuộn cảm. Khi khóa chuyển mạch ở vị trí 1, dòng điện  $i$  giảm dần, năng lượng từ nguồn và cuộn cảm được nạp vào tụ điện C (và cung cấp cho tải R). Bộ biến đổi công suất boost DC-DC có điện áp ra cao hơn điện áp vào (tăng áp). Tín hiệu điều khiển  $u$  là tỉ lệ nhiệm vụ  $\mu = \frac{T_1}{T}$ , T là chu kì không đổi. Ta thay đổi thời gian  $T_1$  để điều khiển điện áp  $v$  trên tụ điện.

Các tham số của mạch:  $C=68 (\mu F)$ ,  $L=0.02 (H)$ ,  $E=15 V$ ,  $R=30 \Omega$ , điện áp mong muốn của  $v$  là  $V_d=17 V$ . E thay đổi từ 12V đến 16.5V. R thay đổi từ 15  $\Omega$  đến 40  $\Omega$ .

Mô hình toán:

Mô hình chính xác<sup>1</sup>:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -(1-\alpha)\frac{1}{L}x_2 + \frac{E}{L} \\ \dot{x}_2 = (1-\alpha)\frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2 \end{cases} \quad (1)$$

Với  $\alpha = 1$  khi  $0 < t < T_1$  và  $\alpha = 0$  khi  $T_1 < t < T$ . T là hằng số.

Trong đó  $x_1 = i$ ,  $x_2 = v$ . Tín hiệu ra là  $x_1$ . Tín hiệu điều khiển  $u$  là  $u = \mu = \frac{T_1}{T}$ . Xác định  $T_1$  sao cho điện áp trên tụ  $v=x_2$  bằng hằng số.

Mô hình trung bình<sup>1</sup> được sử dụng:

Ta có hệ phương trình trạng thái mô tả hệ<sup>1</sup>:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -(1-\mu)\frac{1}{L}x_2 + \frac{E}{L} \\ \dot{x}_2 = (1-\mu)\frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2 \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó biến trạng thái  $x_1$  và  $x_2$  là các biến trung bình. Tín hiệu điều khiển  $u$  là tỉ lệ nhiệm vụ  $u = \mu = \frac{T_1}{T}$ .  $\mu$  là ngõ vào điều khiển liên tục và  $0 < \mu < 1$ . Xác định  $\mu$  sao cho điện áp trên tụ  $v=x_2$  bằng hằng số.

Điểm cân bằng của (2) là

$$x_{10} = \frac{V_d^2}{ER}; x_{20} = V_d; u_0 = \mu_0 = 1 - \frac{E}{V_d} \quad (3)$$

Thay giá trị, ta có:  $x_{10} = 0.6422$ ;  $x_{20} = 17$ ;  $\mu_0 = 0.1176$

Mục tiêu điều khiển là điện áp trên tụ  $v=x_2$  bằng giá trị mong muốn  $V_d$  khi thay đổi tỉ lệ nhiệm vụ  $\mu$ .

**Phương pháp dựa vào tính thụ động**

Định nghĩa: Cho hệ thống động sau:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, u) \\ y = h(x, u) \end{cases}$$

Trong đó hàm f là Lipschitz cục bộ, h là liên tục, f(0,0)=0, h(0,0)=0.

Hệ thống là thụ động nếu tồn tại hàm V(x) bán xác định dương, có đạo hàm riêng liên tục và thỏa mãn điều kiện:

$$u^T y \geq \dot{V} \forall (x, u) \tag{4}$$

Giả sử hệ thống có (u = 0) :  $\begin{cases} \dot{x} = f(x) \\ y = h(x) \end{cases}$

Nếu y ≡ 0 thì x ≡ 0. Hệ thống này được gọi là quan sát được trạng thái 0.

Tính chất<sup>3</sup>:

Cho hệ thống:  $\begin{cases} \dot{x} = f(x, u) \\ y = h(x) \end{cases}$

Nếu hệ thống trên thỏa mãn:

- i) Thụ động với hàm tích trữ V(x) xác định dương.
- ii) Hệ quan sát được trạng thái 0.
- iii) V(x) → ∞ khi x → ∞.

thì có thể ổn định hóa toàn cục điểm cân bằng ở gốc tọa độ bằng luật điều khiển u = -φ(y) với φ(y) thỏa φ(0) = 0; y<sup>T</sup> φ(y) > 0 ∀ y ≠ 0.

**Tính chất thụ động của bộ biến đổi công suất boost DC-DC**

Ta đổi biến như sau:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_1 &= x_1 - x_{10} = x_1 - \frac{V_d^2}{ER} \\ \tilde{x}_2 &= x_2 - x_{20} = x_2 - V_d \\ \tilde{u} &= u_1 - u_0 = u - \left(1 - \frac{E}{V_d}\right) \end{aligned} \tag{5}$$

Chú ý:  $\tilde{\dot{x}}_1 = \dot{x}_1$ ;  $\tilde{\dot{x}}_2 = \dot{x}_2$ ;  $\tilde{x} = [\tilde{x}_1, \tilde{x}_2]^T$

$$\begin{cases} \tilde{\dot{x}}_1 = \frac{\tilde{u}}{L} (\tilde{x}_2 + V_d) - \frac{E}{LV_d} \tilde{x}_2 \\ \tilde{\dot{x}}_2 = -\frac{\tilde{u}}{C} \left( \tilde{x}_1 + \frac{V_d^2}{ER} \right) + \frac{E}{Cv_d} \tilde{x}_1 - \frac{1}{RC} \tilde{x}_2 \end{cases} \tag{6}$$

Ta chọn hàm tích trữ V:

$$V(\tilde{x}) = \frac{1}{2} \tilde{x}^T \begin{bmatrix} L & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \tilde{x} = \frac{1}{2} L \tilde{x}_1^2 + \frac{1}{2} C \tilde{x}_2^2 \tag{7}$$

Hàm V là xác định dương vì V(0) = 0; V(̃x) > 0 ∀ ̃x ≠ 0

Tính đạo hàm của V:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \left( L \tilde{x}_1 \tilde{\dot{x}}_1 + C \tilde{x}_2 \tilde{\dot{x}}_2 \right) \\ &= L \tilde{x}_1 \left[ \frac{\tilde{u}}{L} (\tilde{x}_2 + V_d) - \frac{E}{LV_d} \tilde{x}_2 \right] \\ &\quad + C \tilde{x}_2 \left[ -\frac{\tilde{u}}{C} \left( \tilde{x}_1 + \frac{V_d^2}{ER} \right) + \frac{E}{Cv_d} \tilde{x}_1 - \frac{1}{RC} \tilde{x}_2 \right] \\ &= (\tilde{x}_1 \tilde{u} \tilde{x}_2 + V_d \tilde{x}_1 \tilde{u} - \frac{E}{V_d} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 - \tilde{x}_1 \tilde{u} \tilde{x}_2 \\ &\quad - \tilde{x}_2 \tilde{u} \frac{V_d^2}{ER} + \frac{E}{V_d} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 - \frac{1}{R} \tilde{x}_2^2) \\ &\Rightarrow \dot{V} = V_d \tilde{x}_1 \tilde{u} - \tilde{x}_2 \tilde{u} \frac{V_d^2}{ER} - \frac{1}{R} \tilde{x}_2^2 \\ &\Rightarrow \dot{V} = (x_{20} \tilde{x}_1 - x_{10} \tilde{x}_2) \tilde{u} - \frac{1}{R} \tilde{x}_2^2 \\ &\Rightarrow \tilde{y} \tilde{u} \geq \dot{V} + \frac{1}{R} \tilde{x}_2^2 \end{aligned} \tag{8}$$

bởi vì theo phương trình (6) và  $\tilde{y} = x_{20} \tilde{x}_1 - x_{10} \tilde{x}_2$ . Suy ra hệ (6) với ngõ vào  $\tilde{u}$  và ngõ ra  $\tilde{y} = x_{20} \tilde{x}_1 - x_{10} \tilde{x}_2$  là thụ động vì  $\tilde{y} \tilde{u} \geq \dot{V} + \psi(\tilde{x}) \Rightarrow \tilde{y} \tilde{u} \geq \dot{V}$  với  $\psi(\tilde{x}) = \frac{1}{R} \tilde{x}_2^2 \geq 0$  là bán xác định dương, bởi vì  $\psi(0) = 0$ ;  $\psi(\tilde{x}_2) > 0 \forall \tilde{x}_2 \neq 0$ .

Hệ (6) là quan sát được trạng thái 0 vì khi cho  $\tilde{u} = 0, \tilde{y} \equiv 0 \Rightarrow \tilde{x}_1 \equiv 0 \Rightarrow \tilde{x}_2 \equiv 0 \Rightarrow \tilde{x} \equiv 0$ .

Đạo hàm V:

$$\begin{aligned} \tilde{y} \tilde{u} &\geq \dot{V} + \psi(\tilde{x}) \Rightarrow \dot{V} \leq \tilde{y} \tilde{u} - \psi(\tilde{x}) \\ &\Rightarrow \dot{V} \leq \tilde{y} \varphi(\tilde{y}) - \psi(\tilde{x}) \leq 0, \\ \varphi(0) &= 0, \tilde{y} \varphi(\tilde{y}) > 0 \forall \tilde{y} \neq 0 \end{aligned}$$

vi hệ (6) là thụ động và theo tính chất<sup>3</sup>:  $\tilde{u} = -\varphi(\tilde{y})$ . Vậy  $\dot{V} \leq 0$  là bán xác định âm.

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA VÀO TÍNH THỤ ĐỘNG**

**Điều khiển dựa vào tính thụ động**

Trong mục 2.3, bộ biến đổi boost DC-DC được chứng minh là thụ động.

Vậy điểm cân bằng ở gốc tọa độ của hệ (6) là ổn định tiệm cận vì hệ có hàm tích trữ V xác định dương, đạo hàm  $\dot{V}$  bán xác định âm và hệ quan sát được trạng thái 0.

Theo tính chất<sup>3</sup>, luật điều khiển để ổn định hóa điểm cân bằng ở gốc tọa độ là

$$\tilde{u} = -\varphi(\tilde{y}), \varphi(0) = 0, \tilde{y} \varphi(\tilde{y}) > 0 \forall \tilde{y} \neq 0 \tag{9}$$

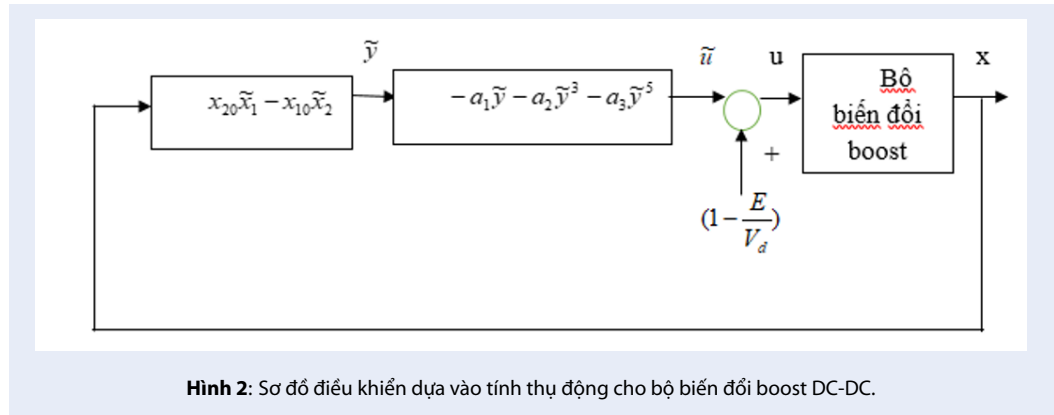
Ta chọn

$$\begin{aligned} \varphi(\tilde{y}) &= a_1 \tilde{y} + a_2 \tilde{y}^3 + a_3 \tilde{y}^5, \\ \varphi(0) &= 0, \tilde{y} \varphi(\tilde{y}) > 0 \forall \tilde{y} \neq 0 \end{aligned} \tag{10}$$

Vậy luật điều khiển u là:

$$\begin{aligned} u &= -a_1 [V_d \left( x_1 - \frac{V_d^2}{ER} \right) - \frac{V_d^2}{ER} (x_2 - V_d)] \\ &\quad - a_2 \left[ \left( x_1 - \frac{V_d^2}{ER} \right) - \frac{V_d^2}{ER} (x_2 - V_d) \right]^3 \\ &\quad - a_3 \left[ \left( x_1 - \frac{V_d^2}{ER} \right) - \frac{V_d^2}{ER} (x_2 - V_d) \right]^5 + \left( 1 - \frac{E}{V_d} \right) \end{aligned} \tag{11}$$

Sơ đồ điều khiển được minh họa ở Hình 2.



Hình 2: Sơ đồ điều khiển dựa vào tính thụ động cho bộ biến đổi boost DC-DC.

**Chỉnh tham số của bộ điều khiển hồi tiếp tính dùng giải thuật di truyền**

Hệ (2) được điều khiển bởi luật điều khiển (11) trong đó a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, và a<sub>3</sub> là không âm để điều kiện (9) được thỏa mãn. Xác định a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> và a<sub>3</sub> sao cho hàm mục tiêu

$$J = \int_0^{+\infty} (q_1 \tilde{x}_1^2(t) + q_2 \tilde{x}_2^2(t) + \tilde{u}^2(t)) dt \quad (12)$$

tối thiểu với q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>>0.

Ta dùng giải thuật di truyền với mã hóa thập phân; chọn lọc sắp hạng tuyến tính; lai ghép hai điểm; xác suất lai ghép 0.9; đột biến đều nhiều điểm; xác suất đột biến 0.1; thông số θ được mã hóa thành thành nhiễm sắc thể có 3 đoạn gen ứng với a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, và a<sub>3</sub>; tầm giá trị: 0 ≤ a<sub>1</sub> ≤ 50; 0 ≤ a<sub>2</sub> ≤ 50; 0 ≤ a<sub>3</sub> ≤ 50; số thế hệ tối đa là 100; kích thước quần thể là 20; Độ chính xác: ε = 10<sup>-5</sup>.

Rời rạc hóa:

$$J = \sum_{k=1}^N q_1 \tilde{x}_1^2(k) + q_2 \tilde{x}_2^2(k) + \tilde{u}^2(k) = \sum_{k=1}^N q_1 \left[ x_1(k) - \frac{17 \times 17}{15 \times 30} \right]^2 + q_2 [x_2(k) - 17]^2 + [u(k) - 0.1176]^2 \quad (13)$$

Hàm thích nghi:  $fitness = \frac{1}{J+C}$  với C = 10<sup>-5</sup>.

x<sub>1</sub>(k), x<sub>2</sub>(k) là các biến trạng thái, và u(k) là tín hiệu điều khiển ở mẫu thứ k.

Giải mã thập phân để biết a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> và a<sub>3</sub>.

Lai ghép chọn 2 nhiễm sắc thể từ một quần thể cho trước để kết hợp lại với hi vọng tạo ra nhiễm sắc thể mới để đạt được cá thể tốt nhất. Hai nhiễm sắc thể được chọn dựa vào hàm thích nghi của chúng. Lai ghép sử dụng quá trình lặp, mong đợi xuất hiện nhiễm sắc thể tốt nhất thường xuyên trong quần thể để có nghiệm tốt hơn toàn cục. Lai ghép có thể là lai ghép 1 điểm, lai ghép 2 điểm và lai ghép đều. Trong bài báo này lai ghép 2 điểm được chọn vì khả năng tạo nhiễm sắc thể con có nhiều gen tốt hơn thừa hưởng từ cha và mẹ.

Đột biến được thực hiện sau lai ghép để bảo trì tính đa dạng của quần thể. Đột biến gồm có đột biến 1 điểm và đột biến nhiều điểm. Trong bài báo này, đột biến đều với nhiều điểm được sử dụng để tăng sự đột biến gen và làm tăng tính đa dạng của quần thể.

**KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN**

Điều kiện đầu: x<sub>1</sub>(0) = 0 A, x<sub>2</sub>(0) = 0 V

Các thông số của mạch: C=68 (μF), R=30 Ω, L=0.02 (H), E=15 (V), V<sub>d</sub>=17 (V)

Thông số ban đầu của bộ PBC: a<sub>1</sub>=1.3, a<sub>2</sub>=21.7, a<sub>3</sub>=13

**Điều khiển dựa vào tính thụ động**

**Đáp ứng với sự thay đổi của E:** Lúc bắt đầu mô phỏng E=15V. Tại t= 15 ms, E tăng lên 16.5V và tại t=30 ms, E giảm xuống còn 15V. Kết quả được minh họa ở Hình 3 và Bảng 2.

Hình 3 là kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC: tín hiệu dòng điện i và tín hiệu vào μ, và trạng thái x<sub>2</sub>=v khi thay đổi điện áp E.

Giá trị IAE (integral absolute error-IAE, tích phân của trị tuyệt đối sai số của V<sub>d</sub> và x<sub>2</sub>) là 0.0411. Điện áp trên tụ bằng 17 và có vọt lố tại các điểm 15 ms và 30 ms khi E thay đổi. Vậy điện áp trên tụ được giữ ổn định. Kết quả mô phỏng là khá tốt.

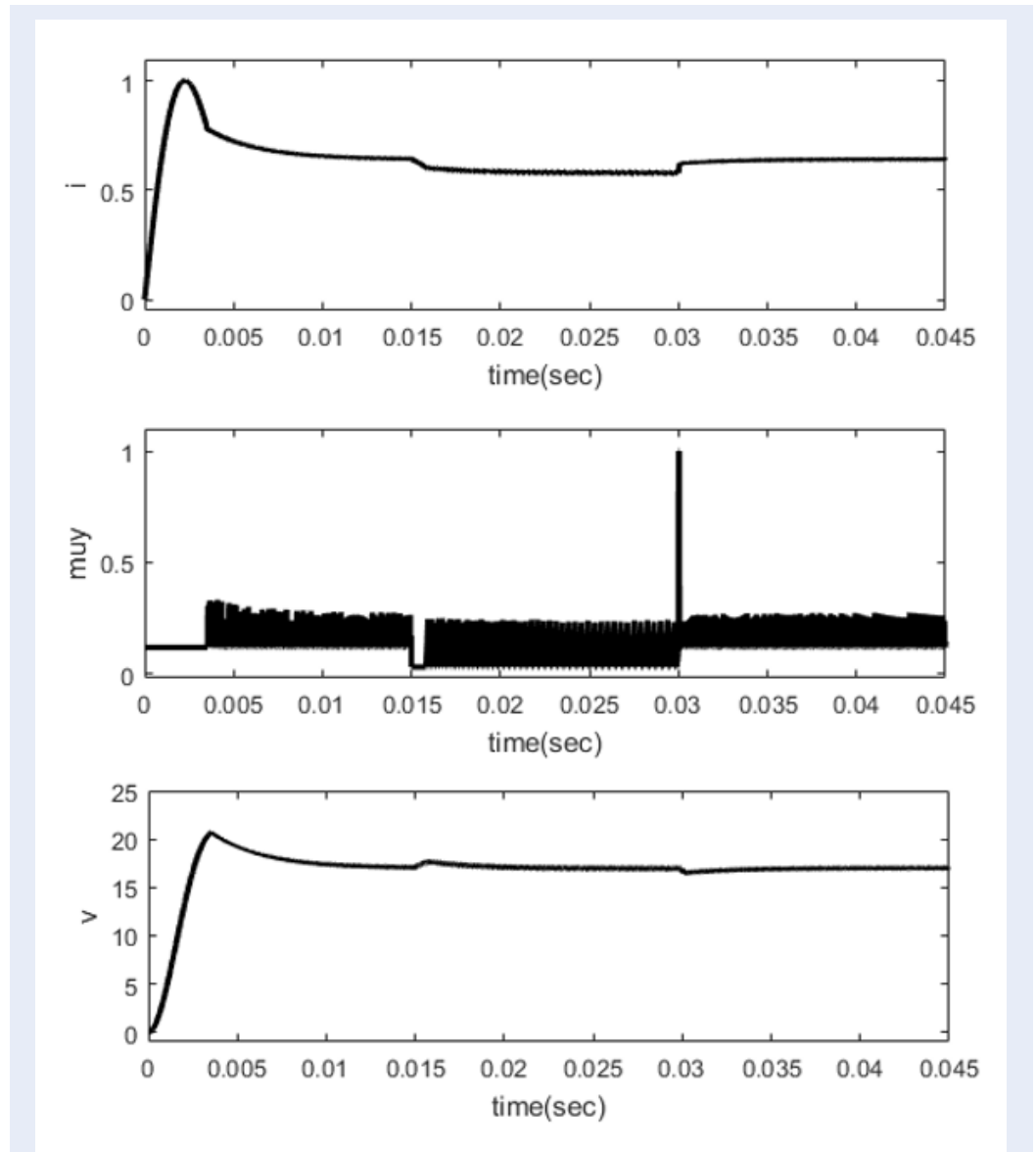
**Đáp ứng với sự thay đổi của R:** Khi bắt đầu mô phỏng R=30 Ω. Tại t=15 ms, R tăng lên 40 Ω. Tại t=30 ms, R giảm xuống 30 Ω. Kết quả được minh họa ở Hình 4 và Bảng 3.

Hình 4 là kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC: tín hiệu dòng điện i và tín hiệu vào μ, và trạng thái x<sub>2</sub>=v với điện trở R thay đổi.

Giá trị IAE là 0.0472. Điện áp trên tụ bằng 17, và có vọt lố tại các điểm 15 ms và 30 ms khi R thay đổi. Vậy điện áp trên tụ được giữ ổn định. Kết quả mô phỏng là khá tốt.

**Bảng 1: Các tham số  $a_1$ ,  $a_2$ , và  $a_3$**

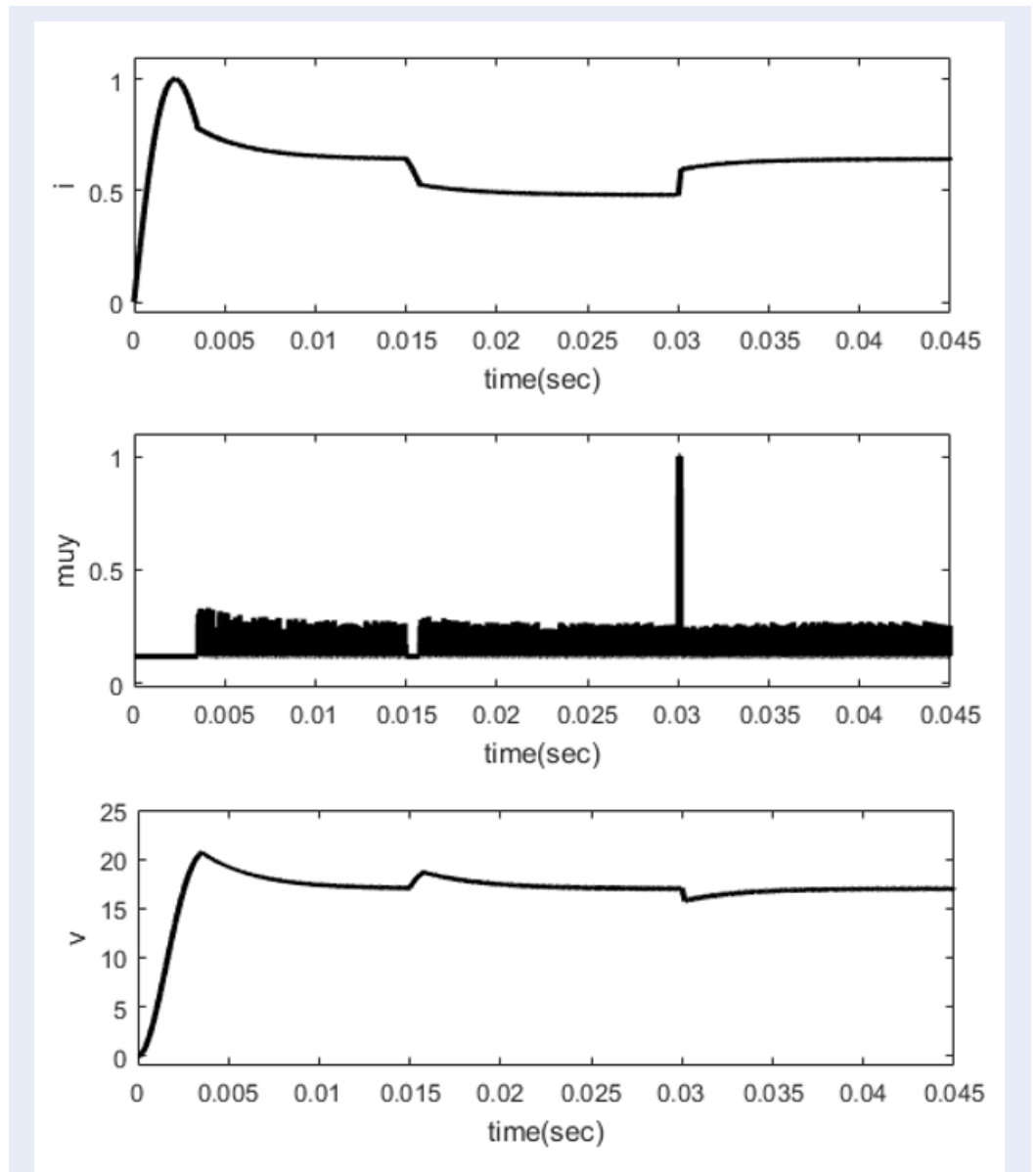
Tham số	Mã hóa	Đoạn gien	Chữ số có nghĩa	Vị trí dấu chấm thập phân	Độ chính xác
$a_1$	Thập phân	1	5	2	$\epsilon = 10^{-5}$
$a_2$	Thập phân	2	5	2	$\epsilon = 10^{-5}$
$a_3$	Thập phân	3	5	2	$\epsilon = 10^{-5}$



**Hình 3:** Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC khi E thay đổi.

**Bảng 2: Kết quả điều khiển PBC khi điện áp E thay đổi.**

Tăng (+1.5V)		Giảm (-1.5V)	
$\Delta V =  V_d - x_2 $ (V)	Thời gian quá độ $t_{x1}$ (ms)	$\Delta V$ (V)	Thời gian quá độ $t_{x1}$ (ms)
x2 có $\Delta V$ là 0.65	x2 có $t_{x1}$ = 5 ms	x2 có $\Delta V$ là 0.53	x2 có $t_{x1}$ = 5 ms



Hình 4: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC khi điện trở R thay đổi.

Bảng 3: Kết quả điều khiển PBC khi điện trở R thay đổi.

Tăng (+10 Ω)		Giảm (-10 Ω)	
$\Delta V$ (V)	$t_{xl}$ (ms)	$\Delta V$ (V)	$t_{xl}$ (ms)
$x_2$ có $\Delta V$ là 1.67	$x_2$ có $t_{xl} = 9$ ms	$x_2$ có $\Delta V$ là 1.267	$x_2$ có $t_{xl} = 9$ ms

**Đáp ứng với sự thay đổi của  $V_d$ :** Từ lúc bắt đầu mô phỏng  $V_d = 17V$ . Tại  $t=15$  ms,  $V_d$  giảm xuống 16V và tại  $t=30$  ms,  $V_d$  tăng lên lại 17V. Kết quả được minh họa ở Hình 5 và Bảng 4.

Hình 5 là kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC: tín hiệu dòng điện  $i$  và tín hiệu vào  $\mu$ , và trạng thái  $x_2=v$  với  $V_d$  thay đổi.

Giá trị IAE là 0.0451. Điện áp trên tụ thay đổi bám theo  $V_d$  và có vọt lố tại các điểm 15 ms và 30 ms khi điện áp mong muốn  $V_d$  thay đổi. Kết quả mô phỏng chúng tôi bộ điều khiển PBC cung cấp giá trị IAE bé (IAE là 0.0451), sai lệch  $\Delta V$  nhỏ, và thời gian quá độ ngắn. Kết quả mô phỏng là khá tốt.

### Điều khiển dựa vào tính thụ động kết hợp giải thuật di truyền

Kết quả điều khiển dựa vào tính thụ động trước khi dùng GA và dùng để lấy dữ liệu cho chỉnh tham số dùng GA.

Giá trị ban đầu của bộ điều khiển PBC:  $a_1=1.3$ ,  $a_2=21.7$ ,  $a_3=13$ .

Hình 6 là kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC (điều khiển dựa vào tính thụ động): tín hiệu dòng điện  $i$  và tín hiệu điều khiển  $\mu$ , và trạng thái  $x_2=v$ .

Kết quả ở Hình 6 cho thấy tín hiệu ra  $y=i$  bằng 0.6422, và có sai lệch  $\Delta Y = |\frac{V_d^2}{ER} - y|$  (A) là 0.3598, và thời gian quá độ là 6.5 ms. Tín hiệu  $\mu$  bằng 0.1176 có dao động với tần số cao. Trạng thái  $x_1$  là dòng điện  $i$ . Trạng thái  $x_2$  là điện áp trên tụ điện, bằng 17, và có sai lệch điện áp  $\Delta V = |V_d - x_2|$  (V) là 3.7085 và thời gian quá độ  $t_{cl}$  là 7.5 ms. Giá trị IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ .

Kết quả PBC sau khi dùng GA:

- Trường hợp 1:  $q_1=1$ ,  $q_2=1$

Kết quả điều khiển thể hệ 0:  $a_{10}=1.7223$ ,  $a_{20}=21.7372$ ,  $a_{30}=19.0779$ ,  $J_0 = 34608$

Kết quả điều khiển tối ưu sau khi chỉnh định tham số dùng GA:

$a_1 = 1.272$ ,  $a_2 = 21.756$ ,  $a_3 = 13.073$ ,  $J = 34590$ .

Dùng ở thể hệ 51. Nhiệm sắc thể tốt nhất: 1

Hình 7 là hàm mục tiêu  $J$ . Hình 8 là kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC – GA (điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền): tín hiệu dòng điện  $i$ , tín hiệu điều khiển  $\mu$  và trạng thái  $x_2=v$  với  $q_1=1$ ,  $q_2=1$ .

Kết quả ở Hình 8 cho thấy tín hiệu ra  $y=i$  bằng 0.6422, và có sai lệch  $\Delta Y = |\frac{V_d^2}{ER} - y|$  (A) là 0.3578 và thời gian quá độ là 6.5 ms. Tín hiệu  $\mu$  bằng 0.1176 có dao động với tần số cao. Trạng thái  $x_1$  là dòng điện  $i$ . Trạng thái  $x_2$  là điện áp trên tụ điện, bằng 17, và có sai lệch điện áp  $\Delta V = |V_d - x_2|$  (V) là 3.708, và thời gian quá độ là 7.4 ms. Giá trị IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ .

Kết quả dùng giải thuật di truyền là khá tốt. GA được tích hợp vào quá trình thiết kế bộ điều khiển dựa vào tính thụ động và chỉnh tối ưu tham số  $a_1$ ,  $a_2$  và  $a_3$ . Giá trị  $q_1$  ảnh hưởng đến ngõ ra  $y$  (là  $x_1$ ), làm giảm sai lệch ( $\Delta Y = |\frac{V_d^2}{ER} - y|$  (A) là 0.3578) so với kết quả PBC ( $\Delta Y$  là 0.3598). Giá trị  $q_2$  ảnh hưởng đến trạng thái  $x_2$  làm giảm sai lệch ( $\Delta V$  là 3.708) so với PBC ( $\Delta V$  là 3.7085), và thời gian quá độ là 7.4 ms nhỏ hơn so với PBC ( $t_{cl}$  là 7.5 ms), và có giá trị IAE bằng nhau (giá trị IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ ) so với PBC (giá trị IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ ). Điện áp trên tụ điện  $x_2$  bằng giá trị mong muốn  $V_d=17$  (V).

So sánh Hình 6 và Hình 8, kết quả điều khiển dựa vào tính thụ động và điều khiển dựa vào tính thụ động có dùng GA được minh họa ở Hình 9 và Bảng 5.

Kết quả mô phỏng ở Hình 9 cho thấy điều khiển dựa vào tính thụ động có dùng GA tốt hơn điều khiển dựa vào tính thụ động.

- Trường hợp 2:  $q_1=5$ ,  $q_2=5$

Kết quả điều khiển thể hệ 0:  $a_{10}=0.8033$ ,  $a_{20}=22.5011$ ,  $a_{30}=34.7765$ ,  $J_0 = 172790$ .

Kết quả điều khiển tối ưu sau khi chỉnh định tham số dùng GA:

$a_1 = 0.22$ ,  $a_2 = 20.573$ ,  $a_3 = 12.77$ ,  $J_0 = 172600$ .

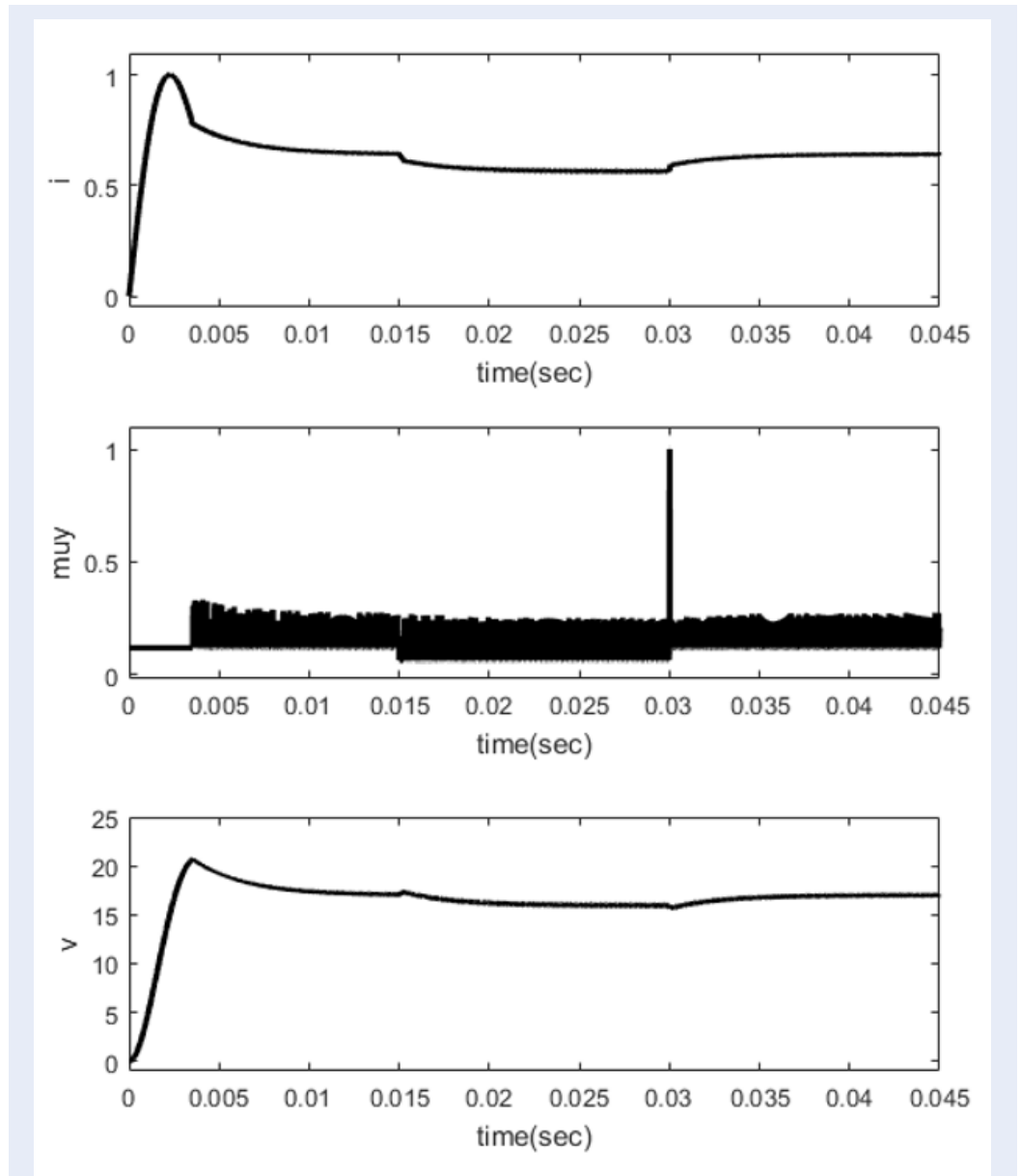
Dùng ở thể hệ 51. Nhiệm sắc thể tốt nhất: 1

Hình 10 là hàm mục tiêu  $J$ . Hình 11 kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC – GA: tín hiệu dòng điện  $i$ , tín hiệu điều khiển và trạng thái  $x_2$  với  $q_1=5$ ,  $q_2=5$ .

Kết quả ở Hình 11 cho thấy tín hiệu ra  $y=i$  có sai lệch  $\Delta Y = |\frac{V_d^2}{ER} - y|$  (A) là 0.3578, thời gian quá độ là 6 ms, và  $y$  bằng 0.638. Tín hiệu vào  $\mu$  bằng 0.1176 dao động với tần số cao. Trạng thái  $x_1$  là dòng điện  $i$ . Trạng thái  $x_2$  là điện áp trên tụ, có sai lệch điện áp  $\Delta V = |V_d - x_2|$  (V) là 3.72, và  $x_2$  bằng 16.95 với tần số cao. Giá trị IAE là  $37.2 \times 10^{-3}$ . Điện áp trên tụ điện  $x_2$  gần bằng giá trị mong muốn  $V_d=17$  (V).

Kết quả dùng giải thuật di truyền là khá tốt. GA được tích hợp vào quá trình thiết kế bộ điều khiển dựa vào tính thụ động và chỉnh tối ưu tham số  $a_1$ ,  $a_2$  và  $a_3$ . Giá trị  $q_1$  ảnh hưởng đến ngõ ra  $y$  (là  $x_1$ ), làm giảm thời gian quá độ ( $t_{cl}$  là 6 ms). Giá trị  $q_2$  ảnh hưởng đến trạng thái  $x_2$  làm tăng sai lệch ( $\Delta V$  (V) là 3.72) và làm giảm giá trị IAE (giá trị IAE là  $37.2 \times 10^{-3}$ ).

So sánh trường hợp i)  $q_1=1$ ,  $q_2=1$  và ii)  $q_1=5$ ,  $q_2=5$ , khi tăng  $q_1$ , tín hiệu  $y=x_1$  có ảnh hưởng nghĩa là thời gian quá độ ở trường hợp  $q_1=5$  giảm đi ( $t_{cl}$  là 6 ms) so với kết quả ở trường hợp  $q_1=1$  ( $t_{cl}$  là 6.5 ms). Khi tăng  $q_2$  thì tín hiệu  $x_2$  có ảnh hưởng, nghĩa là sai lệch ở trường hợp  $q_2=5$  ( $\Delta V$  (V) là 3.72) tăng lên so với kết quả ở trường hợp  $q_2=1$  ( $\Delta V$  (V) là 3.708). Tuy nhiên giá trị IAE là  $37.2 \times 10^{-3}$  giảm đi so với kết quả ở trường hợp  $q_2=1$  (IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ ).



Hình 5: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC với  $V_d$  thay đổi.

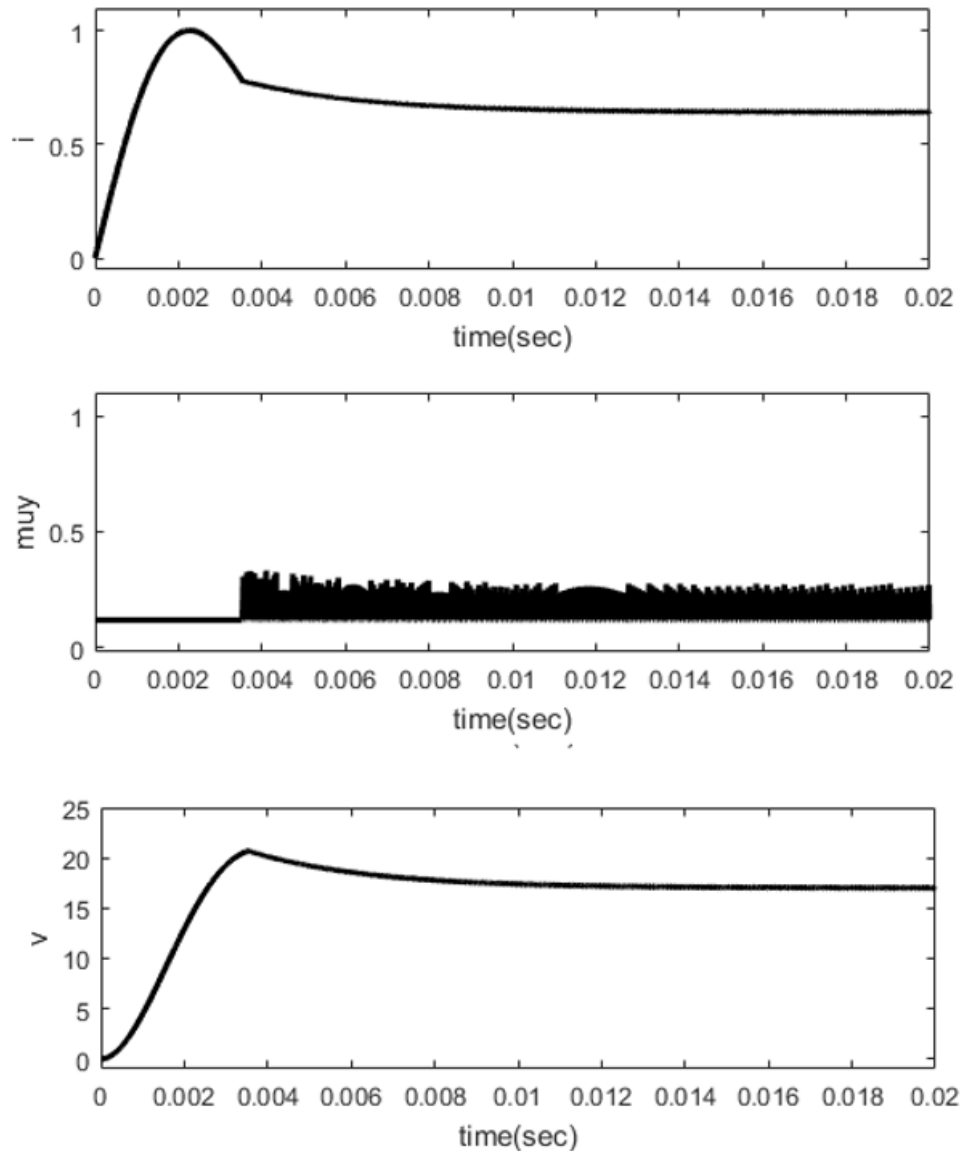
Bảng 4: Kết quả điều khiển PBC khi điện áp mong muốn  $V_d$  thay đổi.

Giảm (-1V)		Tăng (+1V)	
$\Delta V$ (V)	$t_{vl}$ (ms)	$\Delta V$ (V)	$t_{vl}$ (ms)
$x_2$ có $\Delta V$ là 0.325	$x_2$ có $t_{vl}$ = 6 ms	$x_2$ có $\Delta V$ là 0.353	$x_2$ có $t_{vl}$ = 6 ms

Bảng 5: Kết quả PBC và PBC-GA ( $q_1=1, q_2=1$ ).

Bộ điều khiển	$\Delta V$ (V)	$t_{vl}$ (ms)
PBC	$x_2$ có $\Delta V$ là 3.7085	$x_2$ có $t_{vl}$ là 7.5 ms
PBC - GA	$x_2$ có $\Delta V$ là 3.708	$x_2$ có $t_{vl}$ là 7.4 ms





Hình 6: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC.

## KẾT LUẬN

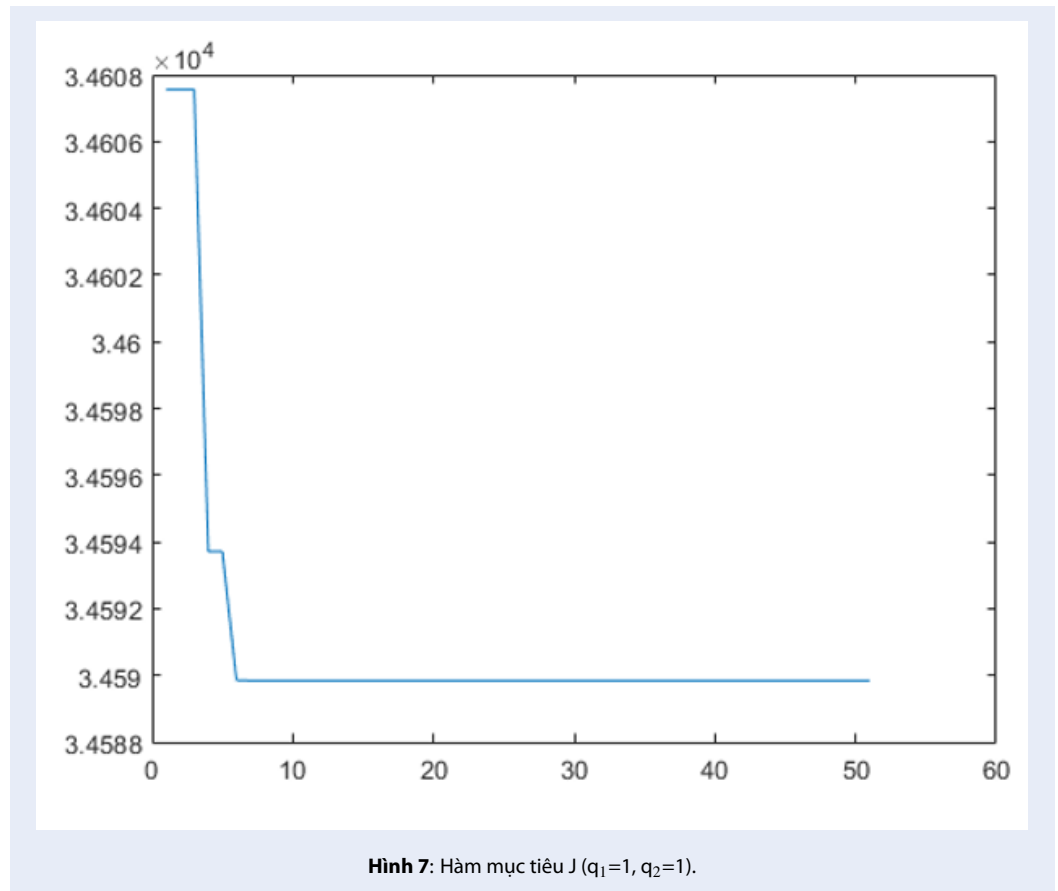
Điều khiển dựa vào tính thụ động cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC được đề nghị. Điểm cân bằng ở gốc tọa độ của hệ (6) là ổn định tiệm cận. Kết quả mô phỏng điều khiển dựa vào tính thụ động trong 3 trường hợp: thay đổi điện áp vào E, thay đổi điện trở tải R và thay đổi điện áp mong muốn  $V_d$ . Kết quả mô phỏng chứng tỏ điện áp trên tụ  $x_2$  giữ ổn định quanh giá trị đặt  $V_d$  là 17V khi thay đổi R và khi thay đổi E. Khi thay đổi  $V_d$ , bộ điều khiển cung cấp giá trị IAE bé, sai lệch nhỏ, và thời gian quá độ ngắn. Kết quả

mô phỏng là khá tốt.

Chính tham số của bộ điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền cho bộ biến đổi công suất boost DC-DC được đề nghị.

Kết quả dùng giải thuật di truyền là khá tốt. GA mã hóa thập phân được tích hợp vào quá trình thiết kế bộ điều khiển dựa vào tính thụ động và chỉnh tối ưu tham số  $a_1$ ,  $a_2$  và  $a_3$ .

Giá trị  $q_1$  ảnh hưởng đến ngõ ra  $y$  (là  $x_1$ ), làm giảm thời gian quá độ. Giá trị  $q_2$  ảnh hưởng đến trạng thái  $x_2$  có giá trị IAE nhỏ hơn trường hợp không dùng GA.



So sánh trường hợp i)  $q_1=1, q_2=1$  và ii)  $q_1=5, q_2=5$ , khi tăng  $q_1$ , tín hiệu  $y=x_1$  có ảnh hưởng nghĩa là thời gian quá độ ở trường hợp  $q_1=5$  giảm đi ( $t_{x1}$  là 6 ms) so với kết quả ở trường hợp  $q_1=1$  ( $t_{x1}$  là 6.5 ms). Khi tăng  $q_2$  thì tín hiệu  $x_2$  có ảnh hưởng, nghĩa là sai lệch ở trường hợp  $q_2=5$  ( $\Delta V$  (V) là 3.72) tăng lên so với kết quả ở trường hợp  $q_2=1$  ( $\Delta V$  (V) là 3.708). Tuy nhiên giá trị IAE là  $37.2 \times 10^{-3}$  giảm đi so với kết quả ở trường hợp  $q_2=1$  (IAE là  $37.7 \times 10^{-3}$ ).

Kết quả mô phỏng cho thấy điều khiển dựa vào tính thụ động có dùng GA tốt hơn điều khiển dựa vào tính thụ động.

### DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

**PBC** (passivity-based control): Điều khiển dựa vào tính thụ động

**GA** (genetic algorithm): Giải thuật di truyền

**PBC – GA** (passivity-based control using GA): Điều khiển dựa vào tính thụ động dùng giải thuật di truyền

### XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Bản thảo bài báo không có xung đột lợi ích với các tác giả khác và chưa được gửi bài ở các tạp chí khác.

### ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

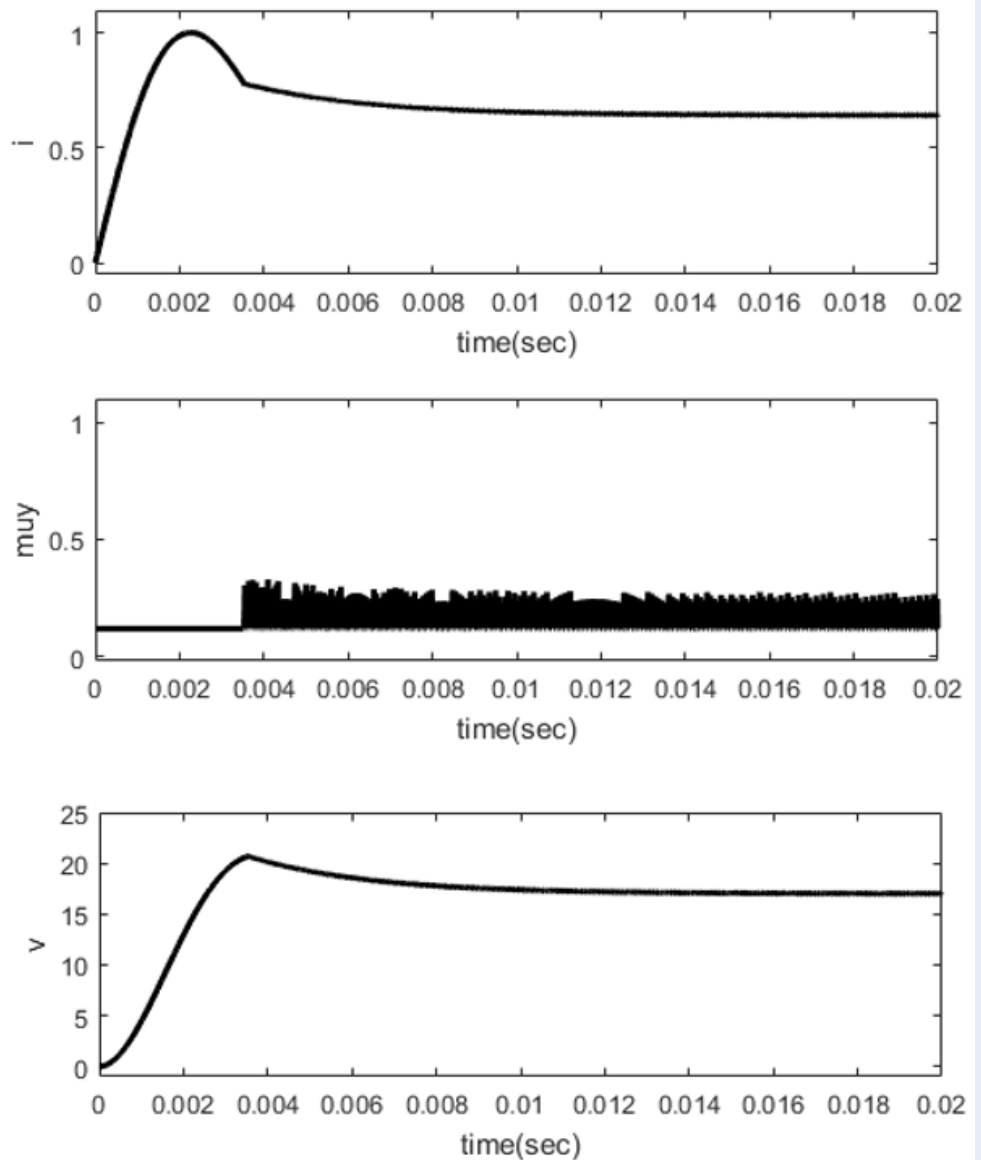
Tác giả Dương Hoài Nghĩa: là người hướng dẫn, đưa ra ý tưởng nghiên cứu đề tài; đóng góp ý kiến nhiều để tác giả Huỳnh Minh Ngọc viết và chỉnh lại bài báo. Là tác giả chịu trách nhiệm (main contact author) bài báo, duyệt cho nộp bài báo.

Tác giả Nguyễn Vĩnh Hào: là người hướng dẫn, đưa ra ý tưởng nghiên cứu đề tài; góp ý cho bài báo, tham gia.

Tác giả Huỳnh Minh Ngọc, là tác giả đầu (first author), người viết bản thảo bài báo, thực hiện mô phỏng và viết chỉnh sửa theo góp ý phản biện và theo các góp ý của tác giả Dương Hoài Nghĩa và Nguyễn Vĩnh Hào.

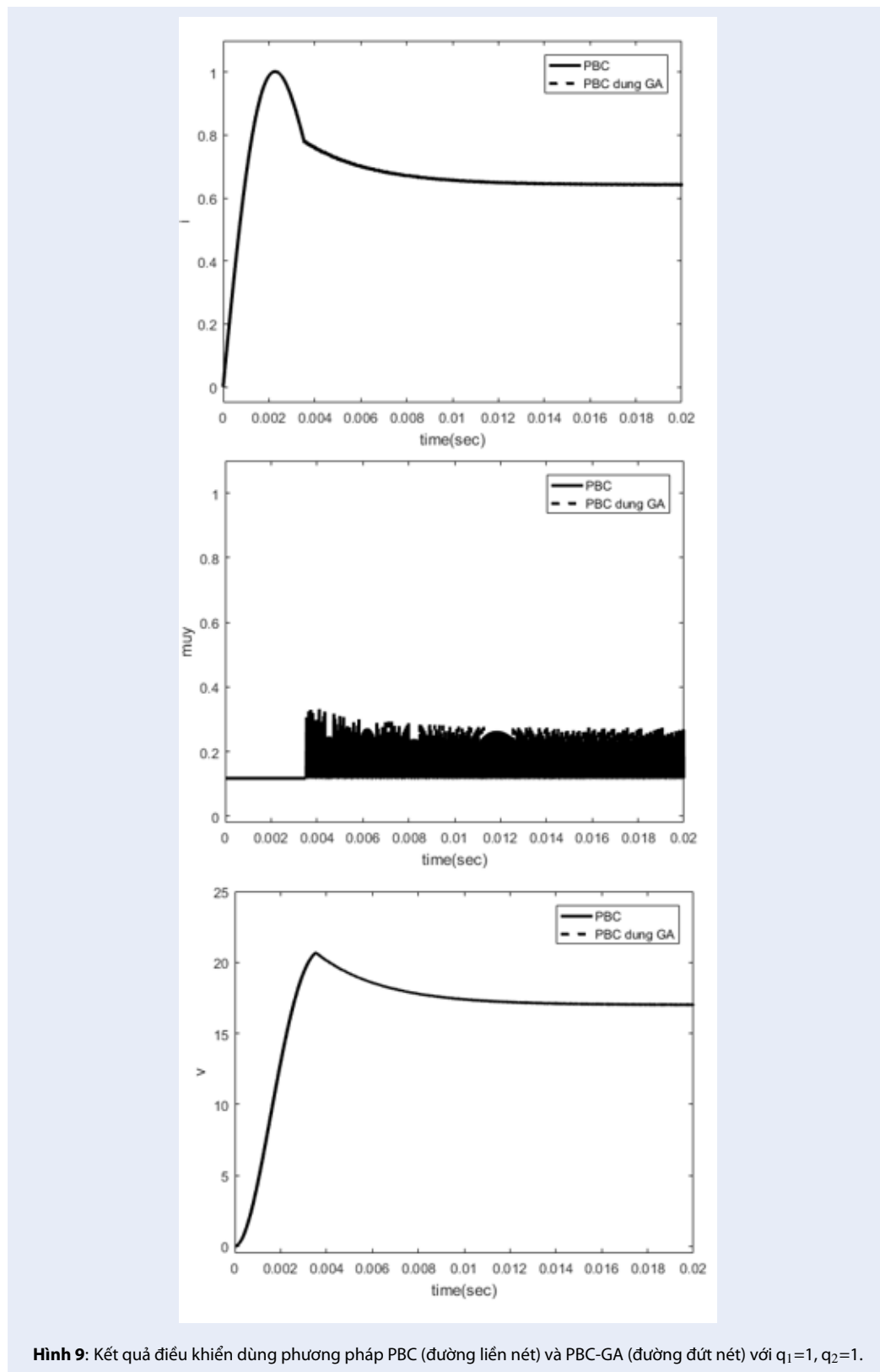
### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ortega R, Loria A, Nicklasson PJ, Sira-Ramirez H. Passivity-based control of Euler-Lagrange systems. Springer-Verlag; 1998. 543 p; Available from: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3603-3>.
- Zare Sh, Tavakolpour-Saleh AR, Binazadeh T. Passivity-based control technique incorporating genetic algorithm for design of a free piston Stirling engine. Renew Energy Focus. 2019;28(00):66-; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.11.003>.

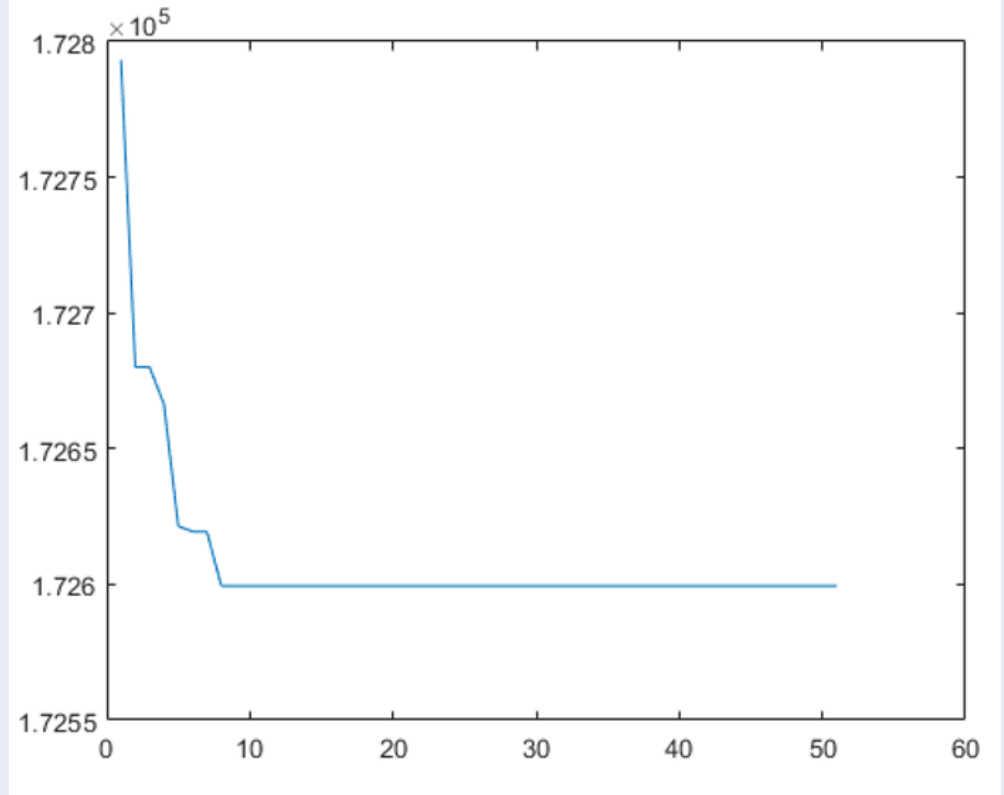


Hình 8: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC - GA với  $q_1=1, q_2=1$ .

3. Nghĩa DH. Điều khiển hệ thống đa biến. TP. HCM: NXB ĐHQG, 2013. 199 trang;
4. Khalil HK. Nonlinear systems. 3rd ed. NJ: Prentice Hall; 2002. 768 p;
5. Mohammedi O, Kraa M, Becherif A, Aboubou MY, Ayad, and M. Bahri. Fuzzy logic and passivity based controller applied to electric vehicle using fuel cell and supercapacitors hybrid source. Energy Procedia. The International conference on Technologies and Materials for renewable energy, environment and sustainability TMREES14. Vol. 50; 2014. p. 619-26; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.076>.
6. Ngọc HM, Nghĩa DH, Hào NV. Điều khiển dựa vào tính thụ động cho robot xe đạp. Tạp chí Phát triển khoa học và công nghệ - Kỹ thuật và công nghệ. 2022;5(2):1520-7;
7. Mitchell M. An introduction to genetic algorithms. The MIT Press; 1999; Available from: <https://doi.org/10.7551/mitpress/3927.001.0001>.
8. Yegane ZJ, Asghari A. A new high step-up DC/DC converter based on integrating coupled-inductor and voltage multiplier cell techniques for renewable energy applications. IEEE Publications; 2020; Available from: <https://doi.org/10.1109/PEDSTC49159.2020.9088475>.
9. Gil-Gonzalez WJ, Montoya OD, Garces A, Serra FM, Magaldi G. Output voltage regulation for dc-dc buck converter: a passivity-based PI design 10th Latin American Symposium on circuits and systems, Feb 24-27 2019, Colombia. IEEE Publications; 2019. p. 189-92; Available from: <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2019.8667557>.
10. Hassan MA, Li E-P, Li X, Li Tianhang, Duan C, Chi S. Adap-



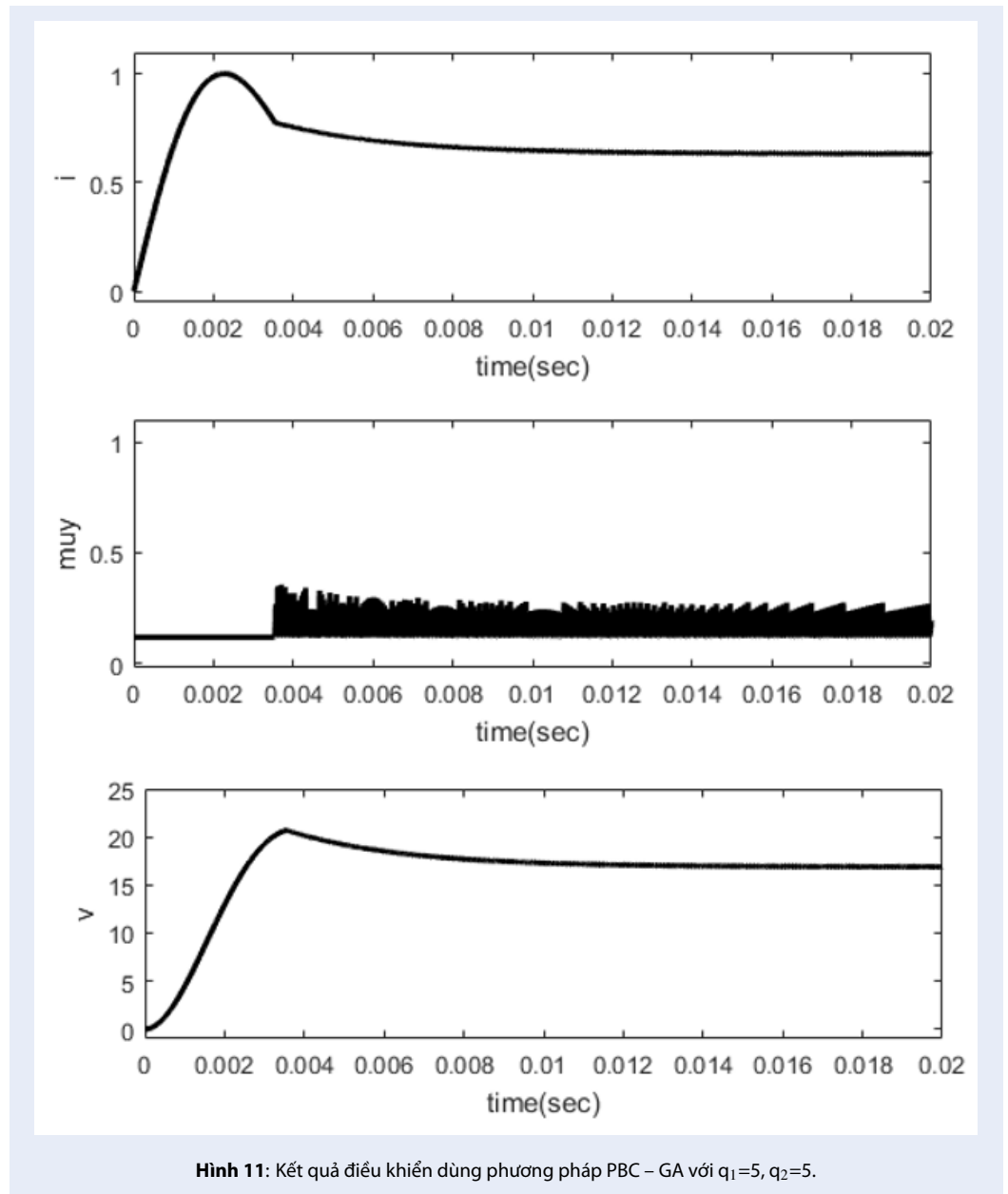
Hình 9: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC (đường liền nét) và PBC-GA (đường đứt nét) với  $q_1=1, q_2=1$ .



Hình 10: Hàm mục tiêu  $J$  ( $q_1=5, q_2=5$ ).

- Passivity-Based Control of dc-dc Buck Power Converter with Constant Power Load in DC microgrid Systems. IEEE J Emerg Sel Top Power Electron. 2019;7(3):2029-40; Available from: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2874449>.
11. Herrera F, Lozano M, Verdegay JL. Tuning fuzzy logic controller by genetic algorithms. Int J Approx Reason. 1995;12(3-4):299-315; Available from: [https://doi.org/10.1016/0888-613X\(94](https://doi.org/10.1016/0888-613X(94)

- 00033-Y.
12. Muktiadji RF, Ramli MAM, Bouchekara HREH, Milyani AH, Rawa M, Seedahmed MMA et al. Control of boost converter using observer-based backstepping sliding mode control for DC microgrid. Front Energy Res. March 2022;10; Available from: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.828978>.



Hình 11: Kết quả điều khiển dùng phương pháp PBC – GA với  $q_1=5, q_2=5$ .

# Passivity - based control using genetic algorithm for a DC-DC boost power converter

Huynh Minh Ngoc<sup>1,2</sup>, Duong Hoai Nghia<sup>3,\*</sup>, Nguyen Vinh Hao<sup>1</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## ABSTRACT

In this paper, a passivity – based control of a DC-DC boost power converter using genetic algorithm is proposed. The output of a DC-DC power boost converter is an inductor current. Its input is duty ratio  $\mu$ . Using a co-ordinate transformation of state variables and control input, a DC-DC boost power converter is showed to be passive. A new plant is zero-state observable and the equilibrium point at origin of this plant is asymptotically stable. Then, a passivity - based control law is applied to this plant so that a voltage of capacitor  $x_2$  is equal to a value of desired voltage  $V_d$  when changing control input, duty ratio  $\mu$ . The parameters of the passivity – based controller are also adjusted optimally by genetic algorithm using decimal encoder. Simulation results of a passivity – based control are good when the input voltage  $E$ , the load resistor  $R$  and the desired voltage  $V_d$  are varied. With variations of desired voltage  $V_d$ , the passivity – based controller supplies small value of IAE (integral absolute error of  $V_d$  and  $x_2$ ), small error, and short settling time. Finally, simulation results show that the passivity – based control using genetic algorithm is better than the passivity – based control.

**Key words:** DC-DC boost power converter, passivity – based control, genetic algorithm

<sup>1</sup>*Ho Chi Minh City University of Technology – VNU-HCM, Vietnam*

<sup>2</sup>*Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam*

<sup>3</sup>*Eastern International University, Vietnam*

## Correspondence

**Duong Hoai Nghia**, Eastern International University, Vietnam

Email: nghia.duong@eiu.edu.vn

## History

- Received: 26-11-2022
- Accepted: 18-7-2023
- Published: 28-7-2023

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i2.1053>



## Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Ngoc H M, Nghia D H, Hao N V. **Passivity - based control using genetic algorithm for a DC-DC boost power converter.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2023, 6(2):1891-1905.