



NGHIÊN CỨU THIẾT LẬP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TÀU ĐIỆN ẮC QUY MỎ THEO PHƯƠNG PHÁP BẮM XUNG

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

TÓM TẮT

Tàu điện ắc quy được sử dụng rộng rãi trong các mỏ hầm lò. Trước đây điều chỉnh tốc độ tàu thường bằng mắc điện trở phụ trong mạch phản ứng của động cơ dẫn động. Phương pháp điều chỉnh bằng điện trở phụ có nhiều nhược điểm. Vào những năm cuối của thế kỷ XX, các mạch điện băm xung áp một chiều sử dụng thyristor đã được ứng dụng rộng rãi trong tàu điện nói chung và tàu điện ắc quy mỏ nói riêng. Nhờ đó, hiệu suất và tuổi thọ của hệ thống truyền động tàu điện ắc quy mỏ đã tăng lên đáng kể. Từ đầu thế kỷ XXI đến nay, một loạt các linh kiện điện tử công suất mới được phát minh và nhanh chóng đưa vào ứng dụng thực tế nên hệ thống điều khiển tàu điện trên thế giới đã có sự thay đổi cơ bản cả về lượng và chất. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo mạch điều khiển theo phương pháp băm xung sử dụng transistor có cực điều khiển cách ly (Insulated Gate Bipolar Transistor) (IGBT) dùng cho tàu điện ắc quy mỏ.

Từ khóa: tàu điện ắc quy, transistor có cực điều khiển cách ly (IGBT), băm xung áp một chiều, hệ số điện đầy xung, bộ điều khiển.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, để đảm bảo an toàn cháy nổ không khí mỏ, hầu hết các công ty than hầm lò trong Tập đoàn Công nghiệp Than- Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã chuyển sang dùng tàu điện ắc quy thay thế tàu cần vệt. Một đặc điểm chung của các tàu điện ắc quy mỏ vùng Quảng Ninh là đa phần đều do Trung Quốc sản xuất, dùng động cơ một chiều kích thích nối tiếp, cung cấp bởi ắc quy kiềm hoặc axit. Về mặt điều khiển, trước những năm 2000 hầu hết các tàu đều sử dụng công nghệ điều khiển cổ điển nhất đó là thay đổi tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch phản ứng. Phương pháp điều khiển này gây ra tổn thất điện năng đáng kể. Do điện năng dự trữ trong các tổ hợp ắc quy là có hạn, nên phương pháp điều khiển bằng điện trở phụ làm giảm thời gian vận hành đoàn tàu tính theo mỗi lần nạp ắc quy. Mặt khác, vì điều khiển bằng điện trở theo cấp nên khi chuyển đổi các cấp tốc độ sẽ gây ra xung dòng điện dẫn đến

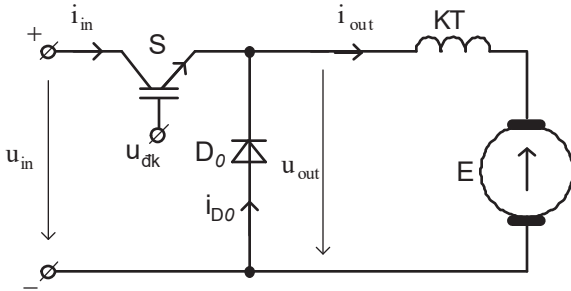
mô men động cơ thay đổi đột ngột làm giảm tuổi thọ của hộp số và các khớp nối. Những năm gần đây, các đầu tàu nhập khẩu từ Trung Quốc đã sử dụng bộ biến đổi DC/DC (băm xung áp một chiều) để thay thế cho các bộ điều khiển điện trở. Kết quả là loại tàu điện mới có thể kéo dài đáng kể thời gian hoạt động của đoàn tàu với cùng một tổ hợp ắc quy sau mỗi lần nạp điện. Tuy nhiên, các bộ điều khiển của Trung Quốc có nhược điểm là không có khả năng sửa chữa khi bị hỏng do các linh kiện không có sẵn hoặc bị xóa ký hiệu nhằm giấu công nghệ.

Vì những lý do nêu trên, nên việc nội địa hóa, làm chủ thiết kế và chế tạo bộ điều khiển mới có hiệu suất cao hơn, điều chỉnh tốc độ và mô men êm dịu hơn nhằm thay thế các bộ điều khiển điện trở trong tàu điện ắc quy mỏ hiện nay cũng như sẵn sàng thay thế cho bộ biến đổi một chiều nhập khẩu từ Trung Quốc có tính cấp thiết trong thực tế sản xuất của ngành Than Việt Nam.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

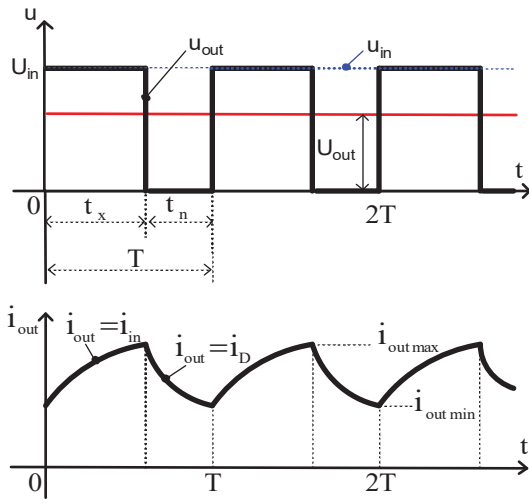
2.1 Nguyên lý băm xung áp - động cơ một chiều

Sơ đồ nguyên lý bộ băm xung áp - động cơ một chiều như trên Hình H.1.



H.1. Sơ đồ nguyên lý bộ băm xung áp – động cơ 1 chiều

Trong sơ đồ Hình H.1, ký hiệu S là khóa chuyển mạch, D_0 là điốt hoàn năng (còn gọi là điốt không), E là phần ứng và KT là cuộn dây kích từ của động cơ. Nếu giả thiết khóa S và điốt D_0 là lý tưởng, điện áp đặt vào $u_{in} = U_{in} = \text{const}$ thì khi khóa S đóng có $u_{out} = U_{in}$, khi khóa S mở có $u_{out} = 0$. Trường hợp dòng điện tải là liên tục, ta có đồ thị thời gian của điện áp và dòng trên tải của bộ băm xung như Hình H.2.



H.2. Đồ thị thời gian dòng và điện áp trên tải của bộ băm xung

Ký hiệu t_x là độ rộng xung, t_n là độ rỗng và T là chu kỳ băm xung có $t_x + t_n = T$. Nếu gọi $D = t_x / T$ là hệ số độ rộng xung hay hệ số điền đầy xung (phạm vi điều khiển), suy ra $t_x = D \cdot T$ và $t_n = (1 - D) \cdot T$. Giá trị trung bình của điện áp trên tải $U_{out} = (t_x / T) U_{in} = D \cdot U_{in}$.

Để điều chỉnh điện áp ra trung bình có thể sử dụng các phương pháp [1]:

$T = \text{const}; t_x = \text{var}$ (phương pháp điều chế độ rộng xung);

$T = \text{var}; t_x = \text{const}$ (phương pháp điều chế tần số xung);

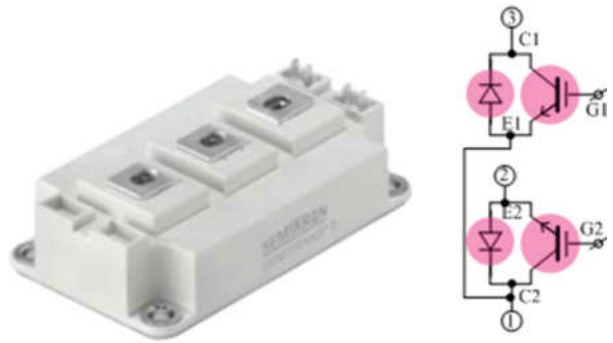
$T = \text{var}; t_x = \text{var}$ (phương pháp hỗn hợp).

Băm xung áp – động cơ một chiều cho phép khởi động và điều chỉnh tốc độ động cơ tàu mà không cần biến trở điều chỉnh. Do đó sẽ giảm tổn thất và hiệu suất có thể đạt 96%. Mặt khác, băm xung áp – động cơ một chiều còn cho phép hãm tái sinh động cơ tàu trong dải rộng của tốc độ mà không cần các bộ kích từ chuyên dụng [2]. Điều khiển bộ băm xung áp một chiều cần có phản hồi dòng điện để khoá bộ băm xung khi bị quá tải. Ở chế độ xác lập bình thường tốc độ yêu cầu xác định một khoảng dẫn tương đối. Lúc mở máy cần phải bắt đầu một khoảng dẫn để hạn chế dòng điện. Tỷ số thời gian dẫn và khoá cần phải nhỏ ở lúc mở máy động cơ và tăng dần theo tốc độ và sức phản điện của động cơ [3].

2.2 Xây dựng sơ đồ mạch lực bộ băm xung điều khiển động cơ tàu điện ác quy

Các đầu tàu điện mỏ hiện đang sử dụng ở nước ta thường dùng truyền động bằng một hoặc hai động cơ một chiều kích thích nối tiếp. Đối với truyền động hai động cơ phương pháp điều chỉnh tốc độ theo sơ đồ nối tiếp - song song. Khi khởi động hai động cơ được đấu nối tiếp nhau qua điện trở. Sau đó được chuyển sang đấu song song. Khi điều chỉnh tốc độ tàu bằng bộ băm xung có thể điều khiển song song hoặc độc lập hai động cơ. Hiện nay, sự phát triển của khoa học và công nghệ đã cho phép chế tạo được những tranzistor làm khoá điện tử gần như là lý tưởng. Điều này cho phép thực hiện được tương đối đơn giản các kỹ thuật biến đổi mà trước đây chỉ sử dụng thyristor với những hệ thống chuyển mạch rất phức tạp. Một trong những thành tựu đó là sự xuất hiện của các transistor có cực điều khiển cách ly (Insulated Gate Bipolar Transistor- IGBT) công suất lớn có thể làm việc với điện áp hàng nghìn vôn, dòng tải hàng trăm ampe. Đặc điểm của IGBT là loại cấu kiện điều khiển bằng điện áp nên chỉ cần công suất điều khiển rất nhỏ.

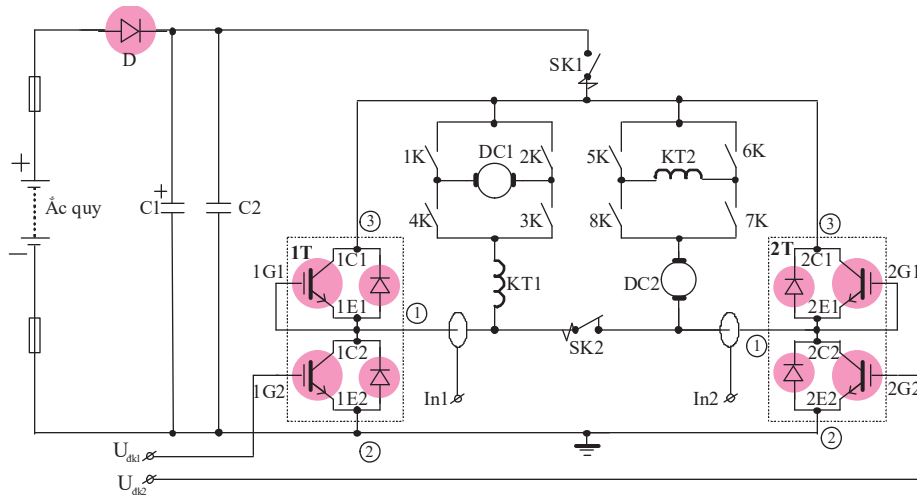
Hiện ở các mỏ vùng Quảng Ninh đang sử dụng nhiều nhất là tàu ắc quy có khối lượng bảm dính 8 tấn. Chúng tôi đã quyết định lựa chọn loại tàu này làm đối tượng nghiên cứu. Tàu 8 tấn có hai động cơ dẫn động công suất 11 kW (tàu XK-8) hoặc 15 kW (tàu CDXT-8 và TD-8), điện áp 132 V. Van lực cho hai loại tàu này chọn IGBT loại SKM400GB12V có dòng định mức bằng 400 A, điện áp 1200 V, diốt ngược có dòng định mức bằng 440 A. Hình dạng bên ngoài và sơ đồ nối dây của van như Hình H.3 [4].



H.3. Hình dạng bên ngoài và sơ đồ nối dây của IGBT SKM400GB12V

Cấu trúc bên trong của van SKM400GB12V có 02 IGBT và 02 diốt ngược. Sử dụng 01 IGBT làm nhiệm vụ khóa chuyển mạch S và 01 diốt ngược

làm diốt hoàn năng D_0 . Sơ đồ mạch lực bộ băm xung cho tàu 8T được xây dựng như Hình H.4.



H.4. Sơ đồ nguyên lý mạch lực bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy mỏ có 02 động cơ

Bảng trạng thái các chuyển mạch

Vị trí tay điều khiển	0°	30°	35°.....130°	150°
SK1		X	X X	X
Tốc độ				
K2	X			

Bảng trạng thái đảo chiều quay động cơ

Các chuyển mạch	Quay thuận (tiền)	Quay ngược (lùi)
1K 3K	X	
5K 7K	X	
2K 4K		X
6K 8K		X

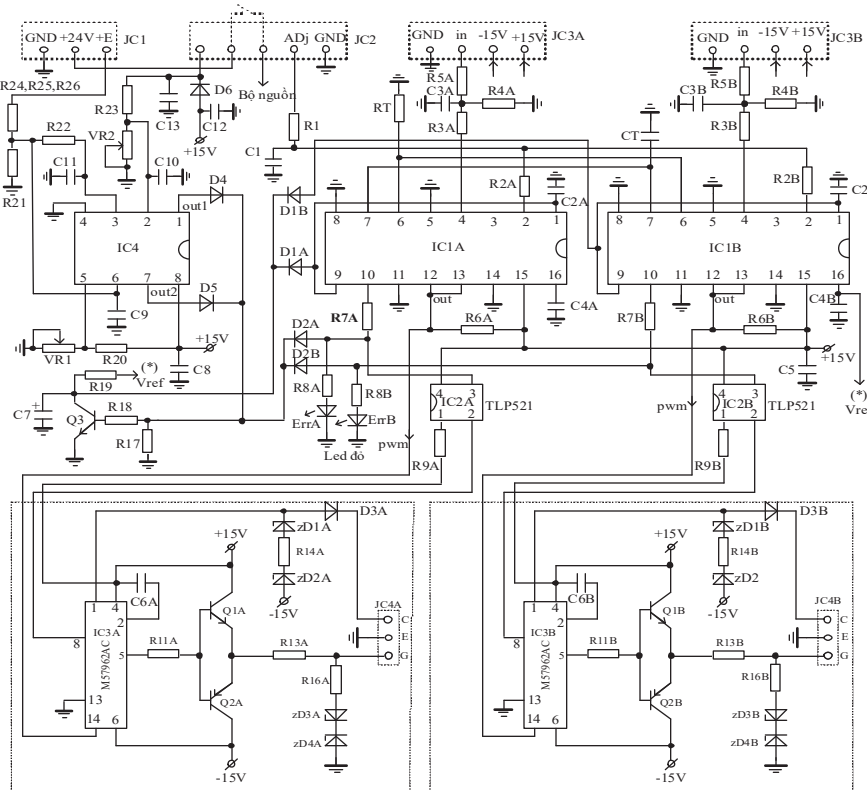
2.3 Xây dựng sơ đồ mạch điều khiển bộ băm xung

Có ba phương pháp để điều khiển bộ băm xung một chiều là phương pháp điều chỉnh độ rộng xung, phương pháp điều chế tần số xung và phương pháp hỗn hợp. Ở đây, chúng tôi lựa chọn điều khiển theo phương pháp điều chỉnh độ rộng xung (pulse width modulation- PWM). Đây là phương pháp được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực điện tử công suất, dễ dàng thực hiện và các mạch lọc không đòi hỏi chất lượng cao do nó chỉ làm việc ở một tần số cố định.

Nguyên tắc chung của mạch điều khiển theo phương pháp PWM là so sánh một điện áp U_{dk} thay đổi được với một điện áp răng cưa U_{rc} có tần số cao. Điểm cân bằng giữa U_{rc} và U_{dk} sẽ là điểm phát xung điều khiển để mở các van bán dẫn. Bằng cách thay đổi U_{dk} ta sẽ thay đổi được độ rộng xung

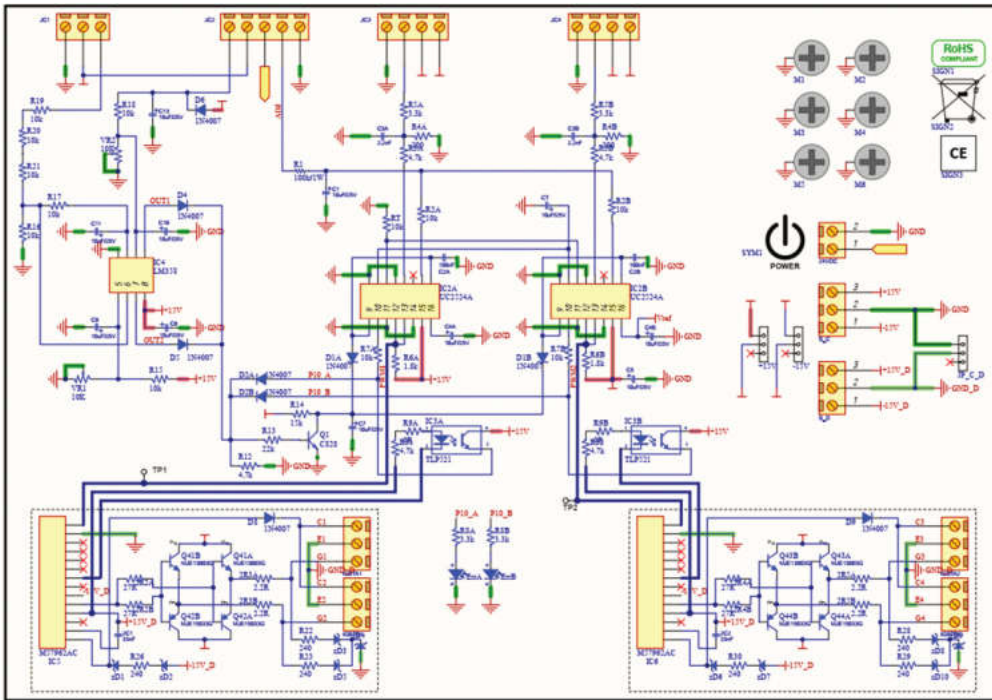
điều khiển trong khi vẫn giữ được tần số điều khiển không đổi. Các yêu cầu chung đối với mạch điều khiển bộ băm xung là: độ rộng xung điều khiển phải thay đổi được để đảm bảo phạm vi điều chỉnh D_{min} đến D_{max} tương ứng với phạm vi thay đổi điện áp ra tải của mạch lọc; độ dốc sườn trước của xung phải cao để đảm bảo van lực mở tốt; cho phép động cơ làm việc với các chế độ đã tính toán như chế độ khởi động, chế độ hãm, đảo chiều quay; có khả năng chống nhiễu công nghiệp tốt; không gây ra các nhiễu vô tuyến; độ tác động của mạch điều khiển nhanh; thực hiện các yêu cầu bảo vệ các van lực nếu cần như ngắt các xung điều khiển khi có sự cố, thông báo các hiện tượng không bình thường của nguồn và bản thân mạch điều khiển; có độ tin cậy cao.

Từ các yêu cầu trên, sơ đồ mạch điều khiển bộ băm xung được thiết kế như Hình H.5.

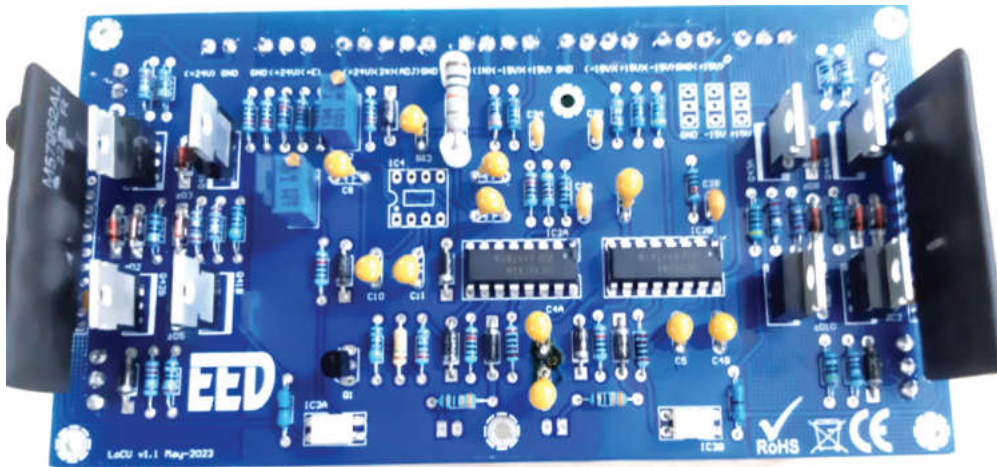


H.5. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển các van lực trong tàu điện đặc quy

Sơ đồ Hình H.5 được thiết kế gồm hai kênh điều khiển hai IGBT có dòng định mức đến 400A với cùng tần số băm xung. IC1A và IC1B là vi mạch điều chế độ rộng xung PWM loại UC2524A. IC2A và IC2B là vi mạch cách ly quang (opto-coupler) loại TLP521. IC3A và IC3B là vi mạch khuếch đại xung Driver loại M57962AL. IC4 là vi mạch khuếch đại thuật toán loại LM358 được sử dụng làm mạch bảo vệ quá áp và thấp áp cho động cơ tàu. Cặp transistor Q1, Q2 là tầng đệm để nâng công suất điều khiển van lực.



H.6. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung trong Altium Designer



H.7. Hình ảnh bo mạch điều khiển bộ băm xung đã chế tạo

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

➢ Bộ băm xung với sơ đồ mạch lực Hình H.4 và sơ đồ mạch điều khiển Hình H.5 đã được chúng tôi thiết kế và chế tạo. Hình H.6 là sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung được thiết kế trên phần mềm Altium Designer 17.1. và Hình H.7 là bo mạch điều khiển đã chế tạo;

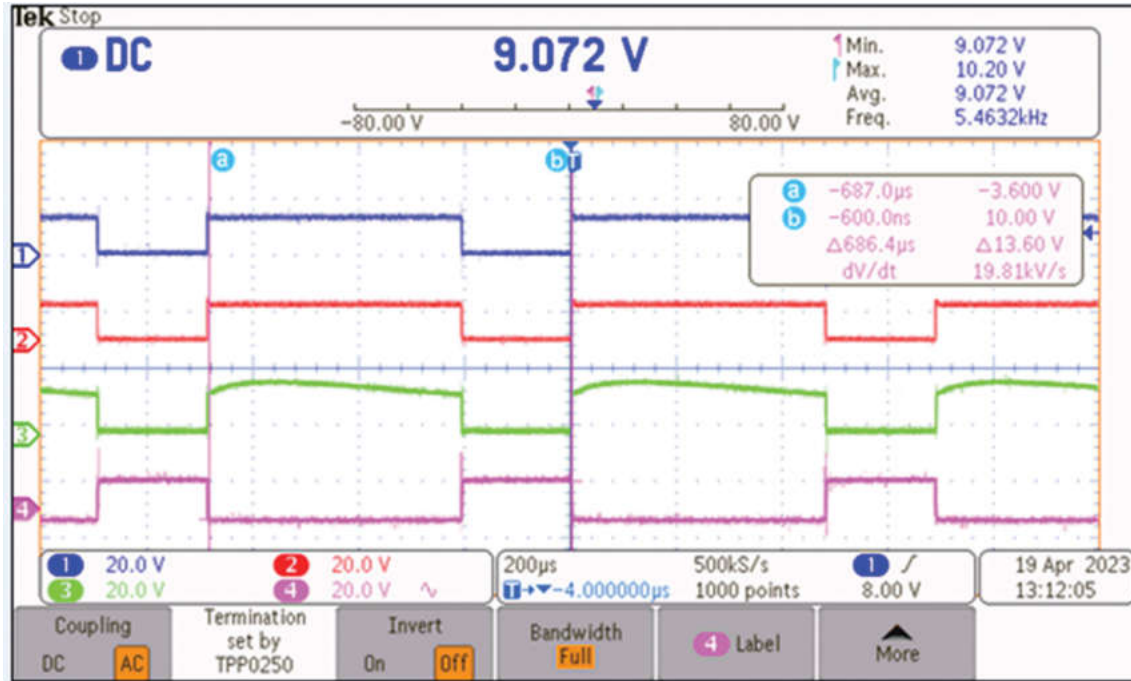
➢ Mạch đã được thử nghiệm tại phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện - điện tử của trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tải thử nghiệm của bộ băm xung là hai động cơ một chiều công suất mỗi động cơ 5kW, điện áp 220V. Kết quả đo các tín

hiệu khi thử nghiệm được mô tả trên Hình H.8;

➢ Kết quả thử nghiệm cho thấy các thông số kỹ thuật đạt được tương đương với bộ điều khiển loại ZBT - 2x150/140 của Trung Quốc. Khi điện áp đưa tới đầu Adj của bộ điều khiển thay đổi từ 0.5V đến 4V, phạm vi điều khiển D thay đổi được từ 0 đến 90%. Kết quả này phù hợp với tay ga loại JDS-1 đang được sử dụng trong các tàu điện ắc quy của Trung Quốc. Đầu vào cảm biến dòng In được thiết kế với điện áp tối đa là 4V, tương thích với biến dòng CSK3-300A/4V;

➢ Với tầng đệm dùng cặp transistor Q1A và Q2A loại MJE15032 và MJE15033 mạch có thể điều khiển van lực IGBT có dòng định mức đến 800A.

Vi vậy có thể sử dụng bo mạch đã chế tạo điều khiển bộ băm xung dùng cho tàu điện ác quy có khối lượng bám dính 12 tấn;



H.8. Các tín hiệu đo bằng máy hiện sóng

(đường 1 - Tín hiệu ra chân 12 và 13 của IC1, đường 2 - Tín hiệu ra chân 5 của IC2, đường 3 - Tín hiệu chân C của van lực, đường 4 - Tín hiệu cực điều khiển G của van lực)

➢ Có thể dùng vi mạch PWM loại SG2524A hoặc TL494 thay cho vi mạch UC2524A. Trường hợp sử dụng vi mạch TL494 cần bổ sung thêm mạch khoá dưới điện áp. Vi mạch Driver M57962AC có thể thay bằng loại tương đương hoặc thiết kế mạch Driver không dùng vi mạch chức năng. Khi thiết kế mạch Driver không dùng vi mạch chức năng cần chú ý đến mạch bảo vệ khoá van IGBT qua vùng không bão hoà;

➢ Mạch điều khiển đã chế tạo có thể thay thế các mạch điều khiển tàu điện ác quy của Trung Quốc

trọng tải từ 2,5T đến 12T đang sử dụng ở các mỏ.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm bộ băm xung áp một chiều được trình bày trong bài báo có thể áp dụng để thiết kế, chế tạo các bộ điều khiển không tiếp điểm cho các tàu điện ác quy mỏ. Hướng nghiên cứu tiếp theo là thiết kế, chế tạo bộ chuyển mạch phù hợp và vỏ phòng nổ cho thiết bị. Những kết quả nghiên cứu này sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Birdinnhec L.V. (1974), Biến đổi xung dòng một chiều, “Năng lượng”, Moskva 1974 (bản tiếng Nga).
2. Birozencô V.X. (1981), Tàu điện mỏ với truyền động thyristor, “Kỹ thuật”, Kiev 1981 (bản tiếng Nga).
3. Cyril W. Lander (Lệ Văn Doanh dịch) (1994), Điện tử công suất và điều khiển động cơ điện, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
4. SEMIKRON_DataSeet_SKM400GB12V_22892083(IGBT400).
5. UNITRODE CORPORATION, Advanced Regulating Pulse Width Modulators UC 2524A.



RESEARCH ON THE ESTABLISHMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR MINE LOCOMOTIVES
BY THE METHOD OF IMPULSE CHOPPING

Kim Ngoc Linh, Nguyen Thac Khanh, Nguyen Tien Sy,
Nguyen Truong Giang, Kim Thi Cam Anh

ABSTRACT

Battery locomotives are widely used in underground mines. In the past, speed control was usually done by connecting an auxiliary resistor in the armature circuit of the drive motor. This type of motor speed control has many disadvantages. In the last years of the Twentieth Century, DC-chopper based on the thyristors have been widely applied to electric trains in general and mine locomotives in particular. As a result, the efficiency and service life of the mine battery locomotive drive system have been significantly increased. From the beginning of the 21st Century to the present, a series of new power electronic devices have been invented and quickly put into practical application, so that the train control systems have seen a fundamental change in both quantity and quality. This paper presents some results of research, design, and manufacture of a control circuit based on the pulse chopping method using an Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) for mine battery locomotives.

Keywords: battery locomotive, Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), DC- pulse chopper, pulse filling factor, control system.

Ngày nhận bài: 27/6/2023;

Ngày gửi phản biện: 28/6/2023;

Ngày nhận phản biện: 18/7/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2023.

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.