

ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO CHO BỘ CHỈNH LƯU TÍCH CỰC 3-BẬC DẠNG T VỚI CÁC MỤC TIÊU CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP TỤ VÀ GIẢM THỜI GIAN THỰC HIỆN

Đoàn Xuân Nam^{1*}, Văn Tấn Lượng¹, Nguyễn Văn Nhò²

¹Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

²Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG TP.HCM

*Email: namdx@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/6/2022; Ngày chấp nhận đăng: 13/7/2022

ABSTRACT

Bài báo này trình bày giải thuật điều khiển dự báo cho bộ chỉnh lưu tích cực 3-pha 3-bậc dạng T với các mục tiêu là giữ ổn định điện áp DC ngõ ra, duy trì cân bằng các điện áp tụ và giảm thời gian thực hiện chương trình. Dựa trên cấu trúc liên kết và nguyên lý hoạt động của mạch, mô hình toán của hệ thống được giới thiệu. Tiếp đến, phương pháp điều khiển dự báo cải tiến dựa trên chiến lược lựa chọn trước các vector điện áp ứng viên cho lần dự báo tiếp theo được trình bày. Đánh giá dựa trên các kết quả mô phỏng bởi phần mềm Matlab đã chứng minh được tính hiệu quả của phương pháp.

Từ khóa: Cân bằng điện áp tụ, chỉnh lưu tích cực, điều khiển dự báo.

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, bộ chỉnh lưu tích cực đang được sử dụng nhiều trong các ứng dụng công nghiệp bởi những ưu điểm nổi bật của chúng so với bộ chỉnh lưu sử dụng diode như khả năng chuyển đổi công suất theo 2 chiều, điều khiển linh động điện áp DC ngõ ra, chất lượng dòng điện ngõ vào tốt hơn, hệ số công suất bằng một... Những ứng dụng của bộ chỉnh lưu này có thể tìm thấy trong các hệ thống năng lượng kết nối lưới [1], hệ thống lưu trữ năng lượng [2], trạm chuyển đổi DC cao áp [3].

Đặc biệt, trong các ứng dụng với công suất cao và điện áp lớn thì bộ chuyển đổi 3-bậc có những ưu điểm hơn so với các bộ chuyển đổi 2-bậc như giảm điện áp dv/dt đặt lên các thiết bị công suất, độ méo dạng sóng hài nhỏ hơn (THD), tổn thất chuyển mạch thấp hơn. Một số cấu hình bộ chỉnh lưu 3-bậc phổ biến bao gồm cấu hình trung tính kẹp (NPC) [4], cấu hình tụ điện bay (FC) [5], cấu hình xếp tầng cầu H (H bridge) [6]. Trong đó, cấu hình 3-bậc trung tính kẹp dạng T đang được xem là cấu hình có nhiều tiềm năng và ưu điểm trong cấu hình NPC [7]. Tuy nhiên, trong cấu trúc này có điểm giữa của tụ liên kết DC được nối với nhánh T để tạo ra được điện áp 3-bậc ở ngõ ra, đây cũng chính là nguyên nhân gây ra hiện tượng mất cân bằng điện áp trên các tụ.

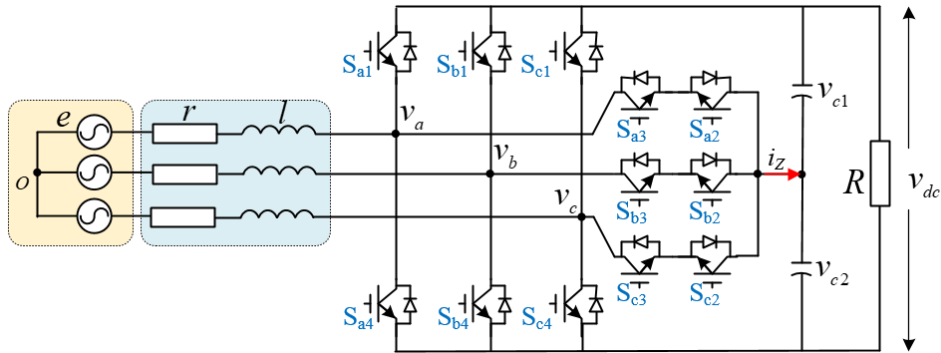
Cùng với sự phát triển của kỹ thuật xử lý tín hiệu số, giải thuật điều khiển dự báo đã được áp dụng rất thành công trong lĩnh vực liên quan đến điện tử công suất như điều khiển tốc độ động, xe điện, biến tần ma trận, bộ chuyển đổi năng lượng... Phương pháp điều khiển này có nhiều ưu điểm nổi bật hơn so với các phương pháp truyền thống như đáp ứng nhanh, cấu trúc không bộ điều chế, loại bỏ các bộ điều khiển tích phân tỉ lệ (PI) phức tạp, điều khiển nhiều mục tiêu cùng lúc thông qua tối ưu các hàm chi phí [8-10].

Trong bài báo này trình bày giải thuật điều khiển dự báo cho bộ chỉnh lưu tích cực 3-bậc dạng T với các mục tiêu như ổn định điện áp DC ngõ ra ngay cả trong trường hợp điện áp lưới và tải thay đổi, giữ dòng điện ngõ vào dạng hình sin với hệ số công suất bằng 1 và cân bằng điện áp tụ. Đầu tiên, mô hình toán của của bộ chỉnh lưu tích cực 3-bậc dạng T được giới thiệu và phân tích. Tiếp đó, thuật toán điều khiển dự báo được thành lập. Cuối cùng, đánh giá tính khả thi của giải thuật cho mô hình thông qua các kết quả mô phỏng bởi phần mềm Matlab/simulink.

2. GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO CHO BỘ CHỈNH LƯU TÍCH CỰC 3-BẬC DẠNG T

2.1. Phân tích mô hình toán

Cấu trúc liên kết của bộ chỉnh lưu tích cực 3-bậc dạng T được trình bày như trong Hình 1, bao gồm: 4 IGBT kết nối dạng hình T cho mỗi pha; một bộ lọc AC ngõ vào được mô hình hóa bởi một cuộn dây l và điện trở r ; điện áp ngõ ra được lấy thông qua 2 tụ liên kết DC có điểm giữa được nối tới nhánh T của các pha.



Hình 1. Cấu trúc bộ chỉnh lưu tích cực 3-pha 3-bậc dạng T

Nguyên tắc chuyển mạch của các khóa được trên một nhánh pha bất kỳ được mô tả như trong Hình 2, các trạng thái tín hiệu chuyển mạch và điện áp ngõ ra được liệt kê như trong Bảng 1. Trong điều kiện giả định rằng điện áp của tụ điện liên kết là cân bằng, điện áp ngõ ra tại mỗi chân pha có thể được biểu thị như sau:

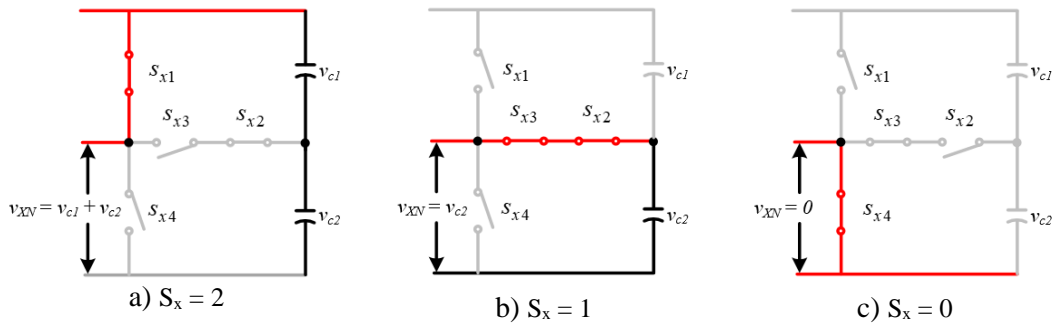
$$v_{XN} = S_X \frac{V_{dc}}{2} ; \text{ với } X = \{A, B, C\} \quad (1)$$

trong đó: S_X là trạng thái chuyển mạch được định nghĩa như trong Bảng 1.

Công thức Clarke biến đổi điện áp tại ba pha trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ như sau:

$$v_{\alpha\beta} = \frac{2}{3} (v_{AN} + e^{j2\pi/3} v_{BN} + e^{j4\pi/3} v_{CN}) \quad (2)$$

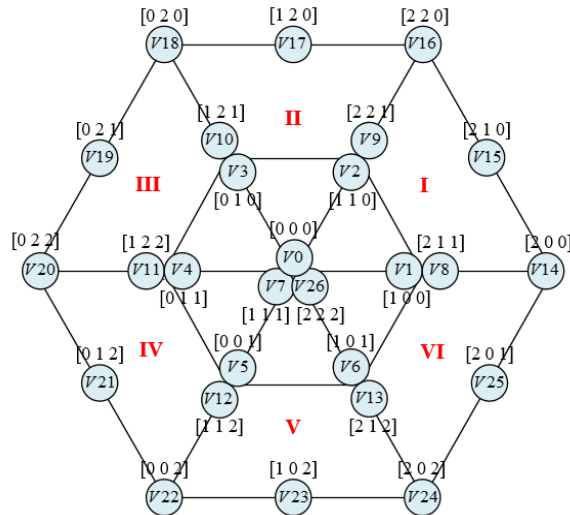
Với 3 trạng thái chuyển mạch 0, 1 và 2 cho mỗi pha sẽ tạo, bộ chỉnh lưu tích cực 3-bậc dạng T tạo ra 27 tổ hợp trạng thái chuyển mạch. Sử dụng phép biến đổi (2), không gian vector được hình thành như trong Hình 3, bao gồm 6 vector điện áp lớn, 6 vector điện áp trung bình, 12 vector điện áp nhỏ trùng lặp và 3 vector điện áp không.



Hình 2. Trạng thái chuyển mạch trên pha X, với $X \in \{A, B, C\}$

Bảng 1. Tín hiệu chuyển mạch và điện áp ngõ ra ứng với các trạng thái chuyển mạch S_x , với $X \in \{A, B, C\}$

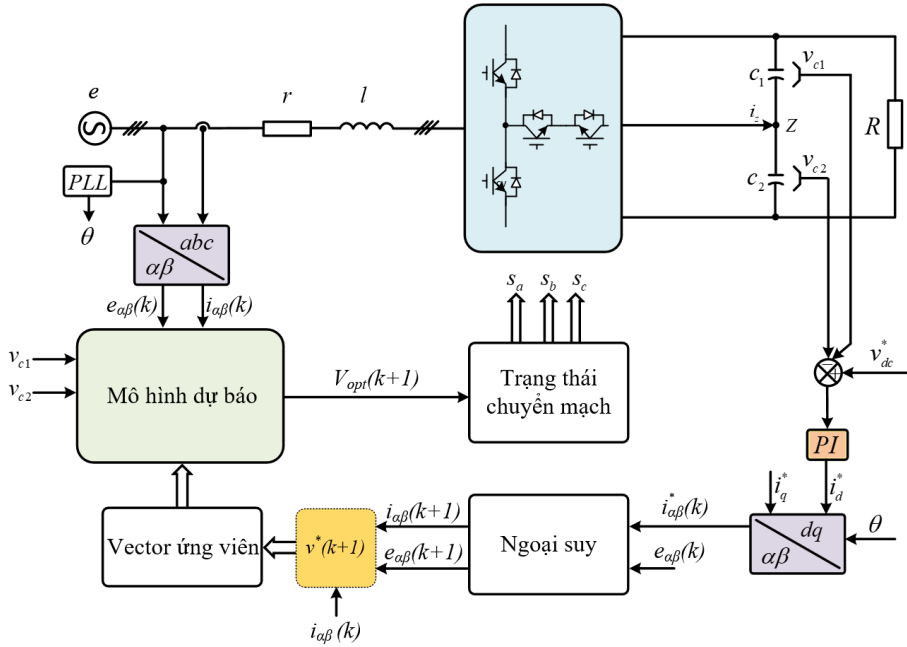
Trạng thái chuyển mạch	Tín hiệu chuyển mạch				Điện áp ngõ ra
	S_{x1}	S_{x2}	S_{x3}	S_{x4}	
S_x	S_{x1}	S_{x2}	S_{x3}	S_{x4}	v_{XN}
2	1	1	0	0	$v_{c1} + v_{c2}$
1	0	1	1	0	v_{c2}
0	0	0	1	1	0



Hình 3. Không gian vector điện áp của bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T

2.2. Phương pháp điều khiển dự báo

Mô hình thực thi giải thuật điều khiển dự báo cho bộ chỉnh lưu tích cực 3-bậc dạng T được trình bày như trong Hình 4. Mô hình sử dụng bộ điều khiển PI tuyến tính bên ngoài để ổn định điện áp DC. Điện áp DC ngõ ra được hồi tiếp về bộ điều khiển bằng cách đo điện áp trên các tụ, tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển PI đóng vai trò là dòng điện tham chiếu i_d^* , trong đó dòng điện tham chiếu i_q^* được đặt bằng 0 cho hệ số công suất bằng 1. Bên trong là bộ điều khiển dự báo, các mục tiêu điều khiển được kiểm soát thông qua các hàm chi phí. Trạng thái chuyển mạch tối ưu $V_{opt}(k+1)$ được chọn thông qua cực tiểu hàm chi phí tổng.



Hình 4. Mô hình thực thi giải thuật dự báo cho bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T

2.2.1. Điều khiển bám theo dòng điện dựa vào vị trí vector điện áp tham chiếu

Mô hình toán của bộ chỉnh lưu 3-bậc trong hệ tọa độ abc được mô tả như sau:

$$e_X = r i_X + l \frac{di_X}{dt} + v_{XN} + v_{NO}, \text{ với } X \in \{A, B, C\} \quad (3)$$

trong đó: e_X là điện áp nguồn lưới, v_{NO} là điện áp giữa cực âm của điện áp DC và trung tính của điện áp AC ngõ vào.

Sử dụng công thức (2), mô hình toán học của bộ chỉnh lưu 3L-NPC (3) được viết lại dưới hệ tọa độ $\alpha\beta$ như sau:

$$e_{\alpha\beta} = r i_{\alpha\beta} + l \frac{di_{\alpha\beta}}{dt} + v_{\alpha\beta} \quad (4)$$

Công thức Euler để chuyển đổi tín hiệu trong miền liên tục sang miền rời rạc với chu kỳ lấy mẫu T:

$$\frac{di}{dt} \approx \frac{i(k) - i(k-1)}{T} \quad (5)$$

Dòng điện AC ngõ vào (4) có thể được viết lại như sau:

$$i_{\alpha\beta}(k) = \left(\frac{l}{l+rT}\right) i_{\alpha\beta}(k-1) + \left(\frac{T}{l+rT}\right) [e_{\alpha\beta}(k) - v_{\alpha\beta}(k)] \quad (6)$$

Để bù độ trễ do quá trình tính toán và chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số, phương trình rời rạc (6) được dịch về phía trước một bước như sau:

$$i_{\alpha\beta}(k+1) = \left(\frac{l}{l+rT}\right) i_{\alpha\beta}(k) + \left(\frac{T}{l+rT}\right) [e_{\alpha\beta}(k+1) - v_{\alpha\beta}(k+1)] \quad (7)$$

Theo phương pháp điều khiển deadbeat [11], dòng điện $i_{\alpha\beta}(k+1)$ sẽ đạt tới dòng điện tham chiếu $i_{\alpha\beta}^*(k+1)$ của nó trong một chu kỳ lấy mẫu, tức là:

$$i_{\alpha\beta}(k+1) = i_{\alpha\beta}^*(k+1) \quad (8)$$

Do đó, biểu thức (7) có thể được viết lại như sau:

$$v_{\alpha\beta}^*(k+1) = e_{\alpha\beta}(k+1) + \frac{l}{T} i_{\alpha\beta}(k) - \left[r + \frac{l}{T} \right] i_{\alpha\beta}^*(k+1) \quad (9)$$

trong đó $v_{\alpha\beta}^*(k+1)$ là điện áp tham chiếu dự đoán ứng với dòng điện tham chiếu tại thời điểm $(k+1)$; $i_{\alpha\beta}^*(k+1)$ và $e_{\alpha\beta}(k+1)$ là giá trị tương lai của dòng điện tham chiếu và điện áp nguồn được tính thông qua phép ngoại suy Lagrange bậc hai [12]:

$$i_{\alpha\beta}^*(k+1) \approx 3i_{\alpha\beta}^*(k) - 3i_{\alpha\beta}^*(k-1) + i_{\alpha\beta}^*(k-2) \quad (10)$$

$$e_{\alpha\beta}(k+1) \approx 3e_{\alpha\beta}(k) - 3e_{\alpha\beta}(k-1) + e_{\alpha\beta}(k-2) \quad (11)$$

Hàm chi phí để theo dõi dòng điện qua vectơ điện áp tham chiếu được định nghĩa như sau:

$$g_i = [v_{\alpha}^*(k+1) - v_{\alpha}(k+1)]^2 + [v_{\beta}^*(k+1) - v_{\beta}(k+1)]^2 \quad (12)$$

trong đó: $v_{\alpha\beta}(k+1)$ là vectơ điện áp tương ứng với các trạng thái chuyển mạch của bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T.

2.2.2. Cân bằng điện áp tụ

Mối quan hệ giữa điện áp của tụ điện liên kết DC (v_{c1} , v_{c2}) và dòng điện i_Z được mô tả như sau:

$$\begin{cases} \frac{dv_{c1}}{dt} = -\frac{1}{2C} i_Z \\ \frac{dv_{c2}}{dt} = \frac{1}{2C} i_Z \end{cases} \quad (13)$$

Sử dụng (5), biểu thức (6) có thể được viết lại trong miền rời rạc như sau:

$$\begin{cases} v_{c1}(k) = v_{c1}(k-1) - \frac{T}{2C} i_Z(k) \\ v_{c2}(k) = v_{c2}(k-1) + \frac{T}{2C} i_Z(k) \end{cases} \quad (13)$$

Dòng điện $i_Z(k)$ được tính toán dựa trên các trạng thái chuyển mạch như sau:

$$i_Z(k) = \sum_{X=A,B,C} state(S_X) i_X \quad (14)$$

trong đó: $state(S_X) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } S_X = 0 \text{ hoặc } 2 \\ 1 & \text{nếu } S_X = 1 \end{cases}$ với $X \in \{A, B, C\}$

Để bù thời gian trễ, (6) được dịch về phía trước một bước, tức là:

$$\begin{cases} v_{c1}^p(k+1) = v_{c1}(k) - \frac{T}{2C} i_Z(k+1) \\ v_{c2}^p(k+1) = v_{c2}(k) + \frac{T}{2C} i_Z(k+1) \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó $v_{c1}^p(k+1)$ và $v_{c2}^p(k+1)$ là điện áp dự báo trên các tụ $c1$ và $c2$ tại thời điểm $(k+1)$, dòng điện $i_Z(k+1)$ được tính từ phép ngoại suy Lagrange:

$$i_Z(k+1) \approx 3i_Z(k) - 3i_Z(k-1) + i_Z(k-2) \quad (16)$$

Hàm chi phí cho cân bằng các điện áp của tụ điện liên kết DC:

$$g_u = [v_{c1}^p(k+1) - v_{c2}^p(k+1)]^2 \quad (17)$$

2.2.3. Hàm chi phí tổng

Hàm chi phí tổng được cho mục tiêu bám theo dòng và cân bằng điện áp tụ được xác định như sau:

$$g = g_i + \lambda_u g_u \quad (18)$$

trong đó λ_u là trọng số để điều chỉnh mức độ cân bằng điện áp tụ.

2.2.4. Chiến lược lựa chọn trước vector ứng viên

Giải thuật dự báo thông thường sẽ dự báo dựa trên tất cả 27 vector chuyển mạch của bộ chuyển đổi 3-bậc. Đây được xem là một gánh nặng và yêu cầu bộ vi xử lý phải đủ mạnh để thực hiện hệ thống ở các tần số lấy mẫu cao.

Một cải tiến thông qua lựa chọn trước các vector điện áp ứng viên cho mỗi lần dự báo dựa trên vị trí của vector điện áp tham chiếu giúp cải thiện đáng kể thời gian thực hiện dự báo. Vùng không gian vector của bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T được chia thành 6 vùng như trong Hình 3, số lượng vector trong mỗi vùng là 10. Do đó, thay vì sử dụng tất cả các vector điện áp để thực hiện 1 chu kỳ dự báo, việc xác định vị trí vector điện áp tham chiếu tại vị trí kế tiếp cho phép giảm số lượng vector điện áp từ 27 xuống còn 10 vector. Tùy thuộc vào vị trí của vector tham chiếu tại các vùng, các vector điện áp ứng viên cho từng vùng được liệt kê như trong Bảng 2.

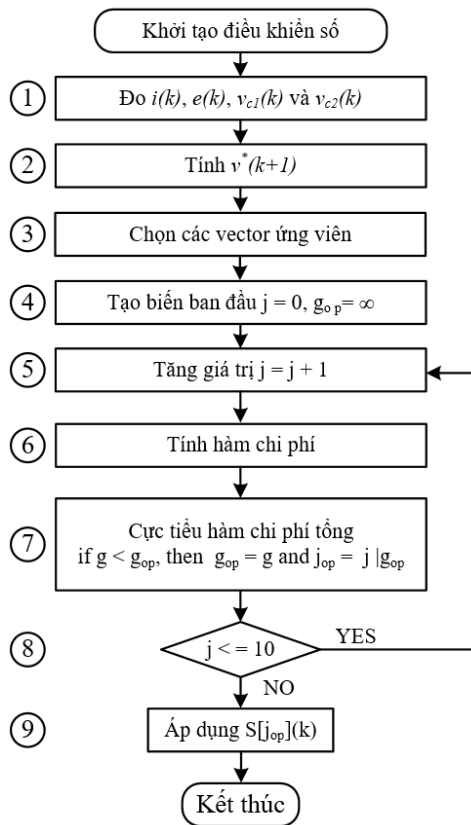
Bảng 2. Vector điện áp ứng viên cho các vùng

Vùng	Vector điện áp	Vùng	Vector điện áp
I	V0, V1, V2, V7, V8, V9, V14, V15, V16, V26	IV	V0, V4, V5, V7, V11, V12, V20, V21, V22, V26
II	V0, V2, V3, V7, V9, V10, V16, V17, V18, V26	V	V0, V5, V6, V7, V12, V13, V22, V23, V24, V26
III	V0, V3, V4, V7, V10, V11, V18, V19, V20, V26	VI	V0, V1, V6, V7, V8, V13, V14, V25, V25, V26

2.3. Lưu đồ thực hiện giải thuật

Lưu đồ thực hiện của thuật toán dự báo cho bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T được trình bày trong Hình 5, bao gồm 9 bước:

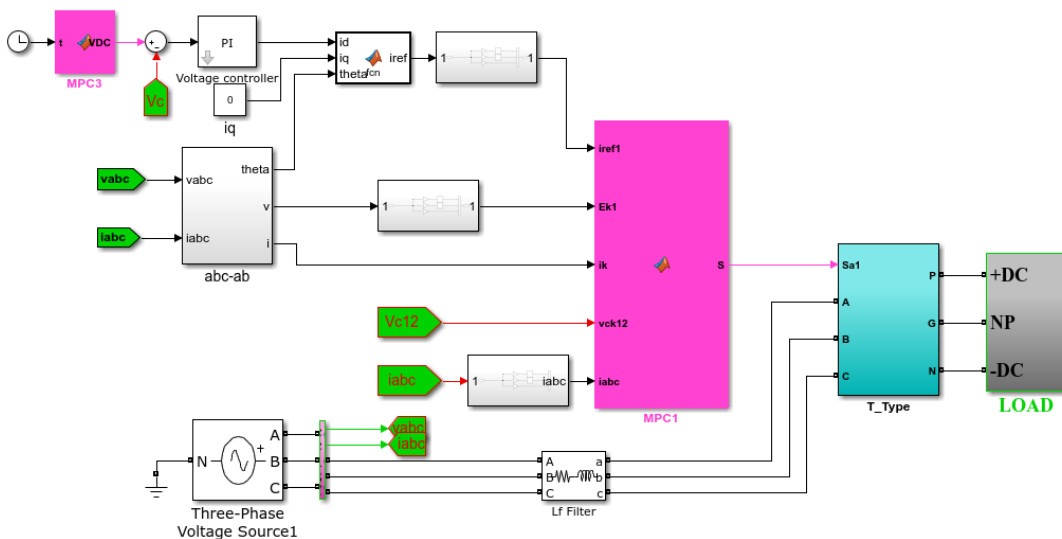
- + Bước 1: Đo dòng điện, điện áp nguồn vào và điện áp trên các tụ.
- + Bước 2: Xác định vector điện áp tham chiếu.
- + Bước 3: Chọn các vector ứng viên.
- + Bước 4: Gán giá trị ban đầu cho các biến.
- + Bước 5: Vào vòng lặp, tăng giá trị bộ đếm j ở mỗi vòng lặp.
- + Bước 6: Tính toán các hàm chi phí.
- + Bước 7: Cực tiểu hóa hàm chi phí tổng, giá trị nhỏ nhất của hàm chi phí tổng được lưu trữ dưới dạng giá trị tối ưu j_{op} và vị trí tương ứng được lưu dưới dạng j_{op} .
- + Bước 8: Nếu $j \leq 10$ là đúng thì quay lại thực hiện các tác vụ từ Bước 5, nếu sai thì thoát khỏi vòng lặp và tiếp tục đến Bước 9.
- + Bước 9: Dựa trên giá trị j_{op} , xuất các tín hiệu chuyển mạch.



Hình 5. Lưu đồ giải thuật điều khiển dự báo cho chỉnh lưu 3-bậc dạng T

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để kiểm chứng phương pháp điều khiển dự báo cải tiến cho bộ chỉnh lưu 3-bậc dạng T, các mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm Matlab/Simulink với mô hình được trình bày như trong Hình 6 với các thông số được liệt kê như trong Bảng 3.

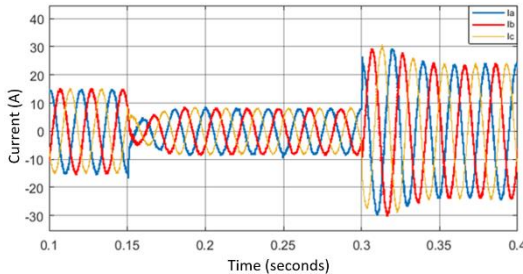


Hình 6. Mô hình mô phỏng giải thuật điều khiển dự báo cho chỉnh lưu 3-bậc dạng T

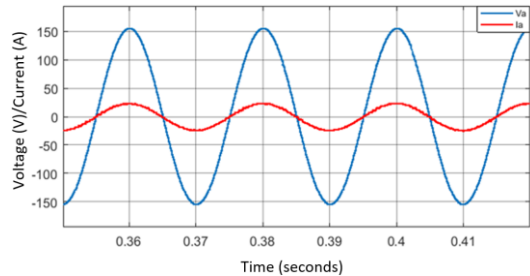
Bảng 3. Thông số mô phỏng hệ thống [13]

Mô tả	Biến	Giá trị
Điện áp nguồn lưới (rms)	e	110 V
Tần số nguồn lưới	f	50 Hz
Điện trở bộ lọc	r	0,5 Ω
Cảm kháng bộ lọc	l	5 mH
Tụ điện liên kết	C_1, C_2	1200 μ F
Thông số tải	R	50 Ω
Tần số lấy mẫu	f_{sw}	20 kHz
Thông số bộ điều khiển	K_p	0,075
	K_i	12
Trọng số	λ_u	0,1

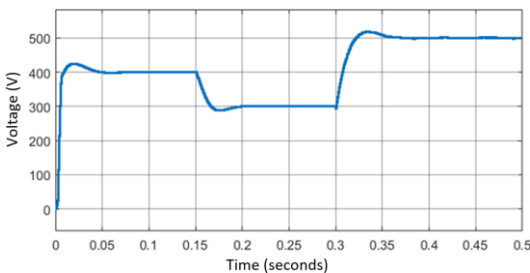
Mô phỏng đầu tiên được thực hiện với kịch bản thay đổi điện áp tham chiếu v_{dc}^* , ban đầu điện áp này được đặt ở giá trị $v_{dc}^* = 400V$, tại thời điểm $t = 0,15s$ và $0,3s$ giá trị v_{dc}^* được thay đổi lần lượt là 300V và 500V. Kết quả mô phỏng Hình 7a cho thấy dòng điện ngõ vào các pha có dạng hình sin. Dòng điện và điện áp cùng pha nhau, như trong Hình 7b. Điện áp DC ngõ ra được duy trì ổn định tại giá trị đặt; khi có sự thay đổi về giá trị đặt, nó nhanh chóng đạt được trạng thái xác lập tại giá trị tham chiếu mới trong khoảng thời gian 0,05s, Hình 7c. Điện áp trên các tụ được duy trì cân bằng tốt, trình bày trong Hình 7d.



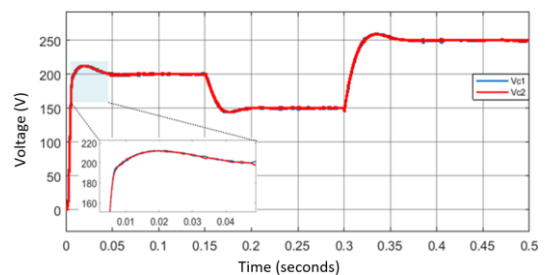
(a) Dòng điện ba pha ngõ vào



(b) Quan hệ giữa dòng và áp trên pha A



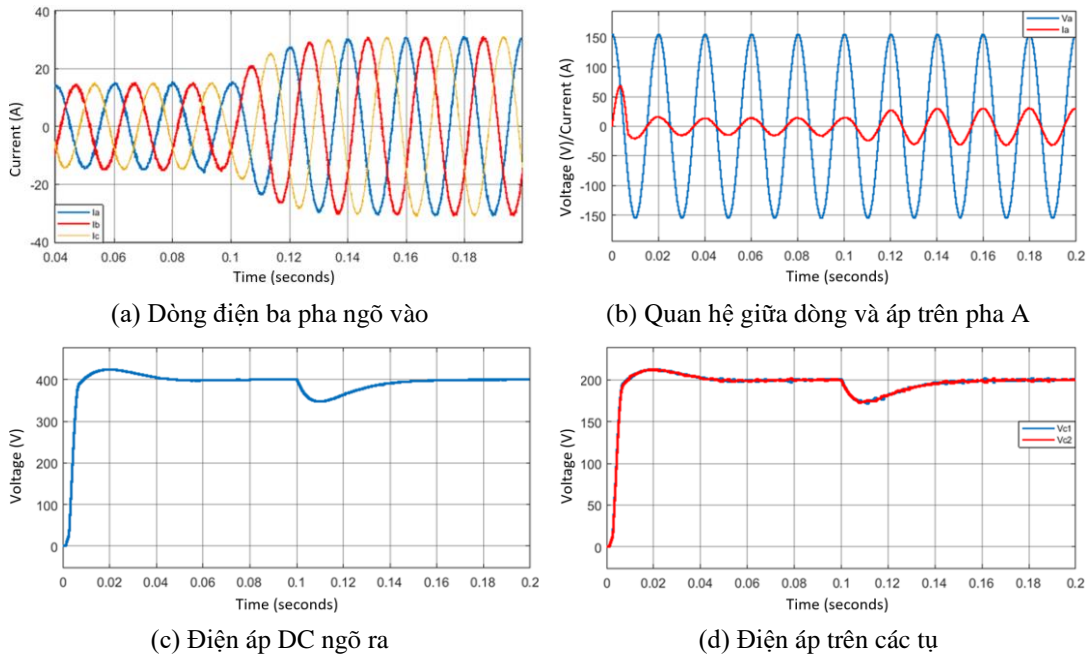
(c) Điện áp DC ngõ ra



(d) Điện áp trên các tụ

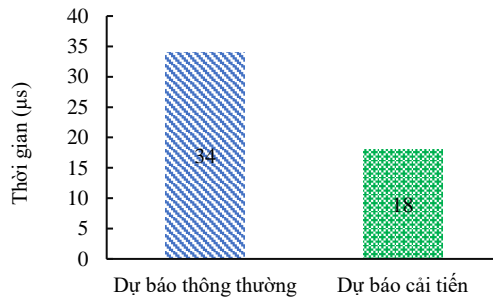
Hình 7. Đáp ứng của hệ thống trong điều kiện thay đổi thông số điện áp tham chiếu

Mô phỏng thứ hai được thực hiện với kịch bản thay đổi thông số tải. Điện áp tham chiếu v_{dc}^* được đặt cố định ở giá trị 400V, hệ thống hoạt động với tải $R_1 = 50\Omega$, tại thời điểm $t = 0,15s$ một tải $R_2 = 50\Omega$ được kết nối song song với tải R_1 . Kết quả thu nhận được ở Hình 8a,b cho thấy dòng điện ngõ vào có dạng hình sin và cùng pha với điện áp. Mặc dù có thay đổi về thông số tải, nhưng điện áp DC ngõ ra vẫn được duy trì ổn định tại giá trị đặt, Hình 8c. Điện áp trên các tụ được duy trì cân bằng tốt, Hình 8d.



Hình 8. Đáp ứng của hệ thống trong điều kiện thay đổi thông số tải

Để thấy rõ được hiệu quả về cải tiến thời gian thực hiện của giải thuật đã trình bày, một thực nghiệm được thực hiện trên DSP F28379D để đo thời gian thực hiện giải thuật. Kết quả từ Hình 9 cho thấy, giải thuật dự báo thông thường sử dụng 27 vector điện áp thì thời gian thực hiện mỗi chu kỳ khoảng 34 μs . Trong khi đó, giải thuật dự báo cải tiến chỉ tốn 18 μs , cải thiện khoảng 47% thời gian thực hiện.



Hình 9. Thời gian thực hiện của giải thuật điều khiển dự báo thông thường và cải tiến

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một cải tiến cho giải thuật điều khiển dự báo cho bộ chỉnh lưu tích cực 3 pha 3-bậc dạng T đã được trình bày nhằm kiểm soát các mục tiêu gồm ổn định điện áp DC ngõ ra, duy trì trạng thái cân bằng tụ và giảm thời gian thực hiện chương trình. Các kết quả mô phỏng cho thấy được tính đúng đắn của giải thuật khi áp dụng cho mô hình, điện áp DC ngõ ra được duy trì ổn định tại giá trị đặt, trạng thái cân bằng điện áp trên các tụ tốt và thời gian thực hiện chương trình được cải thiện khoảng 47% so với phương pháp điều khiển dự báo thông thường.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này do trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 03/HĐ-ĐCT ngày 05/01/2021.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kakkar S. - Design and control of grid-connected PWM rectifiers by optimizing fractional order PI controller using water cycle algorithm, *IEEE Access* **9** (2021) 125941-125954.
2. ZhangZhonghui, XinYugang and ZhangWeicheng. - A novel PWM rectifier control technique for on-line UPS under unbalanced load based on DSP, 27th Chinese Control Conference (2008) 695-699.
3. El-Zohri E.H. and Sayed K. - Control of EV charging station based on three-phase three-level AC/DC rectifier, *IEEE International Telecommunications Energy Conference* (2015) 1-6.
4. Fukuda S., Matsumoto Y. and Sagawa A. - Optimal-regulator-based control of NPC boost rectifiers for unity power factor and reduced neutral-point-potential variations, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **46** (1999) 527-534.
5. Andrey Freitas de Souza Kohler M. and Flores Cortez D. - Single-phase five-level flying-capacitor rectifier using three switches, *IEEE Open Journal of Power Electronics* **1** (2020) 383-392, 2020.
6. Djebbar M. S., Soufi Y. and Benalla H. - Cascade rectifiers and multi levels applied to the improvement of the quality of electric energy, Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (2013) 1-7.
7. Bayhan S. and Komurcugil H. - Sliding-mode control strategy for three-phase three-level T-type rectifiers with DC capacitor voltage balancing, *IEEE Access* **8** (2020) 64555-64564.
8. Kouro S., Cortes P., Vargass R., Ammann U. and Rodriguez J. - Model predictive control - A simple and powerful method to control power converters, *IEEE Trans. Ind. Electron* **56** (2009) 1826-1838.
9. Cortes P., Rodriguez J., Silva C. and Flores A. - Delay compensation in model predictive current control of a three-phase inverter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **59** (2012) 1323-1325.
10. Linder A. and Kennel R. - Model predictive control for electrical drives, *Proc. IEEE Power Electron Spec. Conf.* (2005) 1793-1799.
11. Yang Y., Wen H. and Li D. - A fast and fixed switching frequency model predictive control with delay compensation for three-phase inverters, *IEEE Access* **5** (2017) 17904-17913.
12. Yaramasu, Venkata & Bin Wu. - Model predictive control of wind energy conversion systems (2016). 10.1002/9781119082989.
13. Doan N. X. and Van Nguyen N. - Improved model predictive control to eliminate common-mode voltage and balance the neutral-point potential for 3L-NPC rectifier, *International Symposium on Electrical and Electronics Engineering* (2019) 1-6.

ABSTRACT

MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR 3-LEVEL T-TYPE ACTIVE RECTIFIERS WITH BALANCE CAPACITOR VOLTAGE AND REDUCE EXECUTION TIME

Doan Xuan Nam^{1*}, Van Tan Luong¹, Nguyen Van Nho²

¹*Ho Chi Minh City University of Food Industry*

²*Ho Chi Minh City University of Technology*

*Email: *namdx@hufi.edu.vn*

This paper presents model predictive control algorithm for 3-phase 3-level T-type active rectifier to control DC output voltage, balance capacitor voltages, and reduce execution time. Based on the topology and operating principle of the circuit, a mathematical model of the system is introduced. Next, an improved predictive control method based on a strategy of pre-selection of candidate voltage vectors for the next prediction is presented. Evaluation based on simulation results by Matlab software has proven the effectiveness of the method.

Keywords: Capacitor voltage balancing, active rectifier, model predictive control.