

MÔ PHỎNG ỨNG DỤNG THYRISTOR TRONG ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN XOAY CHIỀU

Nguyễn Trọng Dũng¹, Nguyễn Chính Cường¹, Hồ Tuấn Hùng¹
và Lại Khắc Hoàng²

¹Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

²Viện Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt. Nghiên cứu này mô phỏng ứng dụng của thyristor trong điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng công cụ simulink trong ngôn ngữ lập trình matlab. Simulink trong ngôn ngữ lập trình matlab là công cụ rất mạnh dùng để mô phỏng các phần tử công suất, mạch điện ứng dụng và được sử dụng nhiều trong các trung tâm nghiên cứu. Bài báo này khảo sát đặc tính đóng, mở của thyristor trong điều khiển mạch tải thuần trở, mạch tải cảm (động cơ điện xoay chiều) bằng 1 hoặc 2 thyristor. Điều đó ứng với điều khiển nửa chu kỳ và điều khiển cả chu kỳ nguồn cấp. Các kết quả cho thấy, việc sử dụng 1 hoặc 2 thyristor để điều khiển động cơ điện xoay chiều có ý nghĩa rất lớn trong việc nâng cao công suất hoạt động của động cơ. Các kết quả đó có thể được sử dụng trong giảng dạy điện tử công suất cho sinh viên của các khoa Vật lý trường đại học sư phạm. Ngoài ra, khi các thông số đầu vào khác nhau sẽ cho các kết quả khác nhau và từ đó giải thích được cơ chế đóng, mở của thyristor.

Từ khoá: Mô phỏng, simulink, thyristor, công suất, động cơ điện xoay chiều.

1. Mở đầu

Trong công cuộc đổi mới đất nước về công nghiệp hoá và hiện đại hoá, vấn đề áp dụng khoa học kỹ thuật vào quy trình sản xuất là vấn đề cần thiết nhất hiện nay. Cùng với sự phát triển của một số ngành: điện tử, công nghệ thông tin, ngành khoa học kỹ thuật, điều khiển và tự động hoá đã phát triển vượt bậc. Trong đó, hoạt động tự động hoá của các quy trình sản xuất đang được phổ biến ngày nay. Nó có thể thay thế cho sức lao động của con người và làm tăng năng suất trong sản xuất. Các phần tử công suất như là điện trở, cuộn cảm, diốt (diode), thyristor, gto, mosfet, ideal switch, igbt... được sử dụng trong mạch điện tử ứng dụng góp phần làm tăng hiệu suất và khả năng tự động hóa của động cơ điện xoay chiều [1, 2].

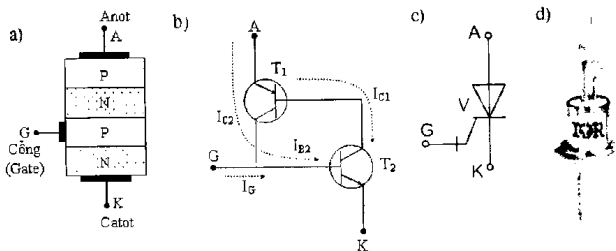
Bài báo này mô phỏng ứng dụng của thyristor trong điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng công cụ simulink trong ngôn ngữ lập trình matlab. Các kết quả nghiên cứu được khảo sát, phân tích thông qua đặc trưng Von – Ampe của thyristor với tải là động cơ điện xoay chiều cho kết quả chính xác, thông qua thay đổi độ lệch pha của tín hiệu điều khiển và nguồn cấp để điều chỉnh công suất ra của động cơ. Kết quả nghiên cứu phù hợp với thực nghiệm và có thể sử dụng trong giảng dạy điện tử công suất cho sinh viên các khoa Vật lý trường đại học sư phạm.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

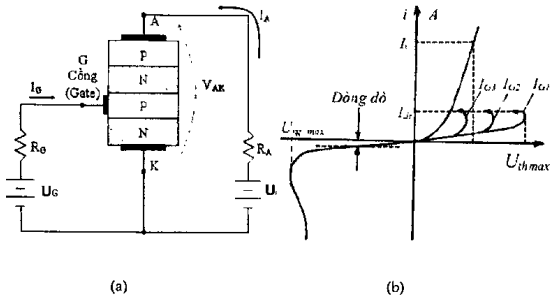
Công cụ mô phỏng: Simulink là công cụ trong ngôn ngữ lập trình matlab dùng để mô phỏng, phân tích các linh kiện và mạch điện tử với môi trường giao diện đồ họa. Ngoài ra, simulink còn là ngôn ngữ lập trình giúp cho người sử dụng dễ dàng di chuyển qua lại giữa giao diện đồ họa và ngôn ngữ lập trình, nó tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình mô phỏng [3].

Thyristor: Thyristor là linh kiện bán dẫn silic có điều khiển, cấu tạo gồm 4 lớp bán dẫn loại P, N sắp xếp theo kiểu P-N-P-N (gọi là SCR) tạo ra ba lớp tiếp giáp P-N: J1, J2, J3. Trong đó, ba cực của bán dẫn được gắn trực tiếp với các lớp như: Cực anot (A) được gắn với lớp bán dẫn loại P, cực catot (K) được gắn với lớp bán dẫn loại N và cực điều khiển (G) được gắn với lớp bán dẫn loại P, được thể hiện trên Hình 1. (Ngoài ra, thyristor có thể được phân tích thành 2 transistor mắc nối tiếp, một transistor thuận và một transistor ngược (Hình 1b) hoặc có thể coi thyristor là một diode có điều khiển (Hình 1c).



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của thyristor (1a), sơ đồ tương đương (1b), kí hiệu (1c), hình dạng (1d)

Khi ta nối thyristor vào mạch điện như Hình 2a, kết hợp với sơ đồ Hình 1b ta thấy, khi có dòng điện nhỏ I_G đặt vào cực điều khiển G của thyristor, dòng điện I_G tạo ra dòng cực thu I_{C1} lớn hơn. Mặt khác: I_{C1} lại chính là dòng nền I_{B2} của transistor PNP T_2 lại tạo ra dòng thu I_{C2} lại lớn hơn I_{C1} trước... Hiện tượng này cứ tiếp diễn cho đến khi cả hai transistor trở nên bão hòa. Dòng bão hòa qua 2 transistor chính là dòng anot của thyristor, dòng điện này phụ thuộc vào U_A và điện trở tải R_A . Cơ chế hoạt động của thyristor cho thấy dòng I_G không cần lớn và thời gian tồn tại ngắn. Khi thyristor đã dẫn điện, ta có thể bỏ dòng I_G đi thì thyristor vẫn tiếp tục dẫn điện. Để có thể ngắt được dòng qua thyristor ta có thể ngắt nguồn V_{AK} (hoặc giảm điện áp V_{AK} sao cho dòng điện qua thyristor có giá trị nhỏ đến một giá trị nào đó (gọi dòng điện này là dòng duy trì I_{d0}).



Hình 2. Mạch nối thyristor đơn giản (a) và đường đặc trưng Von-Ampe (b)

Hình 2b là đường đặc trưng Von-Ampe của thyristor, trong đó các giá trị nằm trong góc phần tư thứ I tương ứng với điện áp $U_{AK} > 0$ gọi là đặc tính thuận còn các giá trị nằm trong góc phần tư thứ III tương ứng với điện áp $U_{AK} < 0$ gọi là đặc tính nghịch.

Khi dòng điện vào cực điều khiển của thyristor bằng 0, hay khi hở mạch cực điều khiển, thyristor sẽ cản trở dòng điện ứng với cả hai trường hợp phân cực điện áp giữa anốt và katốt. Khi điện áp $U_{AK} < 0$ theo cấu tạo bán dẫn của thyristor hai tiếp giáp J1, J3 đều phân cực ngược, lớp tiếp giáp J2 phân cực thuận, như vậy thyristor sẽ giống như hai diode mắc nối tiếp bị phân cực ngược. Qua thyristor sẽ chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua, gọi là dòng rò, thyristor ở trạng thái đóng. Khi U_{AK} tăng đạt đến một giá trị điện áp lớn nhất $U_{AK} = U_{ng,max}$ theo chiều ngược, sẽ xảy ra hiện tượng thyristor bị đánh thủng, dòng điện có thể tăng lên rất lớn. Giống như ở đoạn đặc tính ngược của diode quá trình đánh thủng là không thể đảo ngược được, nghĩa là thyristor đã bị hỏng. Khi tăng điện áp anốt-katốt theo chiều thuận, $U_{AK} > 0$, lúc đầu cũng chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua, gọi là dòng rò. Điện trở tương đương mạch anốt-katốt vẫn có giá trị rất lớn. Khi đó tiếp giáp J1, J3 phân cực thuận, J2 phân cực ngược. Cho đến khi U_{AK} tăng đạt đến giá trị điện áp thuận lớn nhất $U_{AK} = U_{th,max}$ theo chiều thuận sẽ xảy ra hiện tượng điện trở tương đương mạch anốt-katốt đột ngột giảm, dòng điện có thể chạy qua thyristor và giá trị sẽ chỉ bị giới hạn bởi điện trở tải ở mạch ngoài, thyristor ở trạng thái mở. Nếu khi đó dòng qua thyristor có giá trị lớn hơn một mức dòng tối thiểu, gọi là dòng duy trì, I_{dt} , thì khi đó thyristor sẽ dẫn dòng trên đường đặc tính thuận, giống như đường đặc tính thuận của diode.

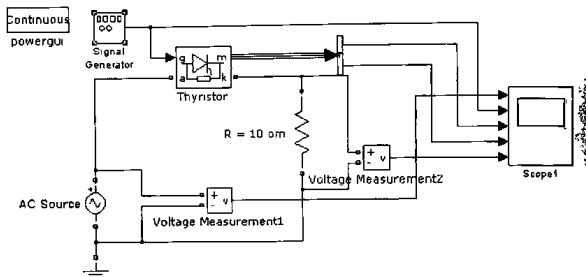
Khi đặt vào cực điều khiển dòng $I_G > 0$ thì quá trình chuyển điểm làm việc trên đường đặc tính thuận, trạng thái mở, sẽ xảy ra sớm hơn với $U_{th} < U_{th,max}$ được mô tả bởi những đường nét đứt, ứng với các giá trị dòng điều khiển khác nhau $I_{G1}, I_{G2}, I_{G3}, \dots$. Nói chung, nếu dòng điều khiển lớn hơn thì điểm chuyển đặc tính làm việc sẽ xảy ra với U_{AK} nhỏ hơn.

Để nghiên cứu, khảo sát đặc tính đóng, mở của thyristor khi điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng công cụ simulink trong ngôn ngữ lập trình matlab bằng cách thay đổi các thông số đầu vào trong trường hợp tải thuần trở và tải cảm (động cơ điện xoay chiều) với 1 hoặc 2 thyristor. Kết quả thu được phù hợp với thực nghiệm và có thể ứng dụng vào thực tiễn [4, 5].

2.2. Kết quả mô phỏng

2.2.1. Khảo sát đặc tính đóng, mở của thyristor

Để khảo sát đặc tính đóng, mở của thyristor chúng tôi sử dụng mạch điện như trên Hình 3. Trong mạch này, để khảo sát dòng mở (I_G) và ảnh hưởng của I_G lên trạng thái đóng-mở của Thyristor, ta sử dụng điện áp điều khiển là tín hiệu hình sin với biên độ 2 V và 2 tần số là 50 Hz và 100 Hz.



Hình 3. Sơ đồ khảo sát đặc tính đóng, mở của thyristor

Đặt các thông số đầu vào như nguồn cấp AC 12 V/50 Hz, tín hiệu điều khiển AC 2V với tần số (50 Hz; 200 Hz), điện trở $R = 10 (\Omega)$ và thyristor với các thông số như trong Bảng 1.

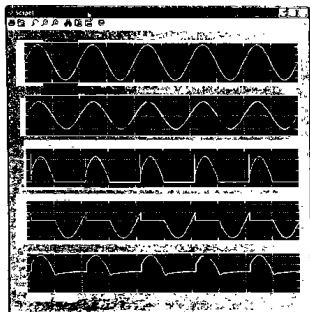
Bảng 1. Thông số của thyristor

Thyristor				
Ron (W)	Lon (H)	Vf (V)	Rs (Ω)	Cs (F)
0.001	0	0.8	20	4.10 ⁻⁶

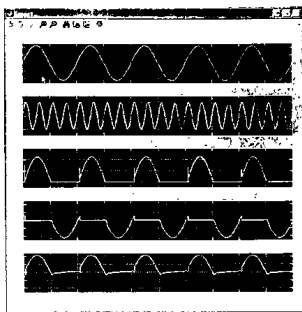
Kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 4 và 5. Trong đó, các đường đồ thị tương ứng: Điện áp nguồn cấp (đồ thị 1) – Điện áp điều khiển (đồ thị 2) – Dòng điện chạy qua thyristor (đồ thị 3) – Điện áp giữa 2 cực AK của thyristor (đồ thị 4) – Điện áp trên điện trở R (đồ thị 5).

Kết quả mô phỏng cho thấy điện áp mở của thyristor $\sim 1V$ (thể hiện trên đồ thị 1, 2 và 3) Khi thyristor mở, có dòng điện chạy qua tải với điện áp $U_{AK} = 0.8V$ (đồ thị 4). Khi thyristor mở, nếu ta thay đổi điện áp đặt vào cực điều khiển G thì vẫn không làm ảnh hưởng tới trạng thái mở của thyristor và dòng điện trong mạch (Hình 5, đồ thị 2 và 3). Thyristor sẽ chuyển về trạng thái đóng khi có điện áp ngược đặt vào hai cực A-K mà không phụ thuộc vào điện áp đặt vào cực điều khiển G (đồ thị 1, 3 và 2) Khi thyristor đang ở trạng thái mở, nếu ta thay đổi điện áp đặt lên cực G thì vẫn không ảnh hưởng gì tới trạng thái của thyristor và dòng điện chạy trong mạch (Hình 5, đồ thị 2 và 3) hay tần số của điện áp điều khiển không ảnh hưởng đến trạng thái đóng-mở của thyristor. Khi thyristor ở trạng thái đóng thì không có dòng điện chạy qua tải và điện áp U_{AK} trên thyristor bằng điện áp nguồn cấp (đồ thị 4). Với mạch chỉ có 1 thyristor chỉ có dòng điện chạy qua mạch ứng với nửa chu kì dương của nguồn cấp. Khi

đó, công suất tiêu thụ của tải có thể được điều khiển bằng cách thay đổi thời điểm kích mở thyristor theo thời gian của nửa chu kỳ dương của nguồn cấp. Khi thời điểm kích mở dịch dần về phía đầu nửa chu kỳ dương của nguồn cấp thì công suất tiêu thụ ngày càng lớn. Khi thời điểm kích mở dịch dần về phía cuối của nửa chu kỳ dương của nguồn cấp thì công suất tiêu thụ ngày càng nhỏ. Để điều khiển ca chu kỳ của nguồn cấp chúng ta có thể sử dụng 2 thyristor mắc ngược chiều nhau (hoặc sử dụng mạch cầu thyristor).

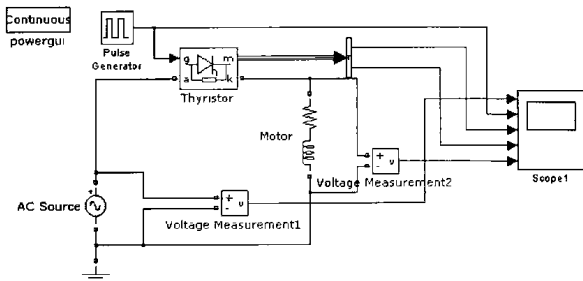


Hình 4. Sơ đồ tín hiệu điều khiển với tần số 50 Hz



Hình 5. Sơ đồ tín hiệu điều khiển với tần số 100 Hz

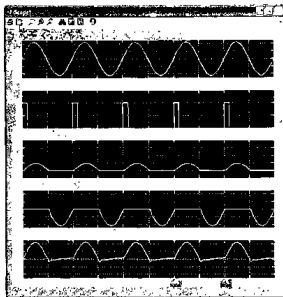
2.2.2. Điều khiển động cơ điện xoay chiều



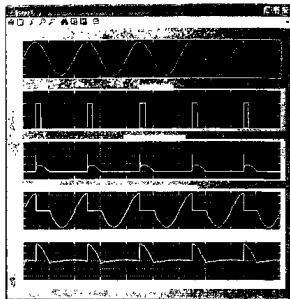
Hình 6. Sơ đồ mô phỏng mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng 1 thyristor

Hình 6 là sơ đồ mô phỏng mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng 1 thyristor.

Các thông số chính đặt vào sơ đồ mạch như sau. Nguồn cấp AC 220 V/50 Hz, tín hiệu điều khiển là nguồn xung 2 V/50 Hz, thyristor có các thông số như trong Bảng 1, động cơ điện xoay chiều được phân tích tương đương với một đoạn mạch R-L.



Hình 7. Tín hiệu điều khiển cùng pha với nguồn cấp

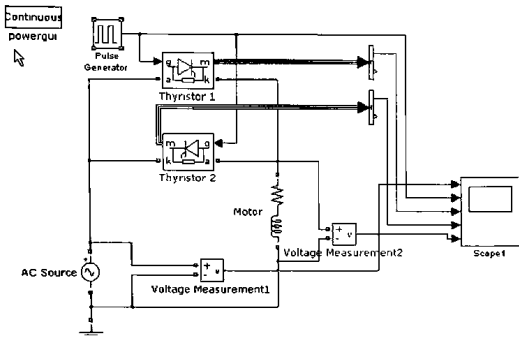


Hình 8. Tín hiệu điều khiển chậm pha 1/4 chu kỳ so với nguồn cấp

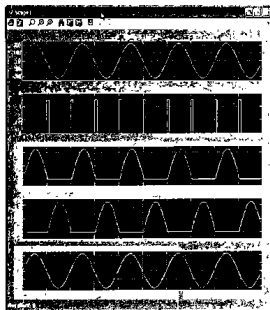
Hình 7 và 8 là kết quả mô phỏng với động cơ điện xoay chiều có công suất 1.000 W ($R = 48,4 \Omega$ và $L = 0,02$ H), tín hiệu điều khiển cùng pha với nguồn cấp (Hình 7) và chậm pha 1/4 chu kỳ so với nguồn cấp (Hình 8). Trong đó, các đường đồ thị tương ứng: Điện áp nguồn cấp (đồ thị 1) – Điện áp điều khiển (đồ thị 2) – Dòng điện qua thyristor (đồ thị 3) – Điện áp qua 2 cực AK của thyristor (đồ thị 4) – Điện áp đặt trên hai đầu động cơ điện xoay chiều (đồ thị 5). Quan sát Hình 7 và Hình 8 ta thấy mạch chỉ điều khiển với nửa chu kỳ dương của nguồn cấp (đồ thị 1, 3 và 5). Khi tín hiệu điều khiển chậm pha 1/4 chu kỳ so với điện áp nguồn cấp thì động cơ điện xoay chiều bắt đầu hoạt động. Thời gian được tính bắt đầu từ thời điểm kích mở thyristor cho đến hết nửa chu kỳ dương của nguồn cấp (đồ thị 2, 3 và 5). Do đó, công suất tiêu thụ của động cơ được điều khiển bằng thời điểm kích mở thyristor. Với sơ đồ ở Hình 6, công suất tiêu thụ của động cơ đạt từ 0% tới 50% trong Hình 7 và công suất tiêu thụ của động cơ sẽ giảm từ 50% xuống 25% ở Hình 8.

Ngoài ra, còn có một dòng điện đột biến xuất hiện (ở động cơ điện xoay chiều khi mở, khi đóng thyristor) với giá trị khác nhau tùy vào điện áp nguồn cấp ở thời điểm kích mở (ở đồ thị thứ 3). Dòng điện đột biến này do cảm kháng của động cơ điện xoay chiều sinh ra. Do đó, khi lắp mạch trong thực tế người ta phải chọn thyristor có dòng quá tải phù hợp.

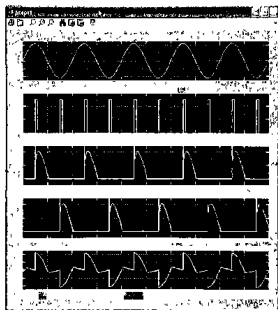
Hình 9 là sơ đồ mô phỏng mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng 2 thyristor được mắc ngược chiều nhau. Mạch mô phỏng với các thông số chính như: nguồn cấp AC 220 V/50 Hz, tín hiệu điều khiển là nguồn xung 5 V/100 Hz và thyristor với các thông số như trong Bảng 1. Động cơ điện xoay chiều được phân tích tương đương với một đoạn mạch R-L.



Hình 9. Sơ đồ mô phỏng mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều bằng 2 thyristor



Hình 10. Tín hiệu điều khiển cùng pha với nguồn cấp



Hình 11. Tín hiệu điều khiển chậm pha 1/2 chu kỳ với nguồn cấp

Hình 10 và Hình 11 là kết quả mô phỏng mạch điều khiển động cơ điện xoay chiều với công suất 1.000 W (tương ứng với $R = 48,4 \Omega$, $L = 0,02 \text{ H}$) với tín hiệu điều khiển cùng pha với nguồn cấp (Hình 10) và chậm pha 1/2 chu kỳ so với nguồn cấp (Hình 11). Trong đó, các đường đồ thị tương ứng: Điện áp nguồn cấp (đồ thị 1) – Điện áp điều khiển (đồ thị 2) – Dòng điện chạy qua thyristor 1 (đồ thị 3) – Dòng điện chạy qua thyristor 2 (đồ thị 4) – Điện áp trên động cơ (đồ thị 5).

Kết quả trên Hình 10 và Hình 11 cho thấy trong mạch điện ở Hình 9 mỗi thyristor sẽ cung cấp dòng điện cho động cơ điện xoay chiều theo 2 nửa chu kì khác nhau của nguồn cấp. Thyristor 1 ứng với nửa chu kì dương (Hình 10, đồ thị 3 và 5) và thyristor 2 ứng với nửa chu kì âm (Hình 10, đồ thị 4 và 5). Bằng cách phối hợp 2 thyristor ta có thể điều khiển động cơ hoạt động trong cả hai nửa chu kì của nguồn cấp. Mặt khác, khi tín hiệu điều khiển lệch pha so với nguồn cấp thì công suất tiêu thụ của động cơ giảm xuống. Động cơ chỉ hoạt động từ thời điểm bắt đầu có xung điều khiển cho tới khi kết thúc của nửa chu kì tín hiệu của nguồn cấp (Hình 11). Bằng cách thay đổi thời điểm mở của 2 thyristor ta có thể điều khiển được công suất của động cơ từ 0% tới 100% như: Trên Hình 10 động cơ hoạt động với công suất 100% và trên Hình 11 động cơ hoạt động với công suất 50%.

Tóm lại, với mạch chỉ có 1 thyristor công suất tiêu thụ của động cơ điện xoay chiều tương ứng với công suất từ 0% đến 50% còn 2 thyristor tương ứng với công suất từ 0% đến 100%.

3. Kết luận

Qua quá trình mô phỏng ứng dụng thyristor trong điều khiển động cơ điện xoay chiều chúng tôi thu được các kết quả sau:

- Xây dựng thành công sơ đồ khảo sát đặc tính động, mở của thyristor trong các trường hợp tải thuần trở và tải cảm (động cơ điện xoay chiều) bằng công cụ simulink trong ngôn ngữ lập trình Matlab

- Khảo sát thành công ứng dụng của thyristor trong điều khiển động cơ điện xoay chiều với hai trường hợp cụ thể: Điều khiển một nửa chu kì (điều khiển công suất động cơ đạt từ 0% tới 50%) và điều khiển cả hai nửa chu kì (điều khiển công suất động cơ đạt từ 0% tới 100%).

- Kết quả thu được có thể đem vào ứng dụng trong thực tiễn nhằm làm tăng hiệu suất sử dụng của động cơ điện xoay chiều.

- Với sơ đồ thiết kế ta có thể dùng để khảo sát các đặc tính thyristor và ứng dụng trong công tác giảng dạy nhằm giúp cho sinh viên dễ dàng tiếp cận với những nghiên cứu về lĩnh vực điện tử công suất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. A. K. Temple, 1989. *Advances in MOS controlled thyristor technology and capability*. Power Conversion, pp. 544-554.
- [2] K. H. Liu and F. C. Lee, 1986. *Zero-Voltage Switching Technique In DC/DC Converters*. IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, pp. 58-70.
- [3] Nguyễn Phùng Quang, 2006. *Matlab và Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*. Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4] Bùi Minh Chính, Trần Trọng Minh, Phạm Quốc Hải, 2008. *Điện tử công suất*. Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Trần Sum, 1999. *Tu động điều khiển*, Nxb Giao thông Vận tải.

ABSTRACT

Simulation of thyristor application in AC motor control

This study simulated the application of thyristor in AC motor control using the tool simulink in matlab programming language. Simulink in matlab programming language is a powerful tool which is used to simulate the power element and circuit applications and it is used in many other research applications. This study examined the opening and closing characteristics of the thyristor in control of a pure resistance load and a pure inductance load (AC motors) by one or two thyristors. This corresponds with the control of the half cycle and whole cycle of the power supply. The results showed that the use of one or two thyristors to control AC motors significantly improves the operational performance of the engines. These results can be used in teaching electronics to physics students at Teacher Training Universities. Because the various input parameters yield different results, the opening and closing mechanism of the thyristor can be explained.

Keywords: Simulation, simulink, thyristor, capacity, AC motors