

THIẾT KẾ HỆ THỐNG PIN LƯU TRỮ LITHIUM-ION CHO THIẾT BỊ KHÔNG NGƯỜI LÁI DƯỚI NƯỚC

STUDY ON DESIGN OF LITHIUM-ION BATTERY SYSTEM FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE

Huỳnh Minh Nhật^{1, 2, 3}, Nguyễn Tiến Minh Khôi^{1, 2, 3}, Lâm Hoàng Anh^{2, 3},

Trương Công Toại^{1, 2, 3}, Nguyễn Danh An⁴, Dương Văn Tú^{1, 2, 3},

Nguyễn Huy Hùng⁵, Nguyễn Tấn Tiến^{1, 2, 3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁴Bộ Tư lệnh Vùng 2 Hải quân

⁵Khoa Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Bài viết này trình bày thiết kế bộ nguồn công suất cao cấp dòng cho động cơ đẩy trên phương tiện không người lái dưới nước (AUV). Bộ nguồn được thiết kế bằng cách mắc nối tiếp các cell pin Lithium có khả năng xả dòng cao để đạt được điện áp mong muốn. Các cầu nối giữa các cell pin phải đảm bảo đủ tiết diện để dẫn dòng điện lớn. Ngoài ra, một hệ thống giám sát bộ nguồn (BMS) cũng cần phải có để giám sát và cân bằng điện áp giữa các cell pin. BMS sẽ ngắt dòng tải ra khỏi bộ nguồn khi điện áp trên một cell pin quá thấp khi xả và ngắt dòng sạc ra khỏi bộ nguồn khi điện áp trên một cell pin quá cao. Các kết quả đo được từ thực nghiệm chứng minh thiết kế đảm bảo yêu cầu cho ứng dụng của AUV trong thực tế.

Từ khóa: Pin Lithium-ion; Hệ thống quản lý pin; An toàn pin; Thiết kế mô đun; Thiết bị không người lái dưới nước.

ABSTRACT

This paper proposed a design of a battery with large power. The battery supplies high current to a motor assembled in an automotive underwater vehicle (AUV). To achieve the specific voltage, Lithium cells with high discharge current were connected serially. There exists a connector between two consecutive cells and high current can pass through the connector with large cross-section. In addition, a battery management system (BMS) was utilized to monitor and balance voltage between cells. BMS cut off charge or discharge current when cell was over-voltage or lower-voltage respectively. Experimental results demonstrated that the design of the battery is effective for AUV applications in practice.

Keywords: Lithium-ion battery; Battery management system; Battery safety; modular design; Autonomous underwater vehicles.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương tiện tự hành dưới nước (AUV) là một thiết bị tiên tiến có khả năng tự thân hoạt động bên trong môi trường nước. Chúng ngày càng được quan tâm hơn bởi sự đóng góp rất lớn trong các lĩnh vực như thám hiểm, khảo sát môi trường nước, hoặc các ứng dụng quân sự [1]. Tuy nhiên, vấn đề cung cấp năng lượng cho AUV đã luôn là một hạn chế rất lớn ảnh hưởng đến sự phát triển của chúng. Đặc biệt là khi xu hướng phát triển đang hướng tới các AUV có kích thước nhỏ cùng với tốc độ vượt trội [2].

Mặc dù có nhiều loại năng lượng khác nhau, đối với AUV cỡ nhỏ, pin sơ cấp và thứ cấp là nguồn năng lượng thông dụng nhất [3]. Trong đó, pin lithium là lựa chọn hàng đầu kể cả đối với các thiết bị điện tử hay các thiết bị tự hành nhờ vào mật độ năng lượng, công suất cao, cùng với vòng đời lớn, và thân thiện với môi trường [4].

Mặt khác, tính hiệu quả cũng như độ an toàn khi sử dụng pin lithium là những hạn chế rất lớn kìm hãm sự phát triển của pin [5]. Vì vậy, trong bộ nguồn sử dụng pin lithium thì một hệ thống quản lý các cell pin lithium là cần thiết để có thể điều khiển bộ nguồn hoạt động ở điều kiện tối ưu nhất. Nhiều chức năng của hệ thống quản lý các cell pin đã được nghiên cứu và phát triển [5].

Bài viết này tập trung vào thiết kế bộ nguồn công suất cao có dòng phóng lớn trong một khoảng thời gian mà vẫn đảm bảo điện áp không thay đổi quá nhiều. Phần II sẽ mô tả yêu cầu về kích thước và các thông số cần thiết của bộ nguồn. Phần III đề xuất thiết kế của một hệ thống hoàn chỉnh giúp đảm bảo việc giám sát và bảo vệ trong quá trình vận hành sạc xả của bộ pin. Phần IV trình bày kết quả của các thực

nghiệm đo dòng xả và kết quả giám sát bộ pin. Phần V cuối cùng sẽ đưa ra kết luận cho bài báo và tổng kết các kết quả đã thực hiện được.

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

2.1. Khung chịu lực cho hệ thống pin

AUV được vận hành trong môi trường nước, nên tải trọng và kích thước của hệ thống pin phải được đảm bảo nằm trong vùng sai số cho phép của nhà sản xuất đề ra. Bên cạnh đó, phần khung của AUV được thiết kế để có thể hoạt động được trong môi trường có áp suất lớn từ bên ngoài, nên không gian bên trong của các khoang sẽ bị giới hạn.

Khoang chứa pin của AUV có đường kính ϕ , chiều dài l . Hệ thống pin được đặt vào bên trong khoang trên 2 ray trượt song song cách nhau khoảng cách d và được cố định bằng một hệ giằng giảm chấn.

2.2. Các thông số yêu cầu của bộ nguồn

Bộ nguồn công suất lớn cung cấp dòng xả cao cho động cơ đẩy của AUV có các thông số cơ bản như Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của bộ nguồn cần thiết kế

Thông số	Giá trị
Điện áp danh định, V	90 ± 10
Dòng xả liên tục, A	560 ± 10
Dung lượng, Ah	100
Bảo vệ quá sạc	Có
Bảo vệ quá xả	Có
Điện trở cách điện, M Ω	> 20



3. THIẾT KẾ ĐỀ XUẤT

3.1. Thiết kế cơ khí cho bộ pin

3.1.1. Hệ pin

Thành phần chính dùng để thiết kế bộ nguồn là các cell pin lithium loại LiFePO4 có điện áp danh định là 3.2V. Đây là loại pin có mức độ an toàn và dung lượng phù hợp. Để bộ nguồn đạt được điện áp danh định như bảng 1 thì cần phải mắc nối tiếp 29 cell pin LiFePO4 lại với nhau. Các cell này được chọn loại có dung lượng lớn 100Ah có trên thị trường để đáp ứng yêu cầu về dung lượng và đặc biệt là loại cell này phải có khả năng xả lớn hơn 5 lần dung lượng ($> 5C$) của nó để đạt dòng xả cao. Ở đây cell được chọn là dòng xả 8C.

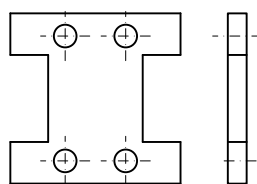
3.1.2. Cầu nối các cell pin

Để kết nối các cell pin theo dạng mắc nối tiếp thì giữa các cell phải có cầu nối với yêu cầu là đảm bảo được khả năng dẫn dòng điện lớn. Cầu nối được thiết kế bằng đồng với yêu cầu diện tích mặt cắt ngang và diện tích tiếp xúc là hai yếu tố tiên quyết ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất truyền tải dòng điện.

Diện tích mặt cắt ngang tối thiểu khi thiết kế cực đồng được tính bằng công thức sau [6]:

$$S_{cs} = \frac{I}{J_{cs}} = \frac{560}{6} \approx 93,33 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

Với, S_{cs} : Diện tích mặt cắt ngang, mm^2 ;
I: Cường độ dòng điện, A; J_{cs} : Mật độ dòng điện qua một đơn vị diện tích mặt cắt ngang, A/mm^2 , được chọn là 6A/mm^2 cho vật liệu đồng [7]. Ngoài ra, diện tích tiếp xúc cần gấp ít nhất năm lần diện tích mặt cắt ngang để mang lại khả năng truyền tải điện năng tốt nhất [8].



Hình 1. Cầu nối "I"

Tùy theo cách bố trí các cell pin mà các cầu nối sẽ khác nhau, tuy nhiên vẫn phải đảm bảo yêu cầu về tiết diện và diện tích tiếp xúc. Trong khuôn khổ bài báo này chỉ trình bày một loại cầu nối dạng chữ I có chiều dày là 5mm như Hình 1.

3.1.3. Khung chịu lực cho hệ thống pin

Khung chịu lực sẽ đóng vai trò chính trong việc bảo vệ và nâng đỡ cho hệ thống pin bên trong. Vật liệu được sử dụng cho khung chịu lực phải đảm bảo được độ nhẹ, độ bền, độ cứng, và chống được oxy hóa, nên thép không gỉ SUS 304 là một giải pháp về mặt vật liệu tối ưu nhất dành cho hệ thống.

Không gian bên trong của khung chịu lực phải đủ không gian cho toàn bộ hệ pin và mạch quản lý pin. Vách khung sẽ được khoét lỗ để giảm bớt trọng lượng nhưng vẫn đảm bảo độ bền cần thiết [9]. Ngoài ra, trên khung sẽ có thêm các thanh gân tăng cứng chạy dọc theo hai bên khung, tăng tính đảm bảo kết cấu.

Bảng 2. Công thức đục lỗ

Thông số	Giới hạn
$\frac{D_c}{D_0}$	$1,08 < \frac{D_c}{D_0} < 1,50$ (2)
$\frac{d_g}{D_0}$	$1,25 < \frac{d_g}{D_0} < 1,75$ (3)

Với, D_c : Khoảng cách tâm, mm; D_0 : Đường kính lỗ, mm; d_g : Chiều cao vách, mm.

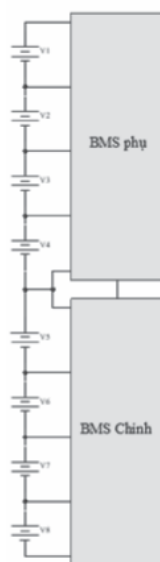


Hình 2. Hệ khung đỡ chính

Ở hai phía đầu, đuôi của khung sẽ có thêm hệ gá chữ “U” dùng để kết nối với hệ giằng giảm chấn trên AUV, đồng thời đóng vai trò như tay cầm dùng để vận chuyển hệ thống. Các loại cực đồng đầu ra điện ra cũng được đặt tại hệ gá này. Ở phía bên dưới khung cũng được thiết kế thêm con trượt bằng nhựa để trượt vào ray trượt trên AUV. Có tổng cộng 08 ray trượt được đặt chia đều hai bên khung.

3.2. Thiết kế hệ thống quản lý pin

Do bộ nguồn có số lượng cell nối tiếp lớn (29 cell) nên cấu hình cho BMS được chọn là cấu hình chính-phụ như hình 5, trong đó các BMS phụ chỉ thực hiện việc đo các thông số điện áp, nhiệt độ và truyền thông.



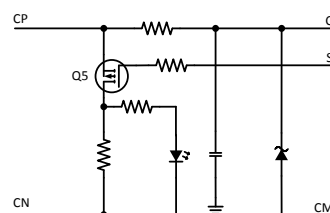
Hình 3. Mạch giám sát điện áp các cell

BMS chính nhận các dữ liệu từ các BMS phụ, thực hiện việc tính toán và truyền thông đến các BMS phụ.

Thành phần đo lường và quan sát thông số pin là chức năng cơ bản và quan trọng nhất của hệ thống quản lý khối nguồn và được thiết kế bằng vi mạch LTC6813-1. Vi mạch này cho phép dải đo điện áp của cell $0 \div 5V$, phù hợp với hầu hết các loại cell pin hiện có trên thị trường. Bên cạnh đó, LTC6813-1 đo điện áp có độ chính xác cao lên đến $\pm 2.2mV$.

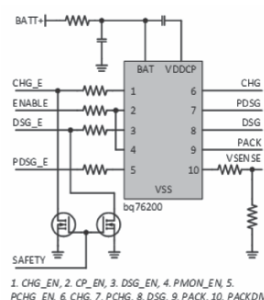
Giao tiếp giữa vi mạch LTC6813-1 với vi điều khiển là giao thức Serial Peripheral Interface (SPI).

Ngoài ra, để tăng dòng cân bằng thụ động nhằm giảm thời gian cân bằng thì mạch cân bằng bên ngoài được đề xuất như hình 4.



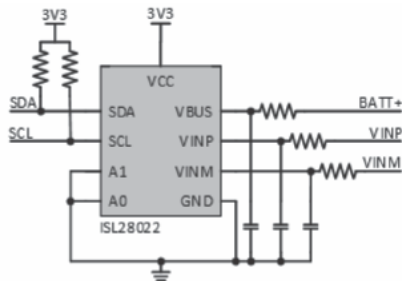
Hình 4. Mạch cân bằng điện áp cell

Một tính năng cần thiết nữa của bộ BMS là quản lý sạc xả cho khối nguồn. Vi mạch BQ76200 được sử dụng cho tính năng này như Hình 5.



Hình 5. Mạch điều khiển sạc, xả

Mạch quản lý sạc và xả dựa vào cảm biến dòng điện qua tải hay dòng điện sạc và đồng thời cũng dựa vào điện áp trên các cell được thu thập từ LTC6813-1.

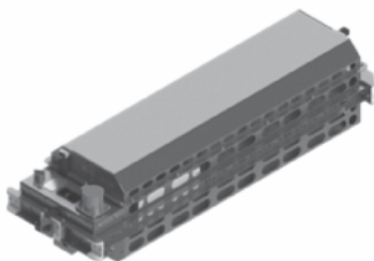


Hình 6. Mạch giám sát công suất

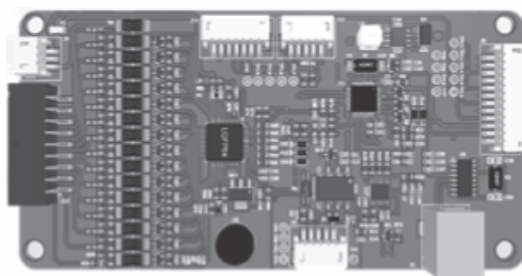
Giá trị dòng điện được điện trở shunt biến đổi thành điện áp và vi mạch ISL28022FUZ đọc và đưa về vi điều khiển giá trị điện áp này như sơ đồ mạch ở Hình 6 thông qua giao tiếp I2C.

4. THỰC NGHIỆM

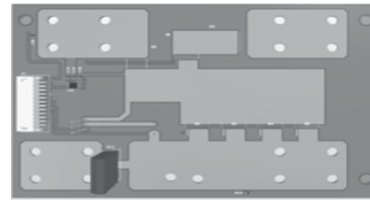
Hệ thống pin được thiết kế và thực nghiệm tại DCSELab như Hình 7.



a. Hình dạng tổng thể



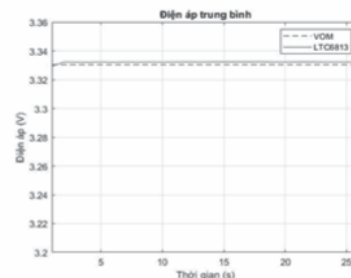
b. Mạch quản lý pin (BMS)



c. Mạch công suất

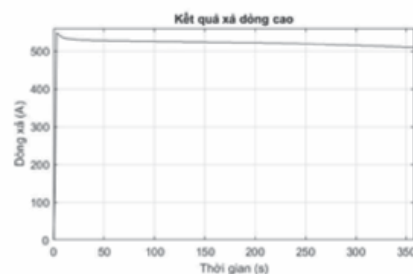
Hình 7. Hệ thống pin thực nghiệm

Các chức năng của hệ thống được xây dựng trên thuật toán không được trình bày ở bài báo này. Mục đích của thiết kế phần cứng là thu thập các thông số và giám sát các thông số cần thiết cho việc tính toán cũng như áp dụng các thuật toán phức tạp về sau.



Hình 8. Kết quả đo điện áp trung bình

Điện áp trung bình thu được từ các cell bằng hệ thống quản lý pin và và kết quả thu được từ đồng hồ đo điện áp thực tế của từng cell cho trên Hình 8. Sai số cách biệt chưa đến 5mV (0,13%) đã chứng minh tính đúng đắn và độ chính xác trong việc giám sát điện áp của hệ thống quản lý.



Hình 9. Kết quả đo cường độ dòng điện của quy trình xả 560A

Dòng xả lên đến hơn 500A được duy trì trong thời gian 350s chứng minh thiết kế vẫn đảm bảo dòng xả cao trong thời gian dài vẫn hoạt động ổn định như trên Hình 9.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thiết kế bộ nguồn có khả năng cho dòng phóng cao. Với thiết kế có khả năng mở rộng và phương án tách board công suất ra khỏi board điều khiển, là đề xuất cho thiết kế an toàn và ổn định cho các bộ nguồn có dòng phóng lớn. Vấn đề hoàn thiện trên thiết bị thực tế đang được tiếp tục triển khai tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM (DCSELab).

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2023-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 25/8/2023

Ngày phản biện: 08/9/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. J.W. Nicholson, A.J. Healey (2008); *The Present State of Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Applications and Technologies*, Marine Technology Society Journal, Vol 42, No.1.
- [2]. J.G. Bellingham (2009); *Platforms: Autonomous Underwater Vehicles*, Encyclopedia of Ocean Sciences (Second Edition), pages 473-48.
- [3]. A.M. Bradley, M.D. Feezor, H. Singh, and F. Yates Sorrell (2001); *Power Systems for Autonomous Underwater Vehicles*, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 26, no. 4, pp. 526-538.
- [4]. D. Xu, W. Lifang, và Jianyang (2010); *Research on Li-ion Battery Management System*, Proc. of Int'l Conf. on Electrical and Control Eng. (ICECE2010), pp.4106-4109. doi: 10.1109/ICECE.2010.998.
- [5]. M. Shen and Q. Gao (2019); *A Review on Battery Management System from the Modeling Efforts to Its Multiapplication and Integration*, Int'l Journal of Energy Research, Vol.43, No.10, John Wiley and Sons Ltd, pp.5042-5075. doi: 10.1002/er.4433.
- [6]. Yong Liu, Dan Kinzer (2011); *Power Electronic Packaging, 12th Intl. Conf. on Thermal, Mechanical & Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems*, Linz, Austria, pp. 1/9-9/9, doi: 10.1109/ESIME.2011.5765799.
- [7]. A.I. Pressman, K.H. Billings, Taylor. Morey (2009); *Switching power supply design, United States of America*, ISBN 978-0-07-148272-1.
- [8]. Power guidem 2009/ Book 12 (2009); *Busbars and distribution*.
- [9]. Trương Việt Hùng và cộng sự; *Tính toán thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn Mỹ ANSI/AISC 360-16*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, số 1, 2020.