

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO BỘ NẠP ẮC QUY MỎ DÙNG CÔNG NGHỆ NGUỒN CHUYỂN MẠCH

Tổng Ngọc Anh, Hà Thị Chúc, Cung Quang Khang
 Trường Đại học Mỏ - Địa chất
 Email:hathichuc@humg.edu.vn

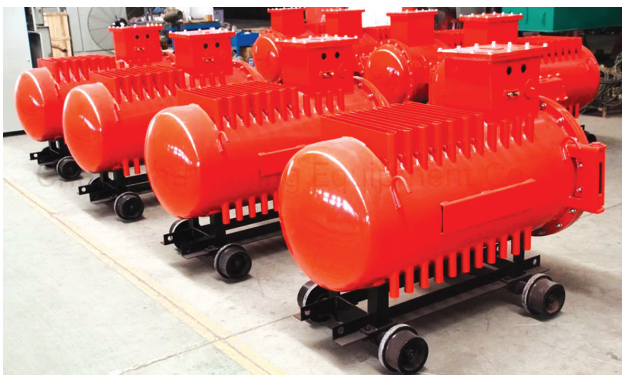
TÓM TẮT

Hiện nay, các tủ nạp ắc quy tàu điện mỏ đều sử dụng mạch chỉnh lưu có điều khiển, có nhiều nhược điểm. Trong những năm gần đây, công nghệ nguồn chuyển mạch SMPS (Switch Mode Power Supply) ra đời đã khắc phục hầu hết các nhược điểm của bộ nạp chỉnh lưu có điều khiển. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo bộ nạp ắc quy dùng cho các trạm nạp ắc quy của tàu điện mỏ sử dụng công nghệ nguồn chuyển mạch SMPS. Kết quả thực nghiệm cho thấy bộ nạp làm việc ổn định trong cả dải điều chỉnh độ rộng xung từ 2% đến 100%.

Từ khóa: tàu điện mỏ hầm lò; bộ nạp ắc quy; công nghệ nguồn chuyển mạch SMPS

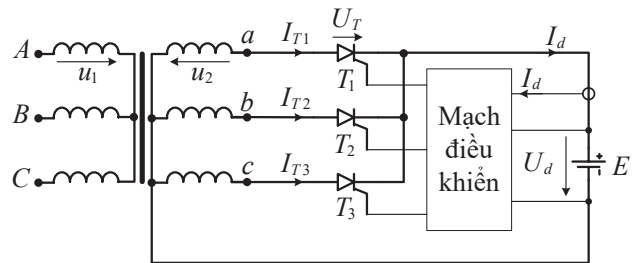
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo số liệu khảo sát năm 2022, các mỏ than hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than-Khoáng sản Việt Nam (TKV) đang sử dụng hàng trăm đầu tàu điện để vận chuyển than và đất đá với ba chủng loại: 5 tấn (46 cái), 8 tấn (340 cái) và 12 tấn (5 cái), phần lớn là các sản phẩm của Trung Quốc sản xuất, một số là sản phẩm của Nga, còn lại được sản xuất trong nước. Tàu điện ắc quy sử dụng các tổ hợp ắc quy có điện áp 90/132/192 V, dung lượng 385/440/560 Ah, tương ứng với các loại tàu 5/8/12 tấn. Các tổ hợp ắc quy tàu điện mỏ được nạp bằng các tủ nạp phòng nổ có kiểu dáng như trong Hình H.1.



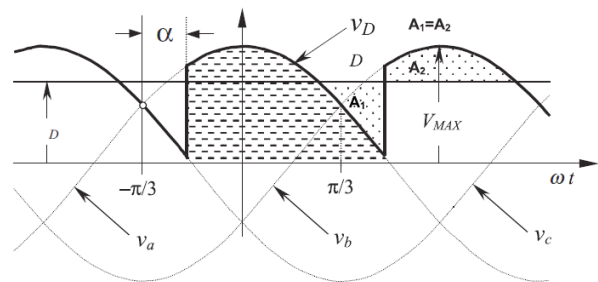
H.1. Tủ nạp ắc quy phòng nổ

Hiện nay, các tủ nạp ắc quy phòng nổ được nhập khẩu từ Nga và Trung Quốc, tất cả đều sử dụng mạch chỉnh lưu có điều khiển (dùng thyristor) với điện áp và dòng điện nạp tối đa 280V/90A. Sơ đồ khối của mạch nạp được mô tả trong Hình H.2.



H.2. Sơ đồ khối mạch điện tủ nạp ắc quy phòng nổ

Một trong những ưu điểm của tủ nạp ắc quy tàu điện mỏ đang dùng hiện nay là cấu tạo đơn giản, dễ điều chỉnh điện áp đầu ra bằng cách điều chỉnh góc mở "α" (xem Hình H.3) phù hợp với tất cả các loại tổ hợp ắc quy hiện có.



H.3. Đồ thị điện áp ra U_d phụ thuộc vào góc mở "α"

Điện áp ra được tính theo biểu thức $U_d \approx 1,35U_2 \cos \alpha$, trong đó U_2 là điện áp pha thứ cấp hiệu dụng.

Tuy nhiên do mạch thiết kế để nạp được ắc quy

tàu 12 tấn (192V) với dòng điện nạp lớn nhất 100A nhưng trong thực tế sản xuất tại các mỏ Quảng Ninh chủ yếu dùng tàu 8 tấn với điện áp ắc quy 96V nên bộ chỉnh lưu làm việc với góc mở lớn. Khi mạch chỉnh lưu làm việc với góc mở lớn (để giảm điện áp ra) sẽ tạo ra tỷ lệ sóng hài bậc cao trên biến áp lớn, làm tăng tổn hao công suất, dẫn đến quá nhiệt, làm giảm tuổi thọ máy biến áp [5].

Mặt khác, trong điều kiện có khí và bụi nổ nên toàn bộ mạch chỉnh lưu phải đặt trong vỏ phòng nổ dẫn đến việc tản nhiệt của các linh kiện trong mạch lực rất kém, dẫn đến quá nhiệt cho toàn bộ mạch chỉnh lưu. Điều đó làm giảm tuổi thọ trung bình của tủ nạp. Thực tế làm việc cho thấy tuổi thọ của tủ nạp trung bình là 1 năm.

Ở trong nước, đã có nhiều nghiên cứu chế tạo các bộ nạp ắc quy trong các ngành công nghiệp như viễn thông [1], tàu thủy [2], hệ thống năng lượng mặt trời [3].

Đi theo hướng nâng cao hiệu suất của bộ biến đổi, có một số nhiệm vụ đã được giải quyết bằng cách sử dụng công nghệ chuyển mạch tần số cao Switch Mode Power Supply (SMPS) [6].

Từ năm 1973, kỹ thuật nguồn chuyển mạch SMPS bắt đầu được sử dụng trong các bộ ắc quy công suất nhỏ. Kỹ thuật SMPS cho phép nâng cao hiệu suất của mạch nạp (giảm 34% tổn hao trên các transistor công suất, so với các mạch điều chỉnh liên tục) [6].

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế sơ đồ khối, phần cứng và phần mềm bộ nạp ắc quy

Sơ đồ khối bộ nạp ắc quy bao gồm các khối: Khối biến áp vào; Khối chỉnh lưu AC-DC; Khối biến đổi DC-DC; Khối mạch tạo xung; Khối mạch hồi tiếp; Khối nguồn phụ và khối tải tiêu thụ, được thể hiện như Hình H.4, trong đó:

✓ Khối biến áp vào là biến áp ba pha cách ly 660V/150V (điện áp pha thứ cấp $U_2 = 85V$, công suất 10kVA);

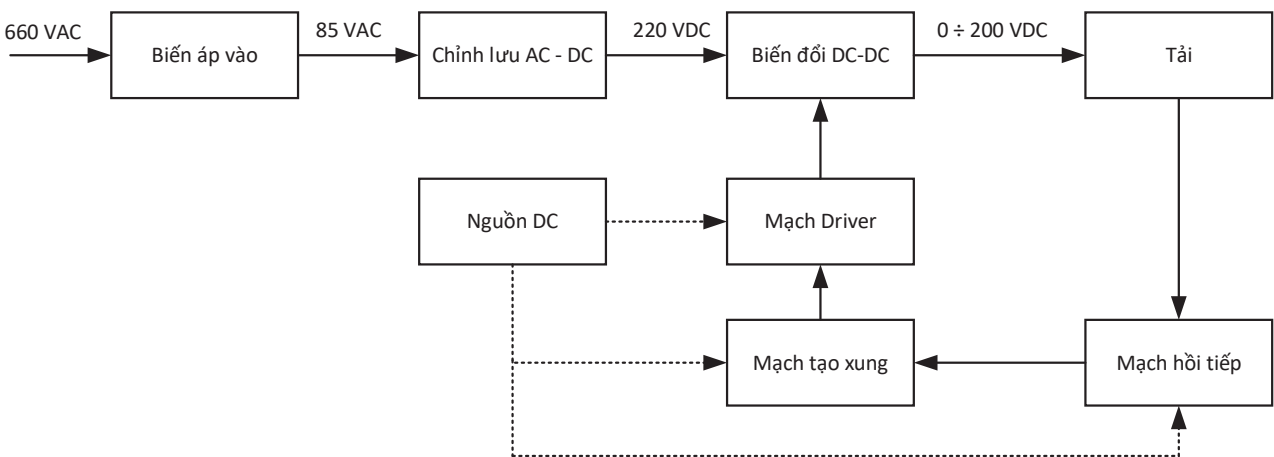
✓ Khối chỉnh lưu AC-DC là cầu chỉnh lưu 3 pha (M50100TB600 - dòng điện định mức 100A, điện áp ngược 600V), biến điện áp thứ cấp của biến áp sang điện áp một chiều $U_d = 2,34 \times U_2 = 200VDC$

✓ Khối biến đổi DC-DC với linh kiện chính là van IGBT (MG150Q2YS40, dòng điện định mức 150A, điện áp ngược 1200V) có nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều sau chỉnh lưu thành điện áp một chiều phù hợp để nạp cho tổ hợp ắc quy của tàu điện mỏ;

✓ Khối mạch tạo xung có nhiệm vụ tạo chùm xung theo kỹ thuật PWM với biên độ 3V. Xung điều khiển được đưa tới mạch lái (Gate Driver) tạo ra các mức điện áp +12VDC và -9VDC điều khiển IGBT dẫn và khóa tương ứng.

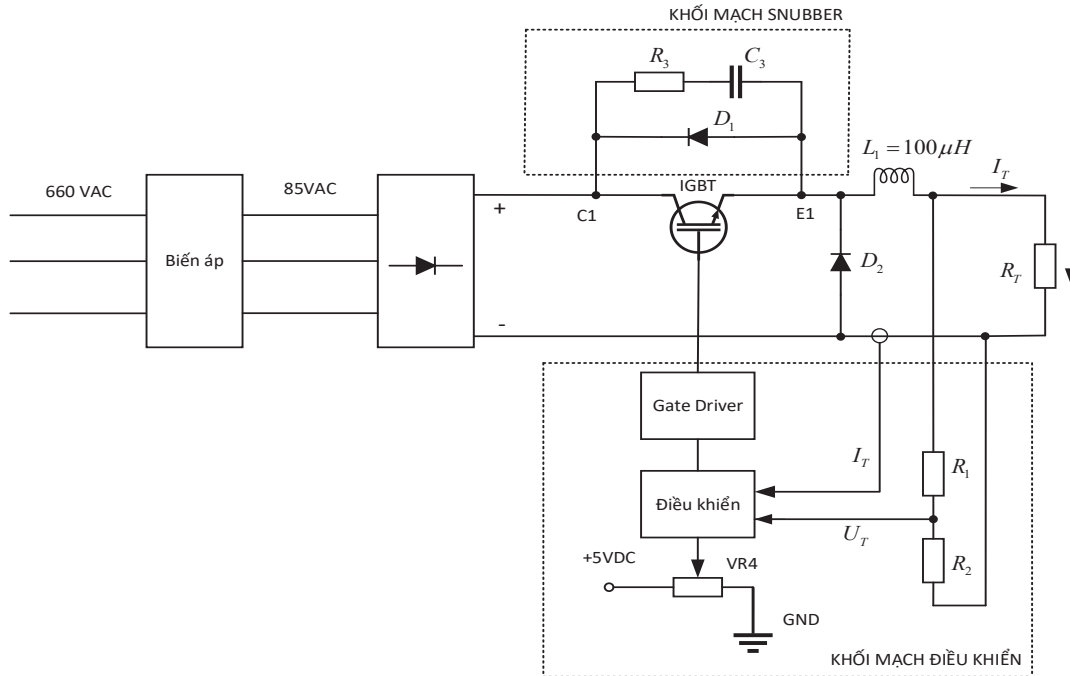
✓ Khối hồi tiếp có nhiệm vụ đo và xử lý tín hiệu dòng điện, điện áp đầu ra của mạch nạp ắc quy trước khi đưa về vi xử lý nhằm ổn định các giá trị dòng điện, điện áp nạp và bảo vệ hệ thống theo yêu cầu công nghệ nạp của mỗi loại tổ hợp ắc quy.

✓ Khối nguồn DC tạo ra nguồn cung cấp có các mức điện áp +5VDC, +12VDC, -9VDC phù hợp với các mạch chức năng.



H.4. Sơ đồ khối mạch nạp ắc quy

Từ sơ đồ khối chức năng trên, có thể đưa ra sơ đồ nguyên lý mạch như Hình H.5.



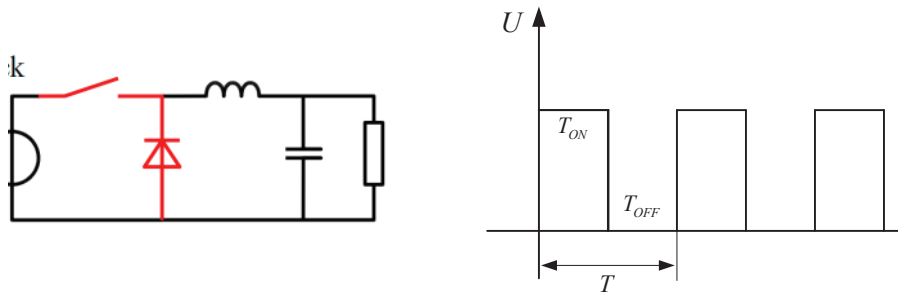
H.5. Sơ đồ nguyên lý mạch điện tử nạp ắc quy

Nguyên lý hoạt động của mạch nạp ắc quy sử dụng công nghệ băm xung áp (SMPS) như sau: Bộ điều khiển (sử dụng vi điều khiển PIC 16F877A) tạo xung điều khiển theo nguyên lý điều biến độ rộng (PWM) đưa tới mạch lái. Mạch lái có nhiệm vụ khuếch đại biên độ xung PWM

thành hai mức phù hợp để dẫn và ngắt IGBT (điện áp U_{G1E1} tương ứng là +12V và -9V). Điện áp một chiều sau chỉnh lưu (U_d) thông qua chuyển mạch C1-E1 của IGBT được điều chỉnh giảm áp theo nguyên lý PWM. Điện áp trung bình trên tải được xác định theo biểu thức:

$$U_T = \frac{T_{ON}}{T} U_2 = \gamma U_2, \quad (1)$$

Trong đó $T = 640 \mu s$ là chu kỳ chuyển mạch; T_{ON} là thời gian dẫn và ngắt IGBT; γ là hệ số điều chỉnh (độ rộng) xung điều khiển.



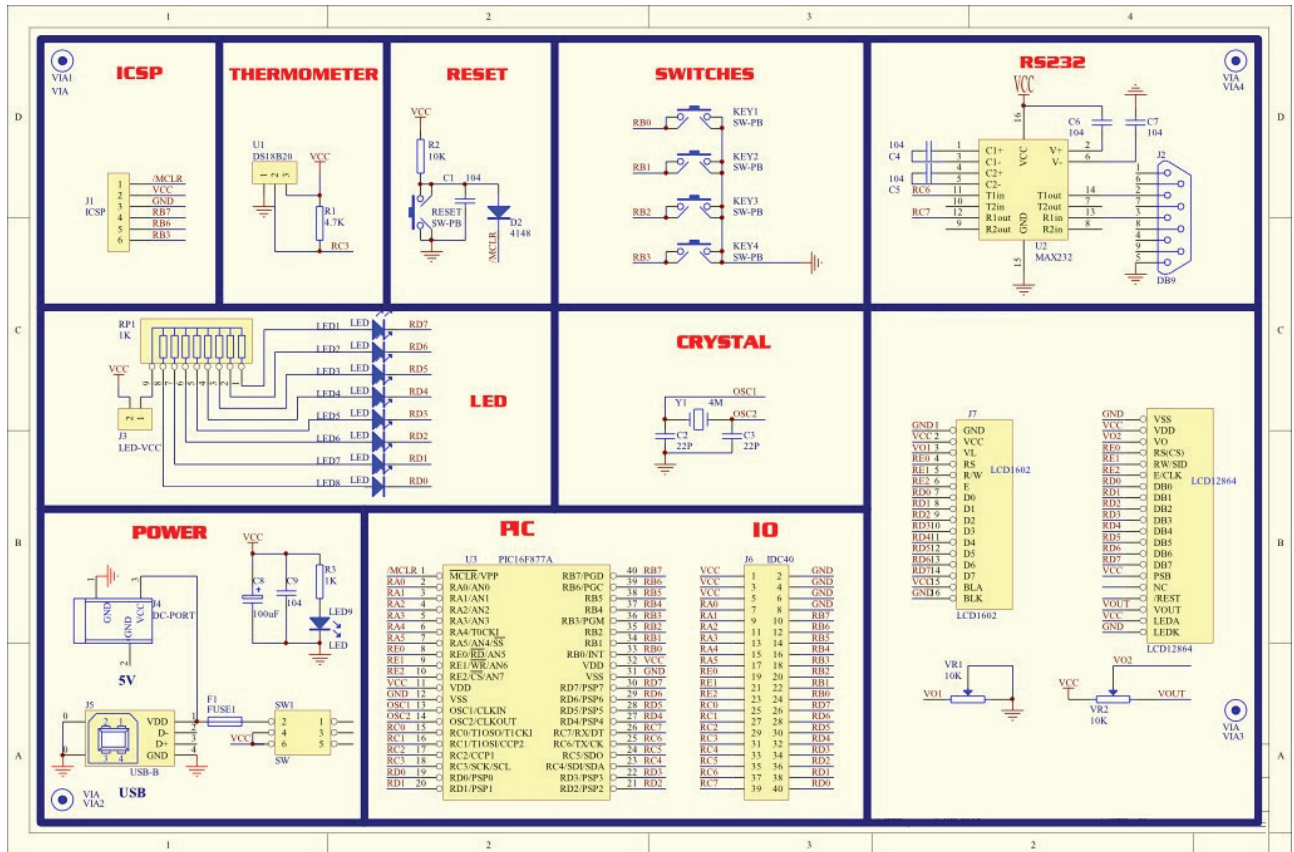
H.6. Sơ đồ nguyên lý mạch hạ áp DC-DC kiểu BUCK và đồ thị dạng xung

Điện áp sau biến đổi được lọc bởi điện cảm $L_1 = 100 \mu H$; Điốt D1 có tác dụng khép kín mạch thoát năng lượng tích trữ trong điện cảm khi van IGBT ngắt.

Tín hiệu phản hồi điện áp thông qua mạch phân áp R_1, R_2 ; tín hiệu phản hồi dòng điện thông qua cảm biến dòng điện (điện áp ra $0 \div 4V$ ứng với dòng điện vào $0 \div 50A$). Các tín hiệu phản hồi đưa

tới khối điều khiển, vì xử lý sẽ tính toán để tự điều chỉnh độ rộng xung phù hợp với giá trị điện áp và dòng điện đặt.

Khối mạch Snubber bao gồm R_3, C_3 có tác dụng bảo vệ quá điện áp cho IGBT.

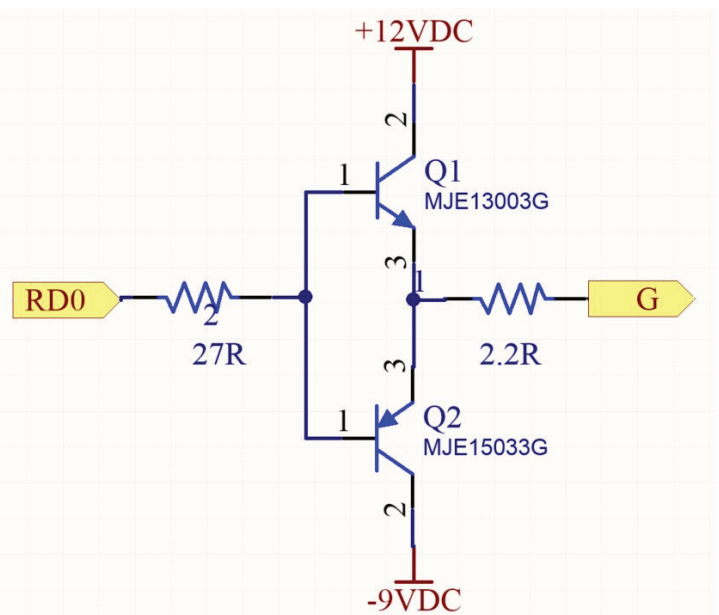


H.7. Sơ đồ nguyên lý mạch tạo xung

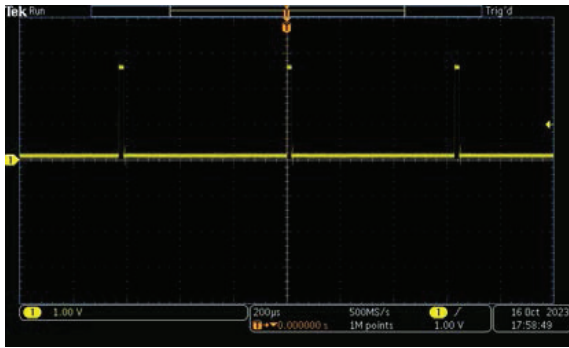
2.2. Thử nghiệm mô hình và các kết quả thu được

Mô hình mạch nạp ắc quy sử dụng công nghệ SMPS được thử nghiệm tại Phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện - Điện tử, Trường Đại học Mỏ - Địa chất với tải điện trở 220V/1200W. Nhóm tác giả thử nghiệm với các trường hợp độ rộng xung tăng dần như sau: 2% (Hình H.9); 50% (Hình H.10); 100% (Hình H.11).

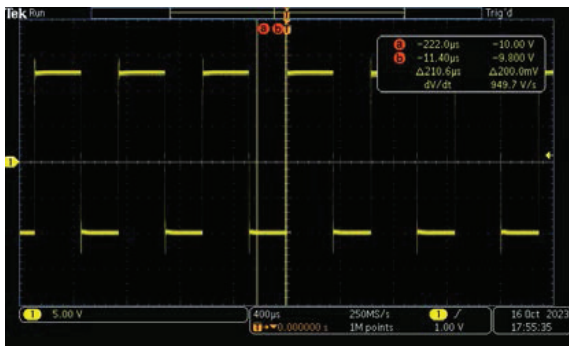
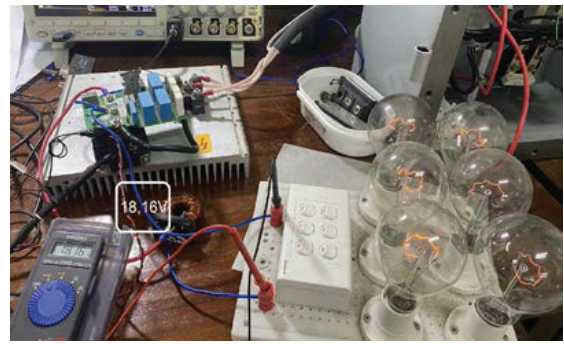
Kết quả thực nghiệm cho thấy mạch điều khiển và mạch lực của mô hình tải nạp ắc quy đã lắp đặt hoạt động ổn định; độ rộng xung có thể điều chỉnh từ 0% đến 100%. Tại thời điểm thực nghiệm, điện áp thứ cấp $U_2 = 85V$, khi độ rộng xung 100% điện áp ra trên tải là 190,9V là phù hợp với lý thuyết tính toán.



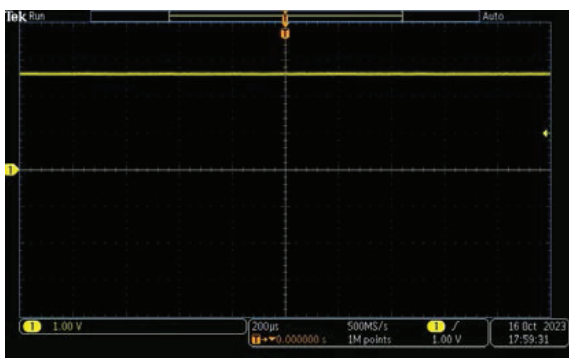
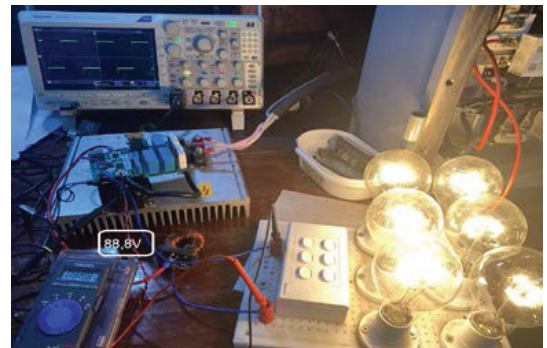
H.8. Sơ đồ nguyên lý mạch lái IGBT



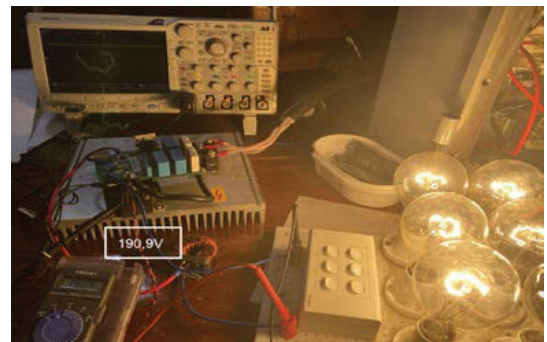
H.9. Đồ thị dạng xung ứng với độ rộng xung 2% và điện áp ra trên tải



H.10. Đồ thị dạng xung ứng với độ rộng xung 50% và điện áp ra trên tải



H.11. Đồ thị dạng xung ứng với độ rộng xung 100% và điện áp ra trên tải



3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nội dung cơ bản quá trình thiết kế và xây dựng mô hình cho tủ nạp ắc quy cỡ nhỏ sử dụng công nghệ nguồn chuyển mạch SMPS ở quy mô phòng thí nghiệm. Tủ này có thể áp dụng trong thực tế tại các mỏ than vùng mỏ Quảng Ninh để nâng cao hiệu suất và kéo dài

tuổi thọ của các tủ nạp ắc quy với điện áp từ 96V đến 192V, dòng điện 50A hoặc lớn hơn tùy theo nhu cầu. Bên cạnh đó, việc làm chủ công nghệ cũng góp phần giảm chi phí nhập khẩu thiết bị, đồng thời chủ động trong việc bảo dưỡng, sửa chữa và thay thế, từ đó làm giảm thời gian chết của thiết bị □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đỗ Trung Tá (1996). Nghiên cứu phát triển, tiếp thu công nghệ mới, thiết kế, chế tạo các hệ thống kỹ thuật phục vụ mạng viễn thông nông thôn, Nhiệm vụ cấp Quốc gia, Viện KHKT Bưu điện, Tổng cục Bưu điện.
2. Nguyễn Văn Thắng (2005). Nghiên cứu, thiết kế kỹ thuật và công nghệ chế tạo các hệ thống điều khiển truyền động điện cho máy móc và các thiết bị tàu thủy (ứng dụng thiết bị điện tử công suất lớn). Nhiệm vụ cấp Quốc gia, Công ty Cơ khí - Điện - Điện tử Tàu thủy, Bộ Công Thương.
3. Hoàng Thị Phương (2020). Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô hình hệ thống điện năng lượng mặt trời theo phương pháp tự động dò bám. Đề tài cấp bộ, mã số CB2019 - 17, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định, Bộ Lao động - Thương binh và Xã hội.
4. Trần Thanh Tuyền (2010). Nghiên cứu thiết kế, chế tạo bộ lưu điện cứu hộ cho thang máy sử dụng công nghệ Inverter công suất đến 2500VA. Nhiệm vụ khoa học cấp bộ, Viện công nghệ, Bộ Công Thương.
5. Vũ Hoàng Phương (2021). Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo bộ nghịch lưu đa mức (Inverter) sử dụng trong hệ thống điện năng lượng mặt trời công suất đến 15kW. Nhiệm vụ cấp Quốc gia - Mã số: KC.05/16-20, Viện Điện, Bộ Giáo dục và Đào tạo.
6. Rashid, M. H. (2017). Power Electronics Handbook, Elsevier Science.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường, mã số T23-03

RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURING OF MINE BATTERY CHARGERS USING SWITCH MODE POWER TECHNOLOGY

Tong Ngoc Anh, Ha Thi Chuc, Cung Quang Khang
Hanoi University of Mining and Geology

ABSTRACT

Currently, battery chargers for mine electric trains are using controlled rectifier circuits that have many disadvantages. In recent years, Switch Mode Power Supply technology has appeared to overcome most of the disadvantages of currently used rectifier chargers. The article presents some results of research, design and manufacturing of battery chargers for battery charging stations using SMPS technology. The experimental results show that the charger works stably in the pulse width adjustment range from 2% to 100%.

Keywords: Underground mine train, Battery charger, Switch Mode Power Supply technology (SMPS)

Ngày nhận bài: 14/10/2023;

Ngày gửi phản biện: 15/10/2023;

Ngày nhận phản biện: 20/11/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 25/11/2023.

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.