



THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PI ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CHO BỘ BIẾN ĐỔI DC-DC GIẢM ÁP

Đặng Quang Đồng, Trần Quang Thực, Đào Xuân Tình,
Đỗ Văn Hoan, Phạm Văn Tuấn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận bài báo: 10/01/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa bài: 25/02/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 01/03/2019

Tóm tắt:

Hiện nay, việc tăng cường thiết bị phục vụ đào tạo và nghiên cứu của khoa Điện-Điện tử, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên để thực hiện mục tiêu đào tạo theo định hướng ứng dụng là một nhu cầu cấp bách. Để có thể xây dựng được các thiết bị đó thì việc nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng là nền tảng khởi đầu quan trọng. Trong bài báo này, nhóm tác giả có đề xuất thực hiện “Thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển PI ổn định điện áp cho bộ biến đổi DC-DC giảm áp” nhằm xây dựng cơ sở lý thuyết để xây dựng các thiết bị thực nghiệm vào môn học điện tử công suất, lý thuyết điều khiển tự động, vi xử lý, plc [1], [2]...trong các đề tài kế tiếp.

Từ khóa: Điện tử công suất, bộ biến đổi DC-DC, bộ điều khiển PID.

1. Mở đầu

Trong phần lớn các nhà máy, phân xưởng đều có sự góp mặt của tự động hóa. Trong các dây chuyền sản xuất, máy móc sử dụng truyền động điện bằng xung áp một chiều rất nhiều [1], [2]. Sử dụng hệ thống này hiệu quả và độ an toàn cao.

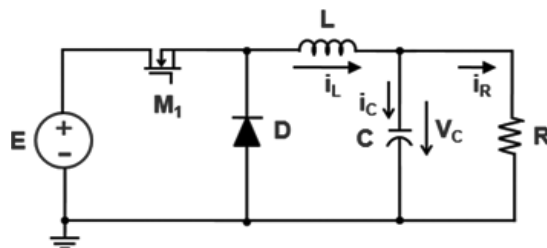
Trước đây các phương pháp điều khiển kinh điển đã được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Bộ điều khiển PID có ưu điểm đơn giản và dễ sử dụng [4]-[7], tuy nhiên nó cũng bộc lộ nhược điểm khi áp dụng vào điều khiển các đối tượng phi tuyến, đối tượng có tham số thay đổi trong quá trình hoạt động, cũng như các tác động nhiễu loạn bên ngoài [10]-[13].

Đối với bộ biến đổi DC-DC giảm áp có phương trình toán học là tuyến tính thì việc ứng dụng bộ điều khiển PID để ổn định là khả thi. Tuy nhiên bộ biến đổi DC-DC giảm áp có tải thường thay đổi dẫn đến điện áp đầu ra không ổn định và có tồn tại sai lệch so với giá trị đặt mong muốn. Ngoài ra tham số của bộ biến đổi DC-DC giảm áp cũng dễ bị thay đổi khi hoạt động nên khi thực nghiệm với bộ điều khiển PID cần kiểm tra các trường hợp trên.

Hiện nay, do nhu cầu nghiên cứu và giảng dạy của một số môn học như: điện tử công suất, lý thuyết điều khiển tự động, vi xử lý, PLC...của khoa Điện-điện tử Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên về điều khiển bộ biến đổi xung áp một chiều. Nên, để có thể xây dựng được các thiết bị này thì việc nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng là nền tảng khởi đầu quan trọng. Trong bài báo này, nhóm tác giả có đề xuất thực hiện “Thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển PI ổn định điện áp cho bộ biến đổi DC-DC giảm áp”.

2. Mô hình bộ biến đổi DC-DC giảm áp

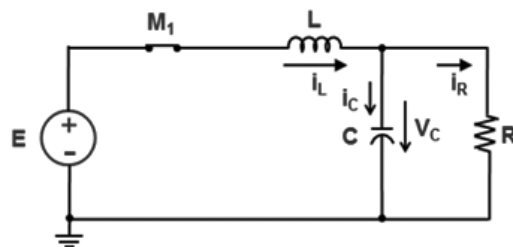
Bộ biến đổi DC-DC giảm áp là loại mạch biến đổi điện áp một chiều thành điện áp một chiều thấp hơn. Sơ đồ mạch bộ biến đổi DC-DC giảm áp như trong Hình 1, [3].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý bộ biến đổi DC-DC giảm áp

Nguyên lý hoạt động:

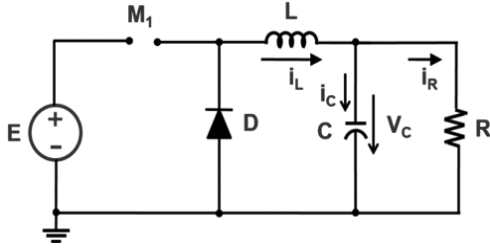
Khi M_1 được đóng lại (như Hình 2) tức là nối nguồn vào mạch thì lúc đó dòng điện đi qua cuộn cảm và dòng điện trong cuộn cảm tăng lên, tại thời điểm này thì tụ điện được nạp đồng thời cũng cung cấp dòng điện qua tải. Chiều dòng điện được chạy theo như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ bộ biến đổi khi van M_1 dẫn

Khi M_1 được mở ra (như Hình 3) tức là ngắt nguồn ra khỏi mạch. Khi đó trong cuộn cảm tích lũy

năng lượng từ trường và tụ điện được tích lũy trước đó sẽ phóng qua tải. Cuộn cảm có xu hướng giữ cho dòng điện không đổi và giảm dần. Chiều dòng điện được chạy theo như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ bộ biến đổi khi van M_1 không dẫn

Phương trình toán học mô tả bộ biến đổi DC-DC giảm áp:

Khi khóa M_1 đóng: áp dụng định lý Kichoff 1 và 2 cho mạch điện ta có:

$$V_C = E - \frac{L di_L}{dt} \quad (1)$$

$$i_L = i_C + i_R \quad (2)$$

Từ (1), suy ra:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(E - V_C) \quad (3)$$

Từ (2), suy ra:

$$i_L = C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} \quad (4)$$

Khi khóa M_1 mở: áp dụng định lý Kichoff 1 và 2 cho mạch điện ta có:

$$V_C = -\frac{L di_L}{dt} \quad (5)$$

$$i_L = i_C + i_R \quad (6)$$

Từ (5) ta có:

$$\frac{L di_L}{dt} = \frac{1}{L}(-V_C) \quad (7)$$

Từ (6) ta có:

$$i_L = C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} \quad (8)$$

Từ (3), (4), (7), (8) ta có hệ phương trình tổng quát sau:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L}V_C + \frac{E}{L}u_0 \quad (9)$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{1}{RC}V_C \quad (10)$$

Với $u_0 = 1$ khi M_1 khóa và $u_0 = 0$ khi van M_1 mở.

Chuyển hệ (9) và (10) sang giá trị trung bình ta được:

$$\frac{1}{T_{ck}} \int_0^{T_{ck}} u_0 dt = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{T_{on}} 1 dt + \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{T_{off}} 0 dt = \frac{T_{on}}{T_{ck}} = u \quad (11)$$

Phương trình (9) và (10) trở thành:

$$\begin{cases} \dot{i}_L = -\frac{1}{L}V_C + \frac{E}{L}u \\ \dot{V}_C = \frac{1}{C}i_L - \frac{1}{RC}V_C \end{cases} \quad (12)$$

3. Thiết kế bộ điều khiển PID cho bộ biến đổi DC-DC giảm áp

Gọi điện áp đặt là V_R là hằng số nên:

$$\dot{V}_R = 0, \ddot{V}_R = 0 \quad (13)$$

Gọi sai số $e = V_R - V_C$, từ hệ (12) ta có:

$$\dot{e} = -\dot{V}_C = -\left(\frac{1}{C}i_L - \frac{1}{RC}V_C\right) \quad (14)$$

$$\ddot{e} = -\ddot{V}_C = -\frac{1}{C}\dot{i}_L + \frac{1}{RC}\dot{V}_C \quad (15)$$

$$\ddot{e} = -\frac{1}{C}\left(-\frac{1}{L}V_C + \frac{E}{L}u\right) - \frac{e}{RC} \quad (16)$$

$$\ddot{e} = \frac{1}{LC}(V_C - V_R + V_R) - \frac{E}{LC}u - \frac{e}{RC} \quad (17)$$

$$\ddot{e} = -\frac{e}{LC} + \frac{V_R}{LC} - \frac{E}{LC}u - \frac{e}{RC} \quad (18)$$

$$\ddot{e} + \frac{e}{RC} + \frac{e}{LC} = \frac{V_R}{LC} - \frac{E}{LC}u \quad (19)$$

$$\ddot{e} + \frac{e}{RC} + \frac{e}{LC} = v \quad (20)$$

Với

$$v = \frac{V_R}{LC} - \frac{E}{LC}u \quad (21)$$

Bộ PID với các hệ số K_p, K_i, K_d :

$$v = -K_p e - K_i \int e dt - K_d \dot{e} \quad (22)$$

Từ (20), (21), (22), ta có:

$$\ddot{e} + \frac{e}{RC} + \frac{e}{LC} + K_p e + K_i \int e dt + K_d \dot{e} = 0 \quad (23)$$

$$\ddot{e} + \left(\frac{1}{RC} + K_d\right)\dot{e} + \left(\frac{1}{LC} + K_p\right)e + K_i \int e dt = 0 \quad (24)$$

$$\ddot{e} + \left(\frac{1}{RC} + K_d\right)\dot{e} + \left(\frac{1}{LC} + K_p\right)e + K_i e = 0 \quad (25)$$

Chuyển sang biến laplace:

$$s^3 + \left(\frac{1}{RC} + K_d\right)s^2 + \left(\frac{1}{LC} + K_p\right)s + K_i = 0 \quad (26)$$

Dựa theo tiêu chuẩn Routh (ở Bảng 1) để tìm điều kiện K_p, K_i, K_d để hệ thống ổn định với phương trình đặc tính:

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0 \quad (27)$$

Với các hệ số sau:

$$a_0 = 1, a_1 = \left(\frac{1}{RC} + K_d\right), a_2 = \frac{1}{LC} + K_p, a_3 = K_i$$

Bảng 1. Bảng Routh

a_0	a_2
a_1	a_3
$(a_1 a_2 - a_0 a_3)/a_1$	0

Điều kiện cần và đủ để hệ ổn định là

$$\begin{cases} a_1 = \frac{1}{RC} + K_d > 0 \\ a_2 = \frac{1}{LC} + K_p > 0 \\ a_3 = K_i > 0 \\ \frac{a_1 a_2 - a_0 a_1}{a_1} = \left(\frac{1}{RC} + K_d \right) \left(\frac{1}{LC} + K_p \right) - K_i > 0 \end{cases} \quad (28)$$

$$\left(\frac{1}{RC} + K_d \right) \left(\frac{1}{LC} + K_p \right) > K_i \quad (29)$$

Với bộ PI thì $K_d = 0$ và điều kiện trở thành

$$\frac{1}{RC} \left(\frac{1}{LC} + K_p \right) > K_i \quad (30)$$

4. Kết quả mô phỏng

Tham số hệ thống được liệt kê Bảng 2:

Bảng 2. Tham số hệ thống

STT	Tham số	Giá trị
1	Điện áp đầu vào (E)	24V
2	Điện áp ra mong muốn (V_{out})	12V
3	Dòng điện tải định mức (I)	4A
4	Công suất tải định mức (P)	48W
5	Điện cảm (L)	1mH
6	Điện dung (C)	100uF
7	Tần số đóng cắt (F_{pwm})	20khz
8	K_p	3×10^4
9	K_i	3×10^9

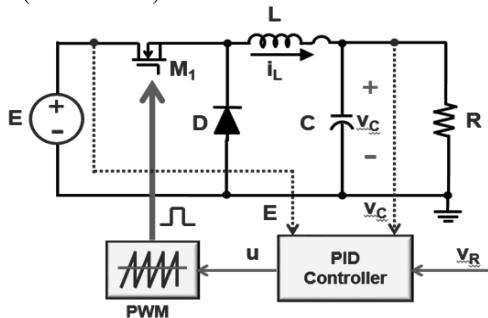
Các trường hợp mô phỏng được ở Bảng 3:

Bảng 3. Các trường hợp mô phỏng

TH	Tham số
1	Tải định mức (4A)
2	200% tải định mức (8A)
3	Thay đổi từ tải định mức lên 200% (4A -> 8A)

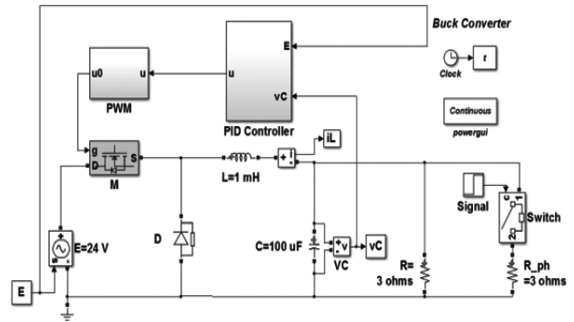
Mô hình hệ thống trên simulink:

Sơ đồ khối hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID (như Hình 4):



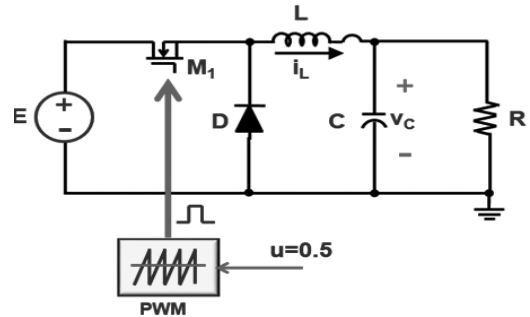
Hình 4. Sơ đồ khối hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID

Sơ đồ mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID (như Hình 5):



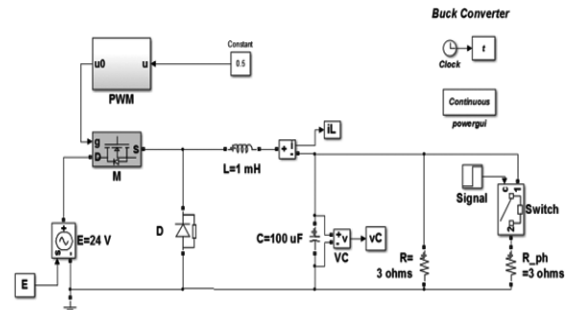
Hình 5. Sơ đồ mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID

Sơ đồ khối hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PID (như Hình 6):



Hình 6. Sơ đồ khối hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PID

Sơ đồ mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PID (như Hình 7):



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PID

Bảng 4. Tham số của Mosfet trong mô phỏng

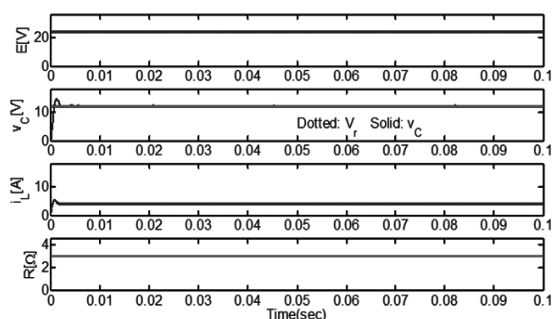
TT	Tham số	Giá trị
1	Điện trở Ron (Ohm)	0.1
2	Điện cảm diot bên trong Lon(H)	0
3	Điện trở diot bên trong Rd (Ohm)	0.01
4	Điện áp thuận diot bên trong Vf (V)	0.8
5	Dòng khởi tạo Ic (A)	0
6	Điện trở Snubber Rs (Ohm)	10^5
7	Điện cảm Snubber Cs	∞

Bảng 5. Tham số của Diot trong mô phỏng

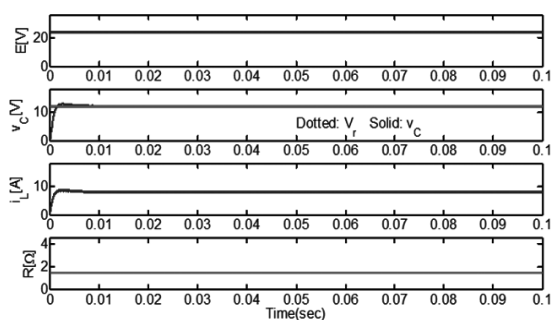
TT	Tham số	Giá trị
1	Điện trở Ron (Ohm)	0.05
2	Điện cảm diot bên trong Lon(H)	0
3	Điện áp thuận diot bên trong Vf (V)	0.8
4	Dòng khởi tạo Ic (A)	0
5	Điện trở Snubber Rs (Ohm)	500
6	Điện cảm Snubber Cs	250 e ⁻⁹

Kết quả mô phỏng:

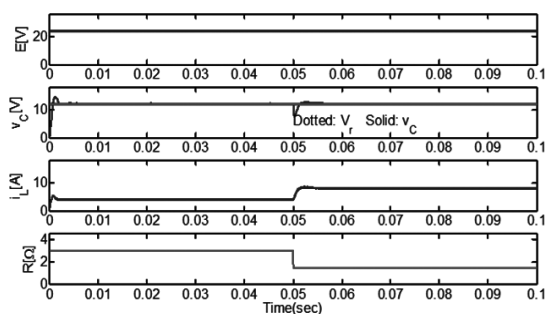
Kết quả mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PI:



Hình 8. Kết quả mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 1

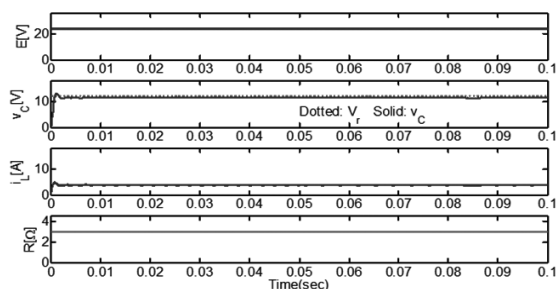


Hình 9. Kết quả mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 2

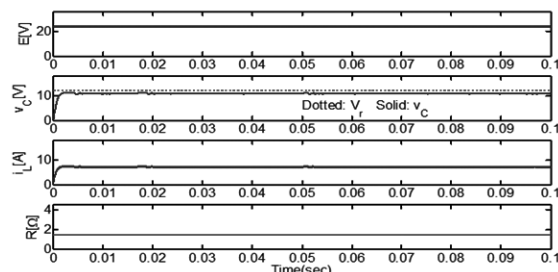


Hình 10. Kết quả mô phỏng hệ thống sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 3

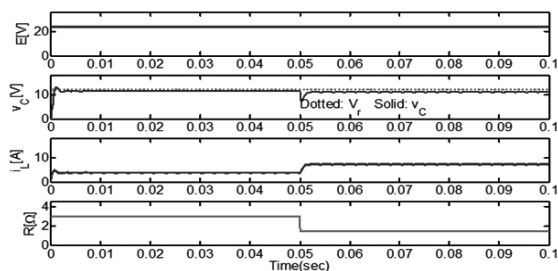
Kết quả mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PI:



Hình 11. Kết quả mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 1



Hình 12. Kết quả mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 2



Hình 13. Kết quả mô phỏng hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PI trong trường hợp 3

Hình 8, 9, 10 chỉ ra kết quả dạng sóng của hệ thống sử dụng bộ điều khiển PI, trong khi đó hình 11, 12, 13 chỉ ra kết quả dạng sóng của hệ thống không sử dụng bộ điều khiển PI. Nhìn vào các hình này, rõ ràng nhận thấy điện áp đầu ra của hệ thống (V_c) trong trường hợp sử dụng bộ PI là tốt hơn vì thời gian đáp ứng nhanh hơn, độ quá điều chỉnh nhỏ hơn, sai số tĩnh bé hơn.

5. Kết luận

Bài báo này đã thiết lập được phương trình mô tả toán học của bộ biến đổi DC-DC giảm áp, đồng thời thiết kế và chỉ ra được điều kiện của các tham số PID để hệ thống ổn định. Ngoài ra để chứng minh tính khả thi của bộ điều khiển PI, kết quả mô phỏng đã được đưa ra so sánh trong trường hợp hệ thống có và không sử dụng bộ điều khiển PI. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng hệ thống có sử dụng bộ điều khiển PI đạt được đáp ứng điện áp nhanh hơn, ổn định hơn và sai số tĩnh ít hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Bính, Điện tử công suất, NXB Khoa học kỹ thuật, 2000.
- [2]. Võ Minh Chính, Điện tử công suất, NXB khoa học kỹ thuật, 2007.
- [3]. Dang D. Q., Vu N. T. T., Choi H. H., and Jung J. W., Neuro-fuzzy control of interior permanent magnet synchronous motors: Stability analysis and implementation. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2013, **8**, pp. 1439-1450.
- [4]. Tan, S. C., Lai, Y. M., Tse, C.K., A uni ed approach to the design of PWM-based sliding mode voltage controllers for basic DC-DC converters in continuous conduction mode. *IEEE Trans. Circuits and Systems-I*, 2006, **53**, pp.1816-1827
- [5]. Jung J. W., Choi H. H., and Kim T. H., Fuzzy PD speed controller for permanent magnet synchronous motor. *Journal of Power Electronics*, 2011, **11**, pp. 819-823.
- [6]. Dang D. Q., Vu N. T. T., Choi H. H., and Jung J. W., Speed control system design and experimentation for interior PMSM drives. *International Journal of Electronics*, 2015, **102**, pp. 864-885.
- [7]. Jung J. W., Kim T. H., and Choi H. H., Speed control of a permanent magnet synchronous motor with a torque observer: A fuzzy approach. *IET Control Theory & Applications*, 2010, **4**, pp. 2971-2981.
- [8]. Choi H. H. and Jung J. W., Takagi-sugeno fuzzy speed controller design for a permanent magnet synchronous motor. *Mechatronics*, 2011, **21**, pp. 1317-1328.
- [9]. Choi H. H. and Jung J. W., Fuzzy speed control with an acceleration observer for a permanent magnet synchronous motor. *Nonlinear Dynamics*, 2012, **67**, pp. 1717-1728.
- [10]. Jung J. W., Choi H. H., and Kim T. H., T-S fuzzy tracking control of surface-mounted permanent magnet synchronous motors with a rotor acceleration observer. *Journal of Power Electronics*, 2012, **12**, pp. 294-304.
- [11]. Choi H. H., Vu N. T. T., and Jung J. W., Design and implementation of a takagi-sugeno fuzzy speed regulator for a permanent magnet synchronous motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, **59**, pp. 3069-3077.
- [12]. Choi H. H. and Jung J. W., Discrete-time fuzzy speed regulator design for PM synchronous motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2013, **60**, pp. 600-607.
- [13]. Dong Quang Dang, Muhammad, Han Ho Choi, and Jin-Woo Jung, Online parameter estimation of interior PM synchronous motor for adaptive control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2016, **63**, pp. 1438-1449.

DESIGN AND SIMULATION OF VOLTAGE STABILITY PI CONTROLLER FOR BUCK DC-DC CONVERTER

Abstract:

Now, the develop of equipments for training and research of the Faculty of Electrical and Electrical Engineering, Hung Yen University of Technology and Education for the application training goal is very necessary. For this, study of theory and simulation is important background. In this paper, the authors proposed the project “design and simulation of voltage stability PI controller for buck DC-DC converter” in order to built the theoretical basis for developing the experimental devices of the electronic power, automatic control theory, processor, programmable logic controller subjects...in the next projects.

Keywords: *Electronic Power, DC-DC converter, PID controller.*