

ỨNG DỤNG CÔNG CỤ SIMULINK TRONG MATLAB ĐỂ MÔ PHỎNG CÁC MẠCH ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

SIMULATE POWER ELECTRONICS CIRCUITS USING THE SIMULINK TOOLBOX WITHIN MATLAB SOFTWARE

Võ Khánh Thoại

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng; vkthoai@ute.udn.vn

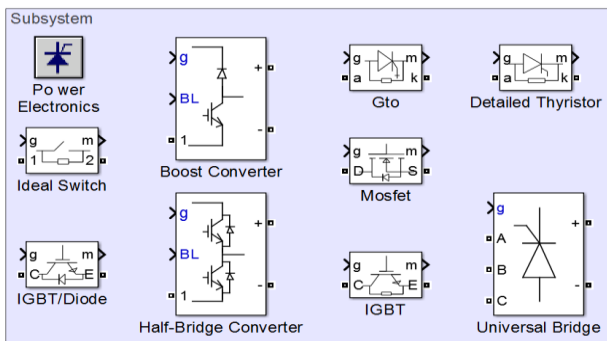
Tóm tắt - Mô hình hóa, mô phỏng là một phương pháp khoa học để nghiên cứu các đối tượng, các quá trình... bằng cách xây dựng các mô hình của chúng và dựa trên mô hình đó để nghiên cứu trở lại đối tượng thực. Mô hình hóa, mô phỏng luôn là một công cụ mạnh mẽ trong kỹ thuật công nghệ. Điện tử công suất là môn học rất cần thiết trong Kỹ thuật điện – Điện tử, Điều khiển tự động hóa. Điện tử công suất là công nghệ biến đổi điện năng từ dạng này sang dạng khác trong đó các phần tử bán dẫn công suất đóng vai trò trung tâm và được ứng dụng rộng rãi trong hầu hết các ngành công nghiệp hiện đại. Bài báo này trình bày phương pháp sử dụng công cụ Simulink trong Matlab để mô phỏng một số mạch Điện tử công suất. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy, Matlab/ Simulink là một nền tảng phù hợp để mô phỏng các quá trình công nghệ nói chung và điện tử công suất nói riêng.

Từ khóa - Điện tử công suất; MATLAB; SIMULINK; mô phỏng; mô hình hóa

1. Đặt vấn đề

Nhiệm vụ của điện tử công suất là xử lý và điều khiển dòng năng lượng điện bằng cách cung cấp điện áp và dòng điện ở dạng thích hợp cho các tải. Tải sẽ quyết định các thông số về điện áp, dòng điện, tần số, và số pha tại ngõ ra của bộ biến đổi. Các bộ biến đổi bán dẫn là đối tượng nghiên cứu cơ bản của điện tử công suất, trong đó điển hình là: Các bộ chỉnh lưu (AC -> DC) không điều khiển và có điều khiển với tải là thuần trở (R), tải điện cảm (R, L)...; Các bộ nghịch lưu (DC -> AC); Bộ biến đổi điện xoay chiều (AC -> AC); Bộ biến đổi điện một chiều (DC -> DC); Các bộ biến tần 1 pha, 3 pha... [1]. Các tính năng trong Matlab được thể hiện ở [2, 3]; mô phỏng Điện tử Công suất bằng PSIM [4]; so sánh ưu nhược điểm về mô phỏng Điện tử Công suất giữa PSIM và MATLAB được công bố ở [5]. Trong bài báo này, các đặc tính của Diode, Thyristor và các bộ chỉnh lưu một pha không điều khiển, có điều khiển với các tải khác nhau được mô phỏng trên phần mềm Matlab/ Simulink và kiểm chứng thực nghiệm.

2. Matlab/ Simulink với điện tử công suất



Hình 1. Các khối mô phỏng

Abstract - Simulation is a scientific method for studying objects, processes... by building their models and basing on that model to study back to the real objects. Simulation has always been a powerful tool in technology. Power electronics is a very necessary course in electrical - electronics, automation control engineering and is taught in the undergraduate and graduate - level syllabus. Power electronics is a technology that converts electricity from one form to another in which power semiconductors play a central role and are widely used in most modern industries. This paper presents methods of using Simulink in Matlab software to simulate Power Electronics circuits. At the same time, this article also helps students, researchers calculate the value of parameters to achieve the desired results.

Key words - Power electronics; MATLAB; SIMULINK; simulation; modelling

Phần này sẽ giới thiệu cách để mô hình hóa và mô phỏng các bộ chuyển đổi điện tử công suất [6, 7]. Đầu tiên là mở Matlab, sau đó là Simulink. Simulink Start Page xuất hiện. Chọn những khối được dùng để mô phỏng (Hình 1).

Bảng 1 là tóm lược các khối và chức năng của nó.

Bảng 1. Các khối mô phỏng, địa chỉ và chức năng

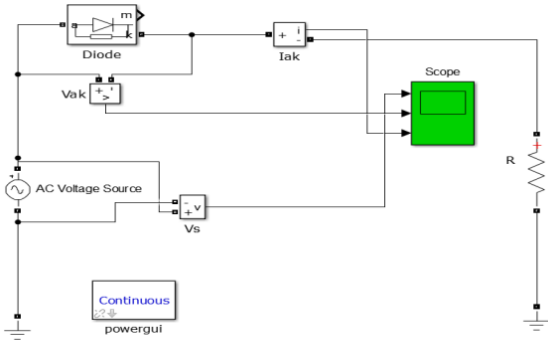
Chọn khối	Thư viện / Thư viện con	Tác dụng
AC voltage source	Power electronics	Tạo nguồn điện xoay chiều
DC voltage source	Power electronics	Tạo nguồn điện một chiều
Bus Selector	Commonly Used Blocks	Đo dạng sóng có phân kênh như đo dòng, áp trên Thyristor.
Pulse generator	Sources	Cung cấp xung kích mở Thyristor
Powergui	Fundamental Blocks	Phân kiểu nguồn cung cấp là liên tục hay rời rạc.
Diode, Thyristor, Mosfet, Gto...	Power electronics	Chọn các linh kiện điện tử công suất
RLC series branch for R; L; C; R,L; R,C or R,L,C load	Elements	Chọn loại tải
Curent Measurement	Measurements	Bộ đo dòng điện
Voltage Measurement	Measurements	Bộ đo điện áp
Scope	Commonly Used Blocks	Đo dạng sóng của đầu ra

3. Mô phỏng các mạch Điện tử Công suất

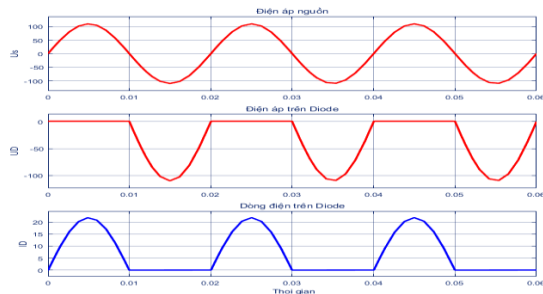
3.1. Đặc tính Diode

Trên Hình 2A là mô hình để lấy đặc tính trên Diode. Nguồn đầu vào xoay chiều 110V, tải là R giá trị 10Ω, thời gian mô phỏng trong 0,06s. Trong khoảng (0 - 0,01s), điện áp $V_{AK} > 0$, Diode thông, cho dòng chạy qua, dòng điện này bằng dòng điện tải V_s/R , điện áp rơi trên Diode khoảng

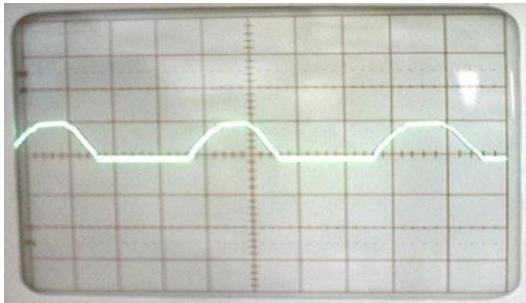
1 vôn (V), trong khoảng (0,01 - 0,02s), điện áp $V_{AK} < 0$, Diode chặn không cho dòng điện chạy qua, dòng điện $I_{AK} = 0$ Ampe (A), sau đó chu kỳ được lặp lại (Hình 2B). Tiến hành thực nghiệm ta thu được dạng sóng như trên Hình 2C.



Hình 2A. Mô hình cho đặc tính của Diode



Hình 2B. Dạng sóng đặc tính của Diode

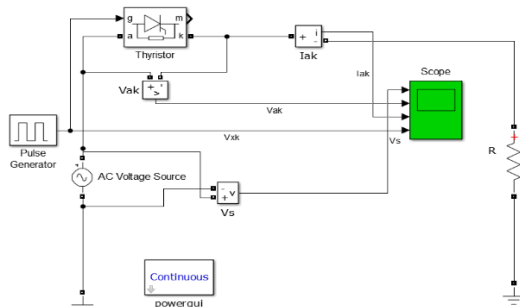


Hình 2C. Dạng sóng đặc tính của Diode thực nghiệm

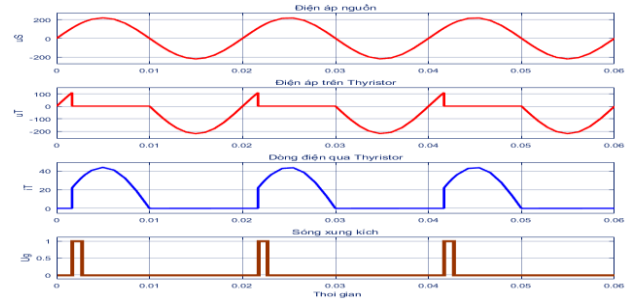
So sánh dạng sóng mô phỏng trên Matlab/Simulink (Hình 2B) có dạng hoàn toàn giống với ở thực nghiệm trên tải (Hình 2C), việc mô phỏng cho kết quả tin cậy.

3.2. Đặc tính Thyristor

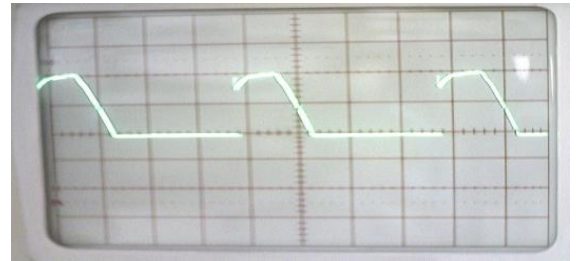
Hình 3A là mô hình cho đặc tính trên Thyristor với nguồn đầu vào xoay chiều với giá trị biên độ đỉnh (peak amplitude) $V_{AC}=110V$, tải là $R = 10\Omega$, nguồn cấp xung Pulse generator setting có biên độ Amplitude=1, chu kỳ 0,02s, mô phỏng trong 0,06s.



Hình 3A. Mô hình đặc tính của Thyristor



Hình 3B. Dạng sóng đặc tính của Thyristor

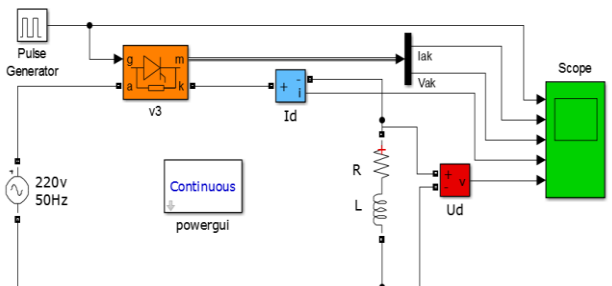


Hình 3C. Dạng sóng đặc tính của Thyristor thực nghiệm

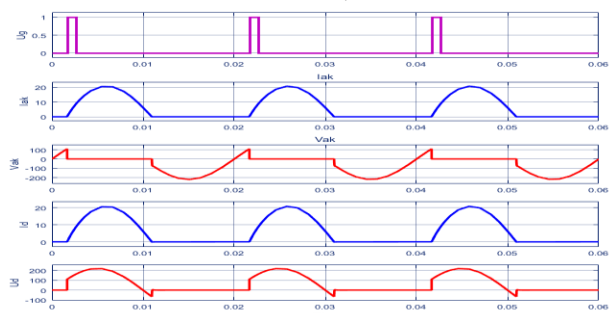
Trong suốt nửa chu kỳ dương của điện áp, dòng điện sẽ chạy qua tải (qua Thyristor) khi nào cực cổng G của Thyristor được kích xung. Thyristor chỉ cho dòng điện chạy qua khi điện áp $V_{AK} > 0$, và có xung kích, ngược lại nó sẽ chặn. Khi nó dẫn, điện áp rơi trên nó khoảng vài vôn, dòng chạy qua bằng V_r/R (Hình 3B). Tiến hành thực nghiệm ta thu được dạng sóng trên Hình 3C có dạng giống kết quả mô phỏng.

3.3. Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển, tải R, L

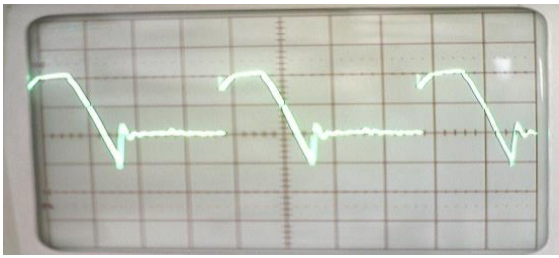
Để cấp điện một chiều có thể điều khiển được cho tải, khi nguồn đầu vào xoay chiều ta có thể sử dụng mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ dùng Thyristor như Hình 4A. Đầu vào là nguồn xoay chiều với giá trị biên độ đỉnh (peak amplitude) $V_{AC}=220V$, tần số 50Hz. Tải là điện trở $R = 10\Omega$ và điện cảm $L = 0,01H$ mắc nối tiếp.



Hình 4A. Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển tải R, L



Hình 4B. Dạng sóng chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển

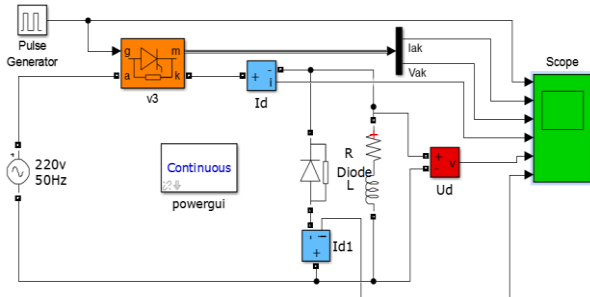


Hình 4C. Dạng sóng chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển thực nghiệm

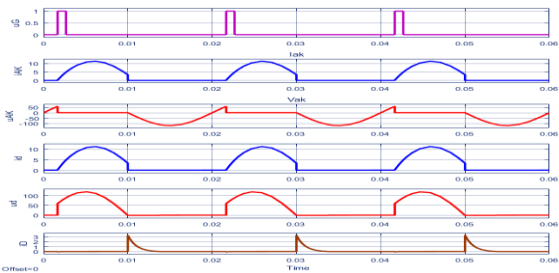
Dạng sóng trên van Thyristor và tải thể hiện như Hình 4B. Điện áp trên tải là điện áp một chiều có được khi có xung kích Thyristor và $U_{AK} > 0$. Tuy nhiên, khi tải có điện cảm L , nên mặc dầu điện áp trên tải về 0V, tại thời điểm 0,01s nhưng dòng vẫn lớn hơn 0A (lệch pha giữa điện áp và dòng điện) nên áp trên tải tiếp tục xuống nhỏ hơn 0V cho đến khi dòng điện về 0A. Hình 4C là kết quả dạng sóng thực nghiệm thu được. Do tải có thêm cuộn dây L nên thực nghiệm dạng sóng dao động hơn so với mô phỏng lý thuyết.

3.4. Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển tải R, L , có Diode xả năng lượng

Để tránh dòng điện cảm ứng kéo dài như trường hợp ở mục 3.3, ta dùng thêm Diode xả năng lượng (Free wheeling diode) có sơ đồ như Hình 5A. Thông số sơ đồ như ở mục 3.3. Điện áp và dòng điện chấm dứt ở cuối bán kỳ 0,01s, như Hình 5B, dòng điện cảm ứng sẽ chạy qua diode ID .



Hình 5A. Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển tải R, L , có Diode xả năng lượng



Hình 5B. Dạng sóng chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển tải R, L , có Diode xả năng lượng

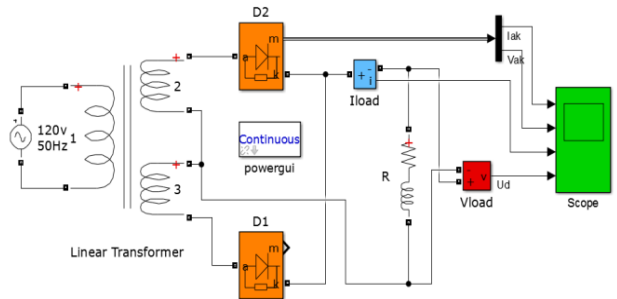


Hình 5C. Dạng sóng chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển tải R, L , có Diode xả năng lượng thực nghiệm

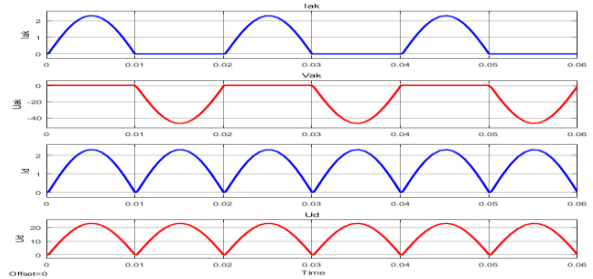
Tiến hành thực nghiệm, kết quả dạng sóng trên tải thu được như Hình 5C và giống với mô phỏng.

3.5. Chỉnh lưu không điều khiển toàn sóng, tải R, L

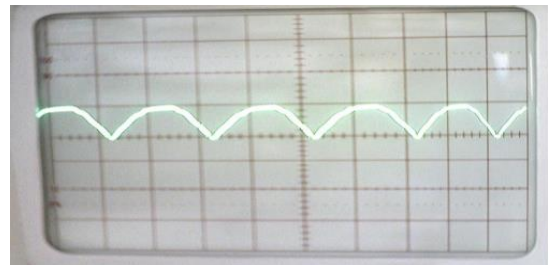
Hình 6A là sơ đồ nguyên lý chỉnh lưu một pha, toàn chu kỳ (toàn sóng) không điều khiển dùng Diode. Với điện áp đầu vào xoay chiều hình sin, biên độ 120V, tần số 50Hz sử dụng máy biến áp có điểm trung tính. Tải gồm $R=10\Omega$, $L=0,01H$. Dạng sóng trên Diode và trên tải (một chiều) được thể hiện trên Hình 6B. Tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng, kết quả thu được giống với mô phỏng như ở Hình 6C.



Hình 6A. Sơ đồ nguyên lý chỉnh lưu một pha toàn chu kỳ tải R, L , không điều khiển



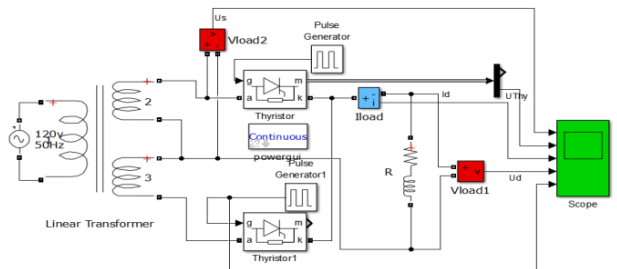
Hình 6B. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kỳ không điều khiển



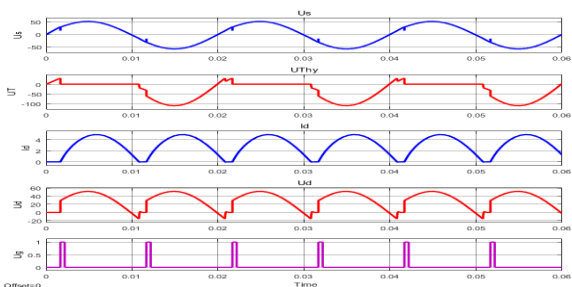
Hình 6C. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kỳ không điều khiển thực nghiệm

3.6. Chỉnh lưu có điều khiển toàn sóng, tải R, L

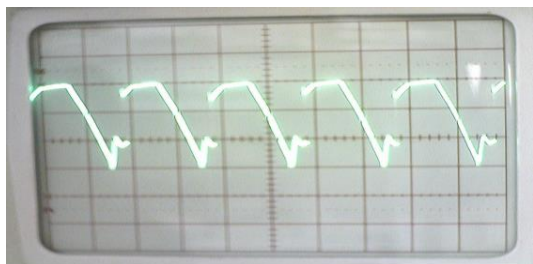
Để điều chỉnh điện áp đầu ra của bộ chỉnh lưu đặt vào tải, ta thay thế các Diode ở sơ đồ Hình 6A thành các Thyristor cùng với các bộ kích xung với góc kích 30° như Hình 7A.



Hình 7A. Chỉnh lưu một pha toàn chu kỳ có điều khiển



Hình 7B. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kì có điều khiển



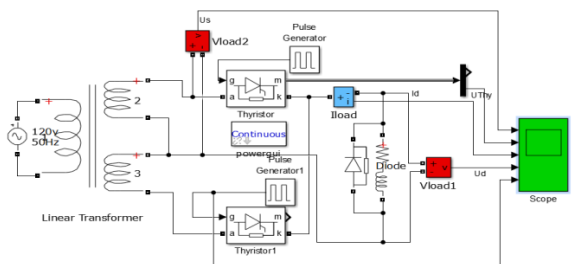
Hình 7C. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kì có điều khiển thực nghiệm

So sánh dạng sóng trên tải ở thực nghiệm (Hình 7C) có dạng tương đương với mô phỏng trên Matlab/ Simulink (Hình 7B).

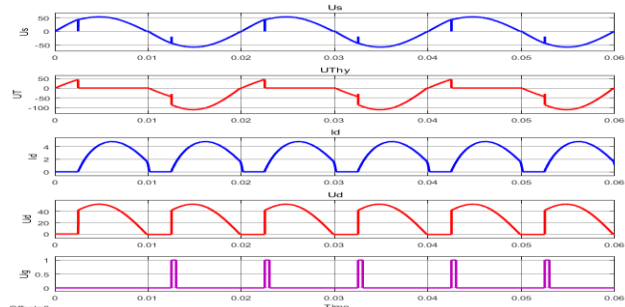
3.7. Chỉnh lưu có điều khiển toàn sóng, tải R, L, có Diode xả năng lượng

Hình 7B là dạng sóng thu được trên Thyristor cũng như trên tải. Tại các thời điểm cuối bán kỳ 0,01s, cuối chu kỳ 0,02s, dòng điện qua tải dương trong khi điện áp đã về 0V, áp trên tải tiếp tục xuống âm. Sơ đồ trong Hình 8A có thêm Diode dập (dẫn dòng điện cảm ứng) để dòng và áp trên tải cùng bằng 0 ở cuối bán kì và toàn kì (Hình 8B).

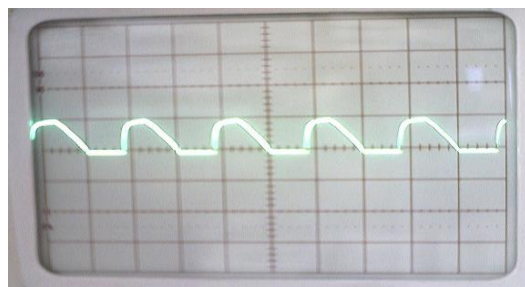
Lắp ráp mạch để kiểm chứng, sóng thu được trên tải ở Hình 8C có dạng giống với mô phỏng trên Simulink ở Hình 8B.



Hình 8A. Chỉnh lưu một pha toàn chu kì có điều khiển, Diode xả năng lượng



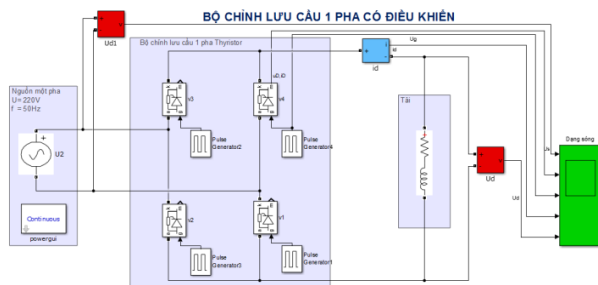
Hình 8B. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kì có điều khiển, Diode xả năng lượng



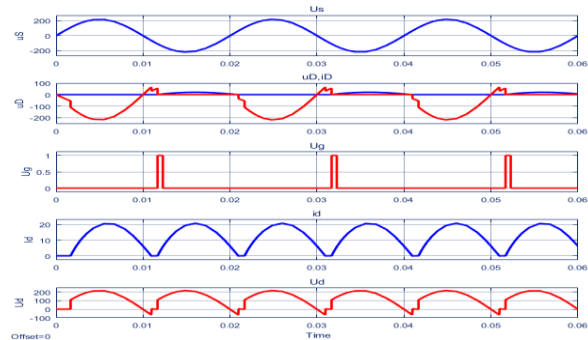
Hình 8C. Dạng sóng chỉnh lưu 1 pha toàn chu kì có điều khiển, Diode xả năng lượng thực nghiệm

3.8. Chỉnh lưu cầu 1 pha có điều khiển, tải R, L

Hình 9A là sơ đồ chỉnh lưu dạng cầu, 1 pha có điều khiển. Dạng sóng trên tải (Hình 9B) có dạng giống như trường hợp chỉnh lưu toàn chu kì với biến áp có điểm trung tính, như Mục 3.6. Tuy nhiên, trường hợp này sử dụng 4 Thyristor.



Hình 9A. Chỉnh lưu cầu một pha có điều khiển, tải R, L



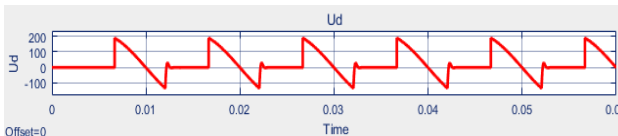
Dạng sóng chỉnh lưu một pha cầu, có điều khiển, tải R, L góc điều khiển anpha 30°



Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 45°

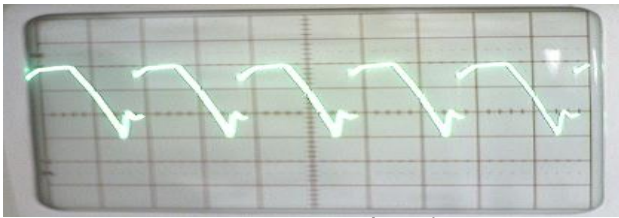


Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 60°

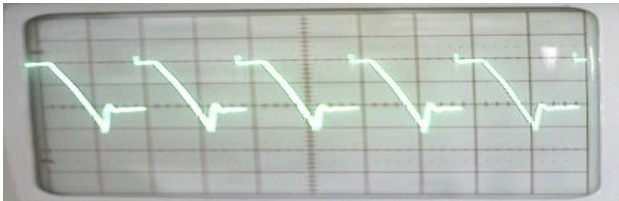


Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 60°

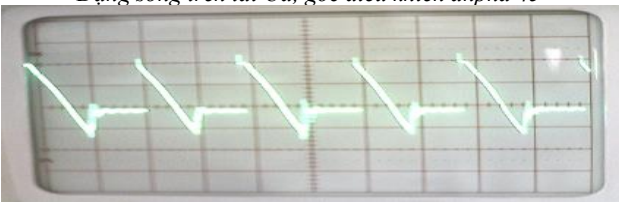
Hình 9B. Dạng sóng chỉnh lưu một pha cầu, có điều khiển, tải R, L với các góc điều khiển khác nhau



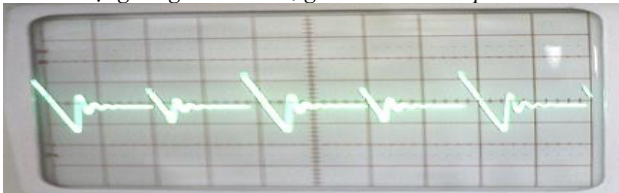
Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 30°



Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 45°



Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 60°

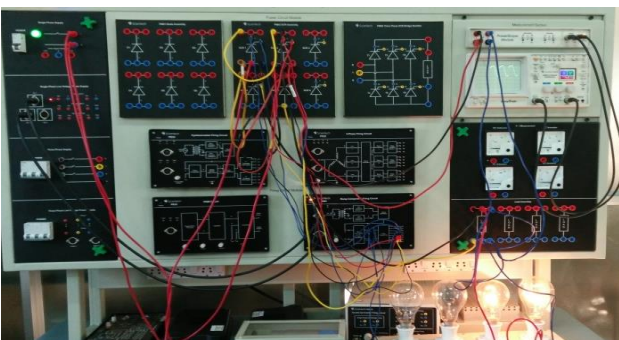


Dạng sóng trên tải Ud, góc điều khiển anpha 90°

Hình 9C. Dạng sóng chỉnh lưu một pha cầu, Thyristor, tải R, L với các góc điều khiển khác nhau thực nghiệm

Sơ đồ nối dây thực nghiệm các mạch điện tử công suất

Thực hiện lắp ráp các mạch điện tử công suất để kiểm chứng. Lần lượt nối dây theo các sơ đồ đã trình bày ở Mục 3 với sơ đồ như Hình 10. Kết quả thu được trên máy hiện sóng thể hiện trên các hình C của mục 3 này.



Hình 10. Sơ đồ thực nghiệm các mạch điện tử công suất

(BBT nhận bài: 07/3/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 14/02/2020)

Để thay đổi điện áp đặt vào tải, ta thay đổi thời điểm kích xung trên các Thyristor. Xét trường hợp chỉnh lưu cầu một pha, dạng sóng điện áp trên tải Ud thể hiện ở Hình 9B với các trường hợp góc điều khiển anpha 30° , 45° , 60° , 90° . Kết quả mô phỏng cho thấy, điện áp trung bình trên tải Ud thay đổi phụ thuộc theo sự thay đổi góc điều khiển anpha. Thực nghiệm kiểm chứng, điện áp trung bình trên tải ở Hình 9C thu được hoàn toàn giống với mô phỏng trên Matlab/ Simulink.

Bàn luận: Qua các kết quả mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng cho thấy, với việc mô phỏng ta có thể *thay đổi các cấu trúc* của các bộ chỉnh lưu, *thời điểm kích mở* các phần tử bán dẫn để thay đổi điện áp trung bình trên tải ở đầu ra cũng như *thay đổi các loại tải* trong những điều kiện khác nhau một cách dễ dàng.

4. Kết luận

Một số hướng mô phỏng được thảo luận trong bài báo này thể hiện có thể mô phỏng các mạch điện tử công suất với cấu trúc và tải ở nhiều trường hợp khác nhau. Từ khảo sát lý thuyết, mô phỏng trên Simulink và tiến hành thực nghiệm có thể kết luận rằng Matlab/ Simulink là một nền tảng phù hợp để mô hình hóa, mô phỏng các quá trình công nghệ nói chung và điện tử công suất nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] https://vi.wikipedia.org/wiki/%C4%90%E1%BB%87n_t%E1%BB%AD_%C3%B4ng_s%E1%BA%A5t
- [2] Abdulatif A. M. Shaban, "A Matlab / Simulink Based Tool for Power Electronic Circuits", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 49, 2009, pp. 274–279.
- [3] Hazim H. Tahir, Teresa Fernández Pareja, "MATLAB Package and Science Subjects for Undergraduate Studies", *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE)*, Volume 1, Issue 1, March 2010.
- [4] Prof. Sabyasachi Sengupta and et.all, "NPTEL Power Electronics Notes" [Online]. Available: nptel.iitm.ac.in
- [5] Sameer Khader "The Application of PSIM & MATLAB /SIMULINK in power electronics courses", *Conf. "Learning Environments and Ecosystems in Engineering Education"*, IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) – April 4 - 6, 2010, Amman, Jordan
- [6] Chung Kuo, Jack Hsieh, Firuz Zare, Senior Member IEEE, Gerard Ledwich, Senior Member IEEE "An Interactive Educational Learning Tool for Power Electronics" *Conf. Power Engineering*, 2007, Australasian Universities, AUPEC 2007.
- [7] P.J. van Duijsen; P. Bauer; B. Davat; "Simulation and Animation of Power Electronics and Drives, Requirements for Education" [Online]. Available: www.simulation-research.com