

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MẠCH ĐIỀU KHIỂN TRỢ LỰC LÁI ĐIỆN TỬ

Nguyễn Văn Phong¹, Trương Công Trí¹, Nguyễn Cao Kỳ¹,
Lê Văn Điện¹, Nguyễn Trịnh Nguyễn¹

TÓM TẮT:

Trợ lực lái điện (Electric Power Steering - EPS) là một bộ phận không thể thiếu trên xe và ngày nay người ta đang tiếp tục nghiên cứu để tìm ra những cải tiến mới hay hơn tốt hơn. EPS không chỉ đơn thuần giảm thiểu lực tác động cần thiết để điều khiển vô lăng, mang lại trải nghiệm lái xe thoải mái và dễ dàng hơn, đặc biệt trong các tình huống giao thông phức tạp, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao an toàn lái xe, cải thiện hiệu suất vận hành và tiết kiệm nhiên liệu. Điều khiển trợ lực sẽ linh hoạt theo vận tốc phương tiện và các tình huống khi lái xe giúp tăng cường sự ổn định, an toàn trong việc di chuyển. Bài báo trình bày về việc ứng dụng điều khiển PID, nhằm đáp ứng các yêu cầu về mômen xoắn tác động lên hệ thống lái của phương tiện trong nhiều tình huống. Kết quả nghiên cứu được thực nghiệm trên mô hình thực, qua các kết quả thu được chứng minh rằng hệ thống hoạt động ổn định và hiệu quả. Đặc biệt nghiên cứu đã thành công trong vấn đề tiết kiệm năng lượng và có thiết kế nhỏ gọn. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy rằng sự hiệu quả và tính đơn giản của bộ điều khiển PID khi sử dụng để điều khiển trợ lực lái điện.

Từ khóa: Bộ điều khiển PID, hệ thống trợ lực lái điện tử, mạch cầu H.

RESEARCH AND MANUFACTURE OF ELECTRONIC POWER STEERING CONTROL CIRCUIT

ABSTRACT:

Electric Power Steering (EPS), is an essential vehicle component that is continually being researched for new and improved innovations. EPS doesn't just reduce the effort needed to turn the steering wheel, making for a more comfortable and easier driving experience, especially in complex traffic situations. It also plays a crucial role in enhancing driving safety, improving operational performance, and saving fuel. The power steering control system dynamically adjusts to vehicle speed and various driving situations, which boosts stability and safety while on the road. This paper discusses the application of PID control to meet the torque requirements of a vehicle's steering system in various scenarios. The research was tested on a physical model, and the results demonstrate that the system operates stably and efficiently. Notably, the study succeeded in achieving energy savings and a compact design. The research findings confirm the effectiveness and simplicity of using a PID controller for electric power steering.

Keywords: Electric power steering, H-bridge, PID controller.

GIỚI THIỆU

Bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative) là một trong những công cụ điều khiển quan trọng, được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống kỹ thuật hiện đại để một hệ thống hoạt động ổn định và hiệu quả. Dữ liệu đầu vào của nghiên cứu là giá trị cảm biến mômen xoắn, được đo lường trong quá trình hệ thống đang hoạt động, không phải là giá trị mô phỏng. Các tín hiệu giá trị điều khiển phải qua một chương trình xử lý toán học để đưa đến kết quả sao cho hoạt động ổn định và hiệu suất tốt. Theo sự phát triển của khoa học và công nghệ, sự cải tiến và chế tạo mạch điều khiển trợ lực lái điện tử ngày càng nhỏ gọn, giá thành rẻ và đáp ứng sự ổn định. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đã nghiên cứu chế tạo và

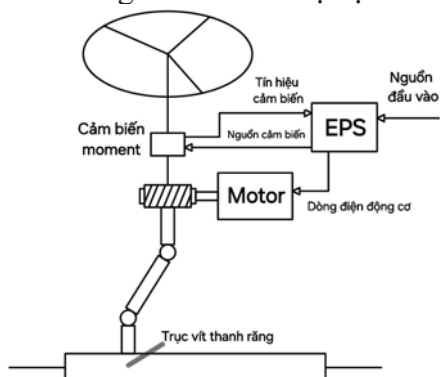
phát triển mạch điều khiển trợ lực lái điện tử nhằm mục đích nâng cao sự hiệu quả, tiết kiệm năng lượng.

1. CƠ SỞ XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID

Bộ điều khiển PID cho hệ thống điều khiển trợ lực lái điện, nhóm tác giả sử dụng cảm biến mômen xoắn của xe Toyota Prius 2009. Cảm biến trợ lực sử dụng cảm biến mômen xoắn loại cảm ứng, dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Các thông số đầu vào cho bộ điều khiển PID là 2 tín hiệu điện áp của cảm biến, 2 tín hiệu điện áp này dùng để so sánh tín hiệu với nhau. Nếu mất 1 trong 2 tín hiệu điện áp thì hệ thống sẽ báo lỗi và hệ thống sẽ không có trợ lực. Hệ thống sẽ bắt đầu điều khiển khi vượt qua một ngưỡng điện

¹ Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh
Email: nguyentrinhnguyen@hcmuaf.edu.vn

áp, mức độ trợ lực cao hay thấp sẽ được điều khiển bởi cảm biến momen xoắn. Nếu momen xoắn càng cao thì sẽ trợ lực nhiều

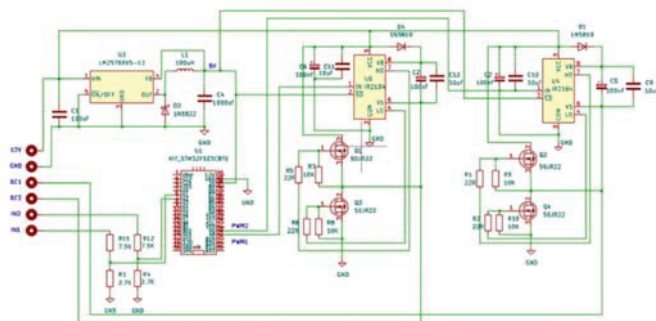


Hình 2.1 Sơ đồ khối của hệ thống trợ lực lái điện tử.

2. THUẬT TOÁN TỐI ƯU ĐIỀU KHIỂN CHO BỘ ĐIỀU KHIỂN PID

2.1. Cấu tạo của hệ thống trợ lực lái điện tử.

Hệ thống trợ lực lái điện tử được cấu trúc bởi trụ lái, cảm biến moment xoắn, trung tâm điều khiển EPS, động cơ DC, trục vít thanh răng [4]. Từ những thành phần trên trung tâm điều khiển EPS sẽ thu thập dữ liệu đầu vào của cảm biến moment xoắn. Tín hiệu của cảm biến moment xoắn sẽ được thay đổi bởi lực tác dụng từ vô lăng (như Hình 2.1 và 2.2). Thông qua tín hiệu đó trung tâm điều khiển EPS sẽ tự động tính toán cần phải cung cấp bao nhiêu điện áp và dòng điện phù hợp đến động cơ DC để hỗ trợ người lái. Từ đó giúp người lái điều khiển xe một cách nhẹ nhàng mượt mà hơn.



Hình 3.2 Sơ đồ nguyên lý mạch cầu H.

3.3. Xây dựng thuật toán PID.

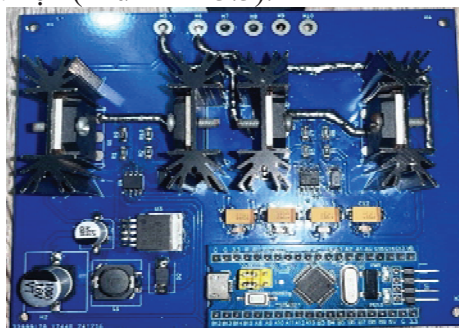
hơn, đồng thời mức độ trợ lực lái còn bị ảnh hưởng bởi tốc độ xe.



Hình 2.2 Mô hình hệ thống trợ lực lái điện tử.

2.2. Thiết kế mạch cầu H điều khiển động cơ DC.

Để điều khiển thời gian đóng mở của các cặp khóa Q1-Q4, Q2-Q3 và trong quá trình đảo chiều thì phải chắc chắn điện áp cung cấp cho động cơ phải về không trước khi mở cặp khóa tiếp theo nhằm tránh tình trạng chập ngắn mạch trên một nhánh của cầu H. Chính vì như thế nhóm nghiên cứu sử dụng IC IR2184 để điều khiển bốn IGBT 50JR22 kênh N. Đối với IGBT50JR22 có thể hoạt động ở ngưỡng điện áp lên đến 600V và chịu được cường độ dòng điện 50A [6], IC IR2184 có tần số điều khiển PWM lên đến 500 kHz, thời gian chuyển giữa kênh HO và LO tương đối thấp khoảng 500ns rất thích hợp đối với hệ thống trợ lực lái điện. Mạch EPS thiết kế sau khi hoàn thiện (như Hình 3.3).



Hình 3.3 Mạch thực tế sau khi hoàn thiện.

Điều kiện tiên quyết của chương trình điều khiển trợ lực lái đòi hỏi là khả năng đáp ứng

nhau đúng với mức trợ lực của động cơ. Chính vì lý do đó nhóm tác giả áp dụng cách thức điều khiển PID, cách điều khiển này dựa vào điện áp phát ra của cảm biến moment xoắn. PID sẽ được tính dựa vào độ lệch dòng điện khi cảm biến moment ở vị trí không làm việc với khi có tác dụng lực vào vô lăng. Khi

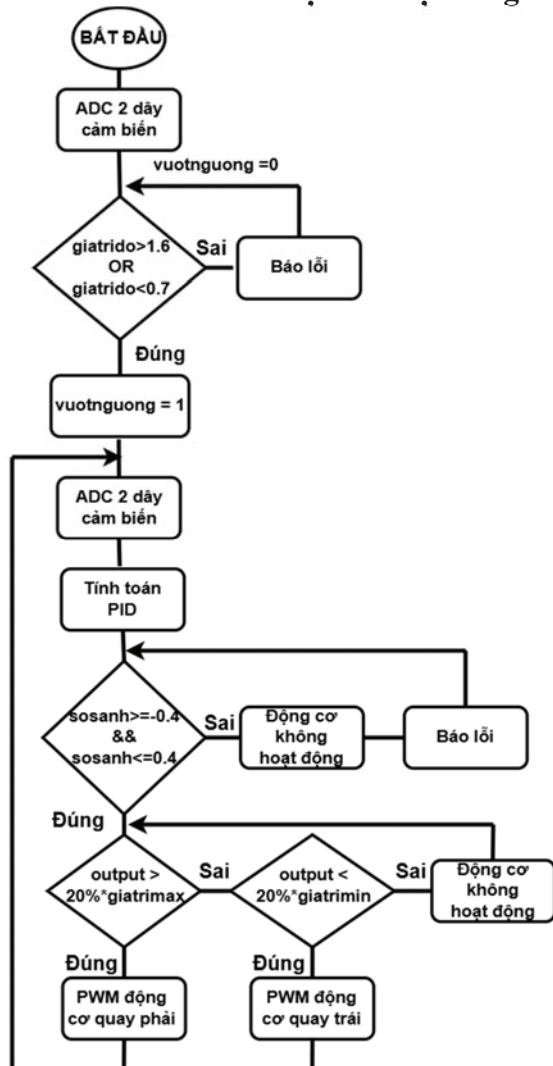
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) (*)$$

Bằng phương pháp thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã xác định được ba hệ số điều chỉnh $K_p = 1$, $K_i = 0.3$, $K_d = 0.001$. Những giá trị này không chỉ giúp hệ thống đạt được khả năng phản hồi nhanh mà còn đảm bảo sự

sử dụng phương pháp này tín hiệu phát ra sẽ tương đối ổn định và khả năng đáp ứng của hệ thống sẽ nhanh hơn. Bộ điều khiển PID có ba thành phần chính, K_p là hệ số tỷ lệ, K_i là hệ số tích phân và K_d là hệ số vi phân [5]. Phương trình điều khiển PID được viết theo miền thời gian được phát biểu như trong (*).

ổn định và hiệu quả trong quá trình vận hành. Kết quả kiểm tra cho thấy hệ thống hoạt động tối ưu, giảm thiểu sai số và nâng cao độ chính xác.

3.4. Mô hình toán học của hệ thống.



Hình 3.4. Lưu đồ thuật toán điều khiển hệ thống.

Để có thể điều khiển tốc độ đảo chiều động cơ và có thể kết hợp hai IC IR2184 hoạt động một cách nhanh chóng, chính xác, hiệu quả và ổn định hơn chúng sẽ điều khiển bằng STM32F103C8T6. Để thực hiện việc điều khiển tốc độ động cơ DC sẽ được thực hiện bằng cách sẽ tiến hành điều chế độ rộng xung (PWM) [7] cho một IC IR2184 còn IC IR2184 còn lại cấp tín hiệu bằng 0. Khi đó tốc độ của động cơ phụ thuộc hoàn toàn vào mức độ điều chế độ rộng xung PWM kênh HO kết hợp với kênh LO của nhánh còn lại sẽ tạo thành một chiều dòng điện tương ứng [8].

Dữ liệu từ cảm biến moment được thu thập thông qua bộ chuyển đổi ADC ở A1 và A2, từ tín hiệu ADC chương trình sẽ chuyển về giá trị dưới dạng điện áp. Khi xoay vô lăng sang trái hoặc sang phải để $giatrido > 1.6V$ hoặc $giatrido < 0.7V$ thì chương trình bắt đầu hoạt động và chỉ xét một lần khi trong suốt chương trình. Thuật toán PID sẽ được sử dụng để tính toán giá trị điều khiển dựa trên dữ liệu từ cảm biến bằng cách lấy trung bình của hai tín hiệu điện áp từ A1 và A2 ta được biến “giatrido”.

Thuật toán so sánh độ lệch của hai cảm biến trong khoảng từ -0.4V đến 0.4V nếu đúng sẽ xét đến giá trị đầu ra, còn nếu sai chương trình sẽ ngừng hoạt động. Tiếp đến kiểm tra giá trị đầu ra thuật toán PID nếu kết quả $> 20\%$ của giá trị max chương trình sẽ

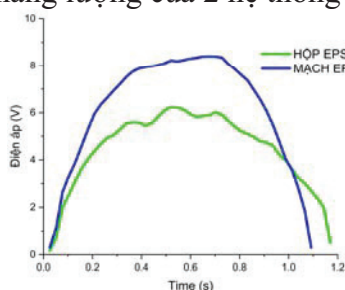
phát tín hiệu PWM cho động cơ quay trái. Nếu kết quả $< 20\%$ giá trị min chương trình sẽ phát tín hiệu PWM cho động cơ quay phải.

4. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

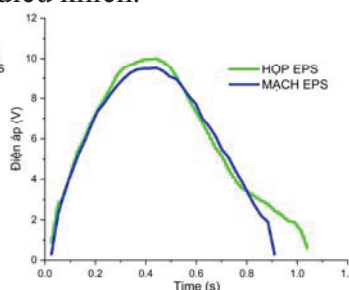
Thông qua kết quả đã đo được trong quá trình thực nghiệm trên mô hình và các kết quả mô phỏng chứng minh tính hiệu quả của bộ điều khiển trong các nghiên cứu trước. Nhóm tác giả so sánh sự điều khiển và mức độ sử dụng năng lượng của 2 hệ thống điều khiển.

Nếu kết quả nằm trong khoảng từ 20% của giá trị max đến 20% giá trị min thì động cơ dừng hoạt động.

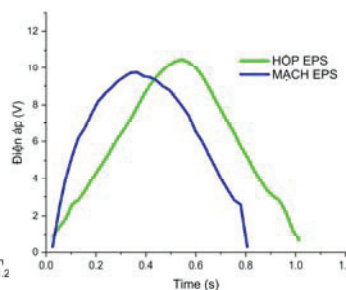
Để đánh giá toàn bộ hoạt động và mức độ sử dụng năng lượng của hệ thống điều khiển trợ lực lái, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo nghiệm thực tế ở các chế độ lái. Sự khảo nghiệm được tiến hành thực hiện một cách đồng nhất.



Hình 4.1 a.



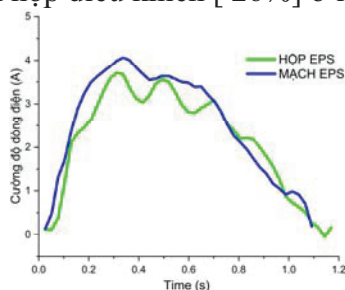
Hình 4.1 b.



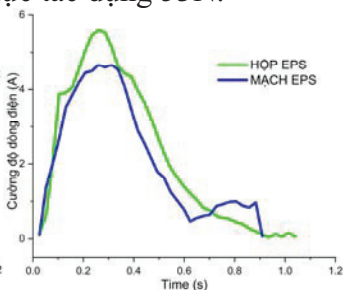
Hình 4.1 c.

Hình 4.1. Mức điện áp; a. Lực tác dụng 53 (N); b. Lực tác dụng 106 (N); c. Lực tác dụng 160 (N).

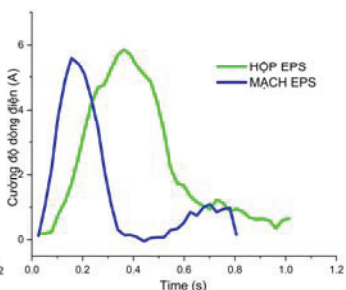
Điện áp của mạch điều khiển dao động khoảng $[8.4037 \div 9.74612]$ thấp hơn hộp điều khiển trợ lực khoảng $[5\% \div 7\%]$. Giảm nhiều nhất 7% ở lực tác dụng 160N và cao hơn hộp điều khiển $[26\%]$ ở lực tác dụng 53N.



Hình 4.2 a.



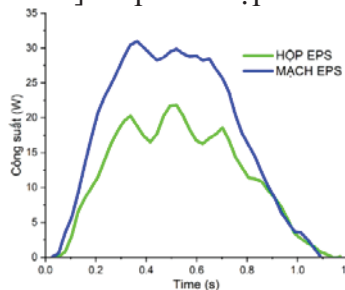
Hình 4.2 b.



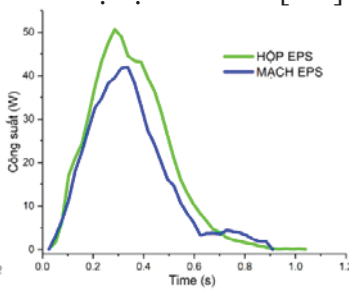
Hình 4.2 c.

Hình 4.2 Cường độ dòng điện; a. Lực tác dụng 53 (N); b. Lực tác dụng 106 (N); c. Lực tác dụng 160 (N).

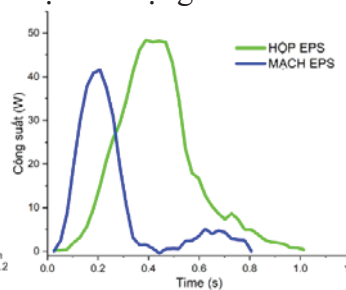
Cường độ dòng điện của mạch điều khiển dao động khoảng $[4.06325 \div 5.60394]$ thấp hơn hộp điều khiển trợ lực khoảng $[5\% \div 17\%]$. Giảm nhiều nhất 17% ở lực tác dụng 106N và cao hơn hộp điều khiển $[9\%]$ ở lực tác dụng 53N.



Hình 4.3 a.



Hình 4.3 b.



Hình 4.3 c.

Hình 4.3 Công suất; a. Lực tác dụng 53 (N); b. Lực tác dụng 106 (N); c. Lực tác dụng 160 (N).

Công suất của mạch điều khiển dao động khoảng $[30.9929 \div 41.9221]$ thấp hơn hộp điều khiển trợ lực khoảng $[14\% \div 17\%]$. Giảm nhiều nhất 17% ở lực tác dụng 106N và cao hơn hộp điều khiển $[30\%]$ ở lực tác dụng 53N.

Bảng 4.1 Thông số sau khi khảo sát mức độ điều khiển của mạch và hộp.

		LỰC ĐÁNH LÁI (N)		
		53	106	160
Điện áp (V)	Mạch	8.4037 (tại 0.676s)	9.51182 (tại 0.442s)	9.74612 (tại 0.364s)
	Hộp	6.2373 (tại 0.52s)	9.9938 (tại 0.442s)	10.4981 (tại 0.546s)
	Giảm	-26%	5%	7%
Cường độ dòng điện (A)	Mạch	4.06325 (tại 0.338s)	4.6527 (tại 0.26s)	5.60394 (tại 0.156s)
	Hộp	3.70336 (tại 0.312s)	5.59326 (tại 0.26s)	5.86936 (tại 0.364s)
	Giảm	-9%	17%	5%
Công suất (W)	Mạch	30.9929 (tại 0.364s)	41.9221 (tại 0.338s)	41.5665 (tại 0.208s)
	Hộp	21.8119 (tại 0.52s)	50.638 (tại 0.286s)	48.4409 (tại 0.39s)
	Giảm	-30%	17%	14%
Thời gian (s)	Mạch	1.094	0.91	0.806
	Hộp	1.17	1.04	1.014
	Giảm	7%	13%	21%

Thông qua thực nghiệm, mạch điều khiển trợ lực của nhóm tác giả có công suất lớn hơn hộp điều khiển ở lực tác dụng 53N và có công suất thấp hơn ở lực tác

dụng 106N và 160N, ngoài ra mạch điều khiển luôn đáp ứng sớm hơn hộp điều khiển trợ lực lái.

5. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm cho thấy mức độ điều khiển ở từng chế độ lái khác nhau của cả hai hệ thống điều khiển mạch EPS và hộp EPS đều vận hành một cách ổn định tuy nhiên mỗi hệ thống lại có ưu điểm riêng. Mạch EPS cho thấy khả năng đáp ứng nhanh chóng, không có độ trễ được thiết kế nhỏ gọn, tiết kiệm năng lượng với chi phí thấp. Đối với hộp EPS có ưu thế trong việc tối ưu năng lượng và hiệu suất trợ lực ổn định ở cả ba mức độ lực đánh lái khác nhau. Từ những kết quả trên cả hai hệ thống đều cho thấy độ ổn định và mức độ tin cậy cao, góp phần mang lại sự linh hoạt

cho người sử dụng trong việc lựa chọn một hệ thống tối ưu nhất theo điều kiện thực tế.

Kết quả của nghiên cứu có thể sử dụng để tham khảo, phát triển các hệ thống lái khác cho từng đối tượng cụ thể, có thể tối ưu hơn, có thể nghiên cứu kết hợp thuật toán điều khiển PID và điều khiển Fuzzy logic nhằm cải thiện độ chính xác và khả năng đáp ứng của hệ thống trợ lực lái. Về phần cứng hệ thống có thể nâng cấp bằng cách sử dụng IC có bảo vệ tích hợp như IRS21867, UCC21520, ... để tăng độ tin cậy và an toàn cho các thiết bị và làm chủ công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. X. Chen, T. Yang, X. Chen, and K. Zhou, "A Generic Model-Based Advanced Control of Electric Power-Assisted Steering Systems," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 16, no. 6, pp. 1289–

1300, 2008, doi: 10.1109/TCST.2008.921805.

2. X. Li, X.-P. Zhao, and J. Chen, "Controller design for electric power steering system using T-S fuzzy model approach," International Journal of Automation and Computing, vol. 6, no. 2,

pp. 198–203, 2009, doi: 10.1007/s11633-009-0198-0.

3. Z. Qun and H. Juhua, “*Modeling and Simulation of the Electric Power Steering System*,” in 2009 Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and Systems, 2009, pp. 236–239. doi: 10.1109/PACCS.2009.67.

4. F. A. N. Chang-sheng and G. U. O. Yan-ling, “*Design of the Auto Electric Power Steering System Controller*,” *Procedia Eng*, vol. 29, pp. 3200–3206, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.466>.

5. A. Samosir and L. Mardiyah, “*Simple formula for designing the PID controller of a DC-DC buck converter*,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 14, p. 327, Mar. 2023, doi: 10.11591/ijpeds.v14.i1.pp327-336.

6. INFINEON [Infineon Technologies AG], “IR2184 Datasheet (PDF) - Infineon Technologies AG,” Apr. 2006.

7. Soban Ahmed, Arslan Ahmed Amin, Zaeema Wajid, and Faizan Ahmad, “*Reliable speed control of a permanent magnet DC motor using fault-tolerant H-bridge*,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 12, no. 10, p. 1687814020970311, Oct. 2014, doi: 10.1177/1687814020970311.

8. LÊ VĂN TÂM and ĐỖ KHẮC TIẾP, “*Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo Driver công suất cho động cơ điện một chiều kích từ bằng nam châm vĩnh cửu có công suất tới 1kW với điện áp làm việc lên đến 220V*,” 2016.

Ngày nhận bài: 25/09/2025