

XÁC ĐỊNH THAM SỐ ĐIỀU KHIỂN BỘ BIẾN ĐỔI 3 PHA AC-DC-AC-AC ĐA BẬC NỐI TẦNG CÓ KHẤU TRUNG GIAN TẦN SỐ CAO

UNDERSTANDING OF TUNING TECHNIQUES OF BIDIRECTION, 3 PHASE MULTILEVEL HIGH FREQUENCY LINK AC-DC-AC-AC CONVERTER CONTROLLERS

Bùi Văn Huy^{1,*}, Mai Thế Thắng¹, Đỗ Duy Hợp¹

TÓM TẮT

Công suất của các nguồn phát phân tán nối lưới ngày càng cao đặt ra yêu cầu cần có sự thay đổi về cấu trúc bộ biến đổi. Nghịch lưu đa bậc chính là một giải pháp cho những ứng dụng đòi hỏi công suất lớn và điện áp cao. Bài báo này nghiên cứu bộ biến đổi đa bậc nối tầng có cấu trúc AC-DC-AC-AC, có khâu cách ly tần số cao. Bộ biến đổi có khả năng kết nối linh hoạt các nguồn điện phân tán có nguồn gốc khác nhau, đảm bảo cách ly, đảm bảo khả năng trao đổi công suất tác dụng và thu phát công suất phản kháng độc lập, đảm bảo độ tin cậy và khả năng dễ dàng mở rộng hệ thống. Trọng tâm của bài báo này là xác định tham số cho các mạch vòng điều khiển dòng điện, điện áp và công suất. Kết quả mô phỏng đã minh chứng được hiệu quả của các phương án đã đề xuất.

Từ khóa: PWM, nối tầng, tần số cao, PID.

ABSTRACT

The power of increasingly distributed grid-connected generators poses the need for a change in the structure of the converter. Multilevel converter technology has emerged recently as a very important alternative in the area of high-power medium-voltage energy application. This paper studies the AC-DC-AC-AC multi-level with high frequency isolation. The converter has the ability to dynamically connect distributed power sources of different origin, ensuring isolation, ensuring the ability to exchange active power and transmit reactive power, ensuring reliability, reliable and easy to extend system. The focus of this paper is on determining the parameters for the current, voltage and power loops. Simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed alternatives.

Keywords: PWM, Multilevel, high frequency, PID.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: huybv.ac@gmail.com

Ngày nhận bài: 03/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 29/3/2018

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Vũ Hoàng Giang

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
Q_{ref}	VAR	Giá trị đặt của công suất phản kháng
P_{ref}	W	Giá trị đặt công suất tác dụng

Q	VAR	Giá trị đo và tính toán của công suất phản kháng
P	W	Giá trị đo và tính toán của công suất tác dụng
L	H	Cuộn cảm
C	F	Tụ điện
e_N	V	Điện áp nguồn điện phía xoay chiều
e_d, e_q	V	Điện áp phía lưới trên hệ tọa độ dq
i_L	A	Dòng điện chạy qua cuộn cảm
i_d, i_q	A	Dòng điện chạy qua cuộn cảm trên hệ tọa độ dq

CHỮ VIẾT TẮT

SVM	Space Vector Modulation
CHB	Cascaded H-bridge
PLL	Phase Locked Loop

1. MỞ ĐẦU

Các bộ biến đổi dùng để kết nối các nguồn điện phân tán phần lớn có cấu trúc back to back (BTB) hoặc kết nối các nguồn điện phân tán với nhau thành hệ thống thông qua DC bus hoặc AC bus và dựa trên cơ sở nghịch lưu nguồn áp 2 mức thông thường hoặc nghịch lưu nguồn Z. Tuy nhiên, do có sự phát triển của công nghệ bán dẫn đặc biệt là công nghệ chế tạo IGBT, hàng loạt các bộ biến đổi đa bậc được sử dụng trong các ứng dụng ở mức trung và cao áp [1]. Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu bộ biến đổi đa bậc nối tầng AC-AC có khâu cách ly tần số cao gồm 2 cổng: cổng 1 là xây dựng trên cơ sở nghịch lưu đa bậc cấu H nối tầng; cổng 2 xây dựng trên cơ sở bộ nghịch lưu đa bậc DC-AC-AC nối tầng. Nhiệm vụ đặt ra cho bộ biến đổi là kết nối các nguồn điện phân tán với lưới đảm bảo quá trình trao đổi công suất tác dụng và thu phát công suất phản kháng ở 2 cổng. Bài báo giả thiết hai nguồn điện xoay chiều ở hai cổng không những trạng thái không bình thường, tức là không có sự biến thiên điện áp và tần số. Những bộ biến đổi đa bậc có ưu điểm lớn khi ứng dụng cho những nguồn phát phân tán có công suất lớn và điện áp cao cỡ trung áp.

Trong nghiên cứu này tác giả sẽ tiến hành mô phỏng kiểm chứng ở lưới điện 3,3kV, việc chọn mức điện áp ở hai cổng sẽ tùy thuộc vào các ứng dụng cụ thể. Đối với bộ biến đổi AC-AC đa bậc nối tầng, hàng loạt các vấn đề về điều chế và chuyển mạch cần được giải quyết, những giải pháp cho các vấn đề đó đã được trình bày trong các tài liệu [2, 3]. Nội dung chính của bài báo này tập trung vào việc tổng hợp bộ điều khiển cho các vòng điều khiển dòng điện, điện áp và công suất.

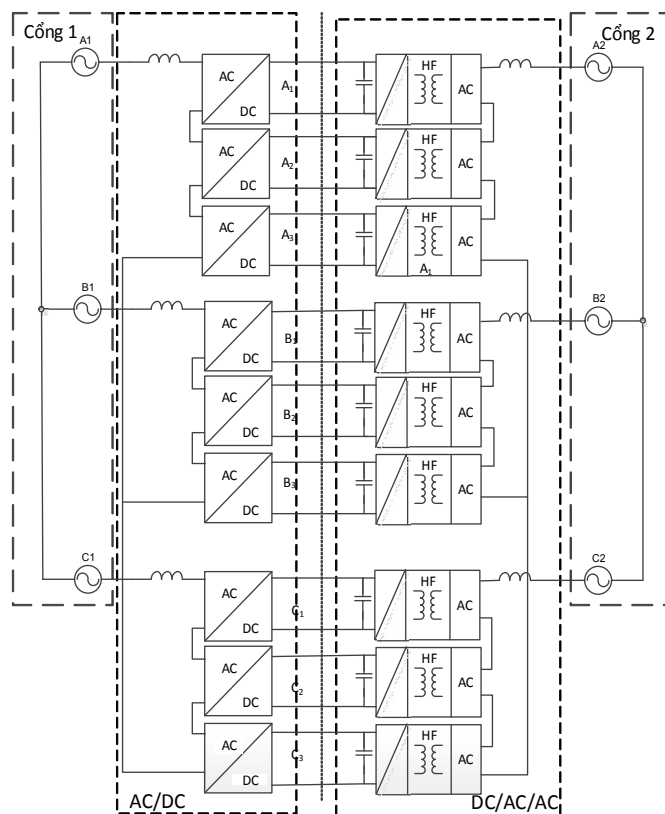
2. MÔ HÌNH VÀ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN

2.1. Cấu trúc hệ thống

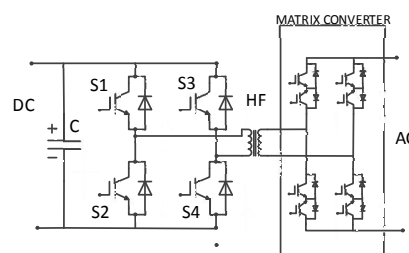
Cấu trúc bộ biến đổi đa bậc nối tầng cho như hình 1. Bộ biến đổi ở cổng 1 đảm nhiệm hai nhiệm vụ chính là ổn định điện áp một chiều trung gian của từng pha, cân bằng điện áp trên các tụ một chiều trung gian và thu hoặc phát công suất phản kháng Q. Bộ biến đổi ở cổng 2 điều khiển cả quá trình trao đổi công suất tác dụng P và thu phát công suất phản kháng Q mà không chịu ảnh hưởng của vòng điều khiển điện áp một chiều trung gian.

Cấu trúc nghịch lưu đa bậc nối tầng ở phía cổng 1 và 2 cho phép sử dụng các linh kiện điện tử công suất có khả năng chịu được dải điện áp thấp, giảm tổn thất bộ biến đổi, giảm yêu cầu các thiết bị lọc thụ động phía lưới. Tại cổng 1, mỗi pha được tạo thành từ ba cầu một pha (cầu chữ H), mỗi cầu có một nguồn DC riêng biệt. Mỗi cầu chữ H có thể tạo ra ba cấp điện áp khác nhau trên đầu ra +E, 0 và -E, tất cả các nguồn DC giả thiết có giá trị bằng nhau. Điện áp đầu ra của nghịch lưu đa bậc là tổng của tất cả các giá trị đầu ra của 3 mạch cầu, tạo ra một sơ đồ 7 mức trên mỗi pha. Cấu trúc bộ biến đổi ở cổng 2 bao gồm 3 pha, mỗi pha có 3 module DC-AC-AC nối tầng với nhau như trên hình 2. Mỗi module gồm một cầu H ở phía một chiều DC và một bộ biến đổi AC-AC nối ở phần xoay chiều, hai bộ biến đổi này được ghép với nhau thông qua máy biến áp tần số cao HF như hình 2. Cấu trúc bộ biến đổi này đảm bảo hoàn toàn các yêu cầu về truyền công suất hai chiều, cách ly hoàn toàn. Nhờ có khâu trung gian tần số cao kích thước máy biến áp sẽ giảm nhỏ đáng kể, tránh được sử dụng máy biến áp ở tần số cơ bản 50Hz rất cồng kềnh. Khâu biến đổi AC-AC sử dụng cấu trúc biến tần trực tiếp kiểu ma trận đảm bảo chức năng truyền công suất hai chiều với hiệu quả cao. Nhờ cấu trúc biến tần trực tiếp với điều khiển chuyển mạch đơn giản theo điện áp, khâu trung gian trở nên thuận bán dẫn, kích thước nhỏ gọn vì không cần đến các tụ điện lớn. Với sơ đồ bộ biến đổi trên hình 1 quá trình điều chế PWM phải đảm bảo xử lý vấn đề cân bằng điện áp trên các tụ một chiều trung gian ở phía cổng 1. Ở phía cổng 2 là đảm bảo chuyển mạch an toàn cho bộ biến đổi DC/AC/AC. Hai vấn đề trên đã được trình bày lần lượt trong các tài liệu [2, 3]. Với mạch điều chế phù hợp cả hai bộ biến đổi ở cổng 1 và 2 có thể coi như bộ nghịch lưu PWM trong chế độ nối lưới. Điều đặc biệt ở đây chính là nguồn lưới ở cổng 1 và cổng 2 có thể biến động về tần số và điện áp khác nhau, mặc dù vẫn phải trong phạm vi cho phép. Nói một cách khác là, nhờ có bộ biến đổi, hai cổng AC tương đối độc lập với nhau. Điều này sẽ thể hiện ở chế độ

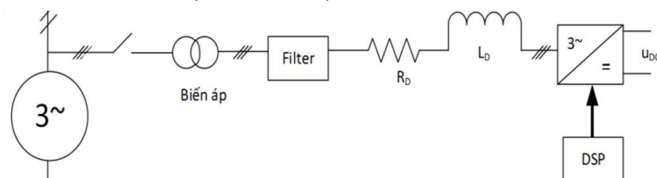
làm việc, còn về mô hình ta vẫn có thể sử dụng chung như sẽ giới thiệu sau đây.



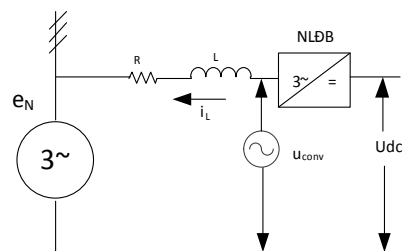
Hình 1. Cấu trúc bộ biến đổi



Hình 2. Cấu trúc một module của bộ biến đổi DC/AC/AC



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý dạng rút gọn bộ biến đổi nối lưới



Hình 4. Sơ đồ thay thế mạch điện phía lưới

2.2. Mô hình trạng thái liên tục

Mạch điện dạng rút gọn (sơ đồ một sợi) của bộ biến đổi nối lưới cho trên hình 3 [8], gồm bộ biến đổi, bộ lọc thông thấp RC (Filter) để giảm thiểu ảnh hưởng của độ đập mạch dòng điện tại tần số điều chế ra lưới, cuộn cảm kết nối L có cảm kháng L_D và điện trở R_D gánh chênh lệch điện áp tức thời giữa lưới và đầu ra bộ biến đổi và làm trơn dòng điện, máy biến áp và máy đóng cắt. Tuy nhiên, các bộ biến đổi đa bậc nối tầng có chất lượng sóng hài ở đầu ra rất tốt ngay cả với điện áp cao nên không cần sử dụng máy biến áp và khâu lọc. Sơ đồ nguyên lý bỏ qua những khâu này cho trên hình 4.

Trên hình 4 đã sử dụng giả thiết rằng điện áp đầu ra xoay chiều của bộ nghịch lưu u_{conv} có dạng sóng sin. Có thể dùng các phương pháp trung bình hệ phương trình trạng thái để chứng tỏ tính đúng đắn của mô hình nhưng do khuôn khổ bài báo ở đây sẽ không xét đến vấn đề này. Khi đưa năng lượng lên lưới, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu nghĩa là chuyển năng lượng từ mạch điện một chiều trung gian lên lưới. Khi năng lượng truyền từ lưới vào bộ biến đổi thì bộ biến đổi đóng vai trò bộ chỉnh lưu, nạp năng lượng vào mạch một chiều trung gian.

Trên cơ sở sơ đồ thay thế, áp dụng định luật Kirchoff cho mạch điện một pha như sau:

$$u = R i_L + L \frac{di}{dt} + e_N \quad (1)$$

Chuyển sang biểu diễn véc tơ và chuyển sang hệ tọa độ dq, phương trình dạng (1) viết cho cả ba pha sẽ trở thành phương trình dạng (2), viết cho hai thành phần theo trục d và theo trục q.

$$\begin{cases} \frac{di_{Ld}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{Ld} + \omega i_{Lq} + \frac{1}{L} (u_d - e_{Nd}) \\ \frac{di_{Lq}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{Lq} - \omega i_{Ld} + \frac{1}{L} (u_q - e_{Nq}) \end{cases} \quad (2)$$

Các phương trình (2) chính là mô hình trạng thái của bộ biến đổi phía lưới. Cả hai bộ biến đổi ở cổng 1 và cổng 2 đều có mô hình trạng thái dạng này. Dựa vào (2) ta thấy đại lượng điều khiển là điện áp ra của khâu nghịch lưu phía lưới $[u_d, u_q]$, véc tơ trạng thái là hai thành phần $[i_{Ld}, i_{Lq}]$. Theo 0 công suất phản kháng Q_N và công suất tác dụng P_N của bộ biến đổi phía lưới được tính trên hệ tọa độ dq (hệ tọa độ điện áp lưới nên $e_{Nq} = 0$) như (3).

$$P = \frac{3}{2} (e_{Nd} i_{Nd} + e_{Nq} i_{Nq}) = \frac{3}{2} e_{Nd} i_{Nd} \quad (3)$$

$$Q = \frac{3}{2} (e_{Nq} i_{Nd} - e_{Nd} i_{Nq}) = -\frac{3}{2} e_{Nd} i_{Nq}$$

Trong trường hợp tụ trung gian không nối với tải và giả thiết tổn hao bộ biến đổi nhỏ khi đó:

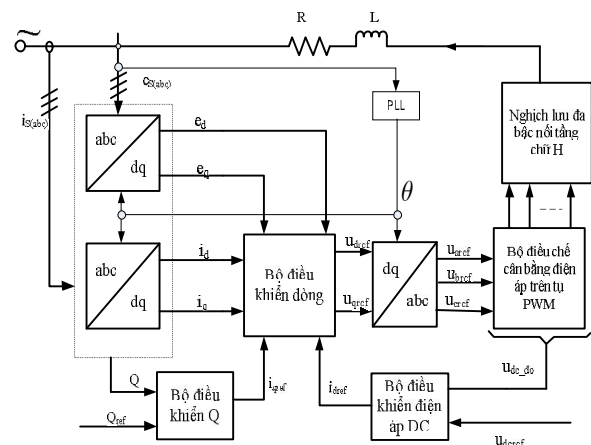
$$P = \frac{3}{2} e_{Nd} i_{Nd} = u_{DC} i_{DC}; \quad i_{DC} = C \frac{du_{DC}}{dt} \quad (4)$$

Dựa vào (3), (4) ta thấy muốn điều khiển công suất tác dụng hay điện áp một chiều trung gian u_{DC} ta điều khiển i_{Nd} , muốn điều khiển công suất phản kháng ta điều khiển i_{Nq} .

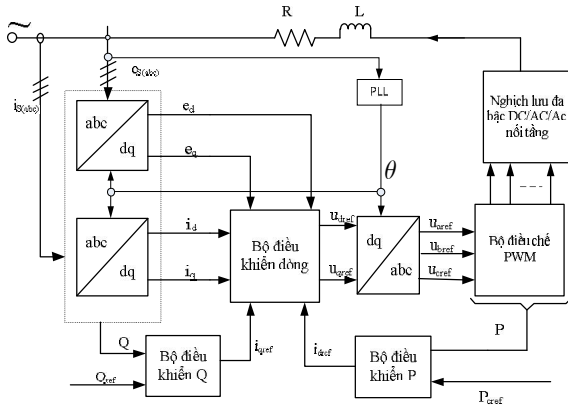
2.3. Phân tích cấu trúc điều khiển

Dựa vào những phân tích ở mục 2.2 ta thấy điện áp trên tụ điện một chiều trung gian, công suất tác dụng, công suất phản kháng là những đại lượng cần phải điều khiển. Những đại lượng này muốn thay đổi được thì phải tác động thông qua dòng điện chạy qua cuộn cảm của các pha. Xét về mặt điều khiển, cấu trúc hai mạch vòng gồm có mạch vòng trong là mạch vòng dòng điện, mạch vòng ngoài là mạch vòng công suất hoặc điện áp có những ưu điểm nổi bật. Mạch vòng dòng điện sẽ giúp hệ thống kiểm soát được dòng điện, đáp ứng tốt hơn với nhiều tải, dập được dao động cộng hưởng và bảo vệ được sự cố quá dòng. Khi mạch vòng dòng điện được thiết kế tốt thì việc thiết kế mạch vòng ngoài (điện áp, công suất) cũng trở nên dễ dàng hơn. Đối với mạch vòng điều khiển bên ngoài thì mục tiêu là ổn định, trong khi mạch vòng trong thì yêu cầu đặt ra là khả năng đáp ứng động học nhanh. Sơ đồ hệ thống điều khiển ở hai cổng theo cấu trúc hai mạch vòng như hình 5 và 6, trong đó các giá trị P_1, P_2, Q_1 và Q_2 được tính toán dựa trên các giá trị $e_{dr}, e_{qr}, i_{dr}, i_{qr}$ ở các cổng tương ứng theo công thức (3).

Tại cổng 1, bộ biến đổi đảm nhiệm nhiệm vụ thứ nhất là cân bằng công suất giữa phía DC và phía AC của bộ biến đổi quy thành ổn định điện áp một chiều trung gian của từng pha. Nhiệm vụ thứ 2 là thu hoặc phát công suất phản kháng Q theo giá trị đặt. Trong quá trình cân bằng điện áp trên các tụ, công suất tác dụng P cũng được trao đổi thụ động theo nhu cầu trao đổi công suất tác dụng ở cổng 2. Đầu ra của bộ điều khiển điện áp một chiều tạo giá trị đặt của dòng điện theo trục d. Đầu ra của bộ điều khiển công suất phản kháng tạo ra giá trị đặt dòng điện theo trục q. Tại cổng 2, bộ biến đổi điều khiển cả quá trình trao đổi công suất tác dụng và thu phát công suất phản kháng Q mà không chịu ảnh hưởng của vòng điều khiển điện áp một chiều trung gian. Đầu ra của bộ điều khiển công suất tác dụng P sẽ là giá trị đặt của dòng điện theo trục d. Đầu ra của bộ điều khiển công suất phản kháng sẽ tạo ra giá trị đặt dòng điện theo trục q. Một điểm cần chú ý là việc điều khiển thu phát công suất phản kháng ở hai cổng là độc lập với nhau.



Hình 5. Cấu trúc hệ thống điều khiển cổng 1



Hình 6. Cấu trúc hệ thống điều khiển ở cổng 2

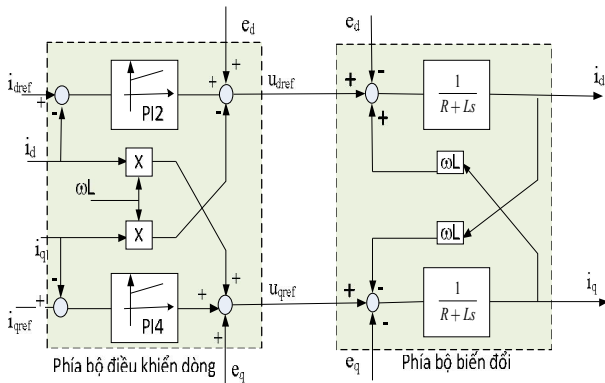
2.4. Thiết kế mạch vòng dòng điện

Từ phương trình (2) ta thấy trong phương trình mạch vòng dòng điện có sự tác động xen kênh giữa hai nhánh d, q đồng thời có sự tham gia của hai thành phần điện áp lưới là e_d và e_q . Bộ điều khiển PI có cấu trúc như (5) đảm bảo khả năng bù xen kênh giữa hai thành phần dòng điện d, q đồng thời khử tác động của e_d và e_q bằng phương pháp bù xuôi.

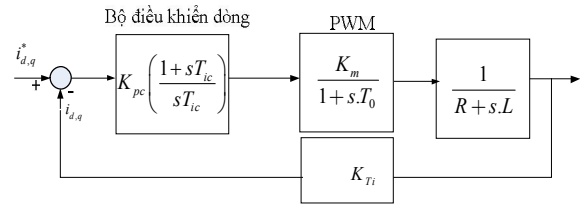
$$\begin{aligned} u_{dref} &= \left(K_{p,d} + K_{i,d} \frac{1}{s} \right) \Delta i_d + e_d - \omega L i_q; \\ u_{qref} &= \left(K_{p,q} + K_{i,q} \frac{1}{s} \right) \Delta i_q + e_q + \omega L i_d \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó u_{dref} , u_{qref} lần lượt là lượng đặt cho các thành phần điện áp đầu ra bộ biến đổi. Các hệ số $K_{p,d}$, $K_{p,q}$, $K_{i,d}$, $K_{i,q}$ lần lượt là các hệ số tỷ lệ và tích phân của các bộ điều chỉnh tương ứng trục d và q. Cấu trúc của bộ điều khiển dòng ở cả cổng 1 và 2 được cho như hình 7.

Vì trong cấu trúc điều khiển dòng, ta đã bù tách kênh đồng thời hai thành phần e_d và e_q , nói cách khác hai thành phần e_d và e_q được coi như là nhiễu và đã được khử theo phương pháp bù xuôi. Do đó, mô hình hệ thống thu được sẽ gồm hai mô hình nhỏ trên trục tọa độ d, q độc lập nhau. Bỏ qua thời gian trễ xử lý tín hiệu và trễ do quá trình trích mẫu, cấu trúc điều khiển dòng điện cho như trên hình 8.



Hình 7. Cấu trúc bộ điều khiển ở cổng 1,2



Hình 8. Sơ đồ khối bộ điều khiển dòng trong hệ tọa độ dq

Trong đó: T_0 là thời gian trễ của bộ biến đổi điện tử công suất; K_m là hệ số khuếch đại bộ biến đổi điện tử công suất; K_{Ti} là hệ số đo dòng điện; K_{pc} , T_{ic} lần lượt là tham số của bộ điều khiển theo luật PI.

Hàm truyền vòng hở được cho bởi công thức (6):

$$KG_0 = K_{pc} \left(\frac{1+sT_{ic}}{sT_{ic}} \right) \frac{1}{1+sT_0} \frac{K_0}{1+sT_L} \quad (6)$$

Tổng hợp bộ điều khiển theo phương pháp tối ưu độ lớn áp dụng định lý 2.40 tài liệu [4] ta có tham số bộ điều khiển như **Error! Reference source not found.**

$$T_{ic} = T_L = \frac{L}{R}; \quad K_{pc} = \frac{T_L}{2K_0 \cdot T_0} \quad (7)$$

$$\text{Trong đó: } K_0 = K_m K_L K_{Ti}; \quad K_L = \frac{1}{R}; \quad T_L = \frac{L}{R}$$

$$\text{Thay vào (6) ta có (8): } KG_0 = \frac{1}{2(1+sT_0)} \quad (8)$$

Hàm truyền kín mạch vòng dòng được cho như (9):

$$KG_c(s) = \frac{1}{1+s2T_0} \quad (9)$$

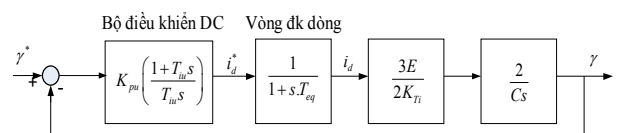
Khi đó hàm truyền hệ kín sẽ như:

$$KG_c(s) = \frac{i_q(s)}{i_{qref}(s)} = \frac{i_d(s)}{i_{dref}(s)} = \frac{1}{1+s2T_0} = \frac{1}{1+sT_{eq}} \quad (10)$$

Với $T_{eq} = 2T_0$ là hằng số thời gian tương đương của vòng điều khiển dòng điện được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu độ lớn.

2.5. Thiết kế mạch vòng điện áp một chiều

Như phân tích ở trên, khâu điện áp một chiều là khâu trung gian trao đổi năng lượng tác dụng giữa hai cổng. Kiểm soát được điện áp một chiều trên tụ chính là kiểm soát được quá trình trao đổi công suất tác dụng giữa hai cổng. Bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian có nhiệm vụ ổn định tổng giá trị điện áp một chiều trên các tụ, đầu ra của bộ điều khiển điện áp một chiều là giá trị đặt của dòng điện trên trục d.



Hình 9. Sơ đồ khối vòng kín bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian

Trong đó, u_c là điện áp một chiều trên tụ, i_{dc} là dòng điện đi từ bộ biến đổi vào khâu một chiều trung gian trong chế độ chỉnh lưu và dòng ngược lại trong chế độ nghịch lưu. Phương trình cân bằng công suất tác dụng của phía một chiều và phía xoay chiều như (11).

$$P = \frac{3}{2}(e_d i_d + e_q i_q) = 9u_c i_c - P_{\text{loss}} \quad (11)$$

$$= 9u_c C \frac{du_c}{dt} - P_{\text{loss}} = u_{dc} C \frac{du_{dc}}{dt} - P_{\text{loss}}$$

Trong đó: $u_c, i_c, u_{dc} = 3u_c, P_{\text{loss}}$ lần lượt là điện áp trên tụ, dòng điện đi qua tụ, điện áp một chiều tổng của một pha và năng lượng tổn hao trong bộ biến đổi. Bỏ qua tổn hao của bộ biến đổi, giả sử nguồn điện phía xoay chiều là đối xứng ta có $e_q = 0$, $e_d = E$ chính bằng biên độ của điện áp pha, phương trình (11) trở thành (12):

$$C u_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3E i_d}{2 u_{dc}} \quad (12)$$

Đặt $\gamma = u_{dc}^2$; $\gamma^* = u_{dc}^* u_{dc}$ ta có (13), với giả thiết bỏ qua thời gian trích mẫu ta có sơ đồ cấu trúc điều khiển cho như hình 9. Việc tổng hợp bộ điều khiển này tác giả có tham khảo [5].

$$\frac{1}{2} C \frac{d\gamma}{dt} = \frac{3}{2} E i_d \quad (13)$$

Trong đó: T_{eq} là thời gian trễ của mạch vòng dòng điện; K_{Ti} là hệ số đo dòng điện.

Từ hình 9 ta có hàm truyền hệ hở như (14).

$$G_{O.L} = K_{pu} \left(\frac{1+T_{iu}s}{T_{iu}s} \right) \left(\frac{1}{1+T_{eq}s} \right) \cdot \frac{1}{K_{Ti}} \cdot \frac{3E}{2} \cdot \frac{2}{Cs} = K_{pu} \left(\frac{1+T_{iu}s}{T_{iu}s} \right) \frac{K_{td}}{s(1+T_{eq}s)} \quad (14)$$

Với $K_{td} = \frac{1}{K_{Ti}} \frac{3E}{C}$, áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng ta

xác định được tham số bộ điều khiển PI như (15) [4] với a là tham số tùy chọn theo yêu cầu chất lượng cần có của hệ kín.

$$T_{iu} = aT_{eq}; \quad K_{pu} = \frac{1}{K_{td} T_{eq} \sqrt{a}} = \frac{K_{Ti} C}{3ET_{eq} \sqrt{a}} \quad (15)$$

2.6. Thiết kế các vòng điều khiển công suất

Đối với cổng 1 vòng điều khiển điện áp một chiều trung gian tạo giá trị đặt cho vòng điều khiển dòng điện trực d. Bộ điều khiển công suất phản kháng Q sẽ tạo giá trị đặt cho dòng điện ở trục q và sơ đồ cấu trúc điều khiển cho như hình 10a.

Đối với cổng 2 thì cả công suất phản kháng và công suất tác dụng đều được điều khiển. Bộ điều khiển công suất tác dụng tạo giá trị đặt cho dòng điện ở trục d trong khi đầu ra bộ điều khiển công suất phản kháng lại tạo ra giá trị đặt cho dòng điện ở trục q cho như hình 10b.

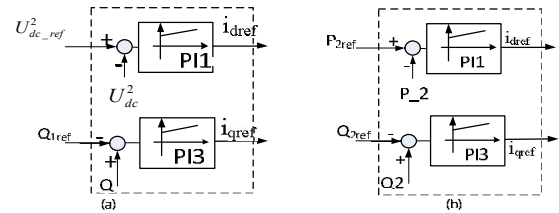
Từ (3) ta xác định được công suất tác dụng và công suất phản kháng. Nếu nguồn lưới phía hai cổng là cân bằng thì

$$e_q = 0, \text{ khi đó: } P = \frac{3}{2} e_d i_d; \quad Q = -\frac{3}{2} i_q e_d \quad (16)$$

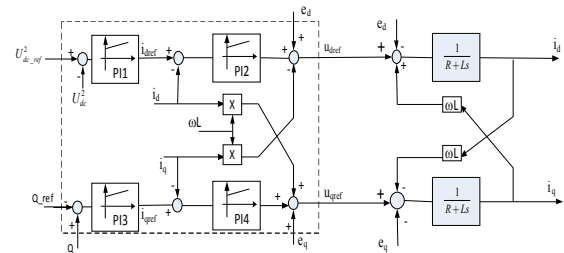
Từ (10) và (16) ta có (17):

$$\frac{P(s)}{P_{ref}(s)} = \frac{Q(s)}{Q_{ref}(s)} = G_i(s) = \frac{i_q(s)}{i_{qref}(s)} = \frac{i_d(s)}{i_{dref}(s)} = \frac{1}{1+sT_{eq}} \quad (17)$$

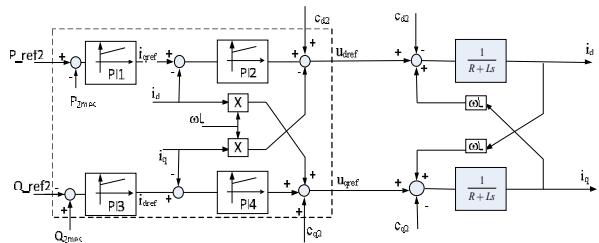
Cấu trúc vòng điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho như trên hình 13.



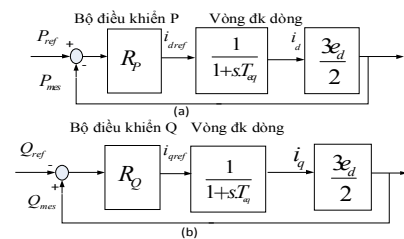
Hình 10. Vòng điều khiển công suất 2 cổng



Hình 11. Cấu trúc điều khiển PI cổng 1



Hình 12. Cấu trúc điều khiển PI ở cổng 2



Hình 13. Cấu trúc bộ điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng
Hàm truyền vòng hở mạch vòng công suất cho như (18) và (19).

$$G_{P,o} = K_{pp} \left(\frac{1+T_{ip}s}{T_{ip}s} \right) \left(\frac{1}{1+T_{eq}s} \right) \left(\frac{3e_d}{2K_{Ti}} \right)$$

$$= K_{pp} \left(\frac{1+T_{ip}s}{T_{ip}s} \right) \left(\frac{K_{02}}{1+T_{eq}s} \right); \quad (18)$$

$$K_{02} = \left(\frac{3e_d}{2} \right)$$

$$G_{Q,o} = K_{pq} \left(\frac{1 + T_{iq}s}{T_{iq}s} \right) \left(\frac{1}{1 + T_{eq}s} \right) \left(\frac{3e_d}{2K_{Ti}} \right) \quad (19)$$

$$= K_{pq} \left(\frac{1 + T_{iq}s}{T_{iq}s} \right) \left(\frac{K_{02}}{1 + T_{eq}s} \right);$$

$$K_{02} = \left(\frac{3e_d}{2} \right)$$

Áp dụng phương pháp xác định tham số bộ điều khiển PI theo phương pháp lựa chọn hệ số damping ζ (trang 123- tài liệu [6]) ta có tham số bộ điều khiển công suất như (20).

$$K_{pp} = K_{pq} = 1; K_{ip} = K_{iq} = \frac{K_{02}}{4\zeta^2 T_{eq}} = \frac{3e_d}{8\zeta^2 K_{Ti} T_{eq}} \quad (20)$$

Mạch vòng điều khiển công suất như 0 gọi là mạch điều khiển vòng kín. Các giá trị đặt cho mạch vòng dòng điện hoàn toàn có thể tính theo công thức (21) (trang 221 tài liệu [7])

$$\begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} = \frac{1}{e_d^2 + e_q^2} \begin{bmatrix} e_d & -e_q \\ e_q & e_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (16)$$

Khi đó nhiệm vụ kiểm soát việc trao đổi công suất tác dụng và thu phát công suất phản kháng bản chất lại là điều khiển các thành phần dòng điện i_d và i_q trên hệ tọa độ dq.

3. MÔ PHỎNG

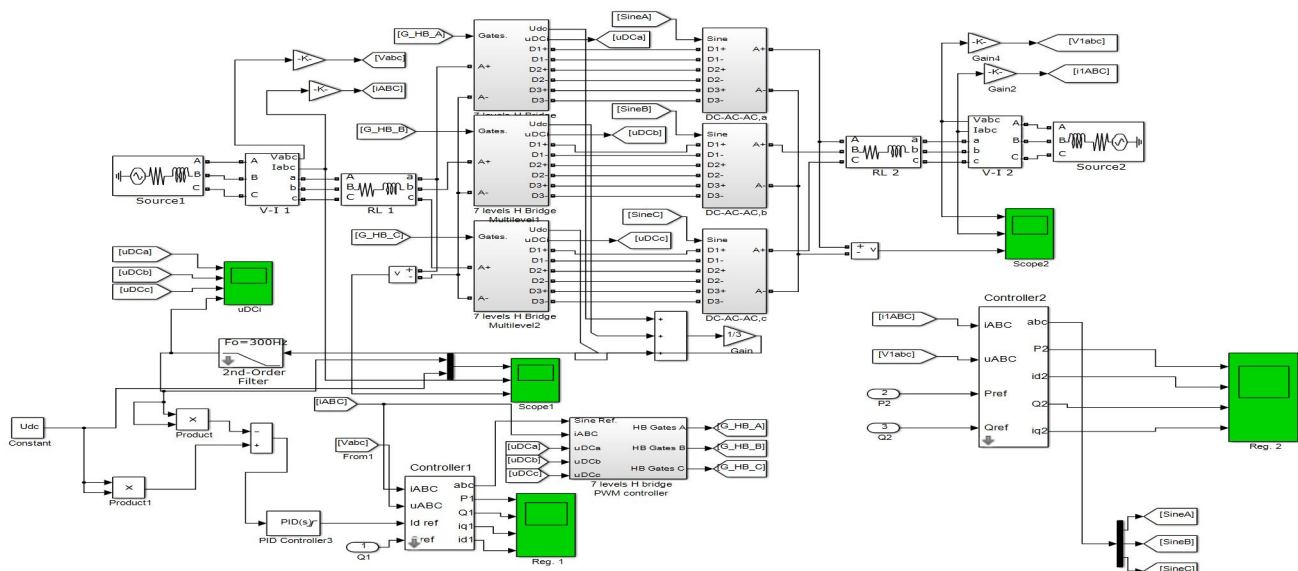
Mô phỏng đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm chứng khả năng làm việc của bộ biến đổi và thuật toán điều khiển điều chế đã thiết kế. Sơ đồ mô phỏng của hệ thống điều khiển bộ biến đổi trên phần mềm Matlab/Simulink cho như hình 14, trong đó khâu PWM controller là khâu thực hiện thuật toán điều chế ở phía cổng 1. Hai bộ điều khiển controller 1 và controller 2 tương ứng là bộ điều khiển ở cổng 1 và cổng 2. Tham số của hệ thống cho như bảng 1 và tham số của các bộ điều khiển sử dụng để mô phỏng cho như trên bảng 2.

Bảng 1. Tham số hệ thống bộ biến đổi

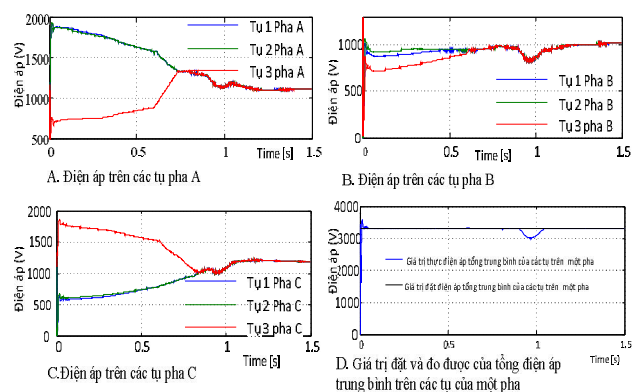
STT	Ký hiệu	Mô tả	Giá trị	Đơn vị
1	C	Tụ điện một chiều	5000	μF
2	R	Điện trở cuộn lọc	0,01	Ω
3	L	Điện cảm cuộn lọc	4,5	mH
4	Smax	Công suất cực đại	300	kVA
5	V1nom	Giá trị điện áp dây cổng 1	3300	V
6	V2nom	Giá trị điện áp dây cổng 2	3300	V
7	V _{DC}	Điện áp một chiều trên tụ	1100	V
8	f _{pwm}	Tần số sóng điều chế phía nghịch lưu đa bậc, của một cầu H	500	Hz
9	f _{HF}	Tần số điều chế phía sơ cấp MBA tần số cao	2,5	kHz
10	f _s	Tần số điều chế phía thứ cấp MBA tần số cao	5	kHz
11	K _{Ti}	Hệ số đo dòng	0,01	V/A
12	K _{TU}	Hệ số đo áp	1/2700	V/V

Bảng 2. Tham số bộ điều khiển cộng hưởng

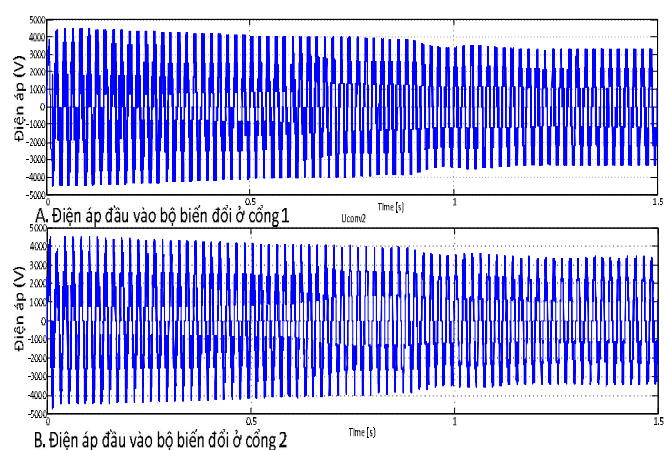
STT	Ký hiệu	Mô tả	Giá trị
1	Kp1	Hệ số Kp của bộ điều khiển dòng điện cổng 1	1,0227
2	Kii1	Hệ số Ki của bộ điều khiển dòng điện cổng 1	2,2727
3	Kpi2	Hệ số Kp của bộ điều khiển dòng điện cổng 2	12,861
4	Kii2	Hệ số Ki của bộ điều khiển dòng điện cổng 2	1,0052e+03
5	Kpu	Hệ số Kp của bộ điều khiển điện áp DC	0,0215
6	Kiu	Hệ số Ki của bộ điều khiển điện áp DC	0,985
7	Kp _{p1}	Hệ số Kp của bộ điều khiển công suất cổng 1	1
8	Ki _{p1}	Hệ số Ki của bộ điều khiển công suất cổng 1	30
9	Kp _{p2}	Hệ số Kp của bộ điều khiển công suất cổng 2	1
10	Ki _{p2}	Hệ số Ki của bộ điều khiển công suất cổng 2	300



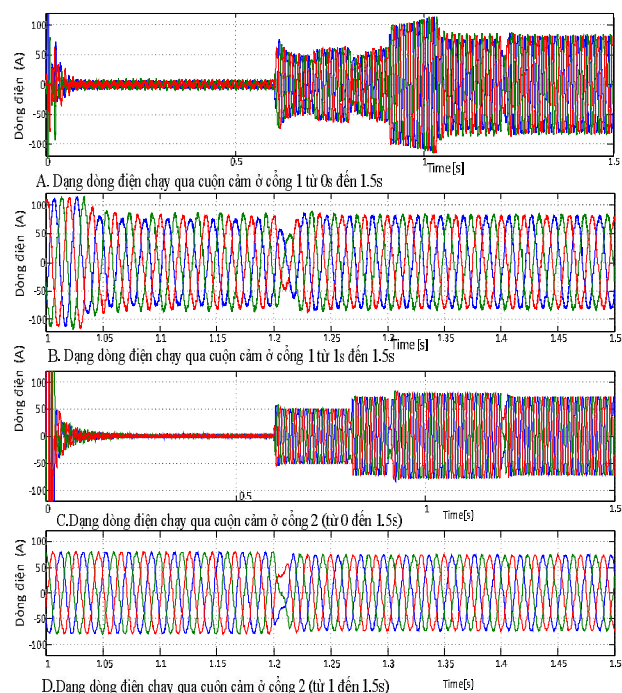
Hình 14. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điều khiển



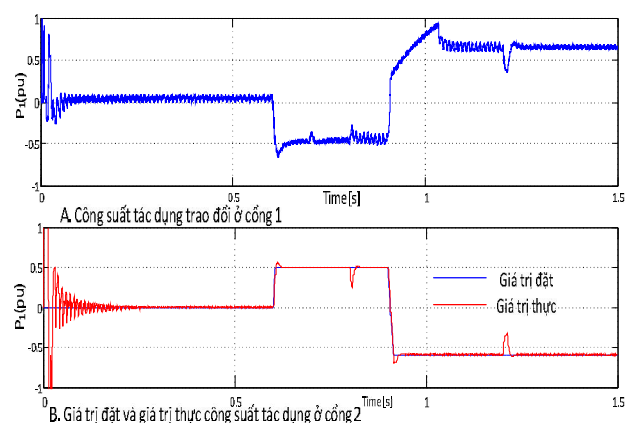
Hình 15. Dạng điện áp một chiều của các tụ pha A,B,C và điện áp trung bình trên một pha



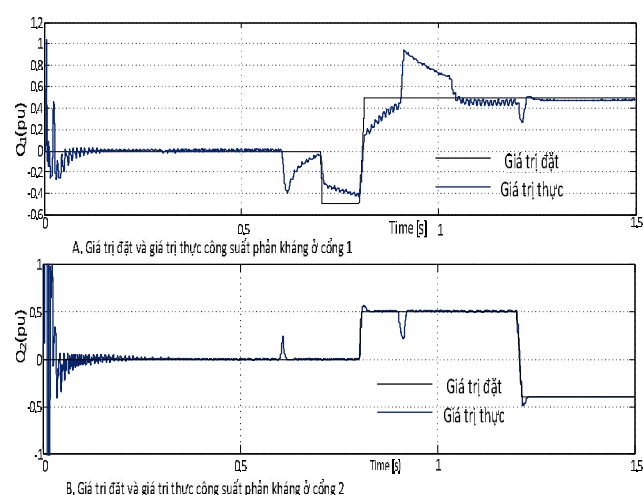
Hình 16. Dạng điện áp ngay đầu vào bộ biến đổi phía cổng 1 và cổng 2



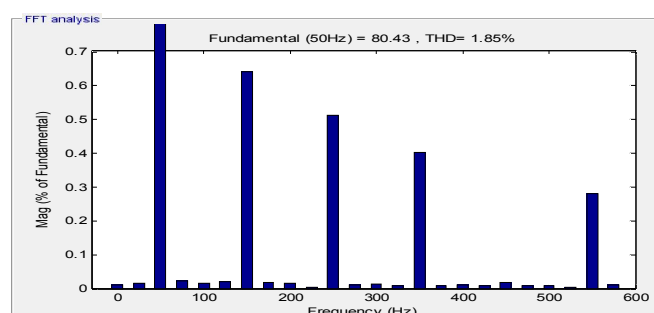
Hình 17. Dạng dòng điện chạy qua cuộn cảm phía cổng 1 và cổng 2



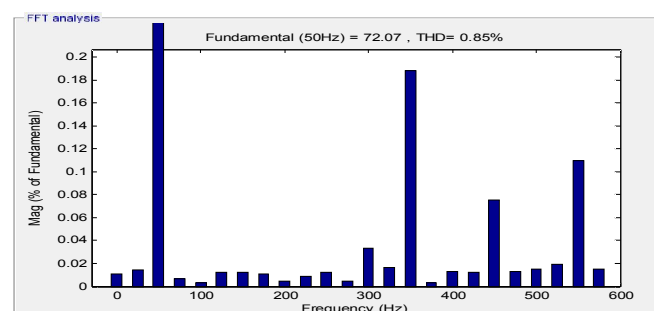
Hình 18. Công suất tác dụng trao đổi ở hai cổng



Hình 19. Công suất Q trao đổi ở 2 cổng



Hình 20. Phân tích sóng hài của dòng điện qua cuộn cảm ở cổng 1



Hình 21. Phân tích sóng hài của dòng điện qua cuộn cảm ở cổng 2

Dựa vào kết quả mô phỏng trên hình 15 ta thấy thuật toán cân bằng điện áp một chiều đã hoạt động tốt khi kết hợp với các thuật toán điều khiển PI cho mạch vòng dòng điện và các bộ điều khiển vòng ngoài. Sau thời gian khoảng 0,7s thì điện áp một chiều trên các tụ của một pha được cân bằng và có giá trị cỡ 1100V khi đó chất lượng dòng điện thể hiện trên các hình 17, 20, 21 cũng được cải thiện đáng kể. Bộ điều khiển giá trị tổng điện áp một chiều trên một pha làm việc tốt với thời gian xác lập giá trị đặt 3300V cỡ 0,1s.

Các kết quả mô phỏng dạng điện áp ngay đầu vào bộ biến đổi cho trên hình 16 cho thấy dạng điện áp đầu ra (trước cuộn cảm lọc dòng) của một pha có dạng 7 bậc. Điều này đã minh chứng thuật toán điều chế đa bậc kiểu dịch pha là đúng đắn và quá trình chuyển mạch của các bộ DC-AC-AC là tin cậy và an toàn. Dựa vào kết quả mô phỏng cho trên các hình 18, 19 ta thấy công suất phản kháng thu phát thực tế đo và tính toán được ở hai cổng rất bám sát công suất phản kháng đặt, cần chú ý rằng quá trình thu phát công suất phản kháng của hai cổng là độc lập với nhau. Kết quả mô phỏng công suất tác dụng ở cổng 1 có sự trao đổi nhằm mục đích cân bằng điện áp trên các tụ và thu phát theo yêu cầu ở cổng 2.

4. KẾT LUẬN

Trọng tâm của bài báo là xây dựng hệ điều khiển cho bộ biến đổi. Các vòng điều khiển dòng điện, điện áp một chiều trung gian, điều khiển công suất P, Q đều được đưa ra phân tích và thiết kế. Bài báo xây dựng các mô hình về bộ biến đổi bán dẫn đa mức mang đầy đủ ý nghĩa vật lý lẫn tính hệ thống chặt chẽ, trên cơ sở các giả thiết vừa đủ. Khi nghiên cứu về điều khiển chuyển mạch phải tính đến thời gian đóng cắt của khóa bán dẫn, khi xây dựng mô hình đối tượng điều khiển thì dùng giả thiết khóa bán dẫn lý tưởng. Các minh chứng bằng mô phỏng cho thấy các kết quả đưa ra có tính thuyết phục, có khả năng ứng dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Stefano Bifaretti, Pericle Zanchetta, Alan Watson, Luca Tarisciotti, and Jon C. Clare, Senior, 2011. "Advanced Power Electronic Conversion and Control System for Universal and Flexible Power Management". IEEE Transactions on smart grid, vol. 2, No. 2, June 2011, pp 231-243.
- [2]. Bùi Văn Huy, Trần Trọng Minh, 2013. *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 (trang 204-210).
- [3]. Bùi Văn Huy, Nguyễn Văn Liễn, Trần Trọng Minh, Vũ Hoàng Phương, 2014. *Bộ biến đổi DC-AC-AC qua khâu trung gian tần số cao có khả năng trao đổi công suất hai chiều*. Hội nghị toàn quốc lần thứ 7 về Cơ Điện tử - VCM-2014 (trang 136-142).
- [4]. Nguyễn Doãn Phước, 2009. "Lý thuyết điều khiển tuyến tính". NXB KHKH.
- [5]. Phạm Tuấn Anh, 2015. "Các phương pháp điều khiển thiết bị kho điện sử dụng trong hệ thống phát điện sức gió hoạt động ở chế độ ổ đảo". Luận án tiến sĩ ĐHBK HN.

[6]. Marian P. Kazmierkowski, R. Krishnan, Frede Blaabjerg, 2002. "Control in Power Electronics". Copyright 2002, Elsevier Science.

[7]. Remus Teodorescu, Marco Liserre, Pedro Rodriguez, 2011. "Grid converters for photovoltaic and wind power systems". WILEY.

[8]. Đặng Danh Hoàng, 2012. *Cải thiện chất lượng điều khiển máy phát không đồng bộ nguồn kép dùng trong hệ thống phát điện chạy sức gió bằng phương pháp điều khiển phi tuyến*. Luận án Tiến sĩ Đại học Thái Nguyên.