

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI SỬ DỤNG CẤU TRÚC DC-DC MỚI TRÊN MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Nguyễn Đức Minh

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Trịnh Trọng Chương

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Đỗ Như Ý

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Email: minhnguyenduc.ies@gmail.com

TÓM TẮT

Để nâng cao hiệu suất hệ thống pin mặt trời, cần thiết nâng cao hiệu suất của mạch tăng áp DC-DC trong hệ thống. Các mạch tăng áp DC-DC truyền thống có nhược điểm là hiệu suất kém do phụ thuộc vào điều kiện thời tiết. Việc thiết kế một bộ biến đổi DC-DC có hiệu suất cao là nhu cầu cấp thiết. Bài báo tiến hành đánh giá hiệu quả của hệ thống pin mặt trời sử dụng cấu trúc mạch tăng áp DC-DC đã được nhóm tác giả nghiên cứu và đề xuất. Kết quả nghiên cứu khẳng định được hiệu quả của mạch DC-DC đã đề xuất có khả năng triển khai và áp dụng trong thực tế.

Từ khóa: pin năng lượng mặt trời, mạch tăng áp DC-DC, tần số đóng cắt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiệu suất của bộ biến đổi DC-DC trong hệ thống pin mặt trời (PV) không phải là hằng số mà phụ thuộc nhiều vào công suất truyền tải qua nó [1]. Công suất đầu ra của tấm pin mặt trời thay đổi tùy thuộc vào điều kiện thời tiết, trong khi công suất của bộ chuyển đổi được thiết kế với công suất lớn nhất của tấm pin. Ở các tấm pin mặt trời, công suất đầu ra không cố định, công suất đạt định mức ở khoảng thời gian gần trưa và công suất đầu ra nhỏ vào lúc sáng và chiều. Các mạch DC-DC truyền thống thường có hiệu suất đạt cực đại trong phạm vi 50%-60% công suất thiết kế và giảm nhanh nếu công suất qua nó càng nhỏ [2].

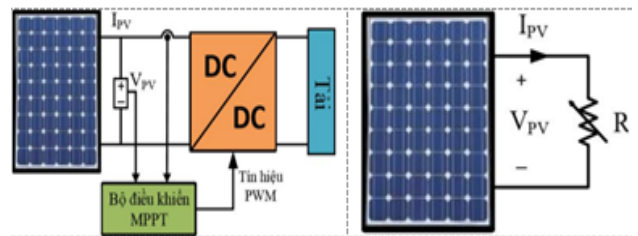
Để cải thiện hiệu suất của bộ biến đổi DC-DC, người ta thiết kế chúng có hiệu suất biến đổi cao, tỷ số biến đổi điện áp lớn và thích ứng nhanh với sự thay đổi của điều kiện môi trường cũng như sự biến động của tải [4]. Việc đánh giá hiệu quả của các cấu trúc mạch tăng áp DC-DC cần được tiến hành thử nghiệm trong thực tế để khẳng định hiệu quả của giải pháp đề xuất.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

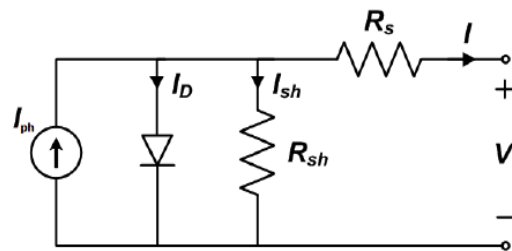
2.1. Cấu trúc hệ thống nguồn pin mặt trời

Cấu trúc của việc chuyển đổi công suất phát từ các tấm pin mặt trời lên lưới điện thông qua hai cấp

chuyển đổi: DC-DC và DC-AC. Cấu trúc cơ bản của một hệ pin mặt trời trực tiếp cấp cho tải mô tả trong Hình H.1 [3]



H.1. Sơ đồ khối hệ thống pin mặt trời



H.2. Mô hình toán của tế bào quang điện

Mạch tương đương của một tế bào PV được thể hiện trong Hình H.2, bao gồm một nguồn dòng (I_{ph}), một đi-ốt, một điện trở nối tiếp (R_s) và một điện trở shunt (R_{sh}) [6].

Sử dụng định luật Kirchhoff cho nguồn dòng (I_{ph}), dòng điện qua đi-ốt (I_D) và dòng điện qua điện trở sun (I_{sh}), dòng điện đến tải (I) có thể được biểu diễn như sau [5]:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_D = I_{rsc} \left(e^{\frac{V+R_s I}{AV_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Như vậy, có thể xác định được dòng điện trên tải là:

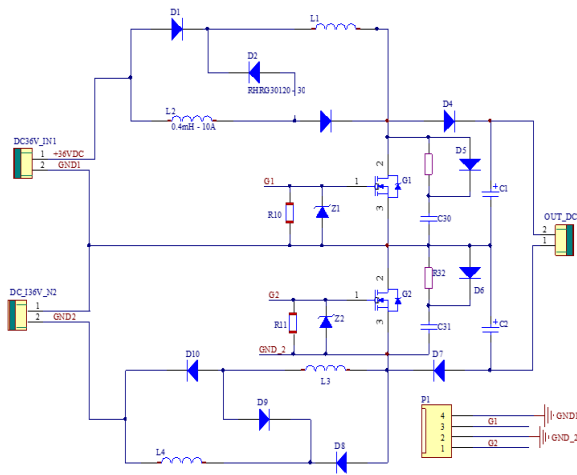
$$I = I_{ph} - I_{rsc} \left(e^{\frac{V+R_s I}{AV_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3)$$

Trong đó: I_{rsc} - dòng điện bão hòa ngược của đi-ốt; V - điện áp trên tải; A - hệ số lý tưởng của đi-ốt (tức là hệ số phát xạ); V_T - điện áp nhiệt ($k.T/q$); q - điện tích $e=1,6 \times 10^{-19}$ Cu lông; k - hằng số Boltzman, $k = 1.38065 \times 10^{-23}$ J/K; T - nhiệt độ tế bào ($^{\circ}K$).

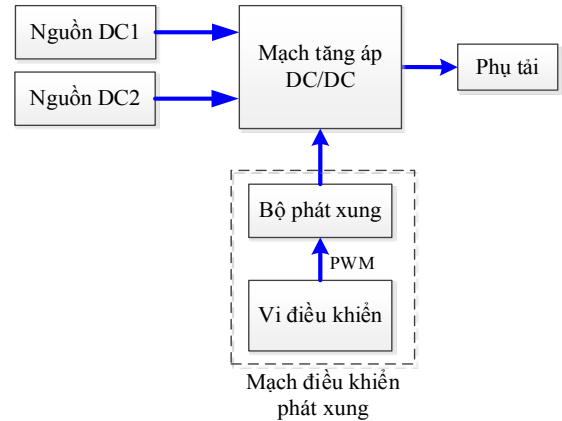
Trong cấu trúc trên, bộ biến đổi DC-DC thường được sử dụng để duy trì và khai thác tối ưu lượng công suất phát của pin mặt trời (MPPT-Maximum Power Point Tracking) trong điều kiện các thông số nguồn bức xạ mặt trời luôn thay đổi.

2.2. Cấu trúc mạch DC-DC mới trong hệ thống pin mặt trời PV

Để cải thiện hiệu suất của bộ biến đổi DC-DC, ta cần phải thiết kế bộ biến đổi DC-DC mới có hiệu suất cao thích ứng trong các điều kiện như đã phân tích ở trên. Nhóm nghiên cứu đề xuất cấu trúc mạch tăng áp DC-DC mới đưa ra trên Hình H.3.



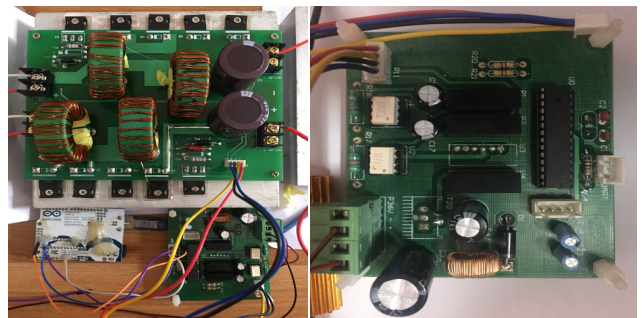
H.3. Cấu trúc mạch tăng áp DC-DC đề xuất



H.4. Sơ đồ khối thực nghiệm bộ biến đổi tăng áp DC-DC

Cấu trúc mới này gồm các tầng ghép song song với nhau (nguồn dương và nguồn âm). Mỗi tầng sử dụng 1 Mosfet, 6 đi-ốt chỉnh lưu. Hai điện trở sun R10 và R11 được dùng trong mạch để phản hồi tín hiệu dòng điện.

Khi có dòng điện I chạy qua điện trở sun sẽ tạo ra một điện áp rơi trên đó. Tín hiệu điện áp này được đưa về để đo dòng điện trong mạch. Với cấu trúc này chúng ta có thể dễ dàng tích hợp bộ chuyển đổi vào tấm pin khi hầu hết các linh kiện có cùng giá trị điện áp làm việc. Về bản chất, đây là 2 mạch boost DC-DC nối tầng ghép song song với nhau (tạo thuận lợi khi ghép nối tiếp nhiều tấm pin mặt trời có các cấp điện áp ra khác nhau). Cấu trúc mạch DC-DC mới đề xuất sử dụng cho hệ thống pin mặt trời có sơ đồ khối mô tả trên H.4 và được chế tạo để đánh giá thử nghiệm, đưa ra trên H.5.

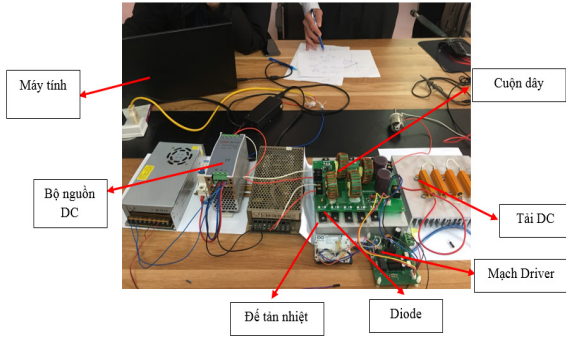


H.5. Mạch DC-DC chế tạo theo cấu trúc mới

2.3. Thử nghiệm

Hệ thống nguồn pin năng lượng mặt trời thử nghiệm với phụ tải sử dụng được cấp cho động cơ bơm nước của hệ thống tưới nông nghiệp. Sơ đồ bao gồm: khối nguồn, bộ phát xung, vi điều khiển, phụ tải và mạch tăng áp DC-DC, mạch điều khiển phát xung. Mô hình thiết bị thử nghiệm được chế tạo theo các module độc lập để thuận lợi cho các

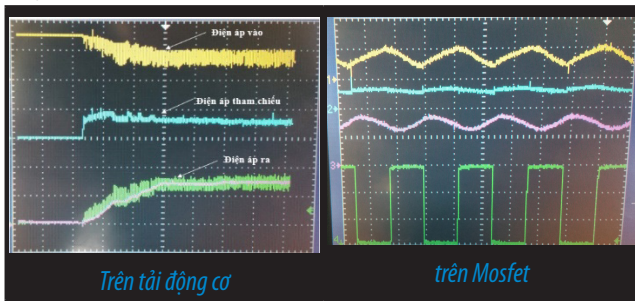
quá trình lắp đặt. Mô hình kết nối thực nghiệm và mô hình thực nghiệm tại thực tế đưa ra trên Hình H.6.



H.6. Mô hình thực nghiệm đánh giá hiệu suất hệ thống nguồn pin mặt trời dựa trên cấu trúc mạch tăng áp DC-DC mới đề xuất

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả đo sóng điện áp vào - ra trên máy hiện sóng đầu ra (tải) và đầu ra của cổng G Mosfet trình bày trên Hình H.7.



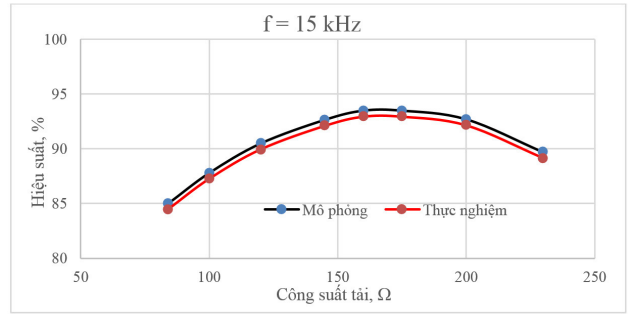
H.7. Sóng điện áp vào - ra

Từ kết quả đo thực thể nhận thấy rằng:

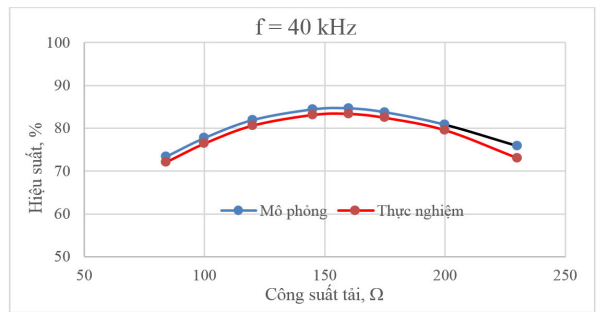
- Điện áp ra trên tải khá bằng phẳng, không bị nhiễu bởi sóng hài và có chất lượng tốt;
- Mosfet hoạt động ở hai chế độ đóng và mở, điện áp trên cực của Mosfet có dạng xung và biên độ ổn định.

Chúng tôi tiến hành khảo sát hiệu suất của bộ biến đổi trong hai trường hợp là: thay đổi tần số đóng cắt f và thay đổi hệ số chu kỳ D . Các kết quả thực nghiệm được so sánh với các kết quả mô phỏng ứng với các điều kiện tương đương nhau. Đánh giá hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng của

hệ thống với cấu hình đề xuất với điện áp đầu vào $V_{in} = 72V$, hệ số $D = 0,55$ được trình bày ở các Hình H.8 và H.9 khi cho thay đổi tần số đóng cắt mạch.



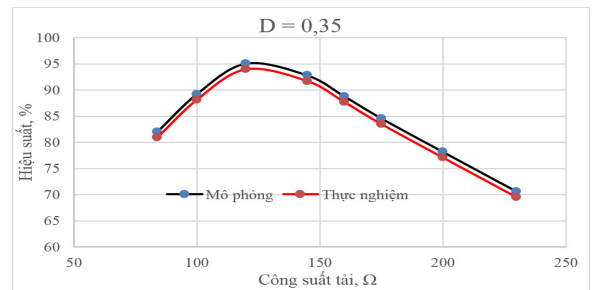
H.8. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm hiệu suất ở tần số đóng cắt 15 kHz



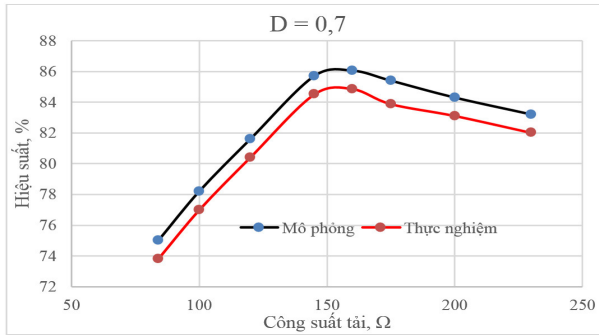
H.9. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm hiệu suất ở tần số đóng cắt 40 kHz

Nhận thấy rằng: Kết quả của mô hình mô phỏng và thực nghiệm khá tương đồng nhau, hiệu suất thực nghiệm cao nhất của bộ biến đổi là 93,6% ở tần số chuyển mạch $f = 15kHz$. Ở các tần số đóng cắt cao hơn, hiệu suất của mạch tăng áp giảm dần do tổn thất đóng cắt tăng bởi hiệu ứng Jun và hiệu suất thấp nhất ở tần số $f=40kHz$ khoảng 72%, với kết quả này cho thấy rằng mạch tăng áp DC-DC mới có hiệu suất lớn hơn các mạch tăng áp truyền thống (có hiệu suất từ 40-60%) như đã phân tích ở trên.

Đối với việc đánh giá thực nghiệm đo được ở các mức tải khác nhau dưới các hệ số chu kỳ (D) khác nhau được thể hiện ở các Hình H.10 và H.11 Với tần số chuyển mạch $f = 15kHz$, điện áp đầu vào $V_{in} = 72V$.



H.10. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm hiệu suất khi $D = 0,35$



H.11. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm hiệu suất khi $D = 0,7$

Kết quả hiệu suất giữa mô phỏng và thực nghiệm có sự chênh lệch là do tổn thất năng lượng trên các linh kiện, đặc biệt là điện trở nối tiếp tụ điện ESR mà trên phần mềm mô phỏng không thể mô tả chính xác được (không có thiết bị hỗ trợ nên không

xác định được chính xác điện trở nối tiếp tụ điện ESR). Hiệu suất thực nghiệm cao nhất đo được là 94,0% ở hệ số $D = 0,35$ và thấp nhất khoảng 74% ở hệ số chu kỳ $D=0,7$.

4. KẾT LUẬN

Qua các kết quả nghiên cứu đánh giá khi thay đổi tần số đóng cắt và thay đổi hệ số chu kỳ $D=0,7$ thấy rằng:

- Hiệu suất của mạch cao nhất đạt được 94% và thấp nhất đạt 72%;
- Kết quả thực nghiệm cũng chứng minh: mạch tăng áp DC-DC có hiệu suất cao hơn nhiều so với hiệu suất của các mạch DC-DC truyền thống;
- Việc nâng cao hiệu suất của mạch tăng áp DC-DC đưa đến nâng cao được hiệu quả của hệ thống nguồn pin năng lượng mặt trời □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. R. Ramaprabha and B. L. Mathur (2012), A Comprehensive Review and Analysis of Solar Photovoltaic Array Configurations under Partial Shaded Conditions, International Journal of Photoenergy, Volume 2012, Article ID 120214, doi:10.1155/2012/120214.
2. F. Belhachat and C. Larbes (2014), Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions, Solar Energy 120 (2015) 399–418.
3. Xuan Cuong Ngo, Nhu Y Do (2022), The impact of electrical energy consumption on the payback period of a rooftop grid-connected photovoltaic system: A case study from Vietnam. International Journal of Renewable Energy Development. 2022.
4. Xuan Cuong Ngo, Nhu Y Do (2022), A Comprehensive Assessment of a Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System: A Case Study for Central Vietnam. International Energy Journal. 2022.
5. Trương Việt Anh, Bùi Văn Hiền, Dương Thanh Long, Lương Xuân Trường (2020), Đánh giá tác động của hiện tượng bóng che lên đặc tính làm việc của các cấu hình kết nối pin mặt trời, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Số 45A, 2020, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh.
6. Lê Thị Minh Châu, Trần Anh Tuấn, Trịnh Tuấn Anh, Lê Đức Tùng, Dương Minh Quân (2021), Nghiên cứu thiết kế bộ tăng áp DC-DC ứng dụng cho hệ thống pin năng lượng mặt trời, JST: Engineering and Technology for Sustainable Development Volume 31, Issue 3, July 2021, 083-08.

RESEARCH AND EVALUATING THE EFFICIENCY OF THE SOLAR BATTERY SYSTEM USING NEW DC-DC STRUCTURE ON EXPERIMENTAL MODEL

Nguyen Duc Minh, Trinh Trong Chuong, Do Nhu Y

ABSTRACT

To improve the efficiency of the solar battery system, it is necessary to improve the efficiency of the DC-DC booster circuit in the system. The traditional DC-DC booster circuits have the disadvantage of poor performance, depending on the weather conditions. The article evaluates the efficiency of the solar cell system using the proposed DC-DC booster circuit, demonstrates the advantages of this circuit, which is capable of development and applied in practice.

Keywords: solar battery, DC-DC booster circuit, switching frequency

Ngày nhận bài: 25/4/2022;

Ngày gửi phản biện: 28/4/2022;

Ngày nhận phản biện: 18/5/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.

BÙ THÀNH PHẦN ĐIỆN DUNG CỦA DÒNG ĐIỆN RÒ TRONG CÁC MẠNG ĐIỆN MỎ CÓ ĐỘNG CƠ CÔNG SUẤT LỚN

Kim Ngọc Linh, Nguyễn Thạc Khánh
Kim Thị Cẩm Ánh
Trường Đại học Mỏ - Địa chất
Email: kimngoclinh@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Giải pháp bù điện dung đã được chứng minh có hiệu quả cao trong các mạng ba pha trung tính cách ly và liên tục được nghiên cứu hoàn thiện. Tuy nhiên, đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động, hiệu quả của giải pháp bù điện dung chưa được đánh giá một cách đầy đủ. Các kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo này chứng minh rằng đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn làm việc, giải pháp bù điện dung có thể làm tăng nguy cơ điện giật. Kết quả nghiên cứu này cần được quan tâm khi đề xuất các giải pháp đảm bảo điều kiện an toàn điện giật cho các mạng điện mỏ hầm lò cơ giới hoá có các động cơ công suất lớn hoạt động.

Từ khóa: mạng điện mỏ, bảo vệ rò, bù điện dung, động cơ công suất lớn, dòng điện rò

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các mỏ hầm lò sử dụng rộng rãi mạng điện ba pha có trung tính cách ly. Quy chuẩn Kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò quy định bắt buộc phải trang bị cho mạng điện hầm lò các thiết bị bảo vệ rò. Để đảm bảo điều kiện an toàn điện giật, trong các thiết bị bảo vệ rò luôn có mạch bù thành phần điện dung của dòng rò. Giải pháp bù điện dung đã được chứng minh có hiệu quả cao trong các mạng ba pha trung tính cách ly và liên tục được nghiên cứu hoàn thiện [3,4,5]. Tuy nhiên, đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động (ví dụ như mạng điện 1140V trong các mỏ hầm lò được cơ giới hoá), hiệu quả của giải pháp bù thành phần điện dung của dòng điện rò chưa được nghiên cứu đánh giá một cách đầy đủ. Vì vậy, nghiên cứu về bù điện dung trong các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

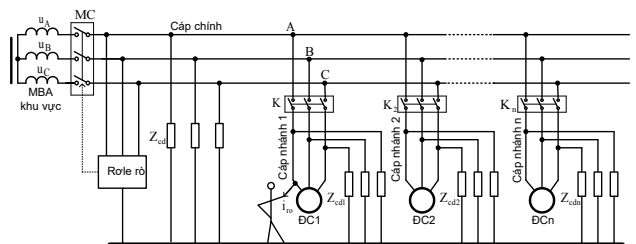
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Cơ sở lý thuyết

Xét sơ đồ cung cấp điện đơn giản cho một khu vực khai thác mỏ hầm lò sử dụng cấp điện áp 1140V như Hình H.1 [1].

Trong sơ đồ ký hiệu MC là tiếp điểm của máy

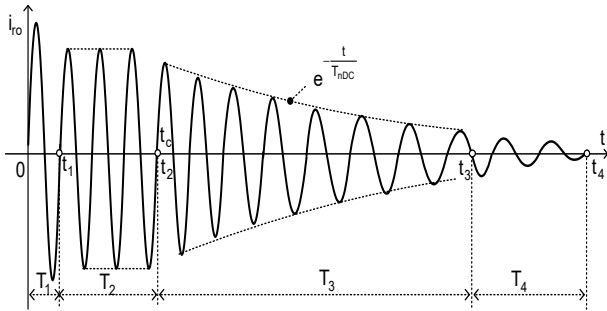
cắt ở đầu đường cấp chính; K_1, K_2, \dots, K_n là tiếp điểm của các công tắc tơ trong các khởi động từ điều khiển động cơ của các máy công tác; $Z_{cd}, Z_{cd1}, \dots, Z_{cdn}$ là trở kháng cách điện so với đất của mạng cấp chính và các mạng cấp nhánh. Giả thiết con người chạm vào một pha của cấp nhánh 1.



H.1. Sơ đồ nguyên lý mạng cung cấp điện khu vực mỏ hầm lò

Khi con người chạm vào một pha của mạng sẽ có dòng điện rò qua người. Với giả thiết lấy thời điểm con người chạm vào là gốc thời gian và coi rằng rơle rò lắp ở đầu đường cấp chính sẽ tác động làm máy cắt MC cắt nguồn cung cấp, ta có đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người như Hình H.2 [1,6].

Trên Hình H.2 ký hiệu t_1 là thời điểm tắt của thành phần tự do, t_2 thời điểm ngắt của tiếp điểm máy cắt MC và t_3 là thời điểm ngắt của tiếp điểm công tắc tơ K_1 .



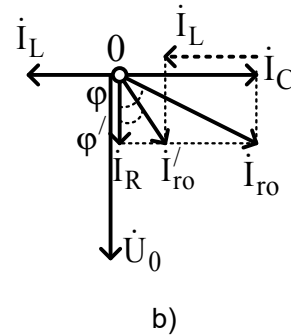
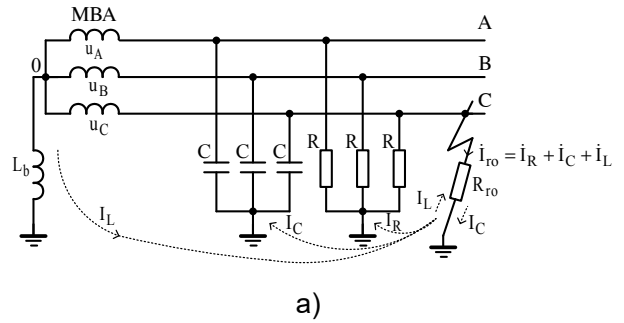
H.2. Đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ

Từ đồ thị Hình H.2 cho thấy rằng, dòng rò qua người ngoài thành phần tự do và thành phần xác lập của dòng quá trình quá độ còn có thành phần dòng do điện áp trên cuộn dây stato của các động cơ còn quay theo quán tính gây nên. Thành phần xác lập của dòng điện rò qua người còn tiếp tục tồn tại từ thời điểm thành phần tự do của dòng quá trình quá độ tắt (thời điểm t_1) cho đến thời điểm máy cắt MC cắt (thời điểm t_2). Khi cắt mạng mà có một số động cơ, dòng quá trình quá độ do sức điện động ngược của động cơ gây ra gồm hai thành phần: Dòng gây bởi sức điện động ngược tắt dần của nhóm các động cơ, tồn tại từ thời điểm t_2 đến thời điểm ngắt công tắc tơ của khởi động từ khi điện áp lưới giảm còn $0,5U_{dm}$ (thời điểm t_3) và dòng gây bởi sức điện động ngược của động cơ nhánh con người chạm phải (từ thời điểm tiếp điểm công tắc tơ K_1 hở mạch cho đến khi sức điện động của động cơ tắt hoàn toàn).

Quy luật biến thiên của dòng rò qua người được mô tả trên Hình H.2 là phù hợp với các mạng điện mô không có mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò.

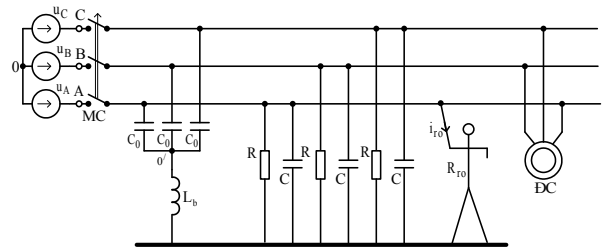
Trong thực tế mạng điện mỏ tồn tại điện dung so với đất nên trị số dòng rò qua người không chỉ phụ thuộc vào điện trở cách điện của mạng so với đất mà còn phụ thuộc vào điện dung của mạng. Để đảm bảo an toàn điện giật cần phải bù thành phần điện dung của dòng điện rò.

Nguyên lý bù thành phần điện dung là mắc giữa trung tính biến áp và đất một cuộn bù có điện cảm được hiệu chỉnh sao cho cộng hưởng với điện dung của mạng. Hình H.3 là sơ đồ nguyên lý bù điện dung và đồ thị véc tơ giải thích nguyên lý bù.

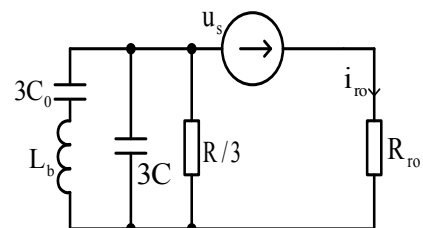


H.3. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ mạng có bù điện dung

Do không tiện đấu cuộn bù vào điểm trung tính của máy biến áp nên thường đấu cuộn bù qua điểm trung tính tạo bởi bộ tụ điện hoặc điện cảm đấu sao. Sơ đồ tương đương về mặt an toàn điện giật với các mạng ba pha trung tính cách ly có cuộn bù điện dung đấu qua bộ tụ điện đấu sao trên Hình H.4.



H.4. Sơ đồ tương đương về mặt an toàn điện giật mạng có bù điện dung



H.5. Sơ đồ tính dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ

Trong sơ đồ Hình H.4 ký hiệu: R và C tương ứng là điện trở cách điện và điện dung một pha của mạng so với đất; L_b là điện cảm cuộn bù; C_0 là điện

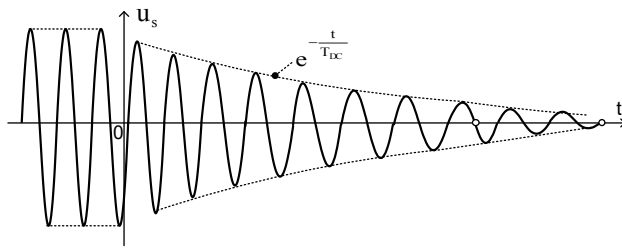
dung bộ tụ điện đấu sao tạo trung tính nối cuộn bù; R_{r0} là điện trở người.

Sơ đồ tương đương để tính dòng điện rò qua người sau khi máy cắt MC ngắt nguồn cung cấp cho động cơ nêu trên Hình H.5.

Trong sơ đồ Hình H.5, u_s là điện áp stato động cơ sau khi ngắt nguồn cung cấp. Nếu trị số tức thời của điện áp một pha bất kỳ của stator trước khi ngắt động cơ bằng $u_s = U_m \cos(\omega_1 t + \Psi)$ thì sau khi ngắt ($t > 0$) điện áp này được xác định theo biểu thức (1) [2].

$$u_s = kU_{sm} e^{-\frac{t}{T_{DC}}} \cos[(1-s)\omega_1 t + \Psi - \varphi] \quad (1)$$

Trong (1) ký hiệu T_{DC} là hằng số thời gian của động cơ, φ là góc lệch pha của điện áp stator động cơ trước và sau khi ngắt khỏi nguồn cung cấp, s là độ trượt của động cơ. Giá trị gần đúng của hệ số k lấy bằng 0,83 khi tải định mức và bằng 0,95 khi động cơ không tải. Đồ thị thời gian của điện áp này được mô tả trên Hình H.6 [2].



H.6. Điện áp stator động cơ khi ngắt nguồn cung cấp

Khi ngắt động cơ khỏi lưới, tốc độ động cơ giảm dần nên độ trượt s thay đổi làm tần số góc điện áp stator giảm dần. Ở một tần số xác định của điện áp stator động cơ tổng trở tương đương của hai nhánh điện kháng mắc song song trong sơ đồ Hình H.5 được xác định theo biểu thức (2).

$$Z_u = \frac{(-j/3\omega C)(j\omega L_b - j/3\omega C_0)}{-j/3\omega C + j\omega L_b - j/3\omega C_0} = \frac{L_b/3C - 1/9\omega^2 C_0}{j(\omega L_b - 1/3\omega C - 1/3\omega C_0)} \quad (2)$$

Từ (2) suy ra tổng trở tương đương $Z_{td}=0$ ở tần số sao cho $L_b/3C - 1/9\omega^2 C_0 = 0$. Hay

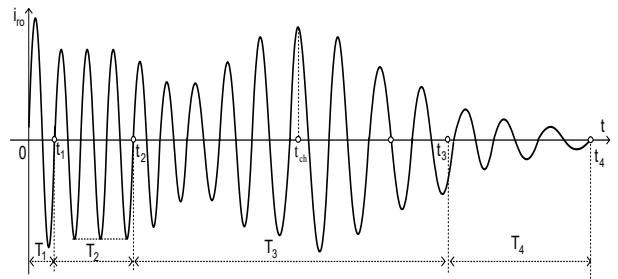
$$f_0 = \omega_0 / 2\pi = 1/2\pi\sqrt{3L_b C_0} \quad (3)$$

Ví dụ với $C_0=1\mu F$; $L_b=10,14H$, theo (3) tính được $f_0=28,87Hz$.

Ở tần số f_0 , $Z_{td}=0$ nên dòng rò đạt giá trị lớn nhất bằng $I_{romax} = U_s/R_{r0}$. Ở tần số này, trị số của dòng điện rò qua người không phụ thuộc vào điện trở và điện

dung cách điện của mạng, mà chỉ phụ thuộc vào trị số của điện áp pha stator và điện trở người. Mạng lúc này giống như mạng ba pha trung tính nối đất.

Kết quả phân tích trên cho thấy, đối với các mạng ba pha có bù điện dung nối qua bộ tụ điện đấu sao, quy luật của dòng điện rò qua người có dạng khác với đồ thị Hình H.2. Quá trình ngắt động cơ khỏi nguồn cung cấp, do tần số góc của điện áp stator giảm nên sẽ tồn tại một tần số cộng hưởng. Ở tần số đó, trở kháng cách điện tương đương của mạng so với đất bằng 0 và dòng rò qua người sẽ đạt giá trị lớn nhất. Quy luật biến thiên của dòng rò qua người trong trường hợp này được mô tả trên Hình H.7.



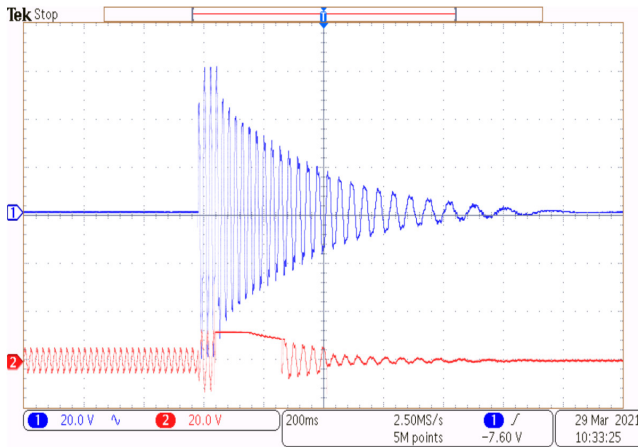
H.7. Đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người trong mạng có bù điện dung

2.2. Kết quả thực nghiệm

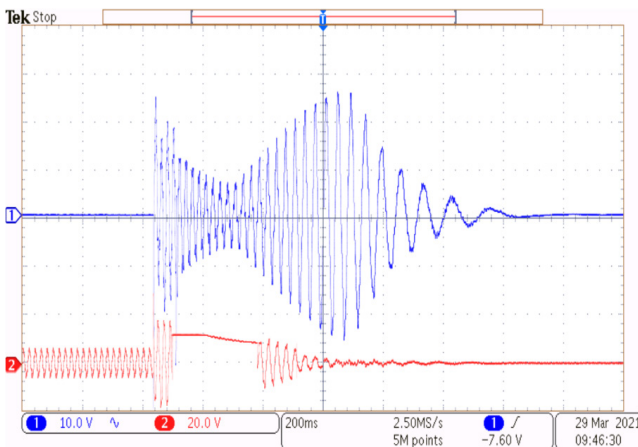
Để nghiệm lại kết quả nghiên cứu lý thuyết trên chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm trên mô hình thử nghiệm Thiết bị bảo vệ dòng điện rò ở Phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện–điện tử của Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Trong điều kiện Phòng thí nghiệm, để có thể khảo sát được ảnh hưởng do sức điện động ngược của động cơ khi cắt nguồn đến dòng điện rò, một thiết bị tạo sức điện động ngược đã được thiết kế, chế tạo. Thiết bị gồm một động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp loại LSPMSM 2,2kW điện áp 380V và máy biến áp công suất 10kVA, điện áp 380/660/1140V.

Kết quả thực nghiệm trên các Hình H.10 và H.11. Hình H.10 là dạng dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ trong trường hợp mạng không có bù điện dung và Hình H.11 là dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ ở mạng có bù với $L_b=10,2H$; $C_0=1\mu F$.



H.10. Dòng điện rò khi ngắt động cơ ở mạng không có bù



H.11. Dòng điện rò khi ngắt động cơ ở mạng có bù với $L_b=10,2H$; $C_o=1\mu F$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

> Kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy rằng, đối với các mạng ba pha trung tính cách ly không có mạch bù điện dung, khi động cơ công suất lớn bị ngắt khỏi nguồn cung cấp, dòng điện rò qua người do sức điện động ngược

của động cơ gây ra có dạng giống như Hình H.2. Trường hợp mạng có cuộn bù điện dung đầu vào mạng qua bộ tụ điện đấu sao, dòng điện rò qua người do sức điện động ngược của động cơ gây ra có dạng giống như Hình H.7;

> Trong các mạng có sử dụng cuộn bù nối qua bộ tụ điện đấu sao, trong quá trình ngắt động cơ, sẽ tồn tại một thời điểm xảy ra hiện tượng cộng hưởng làm trở kháng cách điện tương đương của mạng so với đất bằng không, khiến cho trị số dòng rò qua người chỉ còn phụ thuộc vào điện áp stator động cơ và điện trở của cơ thể người;

> Tuy thuộc vào hằng số thời gian tắt của động cơ và điện trở của cơ thể người, ở dải xung quanh tần số cộng hưởng, trị số dòng điện rò qua người có thể lớn hơn nhiều lần dòng an toàn khoảng khác gây nguy hiểm cho con người;

> Thời điểm xảy ra hiện tượng cộng hưởng ứng với tần số điện áp stator giảm xuống giá trị được xác định theo biểu thức (3). Tần số này chỉ phụ thuộc vào trị số của điện cảm bù L_b và trị số của bộ tụ đấu sao C_o . Nếu không có mạch bù hoặc cuộn bù được đấu qua bộ điện cảm đấu sao sẽ không có hiện tượng cộng hưởng.

4. KẾT LUẬN

Đối với các mạng điện ba pha trung tính cách ly có các động cơ công suất lớn hoạt động, để đảm bảo điều kiện an toàn điện giật, không áp dụng giải pháp bù thành phần điện dung của dòng rò bằng cuộn bù đầu qua điểm trung tính của bộ tụ điện đấu sao. Có thể thay thế bằng giải pháp mắc cuộn bù qua trung tính bộ điện cảm đấu sao hoặc giải pháp tự động nối ngắn mạch pha con người chạm phải qua điện trở nhỏ xuống đất □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kim Ngọc Linh, Kim Cẩm Ánh (2009), Đề phòng nguy cơ điện giật do sức điện động ngược của động cơ trong mạng điện mỏ điện áp 1140V, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, 8/2009 (số 4/2009), tr. 36-38.
2. Ковач К. П., Рац И. (1963), Переходные процессы в машинах переменного тока (Перевод под редакцией проф. Вольдека А. И.), "Государственное энергетическое издательство", Москва и Ленинград, 514с.
3. Савицкий В.Н., Белошистов А.И., Савицкий А.В. (2010), Способы снижения силы тока утечки в шахтах элетрических сетях переменого тока, Сборник научных трудов: УкрНИИВЭ.
4. Ставицкий В.Н., Дубинин С.В., Маренич К.Н., Дубинин М.С. (2011), Повышение эффективности компенсации емкостной составляюще тока утечки на землю в элетросетях с преобразователями частоты, Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет.

5. Шавёлкин А.А., Белобородько О.А. (2012), Возможности компенсации однофазных токов утечки в сетях с изолированной нейтралью; <http://masters.donntu.edu.ua/2012/fkita/martinuk/library/article6.htm>
6. Ягудаев Б.М., Шиликин Н.Ф., Назаров В.В. (1982), Защита от электропоражения в горной промышленности, «Недра», Москва, 145с.

COMPENSATION FOR THE CAPACITIVE COMPONENT OF LEAKAGE CURRENTS AT THE MINE POWER NETWORKS WITH A LARGE POWER MOTOR

Kim Ngoc Linh, Nguyen Thac Khanh, Kim Thi Cam Anh

ABSTRACT

The capacitive compensation solution has been proven to be highly effective for mine power networks and is constantly being researched and improved. However, for the mine networks with high-power active motors, the effectiveness of the capacitive compensation solution has not been fully evaluated. The research results presented in this paper show that for mine power networks with high-power running motors, the capacitive compensation solution can increase the risk of electric shock. The results of this study should be taken into account when proposing solutions to ensure the safety conditions for the mechanized underground mine networks with high-power engines in operation.

Keywords: *mining electrical network, leakage protection, capacitance compensation, high power motor, leakage current.*

Ngày nhận bài: 20/4/2022;

Ngày gửi phản biện: 20/4/2022;

Ngày nhận phản biện: 25/5/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 30/5/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.