

THIẾT KẾ VÀ THỰC THI MẠCH ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG CHỖI THAN LOẠI KHÔNG DÙNG CẢM BIẾN

Lê Văn Thanh Vũ, Trần Thành Văn, Hoàng Đại Long

Khoa Điện-Điện tử & CNVL, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: vulvt@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 19/6/2024; ngày hoàn thành phản biện: 21/6/2024; ngày duyệt đăng: 01/11/2024

TÓM TẮT

Cùng trong xu thế phát triển của lĩnh vực điện tử và tự động hóa, các nghiên cứu về xe điện và xe tự lái là một định hướng rất được chú ý và thu được nhiều kết quả khả quan. Lĩnh vực nghiên cứu xe điện hiện đang được trải rộng nhiều định hướng với mục tiêu tối ưu nguồn năng lượng, nâng cao hiệu quả sử dụng. Để đạt được mục tiêu đó, các nghiên cứu về hoạt động truyền động và điều khiển động cơ đang được tiến hành. Để tiếp cận với các hướng nghiên cứu này, chúng tôi đi tìm hiểu và triển khai các mạch điều khiển động cơ không chổi than BLDC. Kết quả thu được sau thời gian nghiên cứu và thử nghiệm chúng tôi đã hoàn thiện được mạch điều khiển động cơ BLDC hoạt động ổn định và có chức năng hỗ trợ đo kiểm để khảo sát tín hiệu tại các pha.

Từ khóa: Động cơ, BLDC, điều khiển, thiết kế mạch

1. MỞ ĐẦU

Động cơ không chổi than (*Brushless Direct Current*- BLDC) là một loại động cơ điện một chiều sử dụng nguyên lý chuyển mạch dòng điện đầu vào mà không sử dụng chổi than và cổ góp [1] [2]. Mặc dù BLDC không đưa dòng điện vào rotor nhưng lại hoạt động theo nguyên tắc động cơ đồng bộ, tốc độ quay của rotor đồng bộ với tốc độ quay của từ trường. Điều này cho phép thực thi các hoạt động điều khiển tốc độ một cách linh hoạt và hiệu quả và cũng góp phần nâng cao hiệu suất hoạt động của động cơ.

Điều khiển động cơ BLDC mặc dù đã rất phổ biến trên thị trường nhưng chủ yếu là dựa trên các mạch điện nhập khẩu đã được đóng gói hoàn thiện [2]. Các nghiên cứu hiện vẫn chủ yếu tập trung vào giải pháp điều khiển ở dạng các thuật toán phần mềm và hướng ứng dụng cụ thể [3]. Hướng đến mục tiêu nội địa hóa và làm chủ toàn bộ các hệ thống cơ điện tử hiện đại thì việc nghiên cứu chuyên sâu hoạt động của động cơ BLDC và tạo ra mạch điều khiển cho phép chúng ta tự tin triển khai các hệ thống phức tạp hơn một cách toàn diện và tối ưu hơn.

Bài báo này tập trung nghiên cứu hoạt động cụ thể của BLDC để từ đó đề xuất thiết kế và thực hiện mạch điều khiển động cơ BLDC một cách trực tiếp và toàn diện. Phần 2 sẽ tập trung trình bày lý thuyết cơ bản về động cơ BLDC làm cơ sở cho việc thiết kế mạch điều khiển. Đề xuất thiết kế các thành phần chuyển mạch dòng điện và mạch điều khiển được mô tả cụ thể trong phần 3. Phần 4 được dùng để trình bày các kết quả thiết kế mạch điện và tín hiệu đo được từ mạch điều khiển trong khi động cơ BLDC hoạt động. Phần 5 là các thảo luận và hướng phát triển của đề tài.

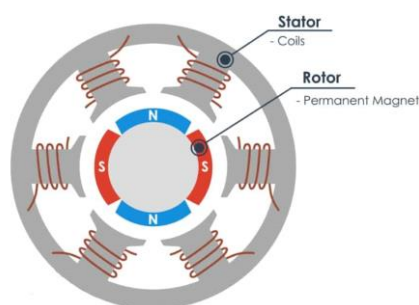
2. LÝ THUYẾT LIÊN QUAN

2.1. Mô tả chung

Động cơ một chiều không chổi than – BLDC là một dạng động cơ cải tiến của động cơ một chiều. Tuy nhiên, BLDC không sử dụng cơ chế chổi than và cổ góp để đưa dòng điện vào rotor mà sử dụng cơ chế rotor nam châm vĩnh cửu. Cơ cấu này góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động, sự ổn định và tuổi thọ của động cơ. Hơn thế nữa, BLDC sử dụng nguyên tắc đồng bộ giữa tốc độ quay của rotor và từ trường do stator tạo ra cho phép điều khiển tốc độ quay một cách chính xác và hiệu quả.

2.2. Cấu tạo động cơ

Động cơ BLDC gồm hai phần chính là phần tĩnh – stator và phần tĩnh rotor như được minh họa trong Hình 1. Trong một số trường hợp ứng dụng đặc biệt, phần rotor có thể được bố trí kết hợp với phần vỏ động cơ, thường gặp trong xe máy điện truyền động trực tiếp.



Hình 1. Cấu tạo động cơ BLDC

Hình 1 mô tả chi tiết mặt cắt ngang động cơ BLDC gồm cả phần tĩnh stator và phần động rotor. Đặc điểm cấu tạo của rotor là các cặp cực từ trường bố trí xen kẽ nhưng không đối xứng cực như nam châm bình thường. Stator có cấu tạo thành 3 nhánh tương ứng là 3 pha ký hiệu lần lượt là A, B và C [2]. Với các trường hợp cần nâng cao công suất làm việc có thể bố trí bội số 3 các cặp cực đối xứng để tăng cường độ từ trường.

Phần tĩnh của BLDC - stator cần được bố trí xen kẽ các cực pha để bảo đảm từ trường tạo ra từ các cuộn dây pha tạo nên từ trường quay có tốc độ và độ lớn phù hợp với nhu cầu sử dụng.

Với đặc điểm cấu tạo của rotor là nam châm vĩnh cửu không có tương tác với bên ngoài thì nhu cầu nhận biết vị trí của các cặp lực của rotor là rất cần thiết. Dựa vào đặc điểm này chúng ta có thể chia BLDC làm hai loại [1].

1. BLDC sử dụng cảm biến Hall
2. BLDC không sử dụng cảm biến.

BLDC sử dụng cảm biến Hall hoạt động theo nguyên lý Hall để xác định vị trí rotor bên trong từ trường để làm cơ sở thay đổi hướng từ trường trong hoạt động điều khiển quay động cơ. Ngược lại, BLDC không sử dụng cảm biến hoạt động theo nguyên lý phản hồi điện trường từ các cuộn dây pha để xác định vị trí động cơ để chuyển pha dòng điện đi qua các cuộn dây.

2.3 Từ trường phản hồi

Khi động cơ BLDC làm việc, rotor di chuyển sẽ gây ra hiện tượng cảm ứng điện từ tại các cuộn dây pha, từ đó tạo ra từ trường phản hồi (Back Electromotive Force - BEMF). Sự biến thiên từ trường xuyên qua các cuộn dây pha sẽ tạo nên suất phản điện tương ứng tại các cuộn dây là khác nhau ở các thời điểm khác nhau. Tín hiệu sinh ra từ hiệu ứng này sẽ phản hồi trên các tín hiệu tại các cuộn dây pha phụ thuộc vào vị trí tương ứng của rotor và cuộn dây pha. Do đặc điểm bố trí các cuộn dây pha lệch nhau một góc 120° từ đó hình thành tín hiệu phản hồi như trong **Hình 1**. Trong trường hợp động cơ không sử dụng cảm biến Hall thì tín hiệu BEMF là cơ sở để xác định vị trí, thời điểm rotor chuyển qua các cuộn dây pha tương ứng. Ở mạch điều khiển cần xây dựng các mạch so sánh điện thế của tín hiệu BEMF để chuyển mạch dòng điện qua các cuộn dây pha một cách phù hợp với tốc độ và chiều quay của động cơ.

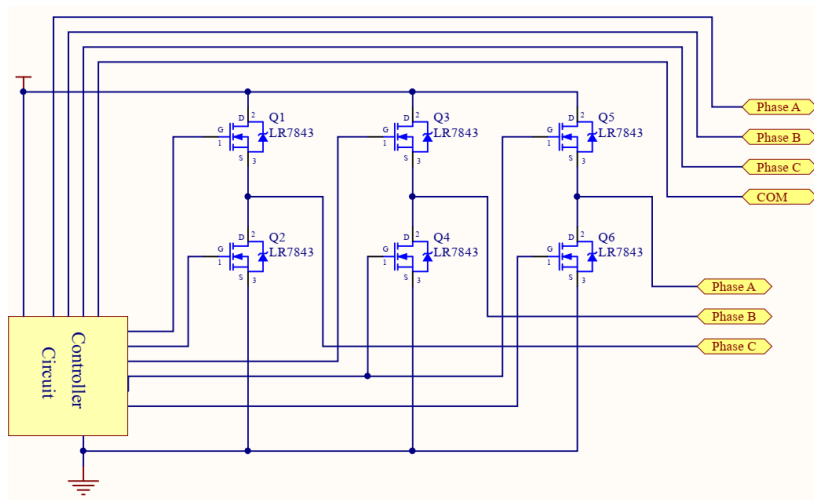
3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Sau quá trình nghiên cứu nguyên lý và các loại động cơ không chổi than trong phần 2, chúng tôi nhận thấy trên thị trường Việt Nam hiện phổ biến dạng động cơ không có cảm biến Hall. Loại động cơ này có giá thành rẻ, nhưng bộ điều khiển lại rất đắt khó sử dụng và dễ hỏng. Do đó, chúng tôi tập trung nghiên cứu để thiết kế và triển khai bộ điều khiển động cơ không chổi than không có cảm biến có nhiều ứng dụng này.

3.1. Thiết kế mạch công suất

Động cơ không chổi than hoạt động cần điều khiển linh hoạt ba cuộn dây bên trong stator phù hợp với vị trí tương ứng của rotor để động cơ quay liên tục và có chiều

thích hợp. Trong phần 2 đã cho thấy rõ nhu cầu cấp dòng điện qua các cuộn dây được bố trí bên trong stator tương ứng với cấu trúc dòng điện ba pha như trong Hình 1. Vì dòng điện qua các cuộn dây cần là dòng điện hai chiều nên mạch điều khiển công suất cần bố trí cặp transistor đóng cắt dòng điện cả hai hướng. Hơn thế nữa, dòng điện qua các cuộn dây cũng cần được điều khiển tạo sự lệch pha giữa các cuộn dây và phân bố công suất phù hợp với dạng tín hiệu điều hòa qua các cuộn dây. Động cơ không chổi than hiện có dải điện áp hoạt động là khá rộng, do đó trong thiết kế này chúng tôi sử dụng mạch bán cầu H – IR2101 để tương thích giữa tín hiệu điều khiển chuẩn logic TTL với mạch công suất sử dụng điện áp cao hơn và công suất lớn hơn. Sơ đồ chi tiết của mạch công suất điều khiển động cơ được trình bày như trong Hình 2.



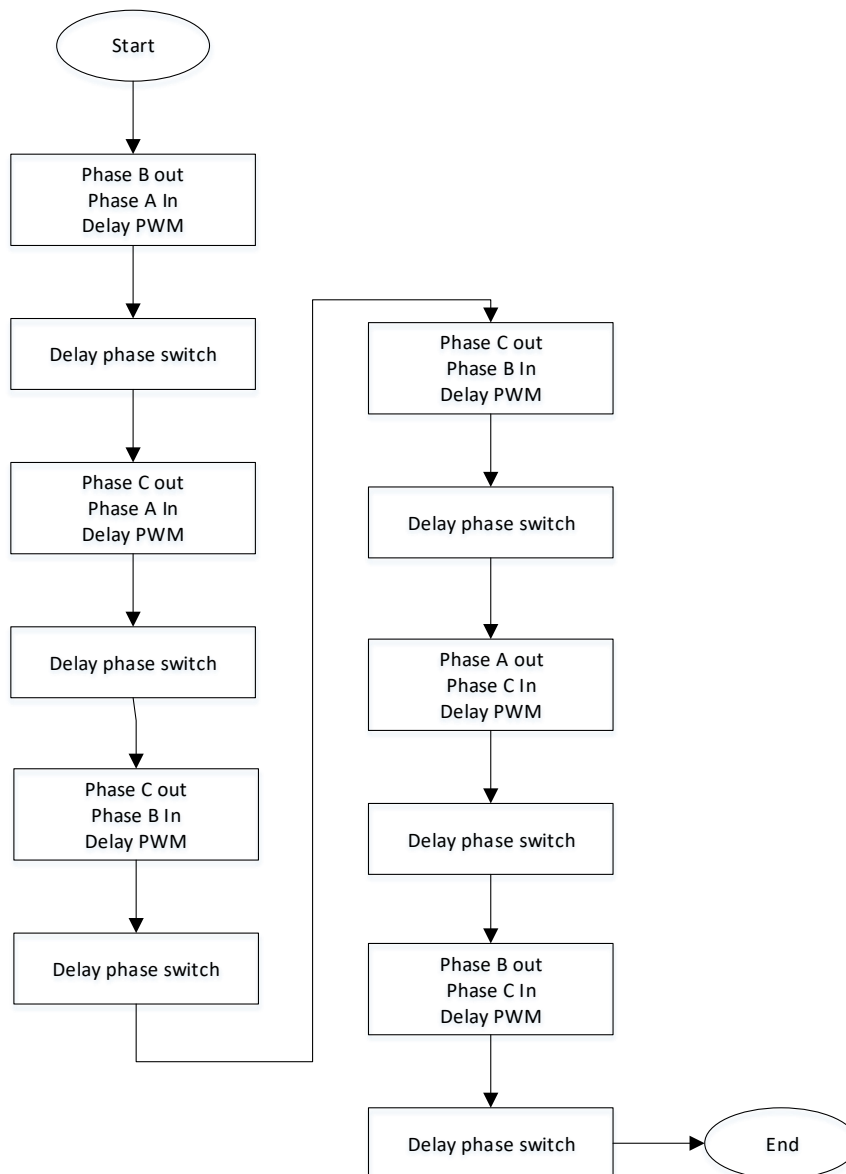
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển công suất

Mạch điều khiển công suất sẽ nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển để lần lượt đóng/ngắt dòng điện qua các bán cầu để tạo dòng điện chảy qua các cuộn dây pha tại stator. Mặc dù hoạt động điều khiển từ các vi điều khiển chỉ thực hiện hoạt động đóng/ngắt transistor nhưng kết hợp với kỹ thuật điều khiển độ rộng xung – PWM cho phép điều khiển năng lượng điện cấp ra trên tải để từ đó điều khiển giá trị dòng điện ở các thời điểm khác nhau. Điều này là cơ sở cho phép tạo được tín hiệu giả ba pha chảy qua các cuộn dây pha của động cơ không đồng bộ. Mạch điều khiển công suất này phù hợp với nhóm động cơ không sử dụng cảm biến Hall, chúng tôi sử dụng tín hiệu hồi tiếp từ ba cuộn dây pha và điểm chung để tạo tín hiệu phản hồi để xác định được vị trí rotor để tạo được điểm xuất phát của từ trường quay phù hợp.

3.2. Nguyên lý điều khiển

Dựa trên nguyên lý hoạt động của động cơ đã trình bày trong phần 2, để rotor của động cơ quay theo yêu cầu của người dùng thì phải tạo được từ trường quay của các cuộn dây stator. Hơn nữa, từ trường quay này phải được đồng bộ với vị trí cụ thể của rotor dựa trên tín hiệu từ trường phản hồi – BEMF. Trong trường hợp sử dụng động

cơ không cảm biến chúng tôi sử dụng mạch hồi tiếp qua mạch lọc kết hợp với bộ so sánh các tín hiệu tại dây pha và điểm nối chung. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng chức năng so sánh bên trong vi điều khiển nhằm tiết kiệm chi phí đồng thời hỗ trợ linh hoạt cho chương trình điều khiển. Động cơ BLDC có đặc điểm chuyển động tốc độ cao, dòng điện qua các cuộn dây có giá trị lớn, điều này sẽ dễ gây ra nhiễu đối với các tín hiệu nhỏ. Trong quá trình nghiên cứu thiết kế và thực thi chúng tôi đã phải sử dụng kết hợp mạch lọc chống nhiễu và lập trình chống nhiễu. Hơn nữa, mạch điều khiển phải được thực hiện chuyển mạch dòng điện an toàn chúng tôi đề xuất giải pháp mở khóa đầu ra trước khi mở khóa ở pha đầu vào.

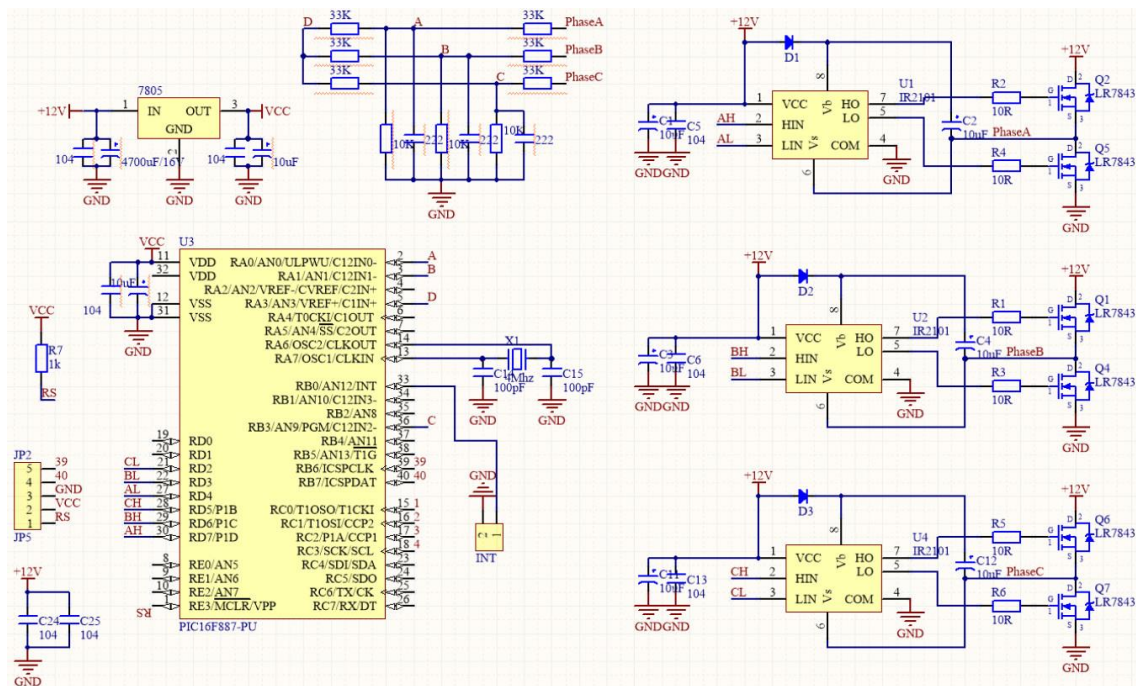


Hình 3. Nguyên lý phát xung điều khiển dòng điện qua các cuộn dây pha

Trong trường hợp điều khiển động cơ quay theo chiều thuận (theo chiều kim đồng hồ), dòng điện chuyển qua cuộn dây pha cần điều khiển theo thứ tự sau:

- Bước 1. Dòng vào pha A ra pha B
- Bước 2. Dòng vào pha A ra pha C
- Bước 3. Dòng vào pha B ra pha C
- Bước 4. Dòng vào pha B ra pha A
- Bước 5. Dòng vào pha C ra pha A
- Bước 6. Dòng vào pha C ra pha B

Trường hợp cần điều khiển quay theo chiều ngược, chúng ta sẽ cần chuyển mạch dòng điện theo thứ tự ngược lại theo thứ tự vừa nêu ở trên. Đồng thời, để bảo đảm từ trường quay tạo được từ các cuộn dây pha cần phải đồng bộ thời điểm chuyển mạch phù hợp với vị trí rotor. Dựa vào đặc điểm cấu tạo của BLDC không cảm biến, thời điểm chuyển pha được chúng tôi phát hiện bằng việc so sánh điện áp trên mỗi cuộn dây pha với điểm chung của ba dây pha. Tốc độ quay của động cơ được điều khiển thông qua công suất dòng điện được điều tiết bằng kỹ thuật PWM. Nguyên lý điều khiển hoạt động quay của động cơ BLDC được chúng tôi mô tả chi tiết như trong Hình 3.



Hình 4. Sơ đồ chi tiết mạch điện điều khiển BLDC

| | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| A : Tín hiệu hồi tiếp pha A | C : Tín hiệu hồi tiếp pha C |
| B : Tín hiệu hồi tiếp pha B | D : Tín hiệu hồi tiếp điểm chung pha |

3.3 Thiết kế mạch điều khiển

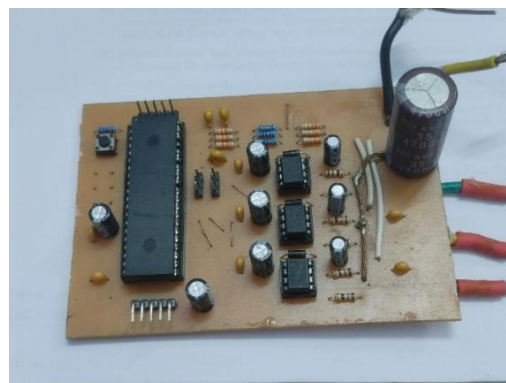
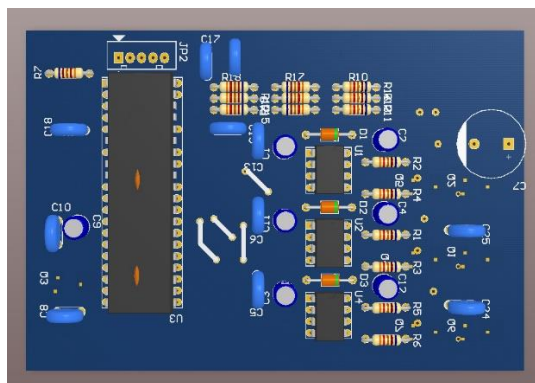
Để đáp ứng được nhu cầu điều khiển dòng điện hai chiều qua ba cuộn dây sẽ cần hai transistor cho mỗi pha thông qua một bán cầu H là IR2101 sẽ cần 6 tín hiệu điều khiển. Theo nguyên lý điều khiển động cơ không cảm biến sẽ sử dụng dòng hồi tiếp từ các pha và điểm chung của ba pha thành 4 tín hiệu đầu vào điều khiển. Mỗi bán cầu H cần hai tín hiệu điều khiển để điều khiển hai transistor chuyển mạch tương ứng với cấp dòng vào được ký hiệu "H" và mở cho dòng điện ra được ký hiệu "L". Động cơ có 3 cuộn dây pha tương ứng là A, B và C. Do đó chúng tôi sử dụng 6/8 chân ra cổng D của vi điều khiển PIC 16F887. Các chân điều khiển lần lượt được ký hiệu tương ứng là AH, AL, BH, BL, CH và CL; trong đó ba tín hiệu mở chuyển mạch dòng điện vào AH, BH và CH được chọn tương ứng với các đầu ra của khối PWM chuyên dụng của vi điều khiển được chọn. Chúng tôi sử dụng lựa chọn này cho phép mạch điều khiển một cách linh hoạt năng lượng điện đầu vào theo thời gian thực.

Bảng mạch này chúng tôi còn hướng đến mục tiêu chuyển thành bài thực hành cho sinh viên chuyên ngành điện tử nhằm hỗ trợ cho hoạt động khảo sát và điều khiển hoạt động của các loại động cơ điện hiện đại. Do vậy, trong kết quả triển khai chúng tôi có bổ sung thêm các điểm nối cho phép kết nối dễ dàng các thiết bị đo dòng điện và điện áp qua các dây pha cũng như tín hiệu đầu vào điều khiển tương ứng.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả thiết kế mạch điều khiển

Thiết kế của chúng tôi sau khi mô phỏng đánh giá đã được tối ưu các thành phần và hoàn thiện để bố trí và sắp xếp các linh kiện một cách phù hợp nhất cho phép kết nối với vi điều khiển bên ngoài và động cơ cụ thể. Hình 5 là kết quả thiết kế bản mạch PCB của mạch điều khiển gồm cả một vi điều khiển PIC16F887, ba bán cầu H là IR2101 và transistor công suất LR7843. Kết quả thực tế của mạch điều khiển đã được chúng tôi hoàn thiện như trong Hình 6.

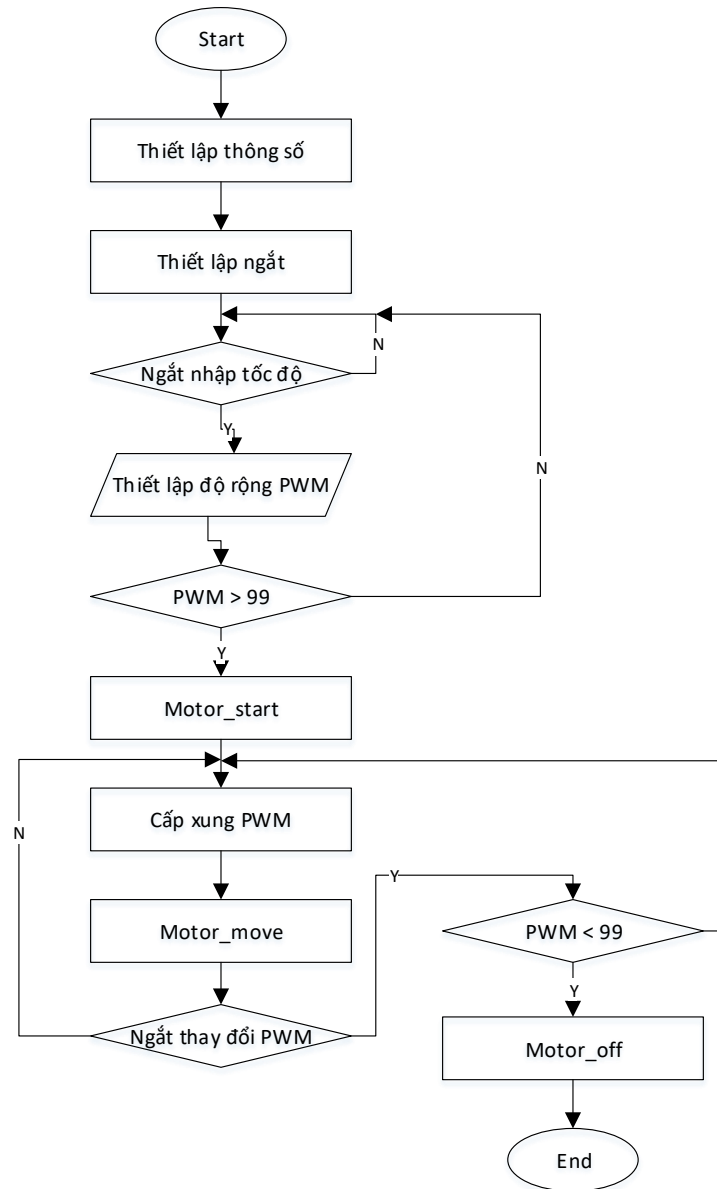


Hình 5. Thiết kế bản mạch in cho mạch điều khiển Hình 6. Kết quả thực thực tế mạch điều khiển

Trong quá trình thiết kế và thử nghiệm ban đầu chúng tôi thường gặp một lỗi kỹ thuật đối với các mạch điện điều khiển công suất. Mạch điện liên tục đóng/cắt các dòng điện giá trị lớn sẽ bị hiệu ứng dòng phản hồi làm hỏng các linh kiện và quá tải mạch đồng. Để khắc phục được hiện tượng này chúng tôi bổ sung một tụ điện có điện dung và điện áp ngưỡng giá trị lớn (Hình 6).

Hoạt động điều khiển động cơ được mô tả chi tiết như trong lưu đồ thuật toán được mô tả đầy đủ ở Hình 7. Mạch điều khiển này sử dụng vi điều khiển PIC 16F887 có ưu điểm là hỗ trợ đa dạng các ngắt gồm: ngắt thời gian, ngắt bộ so sánh, ngắt ngoài. Theo sơ đồ thiết kế như đã mô tả ở Hình 4 sử dụng tín hiệu kết nối với chân ngắt ngoài để cung cấp thông tin về độ dài tín hiệu cũng tương ứng với tỷ lệ tốc độ thực đối với tốc độ cực đại của động cơ.

Ở thời điểm đầu tiên, chúng tôi sử dụng độ dài tín hiệu vào để xác định ngưỡng khởi động; khi giá trị hệ số vào lớn hơn ngưỡng mạch chuyển vào chế độ khởi động động cơ để bảo đảm điện năng cung cấp lớn hơn ma sát và độ trễ động cơ. Quá trình khởi động diễn ra rất nhanh trong khoảng nhỏ hơn $\frac{1}{2}$ giây mạch sẽ thay đổi thông số độ rộng xung của khối PWM bên trong vi điều khiển và điều khiển động cơ quay ở tốc độ yêu cầu.



Hình 7. Lưu đồ thuật toán điều khiển động cơ

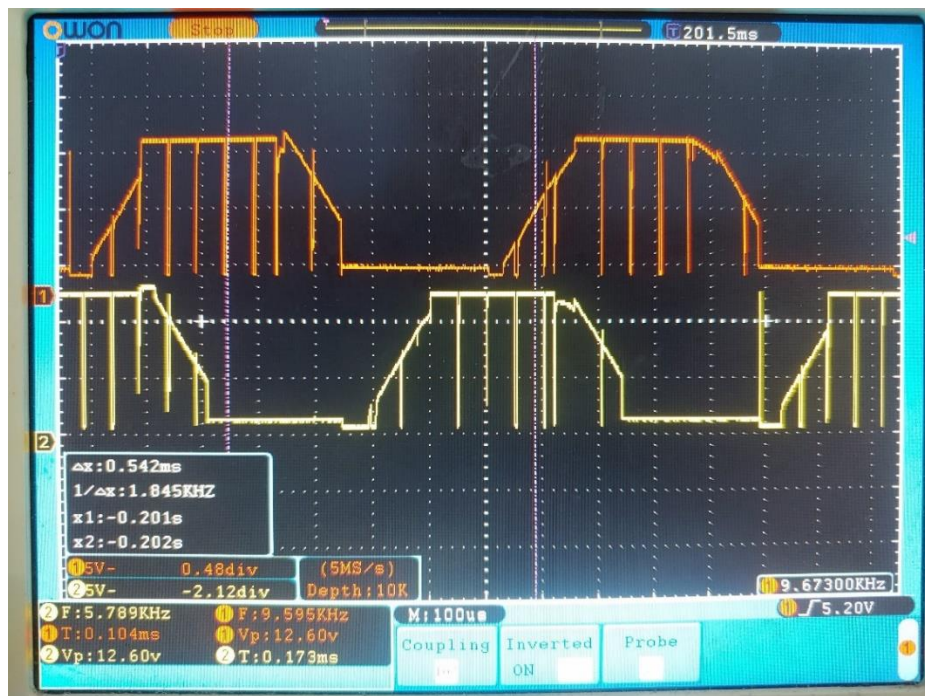
4.2. Kết quả đo tín hiệu

Trong các Hình 8 và Hình 9 là kết quả chúng tôi đo được đối với các tín hiệu tại đầu vào của các cuộn dây pha A và B và pha B và C tương ứng. Dựa theo kết quả đo cho thấy tín hiệu điều khiển của chúng tôi đã đạt được điểm chuyển pha giữa các cuộn dây chính xác để bảo đảm tín hiệu dạng điều hòa trên các cuộn dây pha.

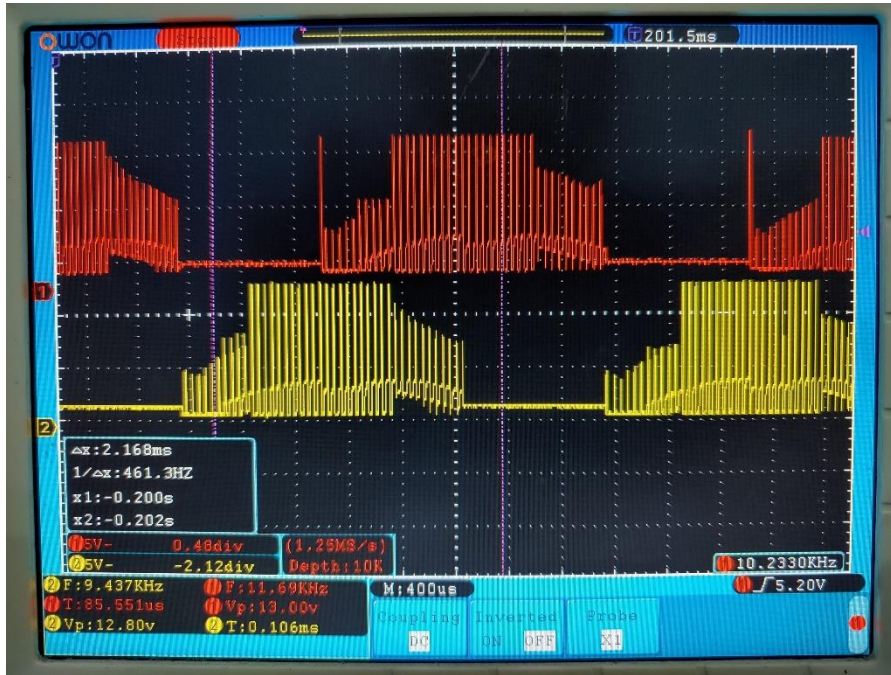


Hình 8. Tín hiệu ở Pha A và Pha B khi PWM cực đại

Và cũng trong Hình 8 và Hình 9 cũng thể hiện rõ trường hợp chúng tôi điều khiển động cơ quay ở tốc độ cực đại khi độ rộng xung cấp dòng điện qua các cuộn dây là gần liên tục. Trong khi tín hiệu đo được cũng trên các dây pha A và B ở Hình 10 cũng tạo nên dạng sóng điều hòa phân bố đều lệch pha 120° , nhưng độ rộng xung nhỏ hơn nên tạo nhiều xung hơn.



Hình 9. Tín hiệu ở Pha B và Pha C khi PWM cực đại



Hình 10. Tín hiệu pha A và Pha B khi PWM = 25%

5. KẾT LUẬN

Toàn bộ công việc nghiên cứu và thiết kế mạch điều khiển động cơ đã được chúng tôi triển khai trong thời gian tương đối dài vì phải trải qua nhiều lần thực nghiệm đánh giá và rút kinh nghiệm. Kết quả thu được trong bài báo này là kết quả tối ưu cho hoạt động điều khiển động cơ BLDC không cảm biến có thể thay đổi tốc độ theo tỷ lệ với tốc độ cực đại của động cơ. Kết quả thu được đã được chúng tôi triển khai trong thực tế và đo được các tín hiệu cụ thể.

Trong thời gian tới mạch điều khiển cần cải tiến thêm khi có khả năng thay đổi hướng quay và ghi nhận tốc độ thực của động cơ hoặc tín hiệu điều khiển để ổn định ở tốc độ chính xác theo yêu cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.Rambabu, "Modeling and Control of a Brushless DC Motor," National Institute of Technology Rourkela, 2007.
- [2] Microchip, "Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals," Microchip Technology Inc, 2023.
- [3] H. A. Abbood, "A Review of Intelligent Techniques Based Speed Control of Brushless DC Motor (BLDC)," *Basrah Journal for Engineering Sciences*, pp. 109-119, 2024.

DESIGN AND IMPLEMENTATION CONTROLLER BOARD FOR NONSENSOR BLDC MOTOR

Le Van Thanh Vu*, Tran Thanh Van, Hoang Dai Long

Faculty of Electricity, Electronics and Material Science, University of Sciences, Hue University

*Email: vulvt@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

Along with the development of electronics and automation, research on electric vehicles and self-driving cars is a direction that receives much attention and has achieved many positive results. The field of electric vehicle research is spreading in many directions to optimize energy consumption and improve efficiency. To that end, research on drive operations and motor control is underway. We investigate and deploy brushless motor control circuits- BLDC to approach these research directions. As a result, we have completed a BLDC motor control circuit that operates stably and has a test support function to investigate signals at all phases.

Keywords: Motor, BLDC, control, circuit design.



Lê Văn Thanh Vũ sinh ngày 20/05/1977 tại TP Huế. Ông nhận bằng cử nhân đại học ngành Vật lý tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế. Năm 2004, ông nhận bằng thạc sĩ ngành Điện tử - Viễn thông tại Khoa Công nghệ thuộc Đại học Quốc gia Hà Nội. Năm 2017, ông nhận bằng tiến sĩ tại Trường ĐH Công nghệ - ĐHQG Hà Nội. Hiện đang là giảng viên tại Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Thiết kế vi mạch, hệ thống nhúng – IoT.



Hoàng Đại Long sinh năm 1981 tại Thừa Thiên Huế. Ông tốt nghiệp cử nhân và thạc sĩ ngành thiết bị và hệ thống điện tử tại Đại học Bách Khoa Kiev, Ucraina năm 2005 và 2007. Ông nhận bằng tiến sĩ ngành Khoa học thông tin năm 2020 tại Viện Khoa học và công nghệ Nara, Nhật Bản. Hiện ông đang công tác tại Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ Vật liệu, Đại học Khoa học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Bảo mật cho IoT, hệ thống vô tuyến cho IoT, thiết kế tối ưu phần cứng



Trần Thành Văn sinh năm 1980 tại Tỉnh Quảng Bình. Ông Tốt nghiệp Đại học ngành Vật lý năm 2004 và nhận bằng Thạc sĩ (2014) Chuyên ngành Vật lý chất rắn tại trường Đại học Khoa học Huế. Hiện công tác tại Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ vật liệu, trường Đại học Khoa Học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Hệ thống IoT, Điện tử viễn thông.