

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BỘ NGHỊCH LƯU BA PHA SỬ DỤNG DRIVER TÍCH HỢP

RESEARCH AND DESIGN THREE-PHASE INVERTER USES INTEGRATED GATE DRIVER

VŨ NGỌC MINH*, PHẠM THỊ HỒNG ANH

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: minhvn.ddt@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày cấu trúc bộ nghịch lưu độc lập ba pha tích hợp driver FSBB30Ch60C và sơ đồ mạch ghép nối với vi điều khiển. Bài báo cũng trình bày sơ đồ mạch mô phỏng và chế tạo mạch thực nghiệm bộ nghịch lưu điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha. Thiết bị được chế tạo có cấu trúc đơn giản, có tính mở, phù hợp cho việc triển khai nghiên cứu, phát triển công nghệ trong các phòng thí nghiệm. Các kết quả mô phỏng trên phần mềm PSIM và kết quả thực nghiệm cho thấy tính chính xác và hiệu quả của thiết bị được xây dựng.

Từ khóa: Biến tần, nghịch lưu ba pha, điều khiển động cơ điện xoay chiều ba pha.

Abstract

The paper presents the structure of the three-phase independent inverter with integrated driver FSBB30Ch60C and a circuit diagram to pair it with the microcontroller. The article also presents the simulation circuit and the experimental circuit of the inverter to control the three-phase AC motor. The device is made simple, has an open structure, suitable for research and technology development in laboratories. Simulation results on PSIM software and experimental results show the accuracy and efficiency of the device being built.

Keywords: Converter, three phase inverter, three phase motor control.

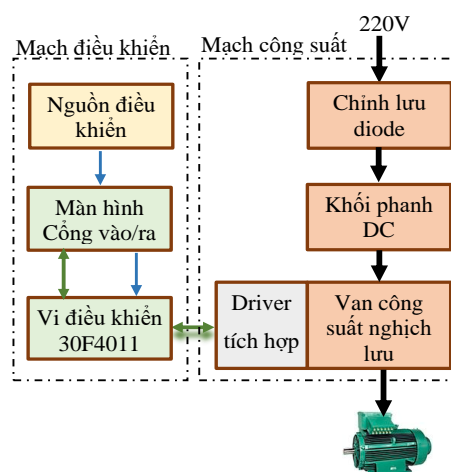
1. Đặt vấn đề

Các bộ biến đổi công suất AC/DC, AC/AC sử dụng rất phổ biến trong ngành giao thông vận tải cho các hệ thống tàu điện ngầm, tàu điện trên cao, ô tô điện. Trong lĩnh vực công nghiệp, bộ biến đổi AC/DC, DC/AC sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng điều chỉnh dải rộng về tốc độ.

Nghịch lưu ba pha sử dụng cấu trúc driver tách riêng với van động lực đã được ứng dụng trong công nghiệp từ lâu, chúng có cấu trúc phức tạp, giá thành cao, phù hợp với dải công suất trung bình và lớn. Các tác giả cũng có một số nghiên cứu, mô phỏng và chế

tạo theo hướng này thể hiện qua các công trình công bố [1-2].

Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành bán dẫn công suất, các bộ biến đổi công suất tích hợp driver đang được chú ý phát triển, tối ưu hóa về kích thước, đơn giản hóa trong ghép nối và giảm giá thành sản phẩm đầu ra. Cấu trúc bộ biến đổi AC/DC/AC dần được ứng dụng vào lĩnh vực điện tử gia dụng như máy giặt inverter, điều hòa inverter, tủ lạnh inverter [4-6],...



Hình 1. Cấu trúc bộ nghịch lưu 3 pha

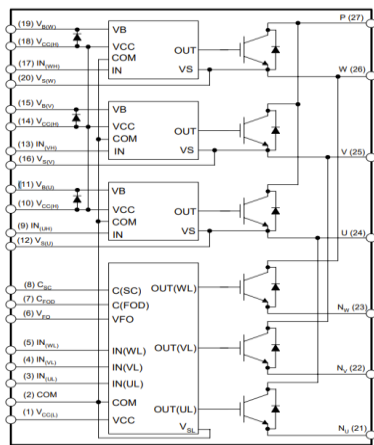
Các bộ nghịch lưu ba pha công nghiệp có cấu trúc đóng chỉ phù hợp với nghiên cứu vận hành, không phù hợp với mục đích nghiên cứu và phát triển khoa học. Nếu chúng ta chế tạo được bộ nghịch lưu có tính mở sẽ tạo sự linh hoạt trong nghiên cứu phát triển công nghệ và các thuật toán điều khiển (firmware) cũng như phát triển cấu trúc phần cứng (hardware). Hình 1 trình bày giải pháp thiết kế bộ nghịch lưu 3 pha với mạch công suất và mạch điều khiển được tách rời tạo sự linh hoạt trong ghép nối và thử nghiệm. Phần điều khiển được nhóm tác giả phát triển và hoàn thiện trong [1-3]. Bài báo này trình bày phần thiết kế, chế tạo, đánh giá kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm bộ công suất nghịch lưu ba pha sử dụng IC driver tích hợp FSBB30Ch60C.

2. Cấu trúc và thông số IC van công suất tích hợp driver FSBB30Ch60C

FSBB30Ch60C là van công suất tích hợp driver do hãng Fairchild phát triển có thông số kỹ thuật được trình bày trong Bảng 1. Kích thước nhỏ gọn, giá thành hợp lý, phù hợp với vùng công suất thấp nên FSBB30Ch60C và các biến thể của nó ngày càng được ứng dụng rộng rãi

Bảng 1. Thông số kỹ thuật FSBB30Ch60C

Stt	Tham số kỹ thuật	Đơn vị
1	Điện áp hoạt động	450V
2	Dòng điện	30A
3	Điện áp điều khiển	15-20V
4	Thời gian chuyển mạch	0,1-0,4us
5	Vce(sat) lớn nhất	2V
6	Tần số điều biến lớn nhất	20Khz



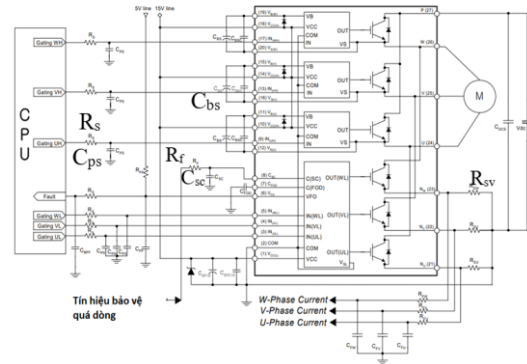
Hình 2. Sơ đồ khối FSBB30Ch60C

Cấu trúc phần cứng của FSBB30Ch60C được trình bày trên Hình 2. Sáu van IGBT kèm diode nội được mắc theo cấu trúc mạch cầu ba pha.

Nhóm ba van thấp được điều khiển chung bởi bộ driver ba kênh kết hợp tính năng đo và bảo vệ quá dòng trên từng pha tải. Khi xảy ra hiện tượng quá dòng, ba van IGBT nhóm thấp được điều khiển khóa lại. Nhóm ba van cao được điều khiển bởi ba bộ driver riêng biệt sử dụng kỹ thuật bootstrap, ba diode bootstrap tích hợp sẵn trong IC để giảm kích thước mạch điện tử bên ngoài.

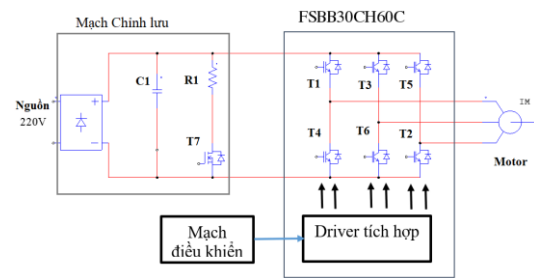
3. Thiết kế, chế tạo bộ nghịch lưu ba pha

Hình 3 Trình bày sơ đồ ghép nối trực tiếp giữa IC tích hợp với vi điều khiển, kiểu ghép nối trực tiếp giúp giảm thiểu số lượng linh kiện điện tử từ đó giảm chi phí bộ biến đổi cũng như diện tích bố trí bảng mạch.



Hình 3. Ghép nối vi điều khiển với FSBB30Ch60C

Tín hiệu đo dòng ba pha được lấy từ các điện trở Rsu, Rsv, Rsw qua khâu lọc thông thấp R-C đưa trực tiếp về cổng vào ADC của vi điều khiển. Tín hiệu bảo vệ quá dòng từ vi điều khiển đưa tới IC driver thông qua mạch lọc thông thấp Rf-Csc. Ngưỡng dòng bảo vệ được tính theo công thức $I_{bv} = 0,5/R_{sv}$



Hình 4. Sơ đồ khối mạch công suất

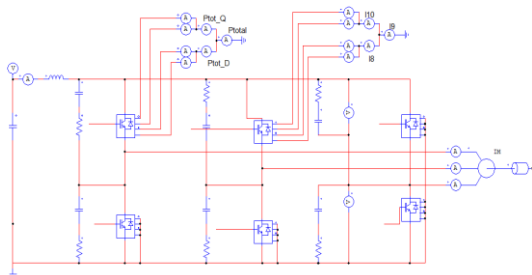
Cbs, Cbsc kết hợp với diode nội tạo thành mạch bootstrap cho ba pha. Tín hiệu điều khiển van từ vi điều khiển đưa tới Ic mắc qua mạch lọc Rs-Cps để giảm hiện tượng dao động ký sinh khi van chuyển mạch.

Cấu trúc mạch công suất nghịch lưu ba pha trên Hình 1 được cụ thể hóa trên Hình 4. IC driver tích hợp, mạch đo và bảo vệ dòng được đặt trên một bảng mạch. Phần chỉnh lưu, DC link và mạch phụ trợ bảo vệ quá áp được phát triển riêng trên một bảng mạch khác để tạo sự linh hoạt trong kết nối và đo đạc tham số. Nguồn cấp đầu vào lấy từ lưới điện xoay chiều 220V-250V. Mạch công suất nghịch lưu được thiết kế để sử dụng cho động cơ có công suất tới 750W, điện áp hoạt động 220V.

Hình 11 và 12 trình bày sơ đồ nguyên lý được tác giả triển khai trong thực tế. Hình 9 là bảng mạch chỉnh lưu có bảo vệ quá áp và Hình 10 là bảng mạch công suất tích hợp FSBB30CH60C được chế tạo thử nghiệm.

4. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Hình 5 là sơ đồ cấu trúc mạch công suất nghịch lưu ba pha trong mô phỏng. Các thông số của van IGBT lấy theo số liệu của nhà sản xuất [4] được trình bày trong Bảng 2.

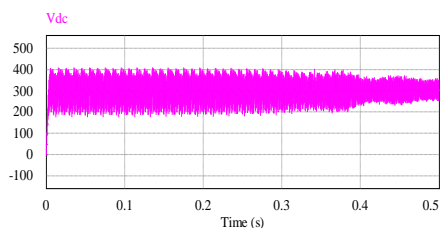


Hình 5. Mạch nghịch lưu mô phỏng trên Psim

Bảng 2. Thông số IGBT trong FSBB30Ch60C

Stt	Tham số kỹ thuật	Đơn vị
1	Điện áp collector-emitter, V_{ces}	600V
2	Dòng collector, I_{cmax}	60A
3	Công suất nhiệt, P_c	106W
4	Điện áp rơi trên diode, V_F	2,1V
5	Điện áp bão hòa IGBT, $V_{ce(sat)}$	2V
6	Tần số điều biến	10khz

Thông số mô phỏng và thực nghiệm chính trong bài báo bao gồm: Khả năng hoạt động của bộ nghịch lưu với các tải khác nhau, điện áp trên van khi bộ biến đổi mang tải, hình dáng dòng điện, điện áp trên tải.

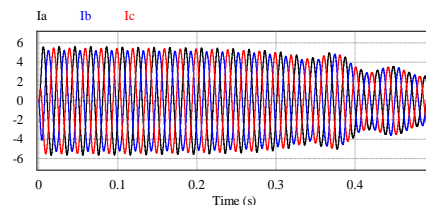


Hình 6. Điện áp trên IGBT khi $L=5\mu H$

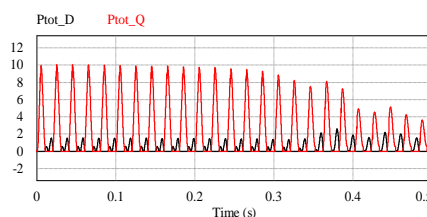
Bộ nghịch lưu được mô phỏng trong trường hợp điều khiển theo luật PWM với hệ số điều biến bằng 1. Tải là động cơ điện xoay chiều ba pha 220V, 750W, $\cos\phi$ 0,72. Điện áp nguồn một chiều 310V. Bước mô phỏng E-6(s)

Hình 7, 8 trình bày kết quả mô phỏng quá trình khởi động động cơ xoay chiều ba pha roto lồng sóc. Dòng khởi động lớn nhất trên mỗi pha $\approx 6A$. Công suất nhiệt trên van $\approx 10W$. Đối chiếu với tham số van

trong Bảng 2, Ic tích hợp FSBB30CH60C hoàn toàn đáp ứng tốt với nhiệm vụ điều khiển động cơ. Hình 6 là kết quả mô phỏng điện áp trên van IGBT khi mạch công suất có điện cảm $L=5\mu H$. Quá trình khởi động điện áp trên van chỉ tăng đến 410V trong khi IGBT khả năng chịu điện áp $V_{ces}=600V$, như vậy van làm việc an toàn, hệ số an toàn về điện áp đạt tới 1,46.

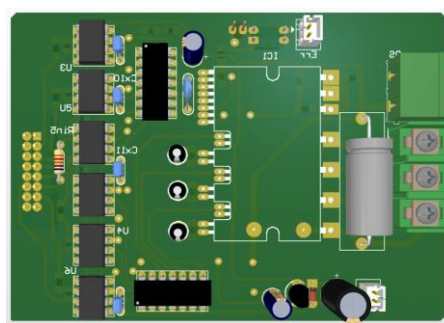


Hình 7. Dòng khởi động động cơ



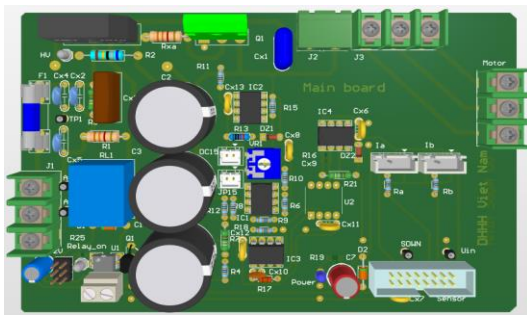
Hình 8. Công suất tiêu tán trên IGBT và diode

Hình 9, 10 là hình ảnh hai thành phần của mạch công suất bộ biến tần ba pha trên phần mềm thiết kế mạch, bao gồm mạch nghịch lưu và mạch chỉnh lưu có bảo vệ quá áp theo sơ đồ nguyên lý trên Hình 4. Hình 13 trình bày ghép nối hoàn chỉnh các thành phần bộ biến tần sử dụng IC tích hợp FSBB30Ch60C trong thực nghiệm để điều khiển động cơ xoay chiều ba pha.



Hình 9. Board mạch công suất FSBB30Ch60C

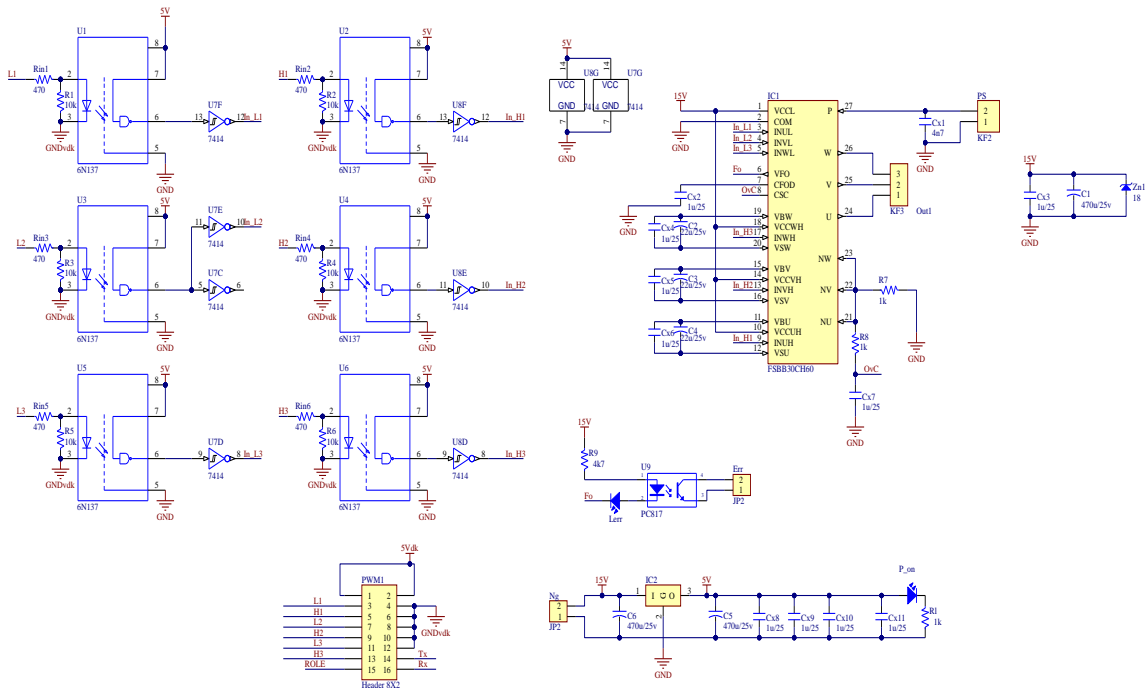
Khi ghép nối thực tế Ic công suất FSBB30CH60C với mạch điều khiển được trình bày trên Hình 1. Mạch công suất nghịch lưu hoạt động ở điện áp cao, để đảm bảo an toàn cho con người trong vận hành thử nghiệm và nạp phần mềm, tác giả thiết kế vi điều khiển giao tiếp với FSBB30CH60C thông qua ic cách ly quang 6N137.



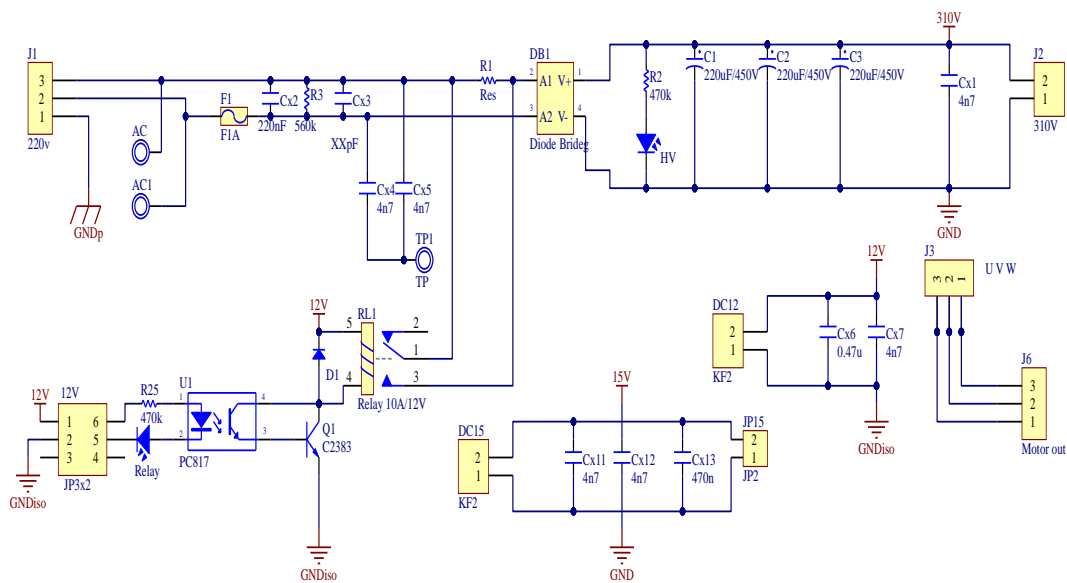
Hình 10. Board mạch công suất chỉnh lưu và bảo vệ

Bảng 3. Kết quả đo điện áp lớn nhất trên IGBT

Chế độ tải	Điện áp lớn nhất trên IGBT (V)	Sai số cho phép (V)
Không tải	311	± 2 V
25 %	340	± 2 V
50 %	355	± 2 V
75 %	410	± 2 V
100 %	425	± 3 V



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý mạch công suất FSBB30Ch60C ghép nối với vi điều khiển

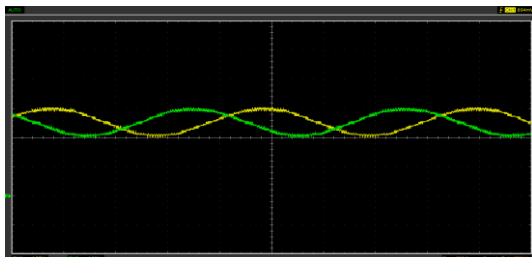


Hình 12. Sơ đồ nguyên lý mạch công suất chỉnh lưu và bảo vệ quá áp

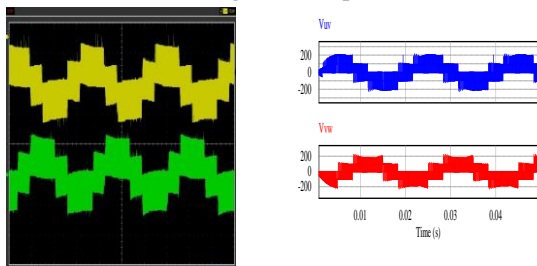
Bảng 3 trình bày kết quả thực nghiệm đo điện áp trên IGBT khi vận hành động cơ xoay chiều ba pha 220V, 750W tương ứng với các phụ tải khác nhau. Kết quả thực nghiệm tương đồng với kết quả mô phỏng.



Hình 13. Bộ nghịch lưu ba pha được hoàn thiện và vận hành thực nghiệm



Hình 14. Thực nghiệm đo dòng điện 2 pha u, v bằng oscilloscope



Hình 15. Thực nghiệm (trái) và mô phỏng (phải) điện áp 2 pha u, v trên động cơ xoay chiều ba pha

Dòng điện trên 2 pha khi điều khiển động cơ ở tần số định mức được đo bằng oscilloscope trên Hình 14. Kết quả thực nghiệm cho thấy mạch công suất hoạt động tốt, dòng điện cấp cho động cơ có dạng hình sin phù hợp với tải động cơ điện xoay chiều ba pha. Điện áp trên 2 pha u, v đo bằng thực nghiệm và mô phỏng thể hiện trên Hình 15, điện áp là các chuỗi sóng hài bậc cao không có điểm bất thường với giá trị lớn nhất khi tải định mức là 425V.

5. Kết luận

Bài báo đã phân tích cấu trúc IC công suất tích hợp driver FSBB30CH60. Từ các tham số của IC tích hợp do nhà sản xuất cung cấp, tác giả đã mô phỏng hoạt

động van IGBT bằng phần mềm PSIM và thiết kế, chế tạo thành công bộ nghịch lưu điều khiển động cơ xoay chiều 3 pha roto lồng sóc.

Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy bộ nghịch lưu ba pha hoạt động tốt. Thiết bị do nhóm tác giả chế tạo có ưu điểm là đơn giản, có tính mở, sử dụng linh kiện điện tử hiện đại, dễ dàng triển khai chế tạo thực nghiệm trên diện rộng cho mục đích nghiên cứu khoa học cũng như ứng dụng thương mại hóa sản phẩm trong tương lai.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.44.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Tâm Thành, Vũ Ngọc Minh (2020), *Mô phỏng hệ thống điều khiển bộ biến đổi điện tử công suất trong phòng thí nghiệm*, Tạp chí Giao thông vận tải, Số 05, tr.117-120.
- [2] Phạm Tâm Thành, Vũ Ngọc Minh (2018), *Mô phỏng bộ khởi động mềm động cơ xoay chiều ba pha*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải, Số 29(8), tr.44-49.
- [3] Nguyễn Phùng Quang (2016), *Điều khiển vector truyền động điện xoay chiều ba pha*, NXB Bách khoa, Hà Nội.
- [4] Fairchild (2008), FSBB30CH60C smart power modul, Fairchild semiconductor corporation.
- [5] Texas instruments (2017), *Three-phase inverter reference design using gate driver with built-in dead time insertion*, Texas instruments incorporated.
- [6] David Tam (2017), *New 1200V Integrated circuit changes the way 3-phase motor drive inverters are designed*, International rectifier.

Ngày nhận bài: 06/4/2022

Ngày nhận bản sửa: 12/4/2022

Ngày duyệt đăng: 24/4/2022