

THIẾT KẾ BỘ NGUỒN CÔNG SUẤT LỚN CHO ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU CỦA NGƯ LÔI SỬ DỤNG PIN LITHIUM-ION

The design on a high power battery pack for a torpedo dc motor using lithium-ion cells

TS. Nguyễn Huy Hùng⁽¹⁾, ThS. Tống Nhật Phương⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Sài Gòn

⁽²⁾Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

TÓM TẮT

Bài báo thiết kế bộ nguồn công suất lớn cho động cơ một chiều của ngư lôi sử dụng pin lithium-ion đề xuất phương án tạo ra bộ nguồn có điện áp cao, dòng xả lớn bằng cách kết nối các tế bào pin loại NMC có điện áp danh định là 3.7V và dung lượng 30Ah. Các tế bào pin được giám sát bởi các bộ giám sát pin (BMS: Battery Management System) để đảm bảo sự an toàn của các tế bào pin và nâng cao tuổi thọ của bộ nguồn. Việc kết nối các tế bào pin được thực hiện bởi kết cấu cơ khí cứng vững, dạng module có khả năng chống va đập. Các thông số yêu cầu của khối nguồn được kiểm tra bằng thực nghiệm đảm bảo tính khả thi của phương án được đề xuất.

Từ khóa: hệ thống giám sát pin, nguồn công suất cao, pin lithium-ion, pin lithium NMC, pin lithium phốt phát sắt (LiFePO4)

ABSTRACT

In this paper, an approach is proposed for the design on a high power battery pack for a torpedo DC motor using Lithium-ion cells. The battery pack is done by using serial NMC cells with nominal voltage 3.7V and capacity 30Ah. A battery management system (BMS) is required to monitor each cell of the battery pack within the appropriate operating range, which guarantees a safe operation and a longer life of the battery pack. The cells are linked together by mechanical parts to protect an impact. The proposed approach verifies its validity by the experimental battery pack parameters.

Keywords: battery management system, high power battery pack, lithium-ion cell, lithium nikel manganese cobalt oxide cell (NMC), lithium iron phosphate cell

Giới thiệu

Trong những năm gần đây nhằm hiện đại hóa vũ khí cho lực lượng Hải quân. Các trung tâm, viện nghiên cứu của Hải quân cho ra đời nhiều sản phẩm nghiên cứu khoa học như thiết kế chế tạo hệ động lực cho ngư lôi set-40 hay set-50. Trong đó phần quan trọng nhất trong hệ động lực là nguồn

cung cấp cho động cơ điện để đẩy quả ngư lôi hướng đến mục tiêu. Trước đây các hệ nguồn cho các ngư lôi của Nga viện trợ đều sử dụng ắc-quy và chỉ sau một vài năm đã phải thay mới gây lãng phí, tốn kém. Mặt khác nhược điểm của ắc quy là chỉ có thể sử dụng 60% năng lượng được tích trữ nên để đạt được dung lượng mong muốn thì

kích thước và trọng lượng của ắc quy đều lớn.

Hệ thống nguồn cung cấp một chiều công suất lớn và có hiệu suất cao được sử dụng hiện nay là sử dụng các tế bào pin lithium-ion được ứng dụng rất nhiều trong lĩnh vực xe điện [1-4]. Pin lithium-ion có mật độ công suất cao trên đơn vị trọng lượng, có hiệu suất nạp, xả cao và tuổi thọ dài hơn so với ắc quy [5]. Tuy nhiên loại pin này đòi hỏi rất khắt khe về điện áp. Nếu điện áp sạc cho pin vượt quá điện áp cực đại cho phép và khi xả vượt quá điện áp cực tiểu sẽ gây ra hư hỏng pin. Để kéo dài tuổi thọ của pin cần phải có hệ thống quản lý việc nạp và xả của pin gọi là BMS (Battery Management System) để giám sát từng tế bào pin nhằm đảm bảo rằng nó luôn ở trong vùng điện áp hoạt động an toàn [6], [7]. Để tạo ra điện áp mong muốn các tế bào pin sẽ được mắc nối tiếp với nhau. Do mắc nối tiếp nên khi xả hoặc sạc điện các tế bào pin có điện áp vẫn phải nằm trong phạm vi an toàn. Nếu có bất kỳ một tế bào pin nào nằm ngoài vùng an toàn thì bộ BMS sẽ ngắt dòng xả hoặc dòng nạp.

Trong các ứng dụng công suất cao thì ngoài việc mắc nối tiếp để đạt được điện áp mong muốn thì việc mắc song song các tế bào pin hoặc mắc song song nhiều nhánh nối tiếp để tạo ra bộ nguồn có dung lượng lớn. Tuy nhiên do dòng xả rất lớn nên vấn đề nhiệt cũng cần phải được quan tâm xử lý và trong bài báo này đề xuất phương án tạo ra khối pin có điện áp là $90V \pm 10V$ với dòng phóng liên tục lên đến 560A trong thời gian 8 phút 30 giây đồng thời vẫn phải đảm bảo khối lượng không quá 105Kg, nhiệt độ không quá 70 độ. Các kết quả đo được thực nghiệm chứng minh sự hợp lý

của phương án được đề xuất.

1. Đặt vấn đề

Trong quả ngư lôi SET-40U cần có bộ nguồn DC cung cấp cho động cơ điện DC với công suất 38Kw để đẩy quả ngư lôi tiến đến mục tiêu với các yêu cầu chỉ tiêu kỹ thuật như sau:

- Điện áp: $90V \pm 10V$;
- Dòng phóng liên tục: $560A \pm 10A$;
- Thời gian phóng là 8 phút 30 giây;
- Kích thước của bộ pin: dài 1075 ± 5 mm; rộng: 340 ± 2 mm; cao 300 ± 2 mm;
- Trọng lượng của bộ nguồn: ≤ 105 Kg;
- Có cơ cấu hiệu chỉnh trọng tâm theo phương ngang và dọc;
- Nhiệt độ làm việc $\leq 70^{\circ}C$;
- Tuổi thọ: 5 năm;
- Hệ thống BMS giám sát từng tế bào pin.

2. Thiết kế khối nguồn công suất cao

2.1. Lựa chọn tế bào pin

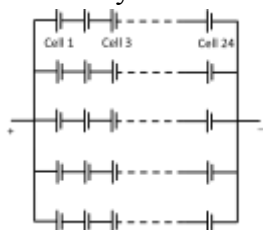
Hiện tại có hai dòng pin lithium phổ biến là loại Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$) và Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ($LiNiMnCoO_2$) - NMC. Loại $LiFePO_4$ có điện áp danh định của một tế bào là 3.2V, trong khi loại NMC có điện áp danh định là 3.7V. Cả hai loại này đều có rất nhiều dung lượng khác nhau tương ứng với từng tế bào nhưng có trọng lượng là như nhau khi cùng dung lượng. Giả sử cùng là loại dung lượng 30Ah thì trong trọng lượng của cả hai loại tế bào pin $LiFePO_4$ và NMC là như nhau. Vì thế việc chọn lựa loại tế bào NMC sẽ cho số lượng tế bào ít hơn hẳn loại $LiFeO_4$ và vì trọng lượng cũng là một trong những chỉ tiêu cần xem xét nên loại tế bào NMC được ưu tiên chọn với các thông số như Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Thông số của pin lithium loại NMC

Thông số	Giá trị
Dung lượng	30Ah
Điện áp hoạt động	2.75V–4.2V
Kích thước	Đày: 6.05 ± 0.15 mm, rộng 161 ± 0.5 mm, cao: 230.5 ± 0.5 mm
Số lần nạp xả	> 2000 lần
Dòng xả liên tục lớn nhất	174A
Dòng xả lớn nhất dạng xung	232A
Trọng lượng	505 15g

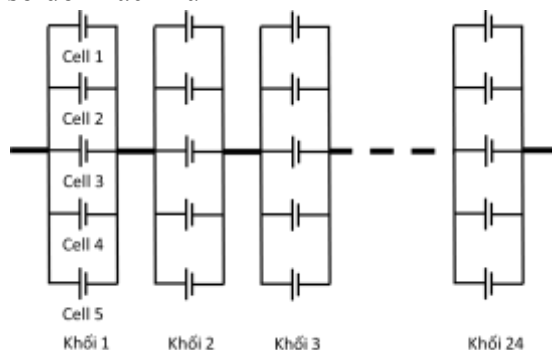
2.2. Sơ đồ kết nối điện

Để đạt yêu cầu điện áp $90V \pm 10V$ sử dụng tế bào pin loại NMC có thông số như Bảng 1 thì cần phải mắc nối tiếp 24 tế bào pin thì vùng điện áp hoạt động sẽ là 66V đến 100.8V bao trọn vẹn vùng điện áp yêu cầu là 80 đến 100V. Theo yêu cầu là dòng phóng liên tục 560A trong 8 phút 30 giây thì bộ nguồn cần có dung lượng > 80Ah. Tuy nhiên theo datasheet của pin NMC được cung cấp từ nhà sản xuất A123 thì trong phạm vi từ 2.75V đến 3.3V thì dung lượng trữ trong tế bào là gần 8Ah vì thế một nhánh với 24 tế bào mắc nối tiếp sẽ cho dung lượng 22Ah trong vùng điện áp từ 80V đến 100V. Như vậy cần tối thiểu là 4 nhánh với 24 tế bào nối tiếp mắc song song để đạt dung lượng theo yêu cầu. Nhưng để đạt hệ số an toàn thì số nhánh được chọn trong phương án đề nghị là 5 nhánh với sơ đồ như Hình 1 dưới đây:



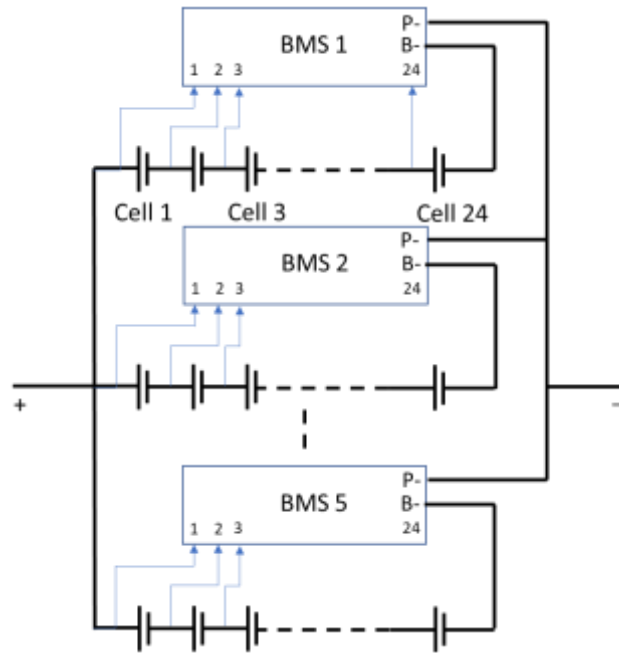
Hình 1. Sơ đồ nối dây giữa các tế bào pin theo phương án 5 nhánh

Theo sơ đồ hình 1 các tế bào nối tiếp và dòng xả của mỗi nhánh hay của từng tế bào là 112A nhỏ hơn giá trị cho phép của tế bào NMC là 174A. Ngoài ra có thể chọn sơ đồ khác như hình 2



Hình 2. Sơ đồ nối dây giữa các tế bào theo phương án 24 khối

Trong Hình 2, 5 tế bào được nối song song thành một khối và nối tiếp 24 khối lại với nhau cũng sẽ tương đương sơ đồ ở Hình 1. Giải pháp này có ưu điểm chỉ cần sử dụng một bộ BMS với 24 ngõ vào để giám sát tất cả các tế bào, nhưng nhược điểm là giữa các khối sẽ có dòng 560A đi qua và điều này sẽ làm nóng các thanh dẫn hoặc các thanh dẫn phải có kích thước rất lớn làm chiếm chỗ không gian, gia tăng trọng lượng tổng của khối nguồn. Do đó giải pháp ở Hình 1 với các BMS giám sát được đề xuất để thực hiện như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ nối dây giữa các tế bào của phương án đề xuất

Trong Hình 3 gồm có 5 nhánh và mỗi nhánh có 24 tế bào. Trong mỗi nhánh có một bộ BMS có 24 ngõ vào được nối đến 24 tế bào để giám sát điện áp trên từng tế bào. Ngõ ra B- của bộ BMS được nối đến cực âm của một nhánh và giữa chân P- với B- trên BMS là các MOSFET mắc song song. Khi các MOSFET dẫn thì chân P- và B- xem như nối tắt (thông mạch). Các MOSFET được điều khiển ngắt bởi bộ điều khiển trên BMS khi điện áp trên bất kỳ tế bào nào ở ngõ vào quá thấp hoặc quá cao hoặc dòng vượt quá 120A. Lúc này

xem như một nhánh của bộ nguồn được cách ly. Các chân P- của các BMS được nối với nhau và đưa đến chân âm của tải hoặc chân âm của nguồn sạc. Cực dương của các nhánh được nối lại với nhau và được nối đến cực dương của tải hoặc của bộ sạc.

2.3. Thiết kế cơ khí

Khối nguồn được chia thành 5 khối nhỏ. Mỗi khối là 24 tế bào pin được mắc nối tiếp với nhau. Các tế bào pin của mỗi khối nhỏ được lắp lên khung đỡ cách ly như Hình 4a và Hình 4b.



a



b

Hình 4. Một khối gồm 24 tế bào nối tiếp được thiết kế trên solidworks

Tương tự thực hiện cho 5 khối và các khối này sẽ được đặt vào 1 khung bảo vệ và được nối với nhau theo sơ đồ Hình 3

bằng các thanh dẫn như Hình 5. Hình dạng khối pin hoàn chỉnh được thiết kế trên solidworks được thể hiện ở Hình 6



Hình 5. Các thanh dẫn tạo thành các điện cực được thiết kế trên solidworks



Hình 6. Khối nguồn hoàn chỉnh với nắp đậy và khung bảo vệ được thiết kế trên solidworks

3. Kết quả thực hiện

Hệ thống được thực hiện tại xưởng cơ khí chính xác của Phòng thí nghiệm trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

3.1. Gia công mạch in nối dây từ các tế bào đến bộ BMS

Trong quá trình thi công việc nối dây

từ các bản cực của tế bào về BMS sẽ làm số lượng dây rất nhiều và do các bản cực sẽ nóng lên do dòng lớn nên các dây sẽ bị hỏng lớp nhũ cách điện. Để khắc phục điều này một board mạch được thiết kế như Hình 7 áp sát vào các bản cực và thay thế các dây dẫn. Sử dụng connector để nối từ board mạch về BMS.



Hình 7. Mạch in thay thế dây nối từ các tế bào về BMS

3.2. Kết quả đo kiểm

- Kích thước thực tế: 1075x340x300;
- Trọng lượng: 96Kg;
- Điện áp: max 100V, min 80V;
- Dòng điện xả: dao động từ 540A đến 580A do sử dụng tải dung dịch muối. Nên khi nước muối nóng lên làm tăng khả năng dẫn;
- Thời gian xả cho đến khi BMS ngắt

mạch: 12 phút;

- Nhiệt độ đo được tại các bản cực khi dòng lên trên 500A ở phút thứ hai là 55⁰C và được giữ nguyên giá trị đến sau 10 phút xả;
- Với dòng nạp là 15A thì thời gian sạc đầy là khoảng 6 tiếng.

Khối nguồn đúng kích thước và được đưa hoàn toàn vào bên trong của quả ngư lôi như Hình 8.



Hình 8. Khối nguồn công suất cao được đưa vào bên trong quả ngư lôi

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất phương án tạo ra khối nguồn công suất lớn bằng cách ghép nối tiếp 24 tế bào pin và ghép song song 5 nhánh 24 tế bào pin để đạt điện áp là 90V±10V với dòng phóng liên tục lên đến

560A trong thời gian 12 phút. Kết quả này hoàn toàn thỏa mãn yêu cầu đặt ra là thời gian xả chỉ là 8 phút 30 giây. Trọng lượng của khối nguồn sau khi thực hiện ít hơn yêu cầu 9Kg. Điều này chứng tỏ giải pháp được đề xuất là phù hợp với yêu cầu thiết kế được đặt ra.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống và được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2020-20b-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F. P. Tredeau, B. G. Kim, Z. M. Salameh, “Performance evaluation of lithium cobalt cells and the suitability for use in electric vehicles”, in *Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf. VPPC*, 2008, 1–5.
- [2] H. Qian, J. Zhang, J.-S. Lai, W. Yu, “A high-efficiency grid-tie battery energy storage system”, *IEEE Trans. Power Electron*, 26(3), 886–896, 2011.

- [3] J. D. Dogger, B. Roossien, F. D. J. Nieuwenhout, “Characterization of Li-ion batteries for intelligent management of distributed gridconnected storage”, *IEEE Trans. Energy Convers*, 26(1), 256–263, 2011.
- [4] M. Zheng, B. Qi, H. Wu, “A Li-ion battery management system based on CAN-bus for electric vehicles”, in *Proc. 3rd IEEE Conf. Industrial Electronics and Applications ICIEA 2008*, 2008, 1180– 1184.
- [5] F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, “Design of a module switch for battery pack reconfiguration in high-power applications”, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1330 – 1335, 2012.
- [6] Manenti, A. Abba, A. Merati, S. M. Savaresi, A. Geraci, “A new BMS architecture based on cell redundancy”, *IEEE Trans. Ind. Electron*, 58(9), 4314–4322, 2011.
- [7] H. Kim, K. Shin, “DESA: Dependable, efficient, scalable architecture for management of large-scale batteries”, *IEEE Trans. Ind. Informat*, 99, 2011.

Ngày nhận bài: 11/11/2020

Biên tập xong: 15/3/2021

Duyệt đăng: 20/3/2021