

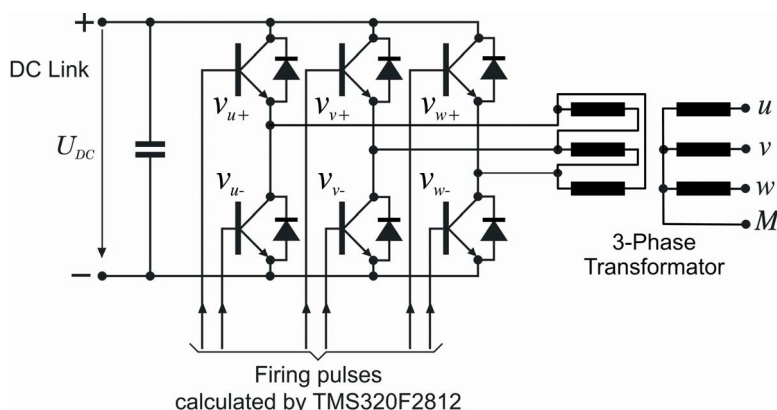
Điều chế điện áp cho nghịch lưu cầu 1 pha: Giải quyết vấn đề dưới cách nhìn vector

Nguyễn Phùng Quang, Lê Anh Tuấn

Trung tâm Nghiên cứu Triển khai Công nghệ cao – ĐH Bách Khoa Hà Nội

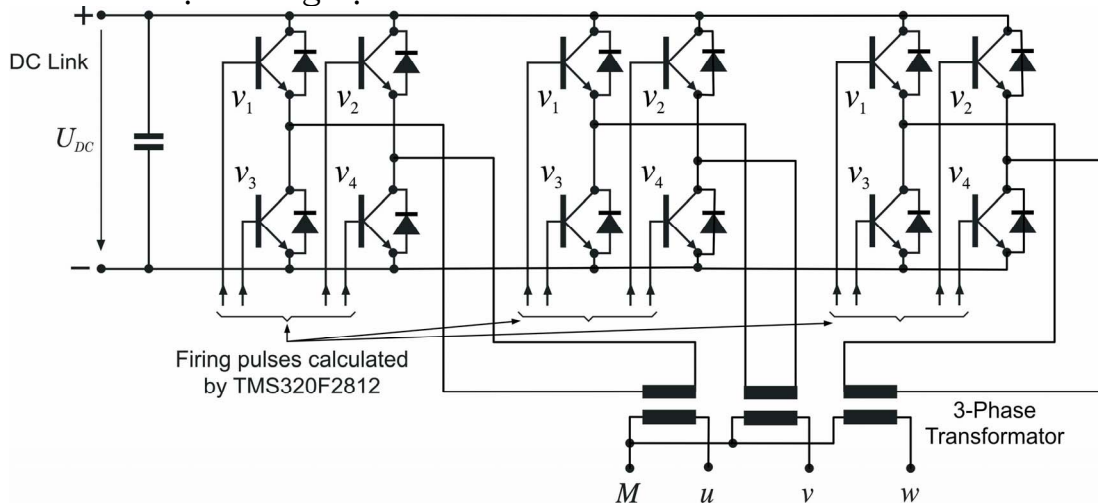
Đặt vấn đề

Vấn đề nảy sinh trong quá trình thực hiện đề tài KC.06.20CN: Cần phải tạo một hệ thống cung cấp điện 3 pha AC hoàn toàn độc lập với lưới điện quốc gia. Điều này tưởng như đơn giản khi mới nhìn thoáng qua, và ta dễ dàng chọn giải pháp điều chế vector với sơ đồ phần nghịch lưu (NL) như ở hình 1.



Hình 1: Tạo điện áp 3 pha AC bằng sơ đồ NL 3 pha thông thường

Tuy nhiên, thực tiễn đã chỉ ra rằng: Người tiêu dùng điện không có thói quen phân bổ đều tải của mình cho cả 3 pha, và điều đó đã dẫn đến tải phân bố rất thất thường, khiến cho điểm trung tính M (hình 1) liên tục bị trôi dạt, khó bảo đảm cân pha. Thêm vào đó, việc biên độ vector điện áp chỉ có thể đạt tới giá trị $2U_{DC}/3$ khiến cho ta khó có thể tận dụng tối đa công suất của nguồn điện áp U_{DC} do sức gíó đưa tới. Vì lẽ ấy, giải pháp sử dụng ba NL 1 pha (hình 2) tạo 3 pha AC đã được thử nghiệm.



Hình 2: Giải pháp ghép 3 NL 1 pha: Điện áp 3 pha AC được tạo nên bằng cách ghép 3 điện áp 1 pha AC lệch nhau 120°

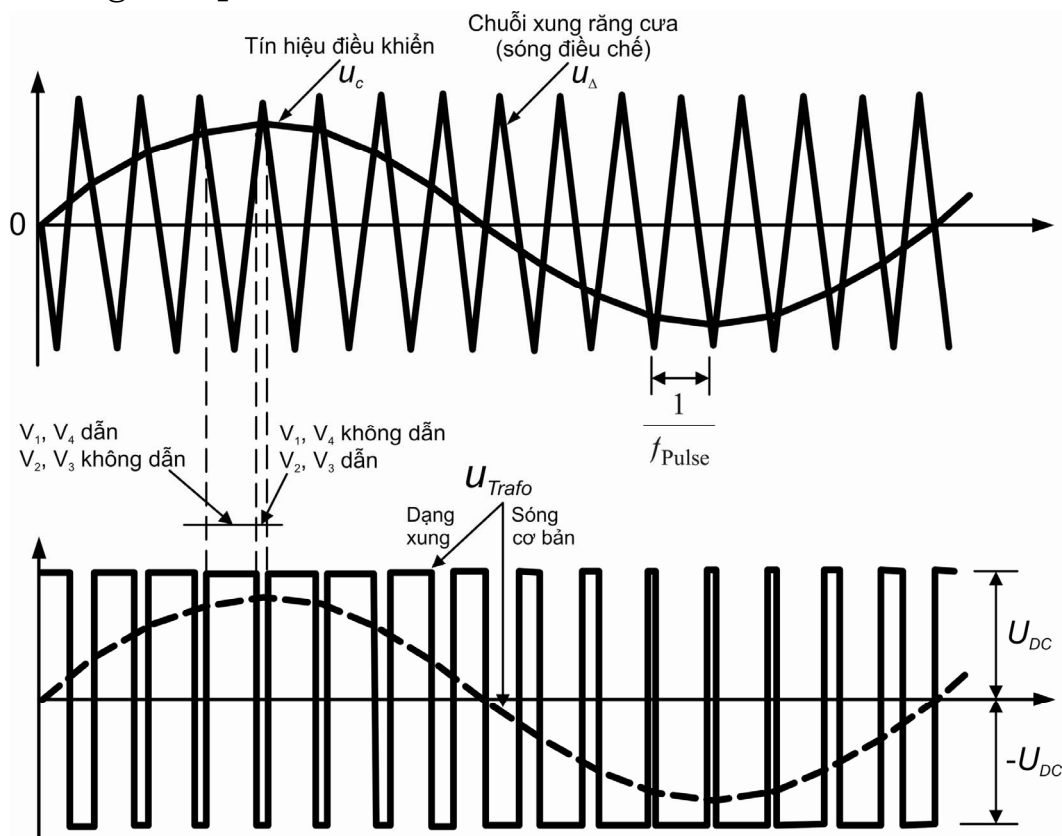
Trước khi giới thiệu cụ thể về phương pháp điều khiển NL, có thể khẳng định ngay rằng: Phương án ở hình 2 đã thực sự cho phép luôn bảo đảm tính cân đối giữa 3 pha mà không phụ thuộc vào tải. Hơn thế nữa – như phần trình bày dưới đây sẽ chỉ rõ hơn – giải pháp này còn cho phép tận dụng tối đa công suất của nguồn DC vì module của vector điện áp lúc này chính bằng U_{DC} .

Then chốt trong kỹ thuật điều khiển (ĐK) nghịch lưu 3 pha theo phương án ở hình 2 là khả năng ĐK từng cầu nghịch lưu đơn (1 pha) để tạo nên điện áp hình sin đặt lên cuộn sơ cấp của biến áp. Biến áp 3 pha thực chất có thể coi là 3 biến áp 1 pha, với 3 cuộn sơ cấp được nuôi bởi 3 điện áp hình sin lệch pha nhau 120° . Vì lý do ấy, tại đây ta chỉ cần quan tâm tới kỹ thuật điều chế cho 1 nghịch lưu đơn.

Phương pháp điều chế dùng kỹ thuật Analog

Theo Mohan (tài liệu [3]), có 2 phương pháp điều chế bề rộng xung (Pulse Width Modulation: PWM) để tạo điện áp hình sin (còn gọi là kỹ thuật biến đổi DC – AC) cho cầu NL 1 pha:

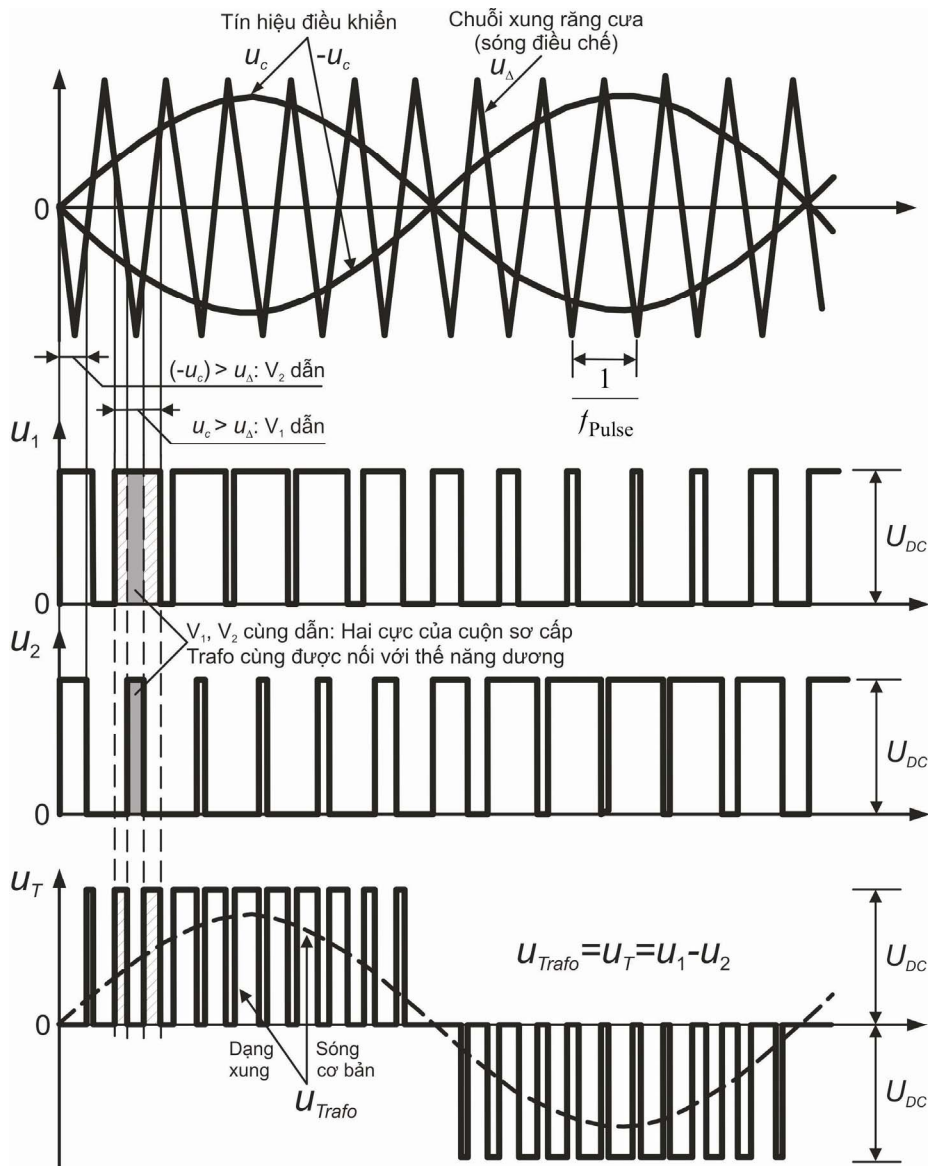
- *Phương pháp điều chế hai cực (Bipolar Voltage Switching):* Hai cặp van V_1/V_4 và V_2/V_3 được ĐK bởi 2 tín hiệu có trạng thái logic phủ định nhau. Cách ĐK này dẫn đến: Trong mọi chu kỳ của điện áp cần tạo, phụ tải (ở đây là cuộn sơ cấp của biến thế) luôn nhận điện áp ngược dấu U_{DC} hoặc $-U_{DC}$ (do đó có tên hai cực). Nếu thực hiện bằng kỹ thuật Analog, có thể tạo hai tín hiệu logic bằng các so sánh tín hiệu điều khiển u_c với chuỗi xung răng cưa u_Δ như hình 3.



Hình 3: Phương pháp điều chế hai cực: Sơ cấp biến áp luôn nhận U_{DC} hoặc $-U_{DC}$

Sóng cơ bản của điện áp điều chế u_{Trafo} có biên độ nằm trong phạm vi $0 \div U_{DC}$, cho phép tận dụng tốt dải biên độ điện áp do máy phát cung cấp, vốn có giá trị nhỏ khi yếu.

- **Phương pháp điều chế đơn cực (Unipolar Voltage Switching):** Nếu phương pháp hai cực chỉ dùng 1 tín hiệu điều khiển u_c (hình 3) để ĐK hai cặp van V_1/V_4 và V_2/V_3 , thì phương pháp đơn cực lại dùng 2 tín hiệu ngược dấu nhau u_c và $-u_c$ (hình 4) chỉ để ĐK cặp van phía trên V_1/V_2 . Còn hai van phía dưới được ĐK hoàn toàn phụ thuộc 2 van đó: V_3 nhận trạng thái logic phủ định của V_1 , còn V_4 nhận trạng thái logic phủ định của V_2 . Để dàng nhận thấy: Trong phạm vi nửa chu kỳ của điện áp cần tạo, phụ tải (ở đây là cuộn sơ cấp của biến thế) chỉ nhận điện áp một dấu (do đó có tên đơn cực). Ví dụ: Xét nửa chu kỳ dương ở hình 4 ta sẽ thấy, cuộn dây biến áp nhận điện áp U_{DC} (V_1 dẫn, V_2 không dẫn $\rightarrow V_4$ dẫn) hoặc 0 (V_1 và V_2 cùng dẫn \rightarrow 2 cực cuộn dây sơ cấp biến áp cùng nối với thế năng +).



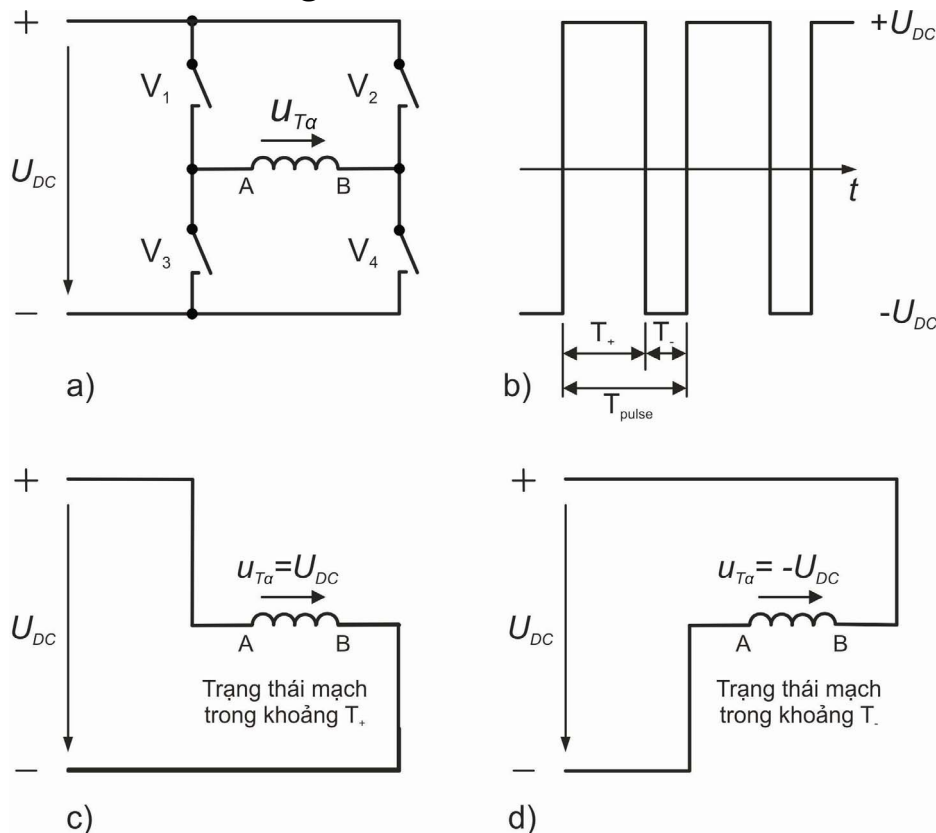
Hình 4: Phương pháp điều chế đơn cực: Tùy theo nửa chu kỳ, sơ cấp biến áp chỉ nhận 1 trong 2 giá trị $\pm U_{DC}$ hoặc 0

Tương tự kỹ thuật hai cực, sóng cơ bản của điện áp điều chế u_{Trafo} cũng có biên độ nằm trong phạm vi $0 \div U_{DC}$, cho phép tận dụng tốt dải biên độ điện áp do máy phát cung cấp, vốn có giá trị nhỏ khi gió yếu.

Phương pháp điều chế dùng kỹ thuật Digital

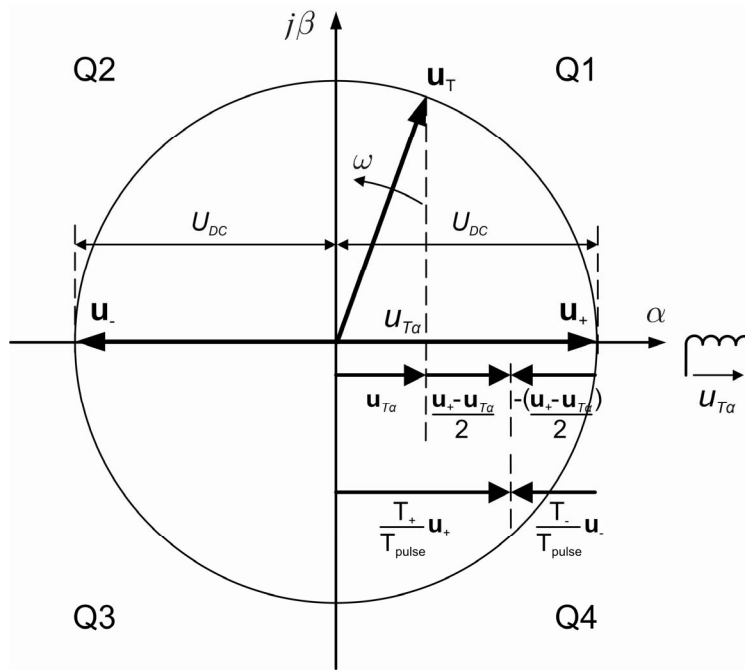
Hai phương pháp điều chế PWM nói trên chủ yếu được thực hiện bằng linh kiện Analog. Để hiểu rõ hơn bản chất, đồng thời tạo điều kiện thực hiện thuận lợi bằng kỹ thuật Digital (sử dụng DSP ký hiệu TMS320F2812), ta có thể nhận thức vấn đề dưới dạng vector và đề xuất hai phương pháp điều chế vector điện áp 1 pha dưới đây.

- *Phương pháp điều chế vector điện áp hai cực (Bipolar Vector Modulation):* Phương pháp này có xuất phát điểm là phương pháp điều chế hai cực trong tài liệu [3]. Ta hãy theo dõi hình 5 dưới đây.



Hình 5: Phương pháp điều chế vector điện áp hai cực: Bipolar Vector Modulation

Để tiện theo dõi, trong hình 5 ta đã thay các van bán dẫn bởi các tiếp điểm cơ (hình 5a). Dễ dàng thấy rằng: Trong một chu kỳ xung T_{pulse} , bằng cách mở luân phiên hai cặp tiếp điểm ta đã đặt lên cuộn dây sơ cấp (hình 5c,d) một trong 2 giá trị điện áp $+U_{DC}$ (trong khoảng thời gian T_+) hoặc $-U_{DC}$ (trong khoảng thời gian T_-). Việc chỉ có khả năng đặt lên cuộn dây 2 điện áp ngược dấu nhau cũng giống như việc ta chỉ có khả năng sử dụng 2 vector điện áp trái chiều nhau \mathbf{u}_+ và \mathbf{u}_- như thể hiện ở hình 6.



Hình 6: Điều chế điện áp chỉ bằng 2 vector \mathbf{u}_+ và \mathbf{u}_-

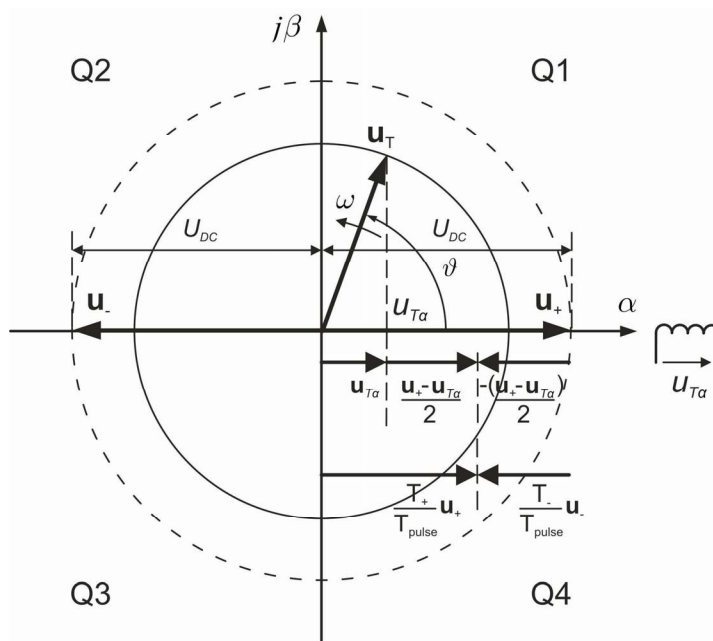
Ta định nghĩa một hệ tọa độ cố định $\alpha\beta$ có trục thực trùng với chiều của điện áp đặt lên cuộn dây biến thế. Trên hệ tọa độ mới, ta dễ dàng thấy rằng điện áp đặt lên biến thế chính là hình chiếu $u_{T\alpha}$ của một vector điện áp \mathbf{u}_T (quay tròn quanh gốc tọa độ với vận tốc góc $\omega = 2\pi f$) xuống trục α . Nếu coi $u_{T\alpha}$ là module của một vector $\mathbf{u}_{T\alpha}$ (có chiều như trong hình 6) là vector được thực hiện bởi trạng thái logic của \mathbf{u}_+ trong khoảng thời gian rút ngắn tương ứng. Trong khoảng thời gian còn lại ta thực hiện vector điện áp có giá trị module bằng 0:

$$\mathbf{u}_{T\alpha} = \mathbf{u}_{T\alpha} + \left[\underbrace{\frac{\mathbf{u}_+ - \mathbf{u}_{T\alpha}}{2} - \frac{\mathbf{u}_+ - \mathbf{u}_{T\alpha}}{2}}_{=0} \right] = \mathbf{u}_{T\alpha} + \underbrace{\frac{\mathbf{u}_+ - \mathbf{u}_{T\alpha}}{2}}_{\frac{T_+}{T_{pulse}} \mathbf{u}_+} - \underbrace{\frac{\mathbf{u}_+ - \mathbf{u}_{T\alpha}}{2}}_{\frac{T_-}{T_{pulse}} \mathbf{u}_-} \quad (1)$$

Hình 6 và công thức (1) chỉ ra rất rõ ràng: Ta đã quy việc thực hiện $\mathbf{u}_{T\alpha}$ về việc thực hiện 2 vector \mathbf{u}_+ (đã suy giảm với hệ số T_+/T_{pulse}) và \mathbf{u}_- (đã suy giảm với hệ số T_-/T_{pulse}). Vấn đề tồn tại chỉ còn là: Tính giá trị của 2 khoảng thời gian T_+ và T_- phụ thuộc vào $u_{T\alpha} = |\mathbf{u}_{T\alpha}|$.

Tuy nhiên, hình 6 chỉ minh họa việc thực hiện vector \mathbf{u}_T với module tối đa. Thực tế ta phải sử dụng quan hệ (1) để thực hiện một vector \mathbf{u}_T có module bất kỳ như hình 7. Chỉ bằng các phép tính hình học – lượng giác phổ thông ta dễ dàng tính được:

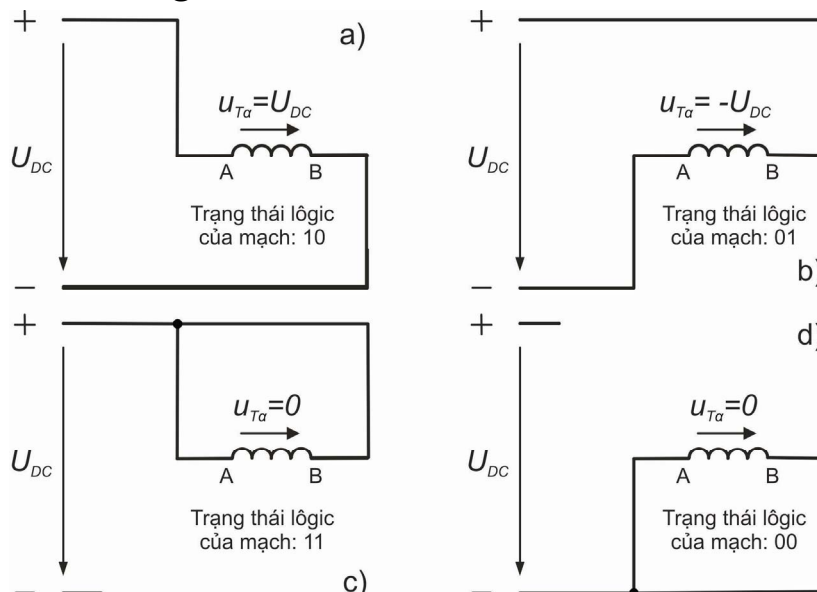
$$\begin{aligned} T_+ &= \left(\frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{|\mathbf{u}_+|} + 1 \right) \frac{T_{pulse}}{2} = \left(\frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{U_{DC}} + 1 \right) \frac{T_{pulse}}{2} \\ T_- &= T_{pulse} - T_+ \end{aligned} \quad (2)$$



Hình 7: Biểu đồ vector của kỹ thuật hai cực: Điều chế điện áp có module bất kỳ chỉ bằng 2 vector u_+ và u_-

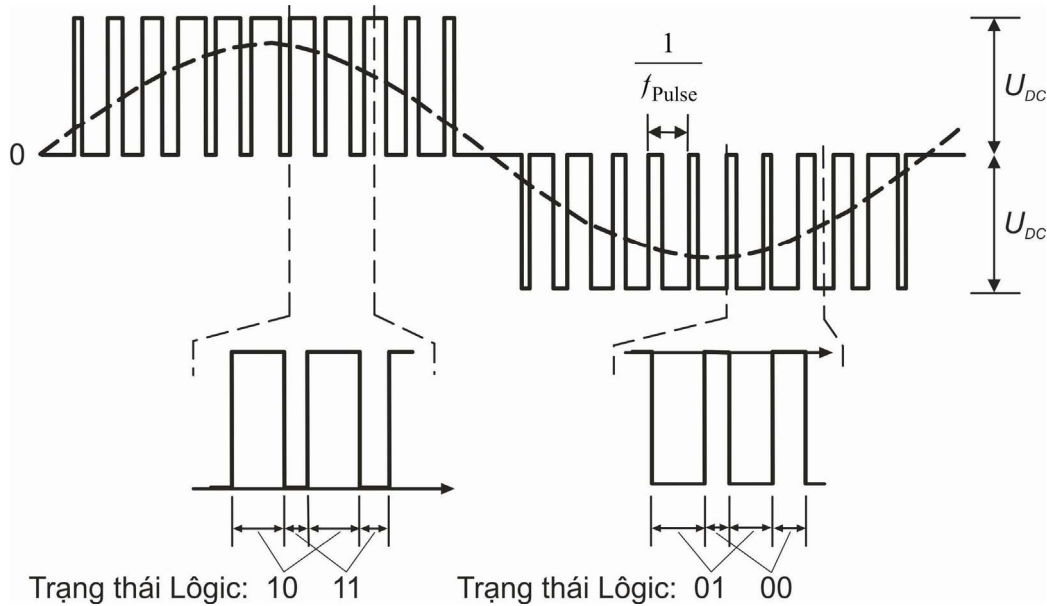
Công thức (2) được sử dụng để tính thời gian đóng ngắt van T_+ và T_- của góc $\frac{1}{4} Q1$ (hình 7). Bằng cách dẫn dắt tương tự, ta có thể dễ dàng chứng minh được rằng công thức (2) cũng đúng cho tất cả ba góc $\frac{1}{4}$ còn lại Q2, Q3 và Q4.

- **Phương pháp điều chế vector điện áp đơn cực (Unipolar Vector Modulation):** Nếu định nghĩa trạng thái logic của hai điểm A, B (hai cực của cuộn dây sơ cấp biến thế) là 1 khi chúng được nối với thể năng dương, là 0 khi chúng được nối với thể năng âm của mạch DC. Khi ấy, một nghịch lưu đơn với 2 nhánh van có thể tạo được $2^2=4$ trạng thái logic với các dạng sơ đồ mạch minh họa ở hình 8.

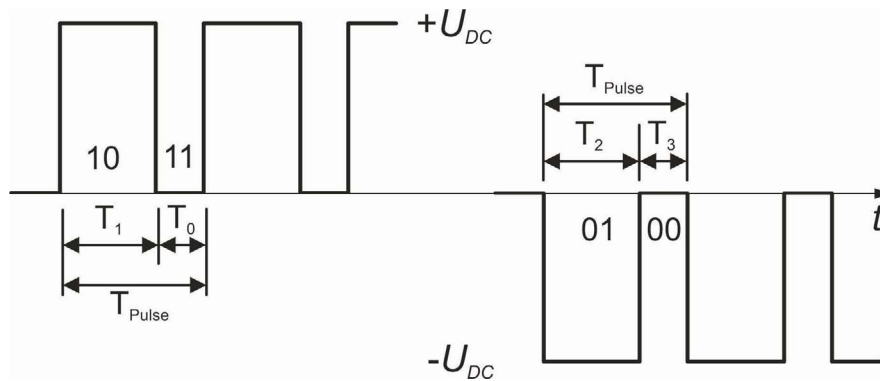


Hình 8: Nghịch lưu đơn có thể tạo được 4 trạng thái logic, ứng với 4 vector điện áp chuẩn: u_1 (logic 10: hình a), u_2 (logic 01: hình b) và u_0 , u_3 (logic 00, 11) là hai vector có module bằng 0 (hình c,d)

Khác với phương pháp hai cực luân phiên sử dụng 2 điện áp khác dấu trong cùng một nửa chu kỳ (hình 5b), phương pháp đơn cực chỉ sử dụng điện áp dương (lôgic 10) và điện áp 0 (lôgic 11) cho nửa chu kỳ dương, cũng như điện áp âm (lôgic 01) và điện áp 0 (lôgic 00) cho nửa chu kỳ âm (hình 9). Có thể nhận thấy rõ hơn cách chuyển mạch các van qua hình ảnh phóng to ở hình 10.



Hình 9: Khác với phương pháp điều chế vector hai cực, phương pháp đơn cực sử dụng cả 2 trạng thái lôgic 00 và 11



Hình 10: Cả 2 trạng thái lôgic 00 và 11 đều tham gia vào điều chế 2 nửa chu kỳ

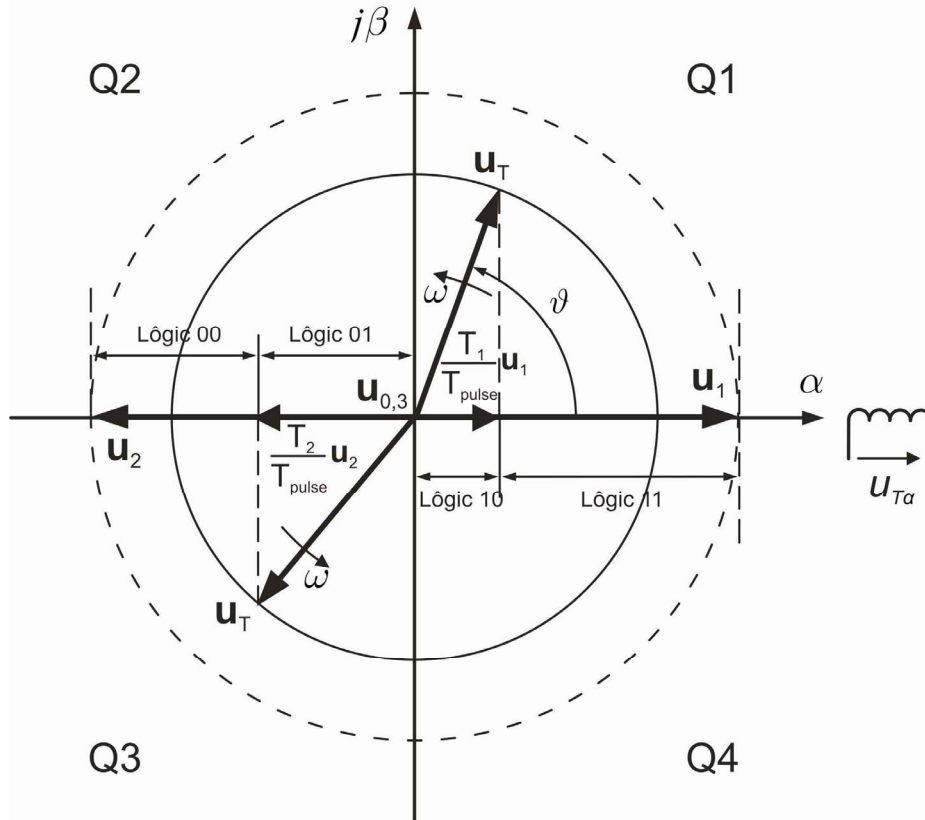
Các trạng thái lôgic ở hình 10 ứng với các vector điện áp chuẩn \mathbf{u}_1 (trạng thái 10), \mathbf{u}_2 (trạng thái 01) và $\mathbf{u}_{0,3}$ (trạng thái 00, 11) biểu diễn ở hình 11. Gọi thời gian duy trì của vector \mathbf{u}_1 là T_1 , của \mathbf{u}_2 là T_2 , và của $\mathbf{u}_{0,3}$ là $T_{0,3}$. Qua biểu đồ vector ở hình 11 ta có công thức tính cho hai góc $1/4$ Q1 và Q4:

$$\text{Quadrant Q1, Q4:} \begin{cases} T_1 = \frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{|\mathbf{u}_1|} T_{Pulse} = \frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{U_{DC}} T_{Pulse} \\ T_3 = T_{Pulse} - T_1 \end{cases} \quad (3)$$

Công thức (3) có hiệu lực đối với nửa chu kỳ dương. Đối với nửa chu kỳ âm, tức là đối với 2 góc $1/4$ Q2, Q3 ta sử dụng các công thức tính sau đây:

$$\text{Quadrant Q2, Q3:} \begin{cases} T_2 = -\frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{|\mathbf{u}_1|} T_{\text{pulse}} = -\frac{|\mathbf{u}_T| \cos \vartheta}{U_{DC}} T_{\text{pulse}} \\ T_0 = T_{\text{pulse}} - T_1 \end{cases} \quad (4)$$

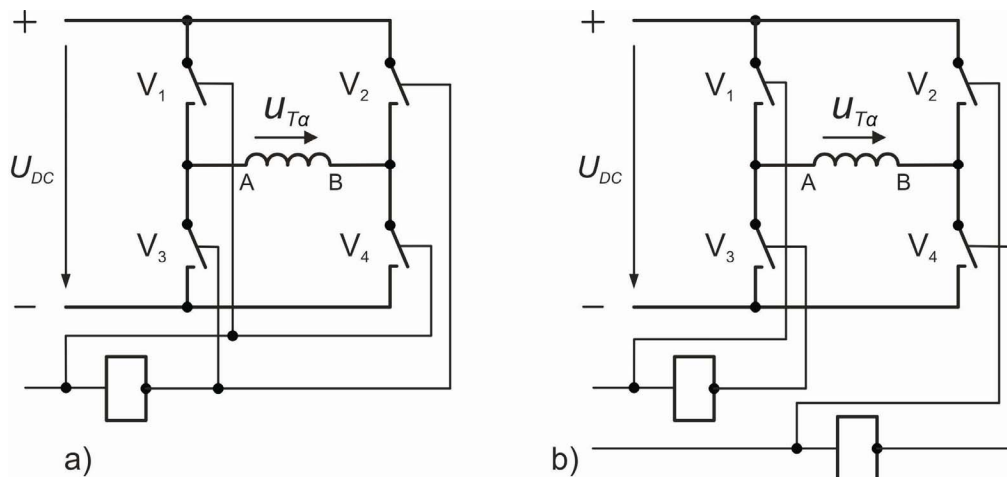
Tại 2 góc $\frac{1}{4}$ Q2, Q3, giá trị $\cos \vartheta$ mang dấu âm. Do đó trong công thức (4) đã xuất hiện dấu trừ.



Hình 11: Biểu đồ vector của kỹ thuật điều chế vector đơn cực: Nghịch lưu đơn sử dụng cả 2 vector có module bằng 0 là $\mathbf{u}_0, \mathbf{u}_3$ (logic 00, 11)

Cả hai phương pháp ĐK nghịch lưu vừa trình bày đều đã được thử nghiệm trên thiết bị của đề tài KC.06.20CN. Có một số điểm khác biệt giữa hai phương pháp cần được nêu lên:

- Do tận dụng được 2 vector chuẩn có module bằng 0 là $\mathbf{u}_{0,3}$, biên độ hài bậc cao của phương pháp điều chế đơn cực bé hơn so với phương pháp hai cực. Đây là lợi thế cần được triệt để tận dụng để giảm bớt kích cỡ, giảm giá thành cũng như giảm phát nhiệt của kháng lọc điện áp ra.
- So với phương pháp hai cực, phương pháp đơn cực cần gấp đôi (hình 12) số tín hiệu điều chế. Điều này rất có ý nghĩa khi chọn Microcontroller.

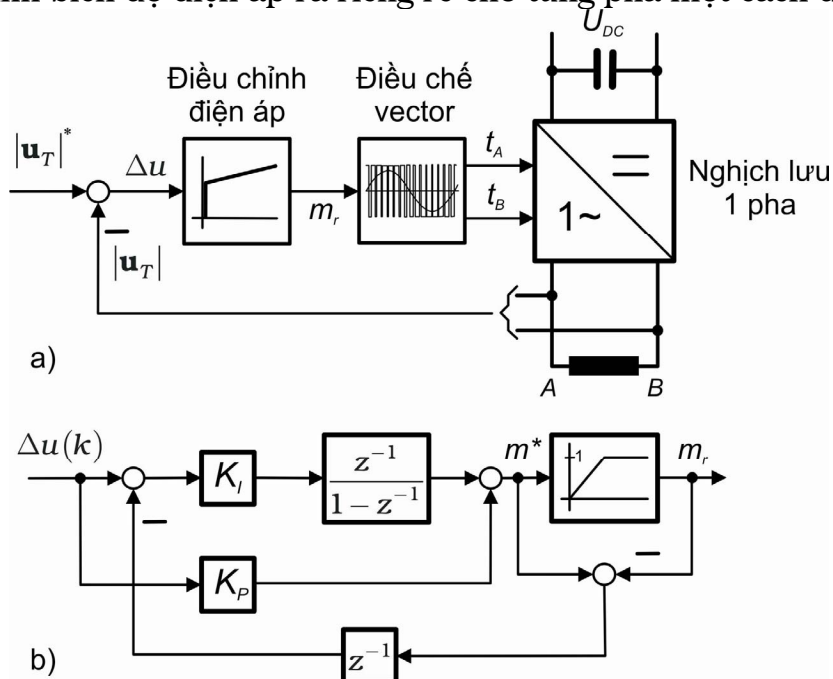


Hình 12: Tín hiệu ĐK van NL: a) theo phương pháp điều chế hai cực, và b) theo phương pháp điều chế đơn cực

Để dàng thấy rằng: Do việc ĐK đòi hỏi 2 van thuộc đường chéo cầu nghịch lưu phải được mở giống nhau, nhưng bảo đảm tính phủ định giữa hai cặp van V_1/V_4 và V_2/V_3 , ta chỉ cần một tín hiệu điều chế duy nhất (hình 12a) khi dùng phương pháp hai cực. Khi sử dụng phương pháp đơn cực, ta lại không cần ĐK phủ định giữa hai cặp van V_1/V_4 và V_2/V_3 , vì hai van trên V_1 và V_2 , hoặc hai van dưới V_3 và V_4 , có thể đồng thời dẫn dòng. Nhưng do trạng thái dẫn giữa van trên/dưới của cùng một nhánh cầu nghịch lưu phải phủ định lẫn nhau, ta cần hai tín hiệu điều chế như hình 12b.

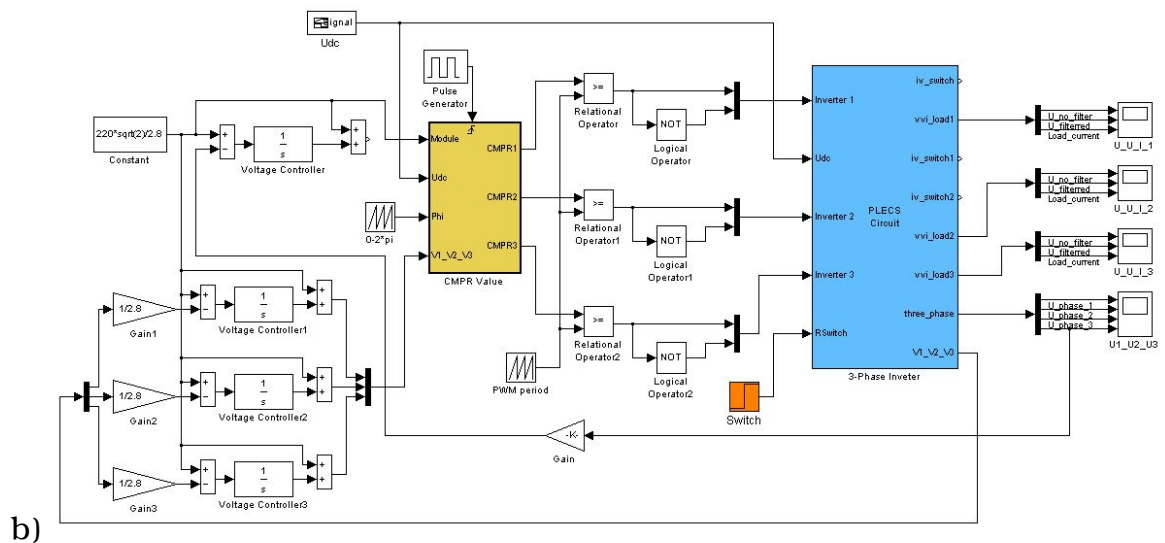
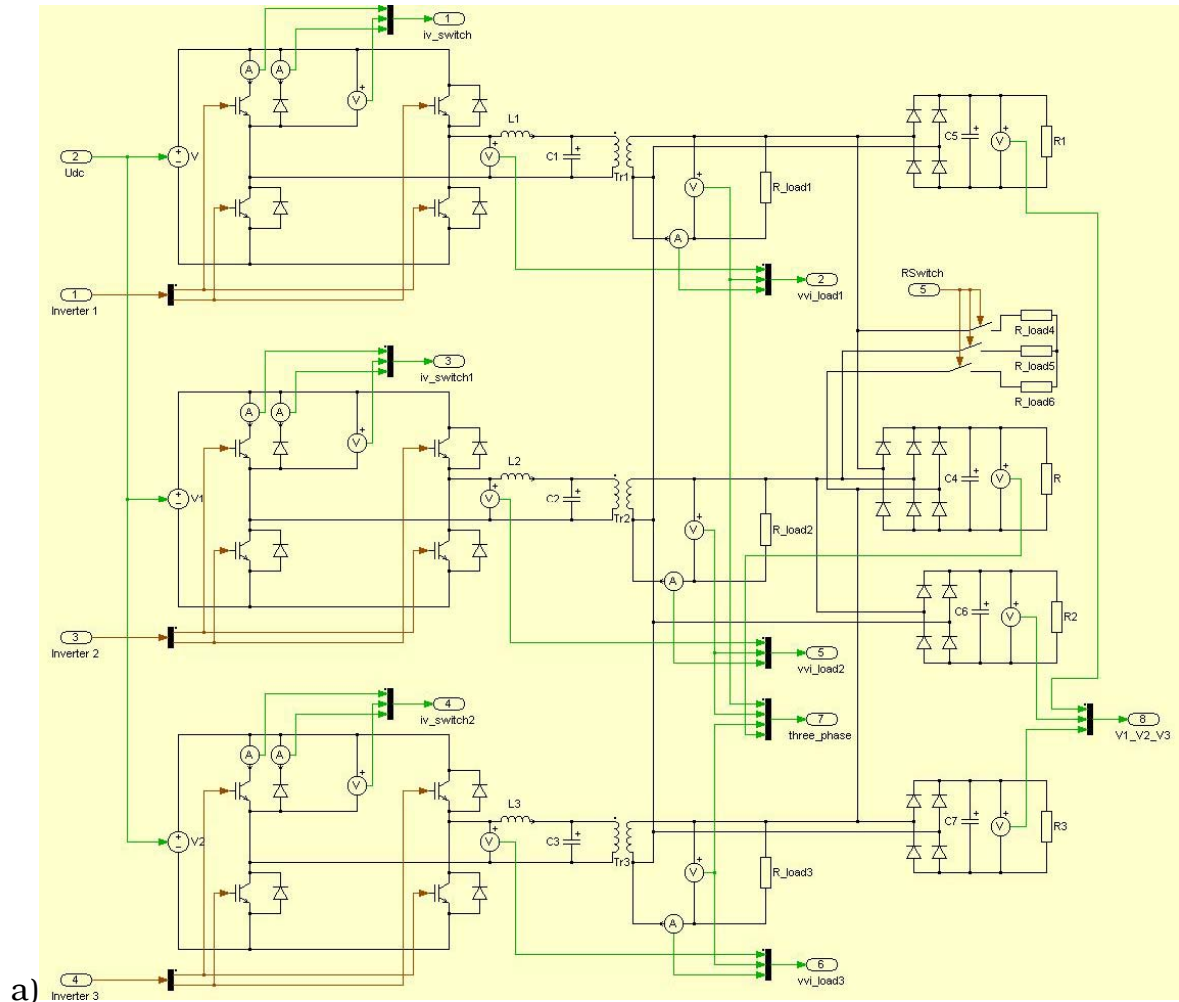
Ổn định điện áp ra

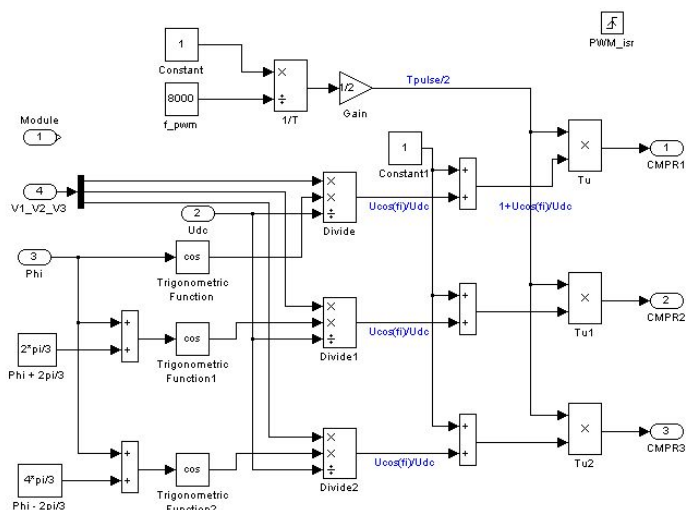
Phương pháp điều chế vector điện áp cho phép thực hiện điều chỉnh (ĐC) ổn định biên độ điện áp ra riêng rẽ cho từng pha một cách dễ dàng (hình 13).



Hình 13: Điều chỉnh ổn định điện áp ra: a) Cấu trúc vòng ĐC; b) Cấu trúc bộ ĐC số (Digital Controller); m^* : Hệ số điều chế cần thực hiện, m_r : Hệ số điều chế thực

Để kiểm chứng tính đúng đắn của giải pháp ghép 3 nghịch lưu 1 pha (hình 2), của phương pháp điều chế vector đơn cực (hình 11) và của cấu trúc điều chỉnh điện áp (hình 13), ta có thể sử dụng công cụ MATLAB & Simulink kết hợp với PLECS (của Cty Plexim, Thụy Sĩ) để mô phỏng kiểm chứng (hình 14).

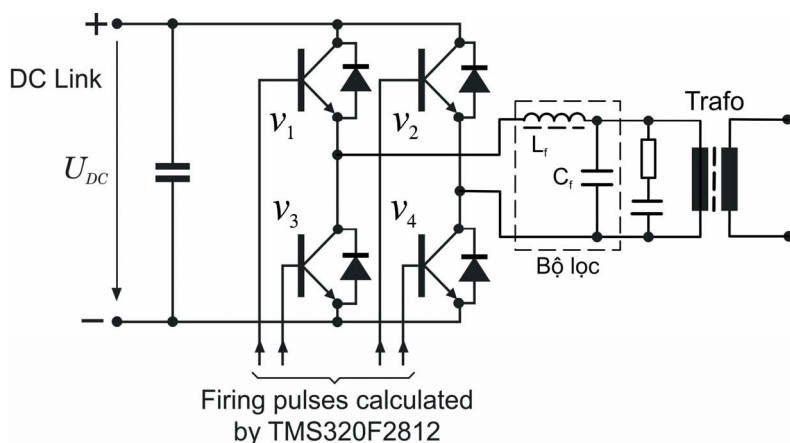




c)

Hình 14: Mô phỏng thiết bị biến đổi DC-AC để tạo điện áp xoay chiều 3 pha: a) Nghiệm lưu 3 pha sử dụng PLECS; b) Cấu trúc điều chỉnh biên độ, và c) điều chế vector điện áp ra dùng Simulink

Một khâu quan trọng có ý nghĩa quyết định tới không chỉ chất lượng điện áp ra, mà còn tới cả khả năng giảm phát nhiệt của biến thể xuất: Đó là bộ lọc đầu ra (hình 15) với 2 phần tử chính là L_f và C_f . Đây cũng là một trong những khâu khó thực hiện, do thiếu khả năng chế tạo cuộn cảm với giá trị chính xác như thiết kế đòi hỏi tại Việt Nam. Điều này có thể khiến cho ta phải mất khá nhiều công sức để thí nghiệm tìm được giá trị cụ thể.



Hình 15: Bộ lọc đầu ra có ý nghĩa quyết định tới chất lượng điện và khả năng phát nhiệt của biến áp

Kết luận

Bài viết giới thiệu một cách nhìn mới về phương pháp điều chế tạo điện áp AC dùng NL cầu 1 pha: Đó là cách nhìn của phương pháp điều chế vector, cho phép thực hiện thuận lợi bằng kỹ thuật số, cụ thể bằng DSP loại TMS320F2812 của Texas Instruments. Nhu cầu về cách nhìn nhận mới vấn đề điều khiển NL xuất phát trong quá trình nghiên cứu - thiết kế hệ thống tạo điện áp 3 pha AC của đề tài KC.06.20CN „Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống

phát điện chạy sức gió có công suất 20kW phù hợp với điều kiện Việt Nam“. Phương pháp đã được cài đặt thành công trên thiết bị, hiện đang cấp điện ổn định cho khu nhà nghỉ Cát Biển (thuộc Công ty SIC Hà Nội), xã Tam Tiến, huyện Núi Thành, tỉnh Quảng Nam.

Cũng cần lưu ý rằng, bài viết không có ý định trả lời câu hỏi về các nguyên lý NL. Trong điều kiện hạn chế về cả vật chất lẫn thời gian, nguyên lý điều chế điện áp 3 pha AC bằng NL 4 nhánh van (là nguyên lý cũng hứa hẹn một kết quả tốt đẹp, dung hòa ưu/nhược điểm của hai giải pháp ở hình 1 và 2) đã chưa có cơ hội để được thiết kế và chế tạo thử nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đề tài KC.06.20CN: Các báo cáo NC-TK hệ thống điều khiển, hệ thống điện, Hardware và Software của hệ thống phát điện sức gió. Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2006
- [2] Nguyễn Phùng Quang, Andreas Dittrich: Truyền động điện thông minh. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003
- [3] Mohan, Ned; Undeland, Tore; Robbin, William: Power Electronics: Converters, Applications and Design. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1995
- [4] Rashid, Muhammad: Power Electronics Handbook. Academic Press, 2001