

Sử dụng năng lượng tái tạo trên tàu thủy

■ GS. TSKH. THÂN NGỌC HOÀN

Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT: Bài báo trình bày tổng quan việc kết hợp năng lượng tái tạo (năng lượng điện gió và năng lượng điện mặt trời) và chuyển lưới điện dòng xoay chiều trên tàu thủy sang sử dụng lưới điện một chiều. Việc sử dụng điện gió và điện mặt trời đồng thời chuyển lưới điện xoay chiều sang lưới điện một chiều trên tàu thủy có nhiều ưu thế đem lại hiệu quả kinh tế và giảm thải khí nhà kính.

TỪ KHÓA: Năng lượng tái tạo, lưới điện một chiều, điều khiển, quản lý năng lượng.

ABSTRACT: The paper presents the combined use of renewable energy (wind power and solar power) and the conversion of the AC power grid to the DC grid on ships. Using wind and solar power and converting the AC grid to DC power grid on ships has many advantages, bringing economic efficiency and reducing greenhouse gas emissions.

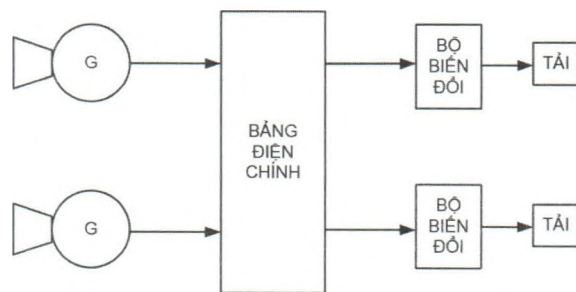
KEYWORDS: Renewable energy, DC power grid, control, management energy system.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc sử dụng năng lượng từ khoáng sản thải ra môi trường khí làm ô nhiễm môi trường, biến đổi khí hậu trái đất. Năng lượng điện gió, năng lượng điện mặt trời (PV) là những dạng năng lượng sạch, thân thiện với môi trường, được áp dụng ngày càng tăng trên thế giới. Nhằm mục đích sử dụng tiết kiệm năng lượng từ hóa thạch, nâng cao hiệu quả khai thác tàu, giảm khí thải nhà kính, nghiên cứu sử dụng năng lượng mặt trời, năng lượng gió cho tàu thủy đã được thực hiện và bước đầu được áp dụng [3, 4, 6]. Khi sử dụng năng lượng tái tạo cho tàu thủy nên chuyển từ lưới điện dòng xoay chiều sang dòng một chiều DC vì lưới DC có nhiều ưu điểm. Tuy nhiên, để khai thác lưới điện một chiều trên tàu thủy cần giải quyết một loạt vấn đề về quản lý, điều khiển và bảo vệ. Bài báo đề cập tới những nội dung này.

2. HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG ĐIỆN DÒNG XOAY CHIỀU TRÊN TÀU THỦY

Hình 2.1 là giản đồ hệ thống dòng điện xoay chiều AC trên tàu thủy. Các máy phát đồng bộ 3 pha được lai bởi các động cơ diesel tạo công suất dòng điện xoay chiều 3 pha. Qua một hệ thống cầu dao đưa vào bảng phân điện chính, từ bảng điện này được cấp cho các phụ tải khác trên tàu.



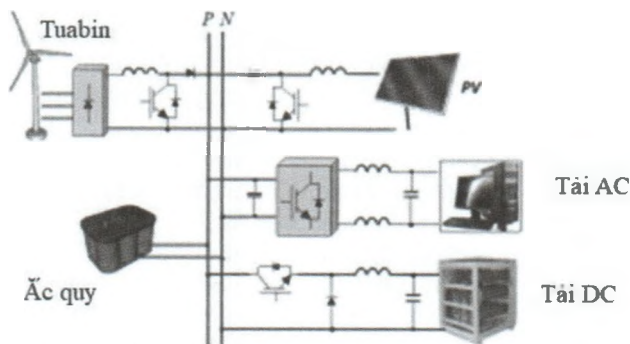
Hình 2.1: Sơ đồ khối lưới điện AC trên tàu thủy

Hệ thống này có nhược điểm như sau:

- Các tổ máy phát điện phải làm việc với tốc độ cố định, nên hạn chế cải thiện hiệu suất sử dụng nhiên liệu;
- Cấu tạo nguồn AC gây ra các vấn đề về công suất phản kháng không mong muốn và chất lượng nguồn không đảm bảo;
- Các máy biến áp tần số thấp chiếm nhiều không gian và trọng lượng trên tàu.

3. HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY KẾT NỐI VỚI NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Năng lượng mặt trời, điện gió là loại năng lượng dòng DC không liên tục. Sự xuất hiện các nguồn phát DC như mảng PV, năng lượng gió, hệ thống lưu trữ năng lượng tạo một vi lưới dòng một chiều. Việc nghiên cứu lưới điện một chiều đã tạo ra các phương pháp mới trong điều khiển, quản lý và tối ưu hóa khai thác cho phép ứng dụng lưới điện một chiều trên tàu thủy [3].



Hình 3.1: Mạch điện tàu thủy kết nối năng lượng tái tạo

Hình 3.1 là sơ đồ cấu trúc một mạng lưới điện một chiều nối nguồn điện tái tạo dùng trên tàu thủy. Hệ thống gồm: tổ máy phát diesel phát năng lượng AC, qua chỉnh lưu, nối lưới DC. Nối với cáp DC gồm nguồn tua-bin gió qua chỉnh lưu, nguồn phát PV qua bộ nâng điện áp và bộ tích

năng lượng. Phía tải có tải AC và tải DC. Tải AC nối lưới qua bộ biến tần, tải DC nối qua bộ biến đổi. Tất cả hình thành lưới điện tích hợp (IPS).

Lưới điện tàu thủy khi tích hợp năng lượng tái tạo sẽ khai thác như lưới điện một chiều DC. Lưới điện này có những ưu điểm sau:

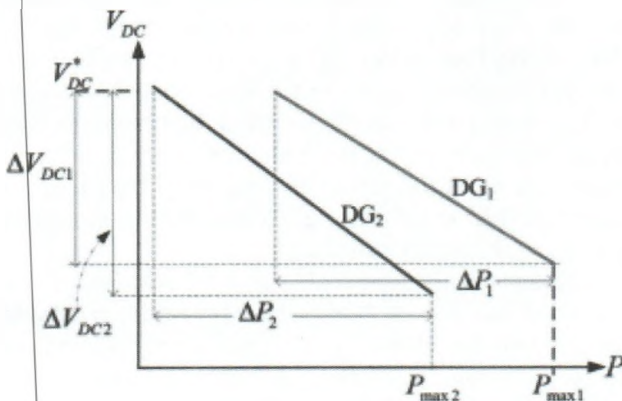
- Không dùng máy biến áp tần số thấp, dùng máy biến áp điện tử công suất nhỏ gọn;
- Đưa nguồn một chiều vào làm việc song song hoặc ngắt khỏi lưới dễ dàng;
- Không có vấn đề về sóng điều hòa và mất cân bằng;
- Không cần đồng bộ hóa.

Do không có công suất kháng trong phân phối DC, tổn hao điện trở cáp giảm. Do không cần đồng bộ hóa nên các máy phát nhanh chóng được nối vào lưới DC. Việc phân chia công suất giữa các tổ máy phát phụ thuộc vào đặc tính ngoài của các máy phát (Hình 3.2), có thể biểu diễn như sau [5]:

$$V_{DGI} = V_{DC}^* - \beta_{vi} P_i \quad (1)$$

Trong đó: β_{vi} - Hệ số tỷ lệ; P_i - Hiệu công suất tác dụng tại điểm đặt và công suất thực tế; V_{DGI} và V_{DC}^* - Điện áp đo được và giá trị tham chiếu, $i = 1, 2, \dots, n$; n - Số nguồn phát. Hệ số β_{vi} phải được điều chỉnh thích hợp theo giá trị định mức của máy phát (DG) và điều kiện hoạt động nhất định vì độ dốc lớn sẽ cho phép chia sẻ điện năng tốt hơn. Tính chất này biểu diễn trên Hình 3.2. Khi tích hợp lưới (IPS), tất cả các tải được cấp điện từ thanh cái chung, nên cho phép xử lý tải và nguồn phát tối ưu và hiệu quả. Điều khiển lưới điện cần thực hiện tối ưu hóa, tự động phát hiện nhiễu loạn hệ thống. Bộ lưu điện trong lưới tích hợp hoạt động như một nhánh phản hồi, giúp lưu trữ một lượng lớn năng lượng và trong những điều kiện cần huy động năng lượng lớn sẽ được sử dụng như một nguồn dự phòng. Khi có sự thay đổi về tải hoặc sự cố ở lưới điện, IPS sẽ cung cấp quản lý thời gian thực để hỗ trợ hệ thống [1].

Đặc tính của hệ thống điện tích hợp rất giống với vi lưới làm việc chế độ ốc đảo. Hệ thống cân bằng công suất ở tàu thủy tương đối yếu do nguồn phát có công suất xấp xỉ tải. Áp dụng lưới điện một chiều làm tăng khả năng tồn tại, giới hạn dòng sự cố, có thể dùng máy phát diesel tốc độ cao, hiệu suất cao nên cải thiện hiệu quả sử dụng nhiên liệu của hệ thống, giúp cải thiện môi trường của trái đất.



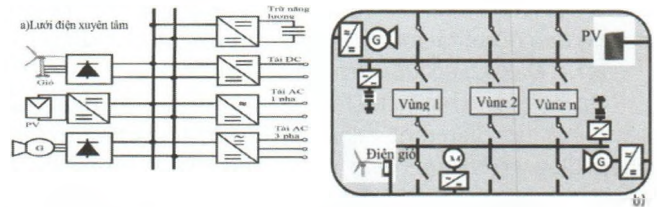
Hình 3.2: Đặc tính ngoài của máy phát DC [5]

4. LƯỚI PHÂN PHỐI DÒNG MỘT CHIỀU TRÊN TÀU THỦY

Lưới phân phối điện dòng một chiều trên tàu thủy được xây dựng theo hai nguyên lý: loại xuyên tâm và loại vòng (Hình 4.1).

Hệ thống xuyên tâm có một trạm phát điện tại tâm của các tải.

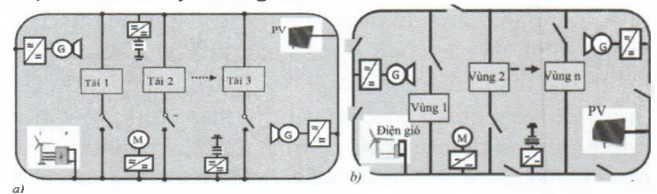
Dòng điện chỉ theo một hướng, khi sự cố xảy ra dẫn đến mất cung cấp cho nhiều bộ phận (Hình 4.1a). Khi có sự thay đổi ở nguồn phát sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến tải làm dao động điện áp, độ tin cậy và ổn định giảm. Hệ thống phân phối theo vòng (Hình 4.1b), dòng năng lượng chạy theo đường đi ngắn nhất hoặc đường đi tối ưu, tức là bất cứ nơi nào xảy ra sự cố trong hệ thống, sẽ được cách ly bằng cắt nguồn gần nhất còn các bộ phận khác vẫn hoạt động bình thường.



Hình 4.1: Cấu trúc lưới điện phân phối tàu thủy

Ngoài ra, cáp vòng còn cho phép tải quan trọng lấy năng lượng từ nhiều nguồn qua bộ chuyển mạch thông thường nhiều điểm tiếp xúc hoặc bộ chuyển đổi nhiều đầu nối. Do đó, tải quan trọng được bảo đảm không bị gián đoạn hoạt động.

Cấu trúc vòng được chia thành các vùng điện tương ứng, nối với các cáp cung cấp ở hai bên cổng và mạn phải (Hình 4.2). Như vậy, một số lớn tải trọng khu vực được cấp điện từ cả hai bên tàu để tăng cường độ tin cậy. Nên chọn giá trị định mức của cáp một chiều là 6 kV vì kích thước và trọng lượng các thiết bị lắp đặt trên tàu bị giới hạn do không gian hạn chế. Đôi khi không bố trí cầu dao trên cáp vòng mà ở trên đường dây cấp điện cho các khu để khi có sự cố sẽ ngắt điện tối thiểu. Phải có thông tin giữa các công tắc để khi có sự cố thì lưới điện DC cung cấp được dòng điện theo bất kỳ hướng nào.



Hình 4.2: Cấu trúc của lưới điện tàu thủy phân vùng: a) - Sử dụng cáp 2 bên; b) - Sử dụng cáp song song

5. ĐIỀU KHIỂN LƯỚI PHÂN PHỐI DÒNG MỘT CHIỀU TRÊN TÀU THỦY

5.1. Sử dụng công nghệ lưới thông minh cho lưới điện tàu thủy tích hợp nguồn phát tái tạo

Lưới điện tàu thủy tích hợp nguồn năng lượng tái tạo đảm bảo hoạt động của hệ thống không bị gián đoạn. Ở lưới điện này, khi công suất tải tăng hoặc yêu cầu công suất hỗ trợ truyền động điện sẽ sử dụng công suất của nguồn tái tạo để đáp ứng yêu cầu đúng vị trí và đúng thời điểm.

Thực tế, động cơ diesel phát điện vẫn là nguồn năng lượng điện chính của tất cả các ứng dụng hàng hải. Tuy nhiên, những biến động tức thời ở phía tải sẽ phá vỡ sự cân bằng giữa phát điện và tiêu thụ điện, sẽ làm giảm tiết kiệm nhiên liệu. Sự hiện diện của các nguồn tái tạo có thể điều khiển bơm năng lượng hai chiều vào hệ thống để đạt được điều hòa công suất tải, điều chỉnh hiệu suất nhiên liệu.

5.1.1. *Giám sát sự cố hệ thống*

Việc giám sát và bảo vệ hệ thống phải được đặt lên hàng đầu. Khi hệ thống hoạt động ở trạng thái ổn định, giám sát sự cố và bảo vệ phải đảm bảo các thiết bị làm việc trong giới hạn cho phép. Khi có dao động hoặc thay đổi tải đột ngột, công suất phát sẽ thay đổi. Khi có dao động của điện áp hoặc dòng điện phải loại bỏ ngay lập tức. Các thiết bị đo lường được lắp đặt tại các cực máy phát điện, tải và trên thanh cái DC và đều đặt ngưỡng để phát hiện những dao động tại một vùng xác định và phát tín hiệu.

5.1.2. *Điều khiển lưới điện tàu thủy*

Do đưa năng lượng tái tạo xuống tàu nên lưới điện tàu bây giờ là lưới điện một chiều. Có thể sử dụng các phương pháp điều khiển lưới điện một chiều trên đất liền hoạt động ở chế độ ổ đảo để điều khiển lưới điện tàu. Lưới điện một chiều hiện được vận hành theo hướng thông minh hóa trên cơ sở sử dụng công nghệ thông tin và truyền thông để tối ưu truyền dẫn, phân phối điện năng cho các tải. Lưới điện thông minh sẽ cho phép thực hiện điều khiển phân tán, thành các vi lưới sử dụng các loại thiết bị lưu trữ năng lượng khác nhau. Từ góc độ điều khiển và quản lý việc tích hợp năng lượng tái tạo cũng cần có một qui định kích thước phù hợp cho hệ thống điện trên tàu, để hiệu suất và công suất phát của tàu đạt tối ưu. Bằng điều khiển phối hợp giữa nguồn năng lượng tái tạo và nguồn phát của tàu sẽ đạt tiêu thụ nhiên liệu thấp nhất và ít phát thải nhất, mà vẫn đảm bảo nhu cầu tải động cao.

5.2. **Quản lý hệ thống năng lượng điện một chiều trên tàu thủy**

5.2.1. *Điều khiển phân cấp và kết nối hệ thống điện thông minh*

Với sự hỗ trợ của các công nghệ thông minh cho phép phân rã hoàn toàn lưới điện thành các vi lưới. Mạng điện thông minh và các công nghệ khác sẽ kết nối chúng lại thành các mạng điện linh hoạt độc lập với nhau. Trên tàu thủy tiết kiệm nhiên liệu giữ vai trò quan trọng, việc tích hợp hệ thống dựa trên DC có nhiều ưu điểm, nhưng vẫn còn nhiều vấn đề nghiên cứu để tiết kiệm tối đa nhiên liệu, cụ thể:

- Về mặt hệ thống, cần ổn định, cần duy trì trạng thái cân bằng độc lập trong điều kiện bình thường và trở về trạng thái cân bằng vận hành ngay sau khi bị xáo trộn;
- Về nguồn phát phải duy trì hoặc khôi phục các cấp DC chung ở điện áp định mức của chúng với khả năng chịu điện áp chấp nhận được;
- Về quản lý điện năng phải tối ưu hóa hiệu suất hệ thống bằng cách lập kế hoạch hoặc can thiệp có chủ đích mà không ảnh hưởng đến việc tối đa hóa cung cấp điện cho phía tải.

Nguồn năng lượng tái tạo trên tàu thủy có thể làm việc

nổi lưới hoặc độc lập. Ở điều kiện nhất định, nguồn phát tái tạo độc lập cấp điện cho các tải, ở điều kiện khác nguồn phát này nổi lưới nhằm cung cấp bổ sung năng lượng cho nhu cầu trên tàu tăng. Cần điều kiện để năng lượng từ nguồn tái tạo xâm nhập vào lưới chung nhiều nhất nhằm tiết kiệm nhiên liệu. Cần tập trung vào điều khiển lưới điện, nhằm cung cấp các chức năng tối ưu hóa và các phương pháp ra quyết định để đạt được mục tiêu tối ưu hóa cụ thể.

5.2.2. *Phối hợp điều khiển tập trung, phi tập trung hoặc phối hợp điều khiển phân tán*

Thường dùng phương pháp điều khiển phân cấp vì nó phù hợp việc phân tích các tính chất của các lớp điều khiển khác nhau. Ba cách điều khiển: tập trung, phi tập trung và phân tán. Điều khiển tập trung dùng bộ điều khiển trung tâm và một mạng truyền thông. Để thực hiện tối ưu hóa cấp hệ thống nên dùng điều khiển tập trung vì nó cho phép thu thập và xử lý dữ liệu liên quan tại bộ điều khiển duy nhất nhưng chi phí tăng phi tuyến do tăng truy cập thông tin. Cần lưu ý đến an toàn mạng chống hacker làm sai lệch điều khiển.

Điều khiển phi tập trung sử dụng các bộ điều khiển địa phương. Điều khiển phi tập trung dùng phương pháp: tín hiệu cấp một chiều, tín hiệu công suất đường dây. Phương pháp dùng nhiều nhất là phương pháp chủ/tớ và điều khiển nhiều chế độ. Ưu điểm phi tập trung là sự độc lập với truyền thông và bộ điều khiển trung tâm làm cho tính linh hoạt cao hơn và loại trừ các sự cố đơn lẻ. Nhược điểm là thiếu nhận thức về thông tin tổng quát dẫn đến hạn chế tính năng đặc biệt là khi thực hiện tối ưu hóa. Điều khiển phân tán là phương pháp không có bộ điều khiển trung tâm, các bộ điều khiển cục bộ được giao tiếp với nhau. Hệ thống gồm nhiều đại diện, mỗi bộ điều khiển cục bộ được coi là một đại diện thông minh và tất cả các đại diện cùng kết hợp với nhau. Điều khiển phân tán sử dụng thuật toán đồng thuận

6. **DÙNG CÔNG NGHỆ LƯỚI ĐIỆN THÔNG MINH CHO LƯỚI ĐIỆN DC TRÊN TÀU**

6.1. **Quản lý thông minh để giảm chi phí và ít phát thải**

Một chuyến đi bình thường trên biển được chia thành các giai đoạn như cập bến, tăng tốc, giảm tốc, hành trình... Do vậy, sử dụng năng lượng trên tàu được lập kế hoạch quản lý và tối ưu hóa trước để phối hợp việc phát và phân phối điện trên tàu nhằm tiết kiệm tối ưu nhiên liệu. Tuy nhiên, trong thực tế tàu gặp nhiều trường hợp không có sẵn như thiết kế do sóng và gió, khoảng cách di chuyển tàu không như tính ban đầu, nên tiêu thụ nhiên liệu ngoại tuyến không còn phù hợp. Để khắc phục nhược điểm của phương pháp ngoại tuyến, phương pháp điều khiển đa chế độ và điều khiển mức năng lượng theo trạng thái cụ thể của hệ thống được sử dụng [1].

- Quản lý năng lượng ở phía phát: Để lập kế hoạch tiêu thụ nhiên liệu, cần kết hợp quản lý phía phát điện và tải. Do mức tiêu hao nhiên liệu là một hàm phi tuyến của tốc độ động cơ cùng điều kiện tải, có một vùng hiệu suất làm việc cao. Vì thế, phải đảm bảo động cơ làm việc ở khu vực hiệu suất cao có tốc độ ứng với tốc độ không tải.

- Quản lý năng lượng ở phía tải áp dụng phương pháp giảm tải: Hệ thống sử dụng năng lượng điện chính trên tàu là hệ thống quay chong chóng. Do đó, việc giảm tải thường sẽ dẫn đến giảm tính năng của các tải có nhiệm vụ nhất định ở tàu và hệ thống truyền động chong chóng tàu.

Khi hệ thống có năng lượng tái tạo có thể nhận được sự cân bằng công suất hoạt động của tàu khi thực hiện quản lý dòng điện giữa các nguồn tái tạo thành cái DC, do đó cho phép các thiết bị điện khác ở tàu hoạt động linh hoạt hơn. Sự có mặt của năng lượng tái tạo, sự độc lập giữa phát và tải giúp cải thiện đáng kể khả năng tiêu hao nhiên liệu. Khi hãm chế độ máy phát, động cơ cũng phát năng lượng điện. Với sự trợ giúp của bộ trích trữ, năng lượng này được lưu trữ một phần hoặc toàn bộ, do đó, giúp giảm chi phí chung của tàu.

Lưới điện năng lượng tái tạo có thể là nguồn năng lượng chính của chuyến đi ngắn hạn như đi trong cảng hay trong điều kiện khẩn cấp.

6.2. Bảo vệ thông minh và tái cấu trúc đảm bảo độ tin cậy cao

Bảo vệ là một nhiệm vụ vô cùng quan trọng, đòi hỏi sự phát triển của hệ thống bảo vệ phù hợp và tin cậy. Thách thức chính trong bảo vệ nguồn phát DC tập trung bảo vệ biển tần phía tải. Sự cố mạng phía tiêu thụ bao gồm bộ biến tần và các tình huống sự cố kếp giữa các mạng AC và DC. Do bộ biến đổi điện tử công suất có quán tính rất nhỏ so với biến áp thông thường nên khả năng quá tải tức thời của bộ biến đổi điện tử công suất phải được hạn chế. Trong trường hợp này, hệ thống bảo vệ nguồn phát dòng một chiều DC gồm thiết bị ngắt dòng điện, rơ-le bảo vệ, thiết bị đo lường và hệ thống nối đất. Năm loại bảo vệ cụ thể là: bảo vệ lưới, bảo vệ bộ biến đổi, bảo vệ tổ máy phát, bảo vệ đường dây cung cấp và bảo vệ thanh cái [2, 4]. Việc chọn các thiết bị bảo vệ biển tần không thể xác định theo công suất tác dụng mà theo dòng điện ngắn mạch. Nếu bảo vệ không tốt khi xảy ra một sự cố duy nhất có thể lan rộng thành sự cố khu vực hoặc cả hệ thống. Bảo vệ sự cố và cách li điểm sự cố là những vấn đề lớn để đảm bảo an toàn của lưới điện trung áp tàu thủy. Cần lưu ý vấn đề trễ thông tin và sai số đo lường. Các khái niệm thông minh như hệ thống chuyên gia cũng đã được dùng ở lưới DC để dự báo sự cố và đảm bảo hoạt động bảo vệ khi xảy ra sự cố [7].

Chia lưới điện thành một số vi mạng được cấu trúc lại sau khi sự cố được loại bỏ. Việc chia thành các vi mạng nhằm giảm thiểu khu vực bị cách li khi có sự cố, duy trì cung cấp điện cho các vùng không bị sự cố. Phân chia lưới điện thành các tiểu khu rồi kết nối chúng lại thành lưới điện và nối mạng sẽ cải thiện hoạt động tăng độ tin cậy.

7. KẾT LUẬN

Tàu thủy là nơi tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch nhiều nhưng lại là nơi có điều kiện phát triển năng lượng tái tạo. Việc nghiên cứu đưa năng lượng tái tạo xuống tàu thủy đang được thế giới tích cực thực hiện. Khi đưa năng lượng tái tạo xuống tàu thủy nên chuyển từ lưới xoay chiều sang một chiều. Bài báo trình bày một cách tổng quát những vấn đề cần giải quyết của lưới điện một chiều khi dùng

năng lượng tái tạo ở tàu thủy. Đó là vấn đề điều khiển, quản lý và bảo vệ lưới điện. Những vấn đề nêu trên mang tính định hướng, khi thực hiện cần căn cứ cụ thể của từng tàu tiến hành thiết kế nhằm đạt được hiệu quả đưa năng lượng tái tạo lên tàu. Việc sử dụng năng lượng tái tạo trên tàu thủy vừa đảm bảo tính linh hoạt của lưới điện tàu thủy, vừa giúp giảm thiểu chi phí nhiên liệu giảm phát thải khí nhà kính đảm bảo môi trường trong sạch. Đó là xu hướng phát triển cho tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Gayathri Seenumaniand others *Real-Time Power Management of Integrated Power Systems in All Electric Ships Leveraging Multi Time Scale Property IEEE trans.on control sys.Tech.* Vol 20, N01, 2012.
- [2]. Teja Sree Mummadi and Dr.R.Vijay, *Optimal Design and Power Management in Shipboard System*, Journal of Science and Technology, vol.17, December.
- [3]. Jin Zheming, Sulligoi Giorgio, Cuzner Rob, Meng Lexuan, Quintero Juan Carlos Vasquez, Guerrero Josep M, *Next-Generation Shipboard DC Power System*, IEEE Electrification Magazine 2016.
- [4]. DC Microgrids–Part II: A Review of Power Architectures, Applications and Standardization Issues.
- [5]. Jackson John Justo, Francis Mwasilu, Ju Lee, Jin-Woo Jung (2013), *AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review a Renewable and Sustainable Energy*, Reviews, vol, pp.387-405.
- [6]. R. Elavarasi and others *Integration of Wind Energy System in Shipboard using Frequency converter TEST Engineering & Managemanet January - February 2020.*
- [7]. Arshid Shariatzade and others *Optimal Control Algorithms for Reconfiguration of Shipboard Microgrid Distribution System Using Intelligent Techniques IEEE Trans. on ind. Appl.* vol.53, no.1, 2017.

Ngày nhận bài: 25/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 22/5/2022

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Tiến Ban
PGS. TS. Hoàng Xuân Bình**