

ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN DEAD-BEAT NÂNG CAO ĐỘNG HỌC CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN CHỈNH LƯU TÍCH CỰC TRÊN CƠ SỞ NGHỊCH LƯU ĐA BẬC NỔI TẦNG CẦU CHỮ H

Bùi Văn Huy*, Phạm Văn Minh, Quách Đức Cường
Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Hệ thống chỉnh lưu tích cực ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các mạng điện có sự tham ra của các nguồn năng lượng tái tạo. Cấu trúc của hệ chỉnh lưu tích cực được xây dựng trên cơ sở bộ nghịch lưu nguồn áp. Trong những hệ thống công suất lớn điện áp cao, bộ nghịch lưu nguồn áp truyền thống thường được thay thế bằng các bộ nghịch lưu đa bậc nguồn áp nhằm nâng cao chất lượng hệ thống. Bài báo này trình bày việc ứng dụng luật điều khiển Dead-Beat cho bộ điều khiển dòng điện của chỉnh lưu tích cực trên cơ sở bộ nghịch lưu cầu H nổi tầng với phía một chiều cách ly, nhằm nâng cao tính động học cho hệ thống và thuận lợi hơn trong việc triển khai thuật toán điều khiển bằng vi điều hay DSP. Kết quả mô phỏng bằng Matlab/Simulink cho thấy cấu trúc điều khiển này thỏa mãn các yêu cầu đặt ra với hệ chỉnh lưu tích cực, cho đáp ứng động học của hệ thống nhanh.

Từ khóa: *Chỉnh lưu tích cực, Dead-Beat, Năng lượng tái tạo; nghịch lưu đa bậc, Matlab-Simulink*

MỞ ĐẦU

Chỉnh lưu tích cực là bộ biến đổi AC-DC (chuyển đổi xoay chiều sang một chiều), xây dựng trên cơ sở bộ nghịch lưu nguồn áp (Voltage Source Inverter – VSI), nối với lưới thông qua cuộn cảm L, nhờ đó đảm bảo dòng đầu vào hình sin và hệ số công suất điều chỉnh được đến bằng một, có khả năng trao đổi công suất hai chiều giữa lưới AC và phía tải DC [1]. Trong những ứng dụng công suất lớn, điện áp cao, VSI thông thường được thay thế bởi các nghịch lưu đa bậc. Điều này làm cho hệ thống phân nhỏ các bước nhảy điện áp ra phía xoay chiều, nhờ đó giảm được tốc độ tăng điện áp dU/dt trên tải, các van bán dẫn chỉ phải đóng cắt ở mức điện áp thấp, tần số đóng cắt của các tế bào mạch lực thấp trong khi vẫn đảm bảo tần số điện áp ra của quá trình điều chế cao. Kết quả là các hệ thống xây dựng trên nghịch lưu đa bậc sẽ giảm đáng kể tổn thất trong quá trình đóng cắt van, đảm bảo tốt chất lượng thành phần sóng hài của điện áp ra.

Cấu trúc hệ thống chỉnh lưu tích cực một pha 7 bậc nổi tầng cho như hình 1, phía DC đóng vai trò là phụ tải. Nếu các tụ điện DC và phụ

tải phía DC là như nhau thì có thể hi vọng điện áp trên mỗi khâu DC là bằng nhau. Nếu điện áp trên mỗi khâu DC không cân bằng chất lượng sóng hài của dòng xoay chiều sẽ giảm. Để giải quyết vấn đề này tài liệu [1] đã đề xuất thuật toán cân bằng điện áp trên tụ, bài báo này không đề cập vấn đề đó. Điểm đóng góp chính của bài báo này đề xuất việc thiết kế bộ điều khiển Dead-beat cho mạch vòng dòng điện nhằm mục đích nâng cao tính động học của hệ thống và chưa sử dụng đến thuật toán cân bằng điện áp trên tụ đã đề cập ở 1. Kết quả mô phỏng đã cho thấy chất lượng động học của hệ thống tốt hơn so với việc sử dụng bộ điều khiển PI.

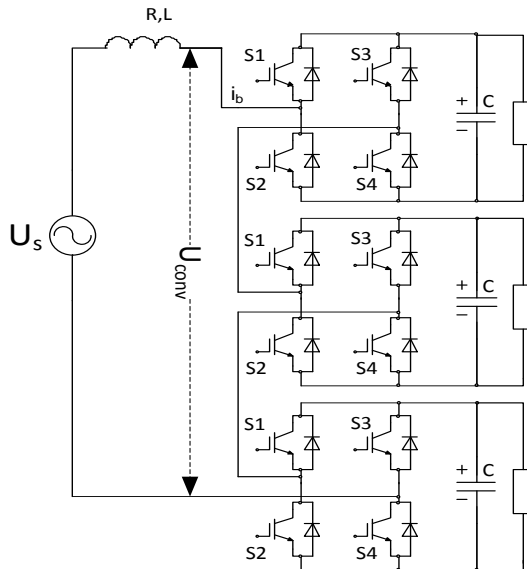
NỘI DUNG CHÍNH

Thiết kế bộ điều khiển Deadbeat cho hệ chỉnh lưu tích cực 1 pha trên cơ sở nghịch lưu đa bậc nổi tầng

Thuật toán điều khiển dead-beat là phương pháp điều khiển kỹ thuật số đã được đề cập khá nhiều ở các tài liệu [2,3,4,5]. Khi áp dụng phương pháp này trong hệ thống điện tử công suất, phương pháp này sẽ dự đoán độ rộng xung đưa tới van ở chu kỳ tiếp theo dựa trên mô hình hệ thống và phản hồi của thông số cần điều khiển đo được ở chu kỳ hiện tại. Theo [3] khâu Dead-beat (DB) cho phép thực

* Tel: 0977 642225, Email: buivanhuy@hau.edu.vn

hiện quá trình quá độ trong khoảng thời gian hữu hạn định trước làm triệt tiêu sai lệch điều chỉnh sau một lượng hữu hạn chu kỳ trích mẫu. Ta có thể thiết kế khâu Dead-beat theo đặc tính chủ đạo hay đặc tính nhiễu. Nguyên lý điều chỉnh dead-beat chỉ có thể thực hiện được trong các hệ thống điều khiển số.

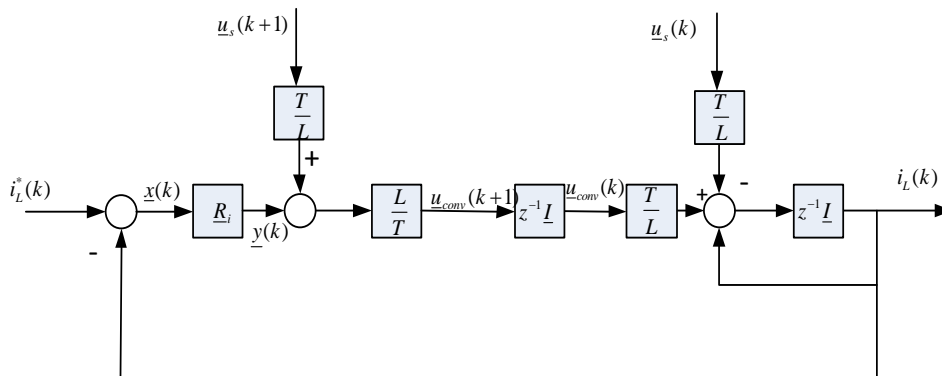


Hình 1. Chinh lưu tích cực cầu H nối tầng

Phần tiếp sau đây bài báo sẽ lần lượt xây dựng mô hình toán học cho bộ biến đổi và Thiết kế bộ điều khiển Deadbeat cho hệ chỉnh

$$i_L(k+1) = i_L(k) + \frac{T}{L}(u_{conv}(k) - u_s(k)) \Rightarrow u_{conv}(k) = \frac{L}{T}(\frac{T}{L}.u_s(k) - i_L(k) + i_L(k+1)) \quad (3)$$

Từ (3) ta xây dựng sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều chỉnh dòng điện như hình 3 với R_i là bộ điều khiển dòng điện.



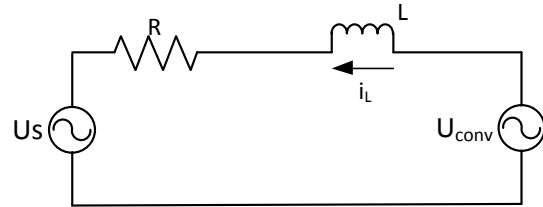
Hình 3. Cấu trúc mạch vòng điều chỉnh dòng điện

Phương trình đầu ra của bộ điều khiển dòng cho như (4).

$$y(k) = R_i [i_L^*(k) - i_L(k)] \quad (4)$$

lưu tích cực 1 pha trên cơ sở nghịch lưu đa bậc nối tầng.

Chỉnh lưu tích cực cầu H nối tầng như hình 1 có sơ đồ tương đương như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tương đương của mạch một pha

Từ hình 2 ta có được phương trình (1).

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{R}{L}i_L + \frac{1}{L}(u_{conv} - u_s) \quad (1)$$

Bỏ qua điện trở thuần của cuộn cảm và rời rạc hóa công thức (1) với T là chu kỳ trích mẫu ta thực hiện phép xấp xỉ như (2).

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = [i_L(k+1) - i_L(k)] / T \\ i_L(k+1) = i_L(k) + \frac{T}{L}(u_{conv}(k) - u_s(k)) \end{cases} \quad (2)$$

Khi đó ta có công thức tính giá trị đặt cho điện áp ngay đầu vào bộ biến đổi như (3).

Mục tiêu đặt ra khi thiết kế bộ điều chỉnh dòng có động học cao sao cho giá trị thực đuổi kịp giá trị đặt trong hai chu kỳ trích mẫu thỏa mãn biểu thức (5).

$$i_L(z) = z^{-2} i_L^*(z) \tag{5}$$

Thay (5) vào (4) ta có (6).

$$\underline{y}(z) = \underline{R}_i \left[i_L^*(z) - i_L(z) \right] = \underline{R}_i (z^2 - 1) i_L(z) \tag{6}$$

Mặt khác nhìn vào cấu trúc điều khiển đã xây dựng như hình 3 ta có (7).

$$\begin{aligned} u_{conv}(k+1) &= \frac{L}{T} \left[y(k) + \frac{T}{L} u_s(k+1) \right] \Rightarrow y(k) = \frac{T}{L} u_{conv}(k+1) - \frac{T}{L} u_s(k+1) \\ &= \frac{T}{L} z (u_{conv}(z) - u_s(z)) \end{aligned} \tag{7}$$

Kết hợp (7) với (3) ta có (8).

$$\begin{aligned} y(z) &= \frac{T}{L} z \left(u_{conv}(z) - \frac{T}{L} u_s(z) \right) = \frac{T}{L} z \left(\frac{L}{T} \left(\frac{T}{L} u_s(z) - i_L(z) + z i_L(z) \right) - u_s(z) \right) \\ &= z(z-1) i_L(z) \end{aligned} \tag{8}$$

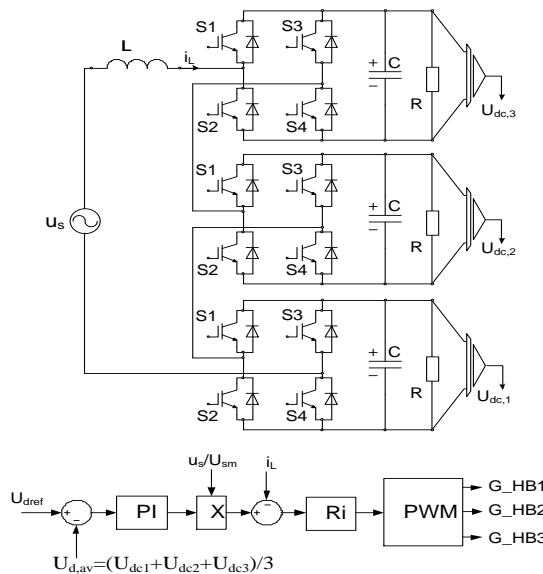
Thay (8) vào (6) ta có (9).

$$\underline{R}_i = \frac{z^2 - z}{z^2 - 1} = \frac{1 - z^{-1}}{1 - z^{-2}} \tag{9}$$

Từ phương trình (9) ta có giá trị y(k) như (10).

$$\underline{R}_i = \frac{1 - z^{-1}}{1 - z^{-2}} = \frac{y(z)}{x(z)} \Rightarrow y(k) = x(k) - x(k-1) + y(k-2) \tag{10}$$

Sau khi thiết kế xong bộ điều khiển dòng điện, ta có cấu trúc điều khiển các mạch vòng cho cả hệ thống như trên hình 4. Vòng điều khiển bên ngoài vẫn là vòng điều khiển điện áp tổng hợp theo thuật toán PI quen thuộc đã sử dụng trong [1], vòng điều khiển dòng điện Ri tổng hợp theo phương pháp dead-beat. Bộ PWM sẽ đóng vai trò phát xung điều khiển vào các van của từng cầu H (HB1,2,3).



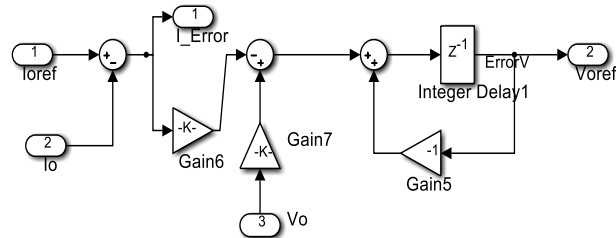
Hình 4. Cấu trúc điều khiển hệ thống chỉnh lưu tích cực

Xây dựng sơ đồ mô phỏng

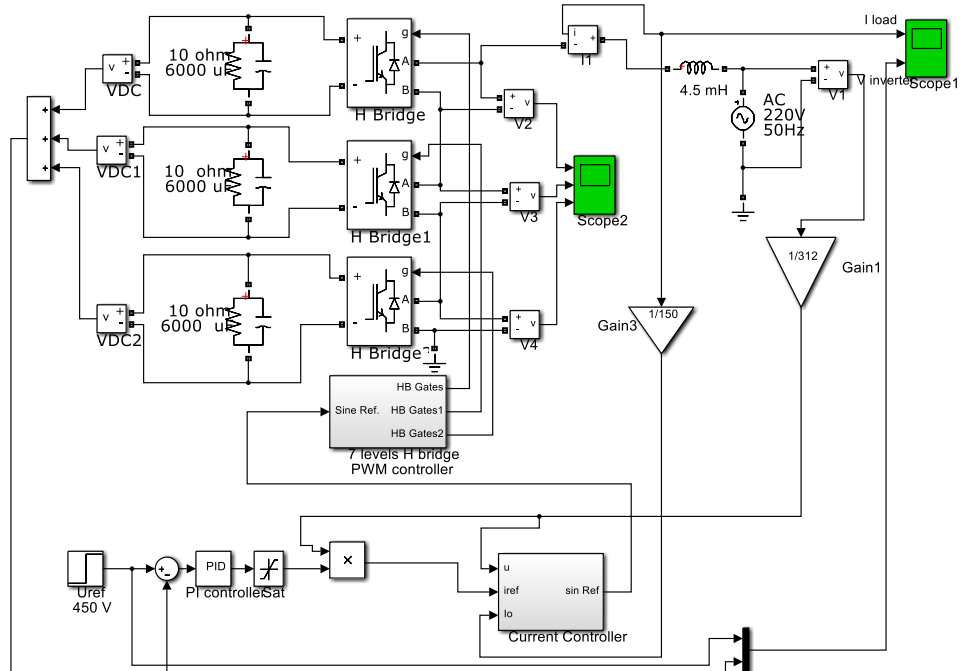
Trên cơ sở thiết kế bộ điều khiển ở mục 2.1, ta xây dựng sơ đồ mô phỏng cho bộ điều khiển dòng điện như hình 5 và sơ đồ mô phỏng toàn hệ thống như hình 6.

Bảng 1. Thông số mô phỏng

STT	Thông số	Giá trị
1	Cuộn cảm L	4,5 mH
2	Tụ điện, và điện trở trên mỗi phần DC	Như hình 6
3	Hệ số Kp của bộ điều khiển điện áp	0,002
4	Hệ số Ki của bộ điều khiển điện áp	0,356
5	Hệ số đo dòng	1/150
6	Điện áp lưới phía xoay chiều	220V
7	Giá trị đặt điện áp một chiều trên mỗi tụ	150V
8	Tham số Kp mạch vòng dòng điện khi sử dụng PI	1.6965
9	Tham số Ki mạch vòng dòng điện khi sử dụng PI	126.8201



Hình 5. Cấu trúc mô phỏng của bộ điều khiển dòng điện kiểu deadbeat

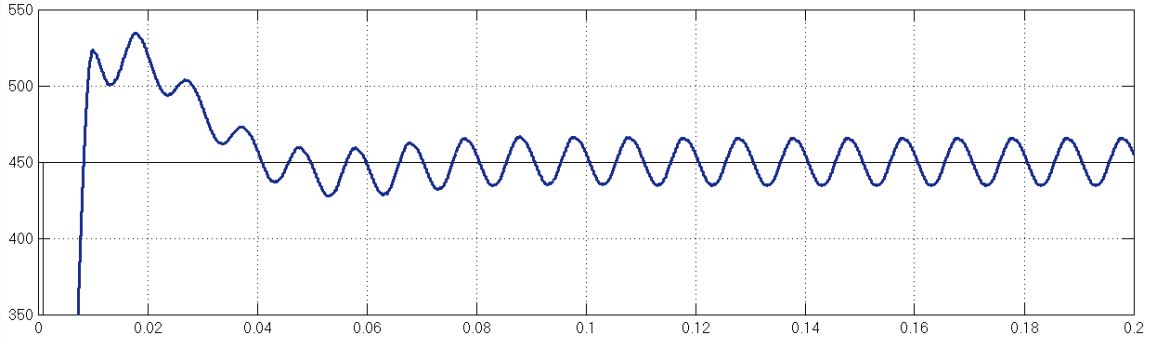


Hình 6. Sơ đồ mô phỏng toàn hệ thống với bộ điều khiển dòng Dead-bead

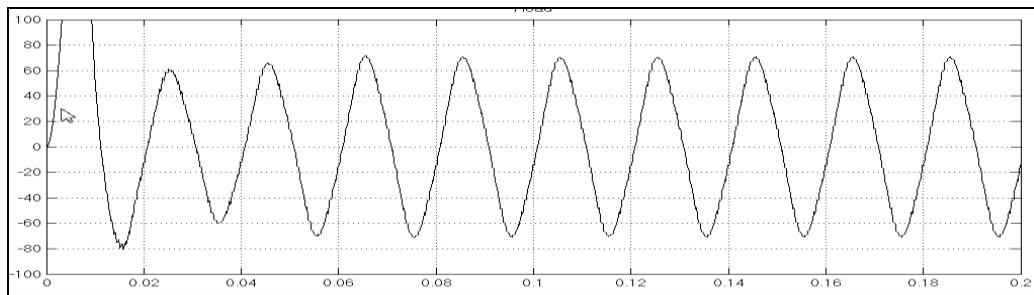
KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Sau khi chạy mô phỏng ta có kết quả mô phỏng dạng điện áp một chiều tổng trên các tụ cho như hình 7 cho thấy giá trị điện áp một chiều trên các tụ bám giá trị đặt trong thời

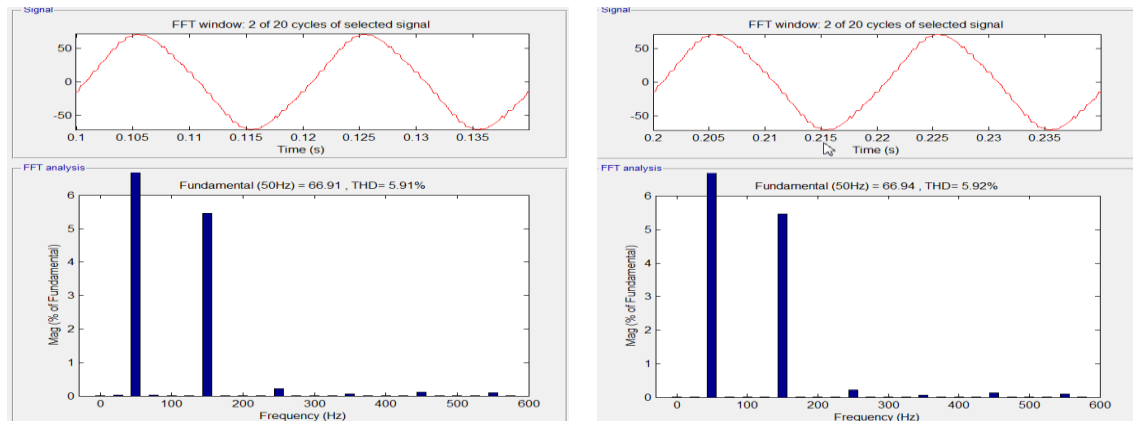
gian rất ngắn cỡ 0.03s, nhanh hơn nhiều so với trường hợp sử dụng bộ điều khiển PI như ở hình 11.



Hình 7. Kết quả mô phỏng dạng điện áp một chiều tổng trên các tụ và giá trị đặt theo thuật toán dead beat



Hình 8. Dạng dòng điện bơm vào lưới của bộ chỉnh lưu tích cực

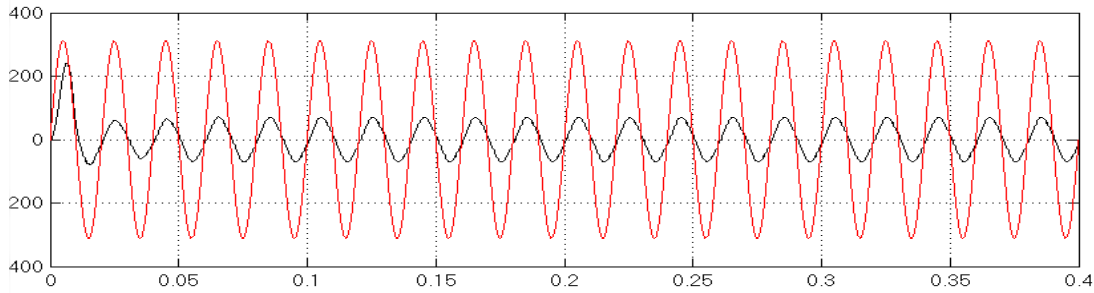


Hình 9. Kết quả phân tích sóng hài dòng điện.

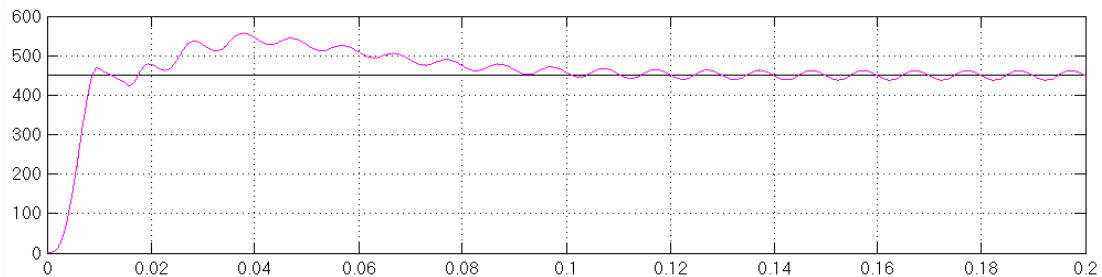
Kết quả phân tích dạng dòng điện bơm vào lưới và phân tích dạng sóng hài dòng điện tại các thời điểm 0,1s và 0,2s như hình 8, hình 9 cho thấy chất lượng sóng hài khá tốt, độ méo THD khoảng 5,9% là tốt hơn so với kết quả

phân tích sóng hài nếu sử dụng thuật toán PI đã thể hiện ở hình 12.

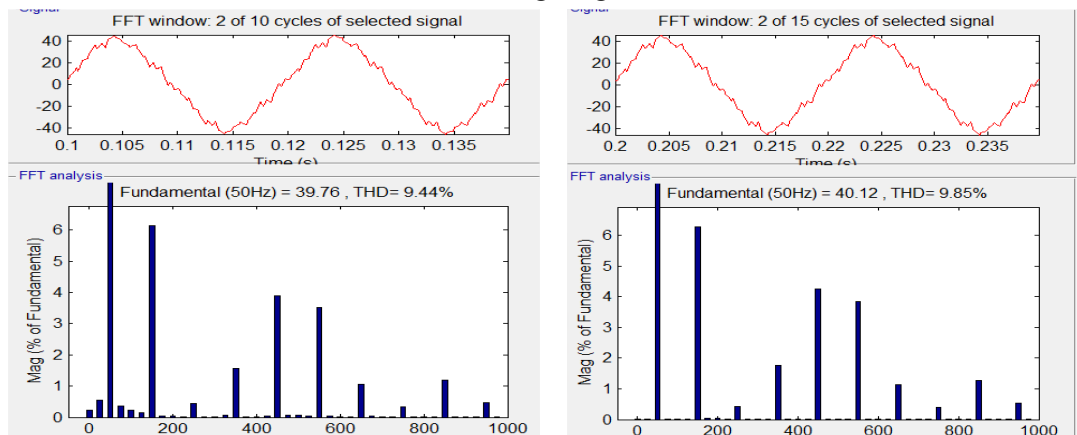
Kết quả mô phỏng trên hình 10 cho thấy dạng dòng bơm vào lưới và điện áp lưới đồng pha nhau. Điều này chứng tỏ hệ số công suất đạt tới 1.



Hình 10. Dạng dòng điện bơm vào lưới và dạng điện áp lưới trên cùng một trục tọa độ



Hình 11. Kết quả mô phỏng dạng điện áp một chiều tổng trên các tụ và giá trị đặt theo thuật toán PI ở mạch vòng dòng điện



Hình 12. Kết quả phân tích sóng hài dòng điện khi sử dụng thuật toán PI ở mạch vòng dòng điện

KẾT LUẬN

Thuật toán điều khiển dead beat được ứng dụng cho mạch vòng dòng điện cho chất lượng động học tốt hơn so với bộ điều khiển PI, giá trị tổng điện áp một chiều trên các tụ nhanh chóng hội tụ về giá trị đặt. Kết quả nghiên cứu này hoàn toàn có thể mở rộng cho các hệ thống phức tạp hơn chẳng hạn hệ thống có nhiều cầu H nối tầng hơn, hệ thống chỉnh lưu tích cực 3 pha.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội và bộ môn Tự

động hóa Công Nghiệp ĐH BKHN trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Văn Huy, Trần Trọng Minh, *Chiến lược cân bằng điện áp các khâu DC cho chỉnh lưu tích cực trên cơ sở nghịch lưu đa bậc nối tầng cầu chữ H*, Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2013
2. Nguyễn Doãn Phước, “*Lý thuyết điều khiển tuyến tính*”, Nxb ĐHBKHN 2016
3. Nguyễn Phùng Quang, (2011), *Điều khiển số (Digital Control Systems)*, Bài giảng dành cho học viên cao học ĐHBKHN.
4. Mengchao Ma, Peng Li, Member, IEEE, Botao Li (2008), *Study on Deadbeat Control Strategy for*

Gridconnected Distributed Generation System,
DRPT2008 6-9 April 2008 Nanjing China
5. Nguyễn Phùng Quang (2016), *Điều chế vector*

truyền động điện xoay chiều 3 pha, Nxb ĐH Bách
Khoa HN, trang 149-155.

ABSTRACT

DYNAMIC IMPROVEMENT OF CASCADED H-BRIDGE ACTIVE RECTIFIERS USING DEAD-BEAT TYPE CONTROLLER

Bui Van Huy*, **Pham Van Minh**, **Quach Duc Cuong**
Hanoi University of Industry

Active rectifier systems (ARS) are widely used in power networks with renewable energy sources. The structure of the active rectifier system is based on a voltage inverter. In high-voltage high-power systems, traditional voltage inverters are often replaced by multilevel inverters to improve system quality. The paper proposed a deadbeat current controller design for cascaded H-bridge (CHB) active rectifier with isolated DC sources to improve dynamic response of the ARS and to take advantage of implementation algorithms based on microprocessors or Digital Signal Processing (DSP) systems. Result, simulated by Matlab/Simulink, shows that this control structure satisfies established demands toward ARS and has fast dynamic response.

Keywords: *Active rectifier, Dead-Beat, Renewable energy sources, Multilevel inverter, Matlab-Simulink*

Ngày nhận bài: 24/8/2018; Ngày phản biện: 29/8/2018; Ngày duyệt đăng: 31/8/2018

* Tel: 0977 642225, Email: buivanhuy@hau.edu.vn