



SIMULATION STUDY ON 12-PULSE RECTIFIER UNIT USING BALANCE REACTOR IN TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM FOR URBAN RAIL TRAIN

Pham Van Tien

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 13/1/2020

Revised: 31/3/2020

Accepted: 1/4/2020

Published online: 24/4/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.9>

* *Corresponding author*

Email: vantienpham@utc.edu.vn; Tel: 0978319258

Abstract. In this paper, a study of 12-pulse rectifier unit used on the traction power supply system for urban rail train is presented. The 12-pulse rectifier unit was designed based on analyzing the difference of electrical potentials between line voltages of wiring types in the transformer and combining of the connection of uncontrolled three-phase rectifiers. By this way, the smoother rectified voltage will be achieved. In the 12-pulse rectifier unit, using the 3-phase 3-winding transformer can reduce the space usage. In addition, the balance reactors used in the rectifiers to make sure that the rectifiers can run independently even if they are combined, therefore, the level of capacity utilization of rectifiers is increased. Its effectiveness and feasibility are demonstrated by both theoretical analysis and experimental results.

Keywords: simulation, 12-pulse rectifier unit, traction power supply system, urban rail train, Transformer, rectifier, balance reactor



NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG TỔ HỢP CHỈNH LƯU 12-XUNG SỬ DỤNG CUỘN KHÁNG CÂN BẰNG TRONG HỆ THỐNG CẤP ĐIỆN KÉO CHO ĐOÀN TÀU ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ

Phạm Văn Tiến

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 13/1/2020

Ngày nhận bài sửa: 31/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 1/4/2020

Ngày xuất bản Online: 24/4/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.9>

* Tác giả liên hệ

Email: vantienpham@utc.edu.vn; Tel: 0978319258

Tóm tắt. Bài báo nghiên cứu tổ hợp chỉnh lưu 12-xung trong hệ thống cấp điện kéo cho đoàn tàu đường sắt đô thị. Bằng việc phân tích độ lệch pha giữa các điện áp dây của các kiểu đấu dây quấn trong máy biến áp kết hợp với cách đấu ghép các chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển để hình thành tổ hợp chỉnh lưu 12-xung, như vậy điện áp chỉnh lưu phẳng hơn. Trong tổ hợp chỉnh lưu đó, sử dụng máy biến áp ba pha ba cuộn dây nên giảm được không gian lắp đặt, ngoài ra mức độ lợi dụng dung lượng của các chỉnh lưu được nâng cao do khi ghép nối vẫn làm việc độc lập nhờ sử dụng cuộn kháng cân bằng. Phân tích lý thuyết và kết quả mô phỏng đã kiểm nghiệm được tính chính xác và hiệu quả của phương pháp ghép nối.

Từ khóa: mô phỏng, tổ hợp chỉnh lưu 12-xung, hệ thống cấp điện kéo, đoàn tàu đường sắt đô thị, máy biến áp, chỉnh lưu, điện kháng cân bằng.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo Quy hoạch phát triển giao thông vận tải, trong tương lai Hà Nội sẽ có 10 tuyến và TP. Hồ Chí Minh sẽ có 11 tuyến đường sắt đô thị, đến nay ở hai thành phố này đã có một số dự án đang được triển khai với các mức độ khác nhau. Mới đây, đầu năm 2019 trong Dự án “Hỗ trợ kỹ thuật về phát triển, quy hoạch, vận hành và quản lý hệ thống đường sắt đô thị cho thành phố Đà Nẵng” được Chính phủ Hàn Quốc viện trợ đã được tư vấn đưa ra đề xuất mạng

lưới các tuyến đường sắt đô thị thành phố Đà Nẵng gồm 2 tuyến tàu điện ngầm và 8 tuyến xe điện mặt đất.

Trong hệ thống cung cấp điện cho giao thông đường sắt đô thị, trạm điện kéo có vai trò đặc biệt quan trọng, với chức năng chính là tiếp nhận điện xoay chiều (AC) trung áp rồi được hạ áp thông qua máy biến áp, sau đó thông qua bộ chỉnh lưu để biến đổi từ điện AC thành điện một chiều (DC) cung cấp cho toa xe động lực trong đoàn tàu điện, ở đây máy biến áp không chỉ có vai trò hạ áp mà còn có chức năng biến đổi điện AC từ 3 pha thành nhiều pha để cung cấp cho chỉnh lưu, vì vậy máy biến áp và chỉnh lưu thường được gọi với tên chung là tổ hợp chỉnh lưu.

Hệ thống giao thông đường sắt đô thị ở các nước tiên tiến trên thế giới phát triển tương đối sớm, công nghệ về trạm điện kéo cho loại hình giao thông này tới nay đã tương đối hoàn thiện, trong khi đó đây lại là vấn đề còn mới ở nước ta. Một số công trình nghiên cứu chuyên sâu về lĩnh vực này ở ngoài nước đã được công bố như xây dựng mô hình máy biến áp nhiều pha [1], nghiên cứu ứng dụng chỉnh lưu điều khiển [2-4].

Ở Việt Nam, trong những năm vừa qua đã có một số công trình nghiên cứu liên quan tới kỹ thuật cấp điện kéo cho giao thông đường sắt như nghiên cứu lựa chọn công nghệ điện khí hóa đường sắt và điện giao thông thành phố [5], nghiên cứu công nghệ cung cấp điện cho giao thông đường sắt cao tốc và đô thị [6], nghiên cứu phân tích và lựa chọn hình thức tiếp điện trong cung cấp điện giao thông đường sắt [7], hay quy hoạch vị trí trạm điện kéo trong hệ thống cung cấp điện đường sắt đô thị [8]. Các công trình nghiên cứu này có đề cập tới kỹ thuật cấp điện kéo cho toa xe động lực ở các mức độ khác nhau như nghiên cứu tổng quan hay nghiên cứu lựa chọn mà chưa đưa ra cơ sở lý thuyết, hay phân tích chuyên sâu về kỹ thuật tổ hợp chỉnh lưu trong trạm điện kéo. Tài liệu [9] đã đề cập tới kỹ thuật chỉnh lưu 12-xung (hay còn gọi là 12 đập mạch), tuy nhiên nội dung còn mang tính khái quát và kết luận. Các tài liệu [10, 11] đã tiến hành mô phỏng hệ thống cung cấp điện kéo đường sắt đô thị, trong đó trạm điện kéo có ứng dụng bộ chỉnh lưu 12-xung để tiến hành đánh giá thành phần sóng hài và phân tích ảnh hưởng của hệ thống này tới sóng hài lưới điện, tuy nhiên các nghiên cứu này chưa có nội dung về tổ hợp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng.

Từ thực tế nêu trên, nghiên cứu này đưa ra cơ sở lý thuyết tổ hợp chỉnh lưu 12-xung trong hệ thống cấp điện kéo cho đoàn tàu đường sắt đô thị, từ đó làm cơ sở cho việc nghiên cứu, nghiên cứu cải tạo, đánh giá, và tiến tới thiết kế chế tạo thiết bị này trong nước. Ban đầu chỉnh lưu trong trạm điện kéo là loại chỉnh lưu 6 đập mạch, sau đó các chỉnh lưu nhiều đập mạch hơn được hình thành trên cơ sở của chỉnh lưu này, vì vậy bài báo trước tiên trình bày khái quát về loại chỉnh lưu 6 đập mạch, trên cơ sở đó đi phân tích nguyên lý cấu thành tổ hợp chỉnh lưu 12-xung không và có sử dụng cuộn kháng cân bằng trong trạm điện kéo. Cuối cùng tiến hành mô phỏng để kiểm nghiệm những phân tích lý thuyết đó.

2. TỔ HỢP CHỈNH LƯU 12 ĐẬP MẠCH TRONG TRẠM ĐIỆN KÉO

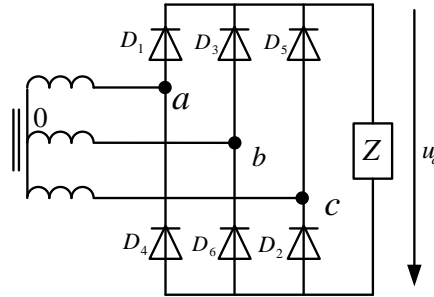
2.1. Nguyên lý tổ hợp chỉnh lưu 6 đập mạch

Mạch điện chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển thể hiện như hình 1. Với giả thiết điện áp của các pha nguồn cấp xoay chiều như công thức (1), (2) và (3).

$$u_{ao} = \sqrt{2}U \sin \omega t \quad (1)$$

$$u_{bo} = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 2\pi/3) \quad (2)$$

$$u_{co} = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 4\pi/3) \quad (3)$$



Hình 1. Sơ đồ mạch điện chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển

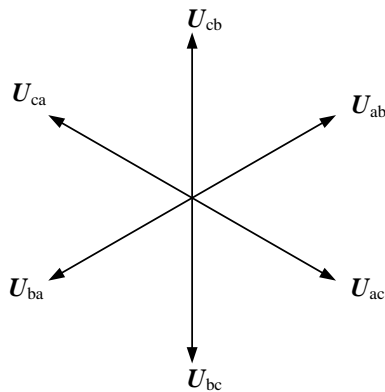
Từ công thức (1), (2) và (3) tính được các điện áp dây như công thức (4), (5) và (6). Các điện áp dây còn lại là u_{ba} , u_{cb} và u_{ca} lần lượt lệch pha với u_{ab} , u_{bc} và u_{ac} một góc 180° , từ đó có được đồ thị véc tơ của các điện áp dây như hình 2, có thể thấy các điện áp dây có cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau theo thứ tự một góc 60° . Khi đó đồ thị điện áp một chiều u_d nhận được trên tải Z thể hiện như hình 3.

$$u_{ab} = \sqrt{6}U \sin(\omega t + \pi/6) \quad (4)$$

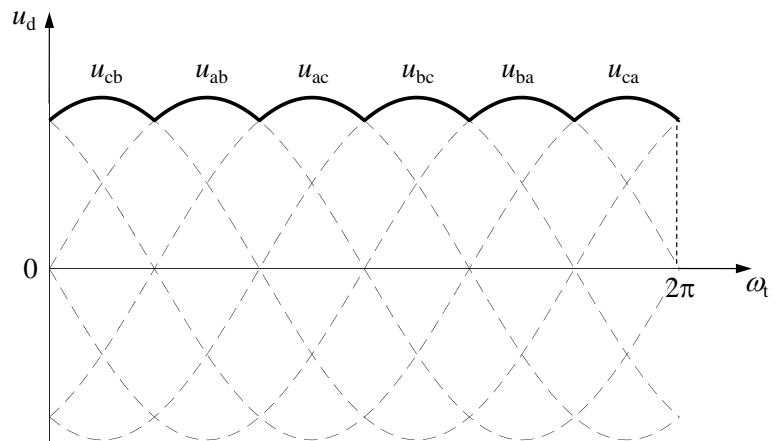
$$u_{bc} = \sqrt{6}U \sin(\omega t - \pi/2) \quad (5)$$

$$u_{ac} = \sqrt{6}U \cos(\omega t - \pi/6) \quad (6)$$

Từ hình 3 cho thấy, trong một chu kỳ của điện áp xoay chiều, điện áp chỉnh lưu u_d sẽ hình thành thành sáu đoạn điện áp dây của nguồn xoay chiều theo thứ tự u_{cb} - u_{ab} - u_{ac} - u_{bc} - u_{ba} - u_{ca} - u_{cb} , và như vậy có số đập mạch bằng 6. Điện áp trung bình nhận được trên tải như công thức (7).



Hình 2. Đồ thị véc tơ điện áp dây



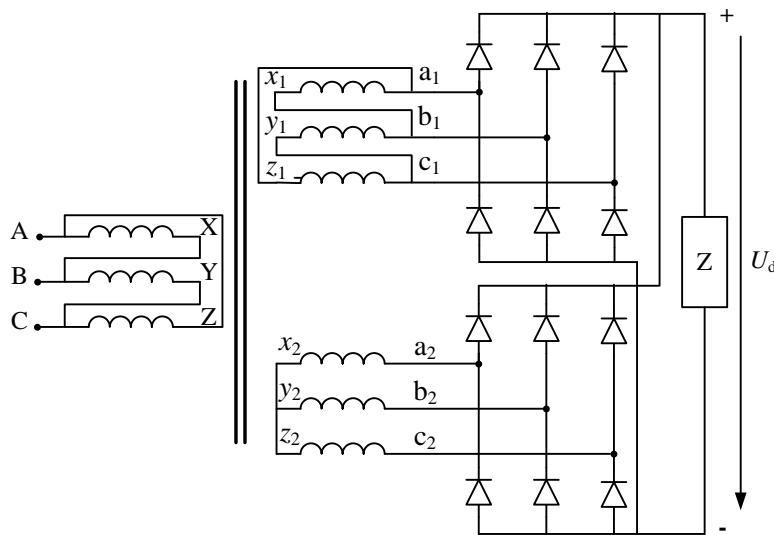
Hình 3. Đồ thị điện áp chỉnh lưu

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{6}U \sin \omega t d(\omega t) = 2,34U \quad (7)$$

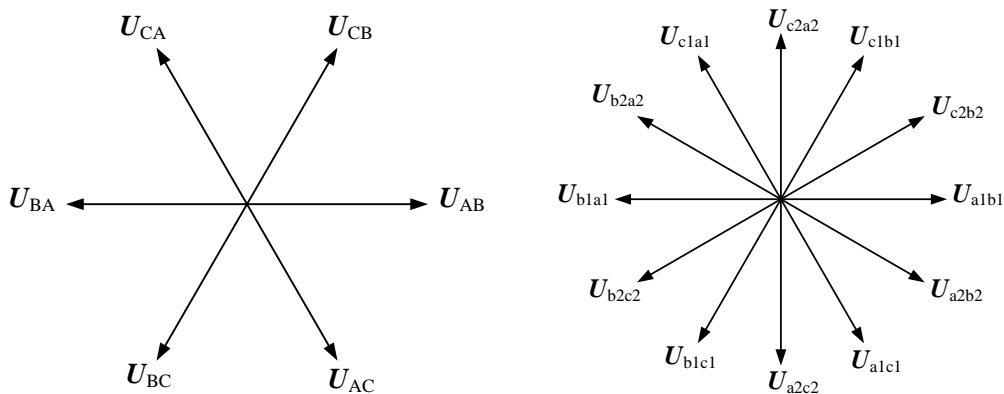
2.2. Nguyên lý tổ hợp chỉnh lưu 12-xung

Chỉnh lưu 12-xung được hình thành trên cơ sở của chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển phối hợp với máy biến áp ba pha có kiểu đấu dây quấn khác nhau. Từ phân tích ở mục 2 cho thấy, nếu lựa chọn hệ thống gồm hai tổ hợp, mỗi tổ hợp gồm một máy biến áp ba pha và một chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển, sao cho điện áp dây phía thứ cấp của hai máy biến áp này lệch pha nhau 30° , như vậy các đập mạch của điện áp một chiều đầu ra của hai tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu này cũng sẽ lệch pha nhau 30° . Nếu đấu ghép song song hoặc nối tiếp hai tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu trên thì sẽ đạt được mục đích chỉnh lưu từ điện áp xoay chiều ba pha thành điện áp một chiều 12-xung.

Trong hệ thống cấp điện kéo một chiều cho đoàn tàu đường sắt đô thị, để giảm nhỏ diện tích lắp đặt và chi phí, hai máy biến áp ba pha được thay thế bằng một máy biến áp chuyên dùng ba hoặc bốn cuộn dây, có các kiểu đấu dây quấn như Y/Δ - Y , Δ/Δ - Y , Y - Y/Δ - Y , Δ - Y/Δ - Δ , lợi dụng độ lệch pha giữa các điện áp dây tương ứng là 30° của kiểu đấu dây quấn hình sao so với kiểu đấu dây quấn hình tam giác để cấu thành tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu 12 đập mạch. Lấy cách đấu dây quấn Δ/Δ - Y làm ví dụ, khi đó sơ đồ mạch điện của tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu 12-xung thể hiện như hình 4, đồ thị véc tơ của các điện áp dây phía sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp như hình 5.



Hình 4. Sơ đồ mạch điện tổ hợp chỉnh lưu 12-xung không có cuộn kháng cân bằng



Hình 5. Đồ thị véc tơ điện áp dây phía sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp

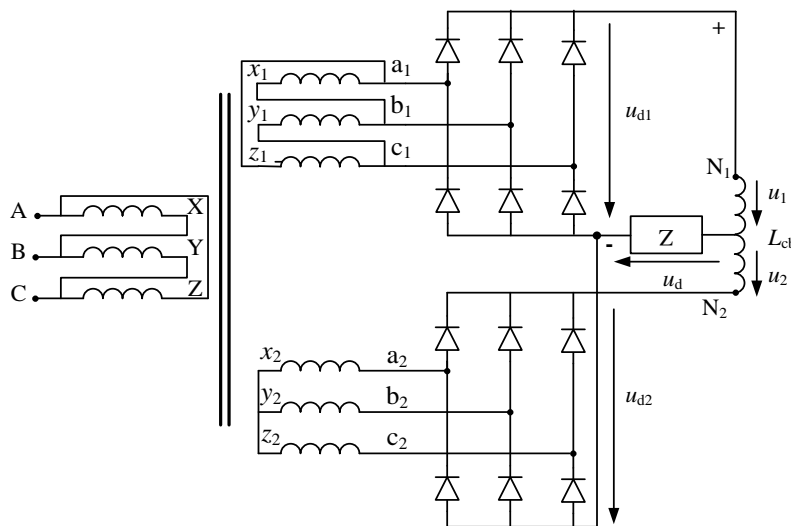
Từ hình 4 và hình 5 cũng cho thấy, nếu chọn lựa chọn hợp lý tỉ số vòng dây giữa hai cuộn dây phía thứ cấp của máy biến áp thì nhận được các điện áp dây có cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau theo thứ tự một góc 30° , khi kết hợp với các chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển rồi ghép nối song song với nhau sẽ nhận được điện áp ra của chỉnh lưu u_d có dạng 12-xung. Khi đó điện áp ra trung bình của chỉnh lưu được tính như công thức sau:

$$U_d = \frac{1}{\frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{12}} \int_{\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{6}U \sin \omega t d(\omega t) = 2,42U \quad (8)$$

Từ hình 4 và 5 cũng cho thấy, nếu chỉ đơn thuần ghép nối song song hai tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu với nhau, do điện áp tức thời của hai chỉnh lưu khác nhau, nên chúng không làm việc đồng thời mà thay nhau làm việc, trong đó tại một thời điểm nào đó chỉnh lưu nào có điện áp dây đầu vào lớn hơn sẽ làm việc. Như vậy, cách đấu ghép này chỉ có ý nghĩa giảm được sóng hài, làm cho điện áp chỉnh lưu phẳng hơn so với khi không ghép, song mức độ lợi dụng dung lượng của các chỉnh lưu thấp (chỉ tương đương với khi không ghép). Để giải quyết vấn đề này, khi ghép song song các mạch chỉnh lưu với nhau cần thực hiện sao cho các chỉnh lưu làm việc độc lập. Trong hệ thống cấp điện kéo một chiều cho đoàn tàu đường sắt đô thị, để cho các chỉnh lưu làm việc độc lập có thể sử dụng hai cách, một là sử dụng điện cảm cách ly các mạch chỉnh lưu, gọi là cuộn kháng cân bằng, hai là thiết kế máy biến áp có điện cảm tương đối lớn để thay thế tác dụng của cuộn kháng cân bằng như ở cách một. Sau đây, sẽ tiến hành phân tích nguyên lý của tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu 12-xung mạch trong hệ thống cấp điện kéo một chiều cho đoàn tàu đường sắt đô thị sử dụng cuộn kháng cân bằng.

2.3. Tổ hợp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng

Hình 6 là sơ đồ mạch điện của tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng, mạch điện này được hình thành từ mạch điện như ở hình 4 và bổ xung cuộn kháng cân bằng L_{cb} mắc nối tiếp với đầu ra dương của hai chỉnh lưu, tải Z một đầu được mắc với đầu ra âm của hai chỉnh lưu và đầu còn lại mắc với chính giữa của cuộn kháng cân bằng L_{cb} , điện áp ra của tổ hợp máy biến áp chỉnh lưu u_d chính là điện áp đặt vào tải Z .



Hình 6. Tổ hợp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng

Mặc dù điện áp tức thời của hai chỉnh lưu u_{d1} và u_{d2} khác nhau, nhưng nhờ tác dụng cân bằng của điện kháng cân bằng L_{cb} nên sự chênh lệch điện thế giữa N1 và N2 được đặt lên hai đầu cuộn kháng này, điều này khiến cho các đi ốt tương ứng trong hai chỉnh lưu đều phân cực thuận như khi làm việc riêng lẻ nên đều dẫn, tức là cùng thời điểm luôn có tổng cộng 4 đi ốt (mỗi cầu chỉnh lưu có 2 đi ốt) làm việc đồng thời.

Từ sơ đồ mạch điện như hình 6 rút ra các công thức sau:

$$u_{d1} = u_d + u_1 \tag{9}$$

$$u_{d2} = u_d - u_2 \tag{10}$$

trong đó, u_{d1} , u_{d2} lần lượt là điện áp đầu ra của hai mạch chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển; u_1 , u_2 lần lượt là sụt áp trên mỗi nửa cuộn kháng cân bằng, do đó $u_1 = u_2$.

Từ công thức (9) và (10) được tính được:

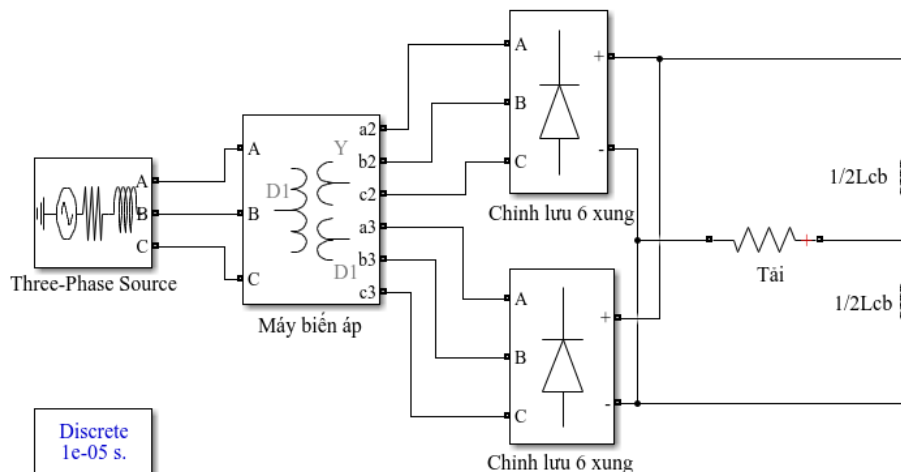
$$u_d = \frac{u_{d1} + u_{d2}}{2} \tag{11}$$

Từ công thức (11) cho thấy, khi biết được u_{d1} và u_{d2} sẽ xác định được u_d . Điện áp ra của chỉnh lưu cũng có sẽ có 12-xung như trường hợp không mắc điện kháng cân bằng. Tuy nhiên giá trị trung bình nhận được vẫn chỉ bằng điện áp chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển và được tính như biểu thức (7), vì hai mạch mắc song song.

Về dòng điện, với trường hợp không mắc điện kháng cân bằng thì tại một thời điểm nào đó chỉnh lưu nào có điện áp dây đầu vào lớn hơn sẽ làm việc, cũng tức là chỉ có 2 đi ốt mắc nối tiếp trên một cầu làm việc, nên dòng điện chạy qua hai đi ốt này chính bằng dòng điện chạy qua tải i_d . Với trường hợp có mắc điện kháng cân bằng, do hai cầu chỉnh lưu mắc song song làm việc độc lập, nên tại một thời điểm nào đó luôn có hai đi ốt mắc nối tiếp của cầu chỉnh lưu này nối song với hai đi ốt mắc nối tiếp của cầu chỉnh lưu còn lại, vì vậy dòng điện chạy qua hai đi ốt này chỉ bằng $1/2i_d$, như vậy dung lượng của mỗi cầu chỉnh lưu cũng chỉ bằng một nửa so với trường hợp không mắc điện kháng cân bằng.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

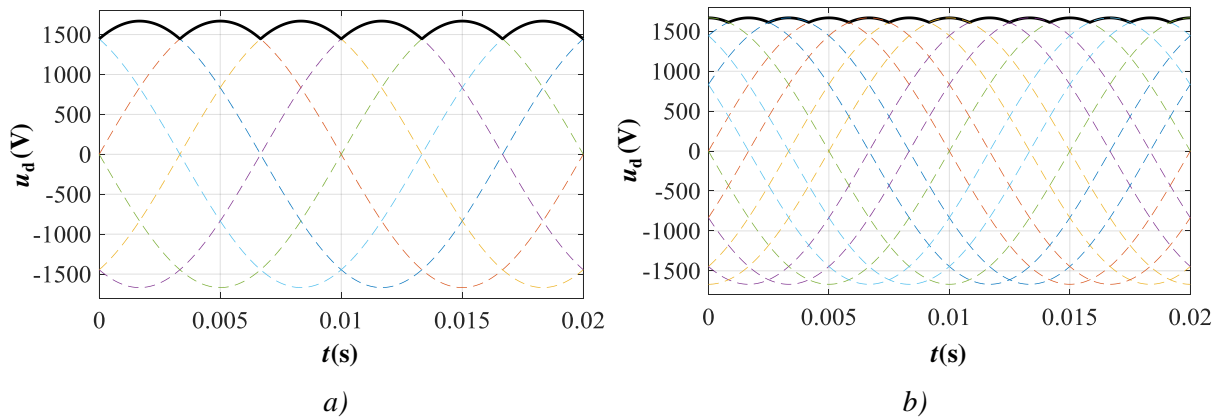
Trên cơ sở sơ đồ khối như hình 6, xây dựng được mô hình mô phỏng tổ hợp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng trên phần mềm Matlab/simulink như hình 7.



Hình 7. Mô hình mô phỏng tổ hợp chỉnh lưu 12-xung sử dụng cuộn kháng cân bằng

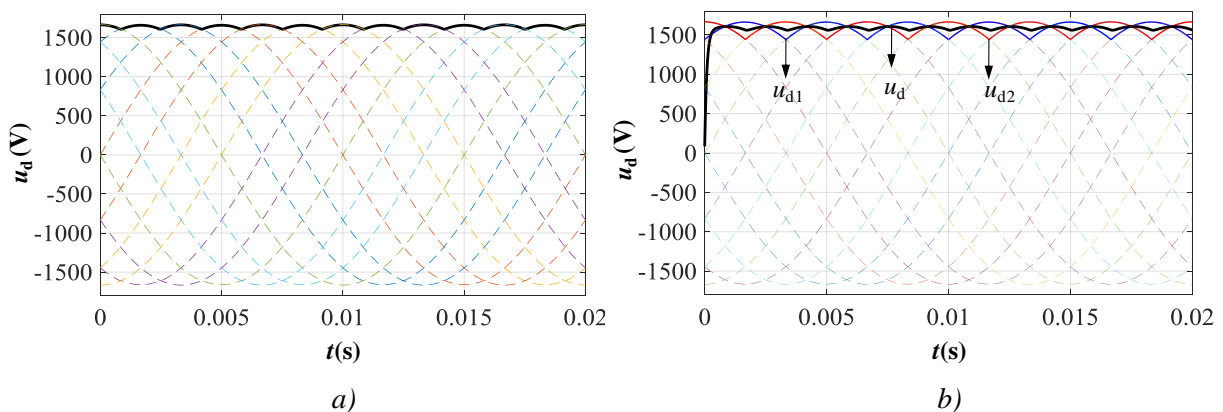
Các tham số được dùng để mô phỏng như sau [12]: nguồn trung áp xoay chiều ba pha đối xứng có điện áp dây định mức $U_{AB}=33$ kV, tần số $f=50$ Hz, điện áp dây định mức thứ cấp máy biến áp $U_{a1b1}=U_{a2b2}=1180$ V, điện áp một chiều không tải $U_{d0}=1593$ V.

Để kiểm nghiệm những phân tích lý thuyết ở mục 2, trong điều kiện như nhau, tiến hành mô phỏng với cả 3 tổ hợp chỉnh lưu. Sau đây sử dụng CL6 biểu thị tổ hợp chỉnh lưu 6-xung, CL12_KCB biểu thị tổ hợp chỉnh lưu 12-xung không sử dụng cuộn kháng cân bằng, và CL12_CB biểu thị tổ hợp chỉnh lưu 12-xung có sử dụng cuộn kháng cân bằng.



Hình 8. Điện áp chỉnh lưu không tải: a) CL6; b) CL12_KCB và CL12_CB

Hình 8 là kết quả mô phỏng điện áp ra ở chế độ không tải, trong đó hình (a) ứng với CL6 có 6 xung, và hình (b) ứng với CL12_KCB và CL12_CB có 12 xung. Ở chế độ không tải, cuộn kháng cân bằng không có tác dụng, nên điện áp chỉnh lưu của CL12_KCB và CL12_CB hoàn toàn như nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy với CL6 thì giá trị và phạm vi biến đổi điện áp trung bình U_d trong trạng thái ổn định lần lượt là 1594 (V) và 1445÷1669 (V), trong khi với CL12 lượt là 1650 (V) và 1612÷1669 (V). Kết quả này cho thấy so với CL6 thì CL12 có điện áp chỉnh lưu cao hơn và phẳng hơn. Ngoài ra với các tham số mô phỏng được cho, thay vào công thức (7) và (8) nhận được kết quả lần lượt là 1593 và 1649,64, như vậy kết quả mô phỏng tương đối phù hợp với tính toán lý thuyết.



Hình 9. Điện áp chỉnh lưu có tải: a) CL12_KCB; b) và CL12_CB

Hình 9 là kết quả mô phỏng điện áp ra ở chế độ có tải, trong đó hình (a) ứng với CL12_KCB, và hình (b) ứng với CL12_CB. Ở chế độ có tải, do tác dụng của cuộn kháng cân bằng nên hai chỉnh lưu 6 đập mạch trong CL12_CB đồng thời làm việc, vì vậy điện áp chỉnh lưu nhận được là trung bình của hai thành phần này và cũng có dạng 12 xung. Trong khi đó hai chỉnh lưu 6-xung trong CL12_KCB luân phiên làm việc, vì vậy điện áp chỉnh lưu nhận được hoàn toàn có dạng như hình 8(b) khi không tải.

Kết quả mô phỏng như hình 9 cũng cho thấy với CL12_KCB thì giá trị và phạm vi biến đổi điện áp trung bình U_d trong trạng thái ổn định lần lượt là 1642 (V) và 1607÷1663 (V), trong khi với CL12_CB lượt là 1590 (V) và 1560÷1608 (V), các kết quả này lần lượt tương đối phù hợp với CL12 và CL6 như trên, tuy nhiên do tổn hao nên các giá trị này có nhỏ hơn so với khi không có tải. Điều này chứng minh kết quả mô phỏng phù hợp với phân tích lý thuyết ở mục 2.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống giao thông đường sắt đô thị ở các thành phố lớn của Việt Nam đang trong quá trình xây dựng, vì vậy việc nghiên cứu các kỹ thuật liên quan tới lĩnh vực này là hết sức cần thiết.

Trạm điện kéo trong hệ thống cung cấp điện cho giao thông đường sắt đô thị có vai trò đặc biệt quan trọng, với chức năng chính là tiếp nhận điện AC trung áp rồi được hạ áp thông qua máy biến áp, sau đó thông qua bộ chỉnh lưu để biến đổi từ điện AC thành điện DC cung cấp cho toa xe động lực trong đoàn tàu điện. Bài báo đã đi nghiên cứu cơ sở lý thuyết tổ hợp chỉnh lưu 12-xung -thiết bị chính trong trạm điện kéo. Trong nghiên cứu này, trước tiên đã khái quát về nguyên lý chỉnh lưu 6 đập mạch-chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển. Trên cơ sở đó, đã tập chung trình bày về sơ đồ mạch điện và nguyên lý làm việc của tổ hợp chỉnh lưu 12-xung, trong tổ hợp này, để giảm nhỏ diện tích lắp đặt và chi phí đã sử dụng một máy biến áp ba pha chuyên dùng ba cuộn dây có cách đấu dây quấn Δ/Δ -Y để tạo ra 12 véctơ điện áp dây với độ lệch pha lần lượt là 30° , sau đó ghép nối với hai chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển mắc song song để nhận được điện áp chỉnh lưu bằng phẳng 12 xung, khi ghép hai chỉnh lưu với nhau đã sử dụng điện cảm cách ly các mạch chỉnh lưu- cuộn kháng cân bằng nhằm đạt được các chỉnh lưu làm việc độc lập, từ đó làm tăng mức độ lợi dụng dung lượng của các chỉnh lưu. Cuối cùng đã xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink, kết quả mô phỏng cho cả hai trường hợp không tải và có tải đã thể hiện tính chính xác và khả thi của các tổ hợp chỉnh lưu được đề cập.

Tổ hợp chỉnh lưu 12-xung này có đặc điểm là điện áp chỉnh lưu phẳng, chịu được dòng phụ tải lớn do sử dụng cách ghép song song các chỉnh lưu, nên không chỉ phù hợp khi ứng dụng vào lĩnh vực cung cấp điện kéo cho hệ thống giao thông đường sắt đô thị, mà còn có thể áp dụng cho các lĩnh vực công nghiệp khác có yêu cầu tương tự như điện phân hay mạ điện.... Ngoài ra, để nâng cao hơn nữa chất lượng điện áp chỉnh lưu, trên cơ sở của chỉnh lưu 12-xung có thể tạo ra các chỉnh lưu có số đập mạch nhiều hơn, như chỉnh lưu 24-xung....

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2020-CK-013.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Alain Sapin, Philippe Allenbach, Jean-jacques Simond, Modeling of multi-windings phase shifting transformers for DC supplies, Proc. ICEM, (2000) 5 pages. <https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-of-Multi-Windings-Phase-Shifting-for-DC-Sapin-Allenbach/da1cce0a80e72d19dfd09f5baa0e1a867e10ff39>
- [2]. B. Liljeqvist, The use of voltage controlled thyristor converters in power supply for DC traction systems, In Proceedings of the ASME/IEEE Spring Joint Railroad Conference 1992 (101-106). <https://doi.org/10.1109/RRCON.1992.665134>
- [3]. Mao Wen Xi, Chengshi guidao jiaotong qianyin gongdian xitong zhengliuqi yanjiu, Hunan daxue, 2007. (Mao Văn Hỷ, Nghiên cứu bộ chỉnh lưu hệ thống cấp điện kéo giao thông đường sắt đô thị, Đại học Hồ Nam, 2007).
- [4]. Xie Fang, Chengshi guidao jiaotong zhiliu gongdian zhengliu qizu yanjiu, Xinan jiaotong daxue, 2009. (Tạ Phương, Nghiên cứu tổ hợp chỉnh lưu cấp điện kéo một chiều giao thông đường sắt đô thị, Đại học giao thông Tây Nam, 2009)
- [5]. Lê Mạnh Việt, Võ Thanh Hà, Trần Văn Khôi, Nguyễn Tuấn Phường, Nghiên cứu lựa chọn công nghệ điện khí hóa đường sắt và điện giao thông thành phố tới năm 2025 ở Việt Nam, Đề tài NCKH cấp bộ, mã số B2008-04-57.
- [6]. Lê Mạnh Việt, Nguyễn Tuấn Phường, Nghiên cứu công nghệ cung cấp điện cho giao thông đường sắt cao tốc và đô thị, Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, 28 (2008) 46-50.
- [7]. Võ Thanh Hà, Nguyễn Tuấn Phường, Nghiên cứu phân tích và lựa chọn hình thức tiếp điện trong cung cấp điện giao thông điện đường sắt, Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, 28 (2008) 105-109.
- [8]. Trần Văn Khôi, Nguyễn Đức Khương, Quy hoạch tối ưu vị trí trạm điện kéo trong hệ thống cung cấp điện đường sắt đô thị sử dụng thuật toán quy hoạch nguyên, Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, 70 (2019) 264-278. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.4.14>
- [9]. Lê Văn Doanh, Nguyễn Thế Công, Trần Văn Thịnh, Điện tử công suất (Lý thuyết – Thiết kế - Ứng dụng), NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1997.
- [10]. Đặng Việt Phúc, Nguyễn Thanh Hải, Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống cung cấp điện kéo đường sắt đô thị đến sóng hài lưới điện, Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, 65 (2018) 3-10. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/7549>
- [11]. Đặng Việt Phúc, Đánh giá thành phần sóng hài trên mô hình mô phỏng hệ thống cung cấp điện tàu điện ngầm sử dụng chỉnh lưu 6-xung và 12-xung, Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, 61 (2017) 46-53. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/7511>
- [12]. Ma Hua Sheng, Zhang Bo, Zou Wen Xi, Bianyaqi loukang qudai binglian zhengliuqi pingheng diankangqi de fenxi, Jiche dian chuandong, 6 (2001) 30. (Mã Hoá Thịnh, Trương Ba, Trâu Văn Tân, Phân tích điện kháng tản máy biến áp thay thế điện kháng cân bằng trong ghép nối song song chỉnh lưu, Truyền động điện đầu máy, 6 (2001) 30)