

BÁNH ĐÀ LƯU TRỮ NĂNG LƯỢNG TRONG LƯỚI ĐIỆN CỤC BỘ CÓ CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Lại Khắc Lãi^{1,*}, Lại Thị Thanh Hoa¹,
Nguyễn Văn Huỳnh¹, Vũ Nguyên Hải²

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

²Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Ngày nay, nhu cầu khai thác và sử dụng nguồn năng lượng tái tạo thay thế nguồn năng lượng hóa thạch vốn đang cạn kiệt dần và gây ô nhiễm môi trường đã trở thành vấn đề cấp thiết của nhiều quốc gia trên thế giới. Việt Nam là nước có tiềm năng rất lớn về nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là năng lượng gió và năng lượng mặt trời. Tuy nhiên nguồn điện gió và điện mặt trời luôn bị biến động do điều kiện thời tiết và môi trường nên khi chúng tham gia vào các lưới điện cục bộ (vi lưới - microgrid) dễ gây mất ổn định lưới điện, đôi khi gây lỗi lưới, sập lưới. Bài báo này trình bày cấu trúc của hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng (FESS - Flywheel Energy Storage System) và đề xuất phương án sử dụng chúng trong hệ thống vi lưới như một phần tử “điều tiết” năng lượng. Các kết quả phân tích đã cho thấy vai trò của FESS và nguyên tắc điều khiển hoạt động của chúng trong vi lưới.

Từ khóa: FESS, Flywheel Energy storage system, Vi lưới, Năng lượng tái tạo, Điện gió, Điện mặt trời

GIỚI THIỆU

Năng lượng tái tạo là nguồn năng lượng sạch và vô tận mà thiên nhiên ban tặng cho con người. Nguồn năng lượng tái tạo bao gồm năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng sinh khối, năng lượng sóng biển, năng lượng địa nhiệt, v.v... trong đó phổ biến nhất hiện nay phải kể đến năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Từ xa xưa con người đã biết tận dụng những nguồn năng lượng này phục vụ cho mình, từ những cối xay gió, guồng bơm nước, cối giã gạo bằng sức nước, bếp đun dùng năng lượng mặt trời, bình nước nóng năng lượng mặt trời, ... đến nay đã có những cánh đồng điện gió, cánh đồng điện mặt trời, nhà máy điện mặt trời, tòa nhà sử dụng điện gió và mặt trời. Năng lượng tái tạo với những ưu điểm vượt trội như trữ lượng vô hạn, không làm biến đổi khí hậu và không gây ảnh hưởng tác động xấu đến môi trường nên đang thu hút sự chú ý của nhiều quốc gia trên thế giới. Hiện nay nhiều nước trên thế giới đã có những bước đi cụ thể để thay thế dần những nguồn năng lượng hóa thạch truyền thống bằng nguồn năng lượng tái tạo. Hướng

đi chủ yếu khai thác sử dụng năng lượng tái tạo là biến chúng thành điện năng hòa vào lưới điện quốc gia hoặc hòa với nhau tạo thành lưới điện cục bộ (vi lưới) [1], [2]. Những đặc điểm của năng lượng điện sản xuất từ nguồn năng lượng tái tạo là:

- Giống như năng lượng điện, năng lượng điện từ nguồn năng lượng tái tạo khi sản xuất ra nếu không dùng hết cũng không “để dành” được;
- Năng lượng tái tạo thay đổi liên tục theo giờ và theo ngày, đêm và theo mùa, ví dụ năng lượng mặt trời và năng lượng gió tại mỗi thời điểm sẽ khác nhau, ban đêm không có năng lượng mặt trời, vào mùa đông năng lượng mặt trời giảm đáng kể dẫn đến sản lượng điện do chúng tạo ra cũng thay đổi liên tục ngoài sự kiểm soát của con người. Đặc điểm thứ hai này ảnh hưởng đến chất lượng của lưới điện và tính liên tục cung cấp điện. Đặc biệt đối với vi lưới, sự biến động bất thường của nguồn điện từ năng lượng tái tạo có thể dẫn đến lỗi lưới hoặc sập lưới.

Vấn đề đặt ra là cần phải có những phần tử như những cái “kho” lưu trữ và điều tiết đảm bảo sự liên tục của năng lượng tái tạo. Để làm việc này hiện nay người ta đang sử dụng phổ biến nguồn acqui và pin, chúng có nhược

* Tel: 0913 507464

điểm là công suất không lớn (để có công suất đủ lớn thì rất cồng kềnh), tuổi thọ ngắn, chi phí bảo dưỡng tốn kém.

Một phương án được đề xuất và phát triển trong vòng hơn hai mươi năm gần đây là dùng bánh đà để lưu trữ và điều tiết năng lượng điện. Đây là một giải pháp khá lý thú và có nhiều triển vọng phát triển, thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Tuy nhiên để sử dụng bánh đà lưu trữ và điều tiết năng lượng thì cần giải quyết hai vấn đề kỹ thuật then chốt: thứ nhất là vấn đề tổn hao do ma sát, tiếp đến là cơ chế biến đổi năng lượng của bánh đà thành điện năng.

Trong bài báo này chúng tôi quan tâm nghiên cứu vấn đề thứ hai đồng thời đề xuất một bộ biến đổi điện tử công suất kết hợp với bánh đà làm nhiệm vụ điều tiết sự hoạt động liên tục của hệ thống điện gió và điện mặt trời nối lưới.

Phần tiếp theo của bài báo trình bày cấu trúc hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng điện tái tạo; đề xuất hai cấu trúc sử dụng bánh đà lưu trữ năng lượng gắn với hệ thống điện gió và điện mặt trời trong vi lưới; đề xuất nguyên tắc điều khiển hoạt động thu/phát của FESS để đảm bảo sự làm việc ổn định của vi lưới.

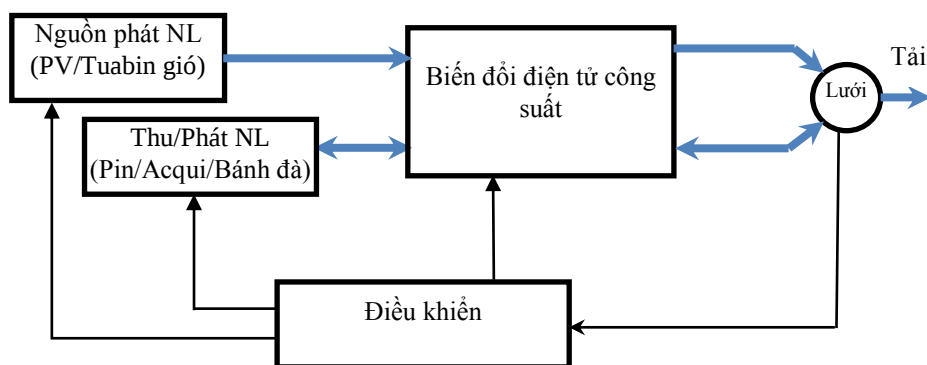
SƠ ĐỒ KHỐI CHỨC NĂNG

Sơ đồ khối của lưới điện sử dụng năng lượng tái tạo có sự tham gia của phần tử lưu trữ

năng lượng, được chỉ ra trên Hình 1, bao gồm các khối sau:

- Khối phát năng lượng là các nguồn năng lượng tái tạo như pin quang điện, turbine gió...
- Khối thu/phát năng lượng có nhiệm vụ nạp và cất giữ năng lượng khi có sự dư thừa và xả năng lượng khi có những biến động bất thường của lưới điện. Để làm được điều này có thể sử dụng pin, acqui, siêu tụ hoặc bánh đà;
- Khối lưới và tải;
- Khối điện tử công suất là một biến đổi điện tử công suất kết nối lưới linh hoạt. Đối với nguồn phát năng lượng khối này làm nhiệm vụ biến đổi năng lượng tái tạo thành điện năng có điện áp, tần số và góc pha phù hợp để kết nối với lưới. Đối với phần tử lưu trữ năng lượng khối điện tử công suất có khả năng làm việc 2 chiều, khi lưới làm việc ổn định năng lượng từ lưới được đưa đến cất giữ trong phần tử lưu trữ, khi có sự biến thiên đột ngột điện áp thì năng lượng từ phần tử lưu trữ sẽ được đưa trở lại nhằm khắc phục sự biến động và ổn định lưới. Vấn đề khắc phục lỗi lưới và ổn định lưới không được đề cập trong bài báo này.

Khối điều khiển có chức năng điều hành hoạt động của toàn bộ hệ thống như điều khiển nguồn phát điện, điều khiển bộ biến đổi điện tử công suất, điều khiển nối lưới, điều khiển quá trình nạp/xả của hệ thống lưu trữ năng lượng.



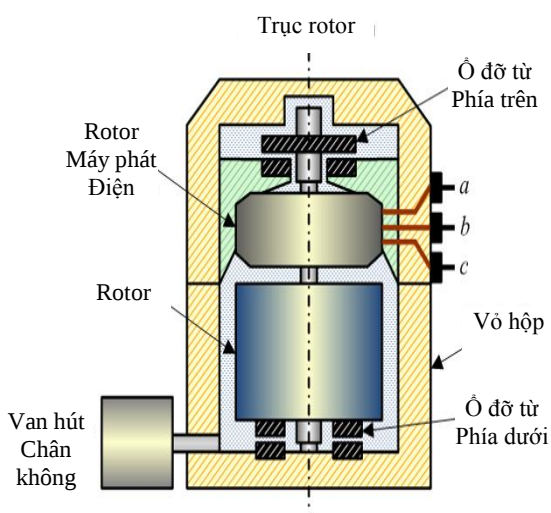
Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống năng lượng tái tạo nối lưới có phần tử lưu trữ năng lượng

HỆ THỐNG BÁNH ĐÀ LƯU TRỮ NĂNG LƯỢNG

Hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng (FESS: flywheel energy storage system) là một công nghệ lưu trữ, điều tiết và tiết kiệm năng lượng hiệu quả. Trong hệ thống FESS, năng lượng được lưu

trữ trong bánh đà dưới dạng động năng của khối quay và phát ra theo yêu cầu của hệ thống [3], [4]. Cấu trúc của bánh đà lưu trữ năng lượng được chỉ ra trên Hình 2.

Bánh đà lưu trữ năng lượng thường được thiết kế hoạt động ở tốc độ cao để đạt được mật độ lưu trữ năng lượng cao nhất. Các bánh đà thế hệ đầu tiên được làm bằng thép với vòng bi cơ khí nên tốc độ không cao (chỉ đạt khoảng 6000 vòng/phút). Nhờ những cải tiến của vật liệu làm bánh đà và công nghệ điều khiển ổ đỡ từ (AMB: active magnetic bearing) đã tạo ra những tiến bộ quan trọng trong công nghệ bánh đà lưu trữ năng lượng, tốc độ bánh đà hiện nay đạt tới 60.000 vòng/phút (tức lớn gấp 10 lần bánh đà thế hệ đầu). Trong hệ thống FESS, không những rôto quay ở tốc độ cao mà vị trí của rôto còn phải được điều khiển một cách chính xác sao cho cách đều và không tiếp xúc với stator, vì vậy dao động của rôto càng nhỏ càng tốt. Ổ đỡ đệm từ là một thiết bị hỗ trợ sử dụng ở tốc độ cao với các đặc tính như hoạt động không có ma sát, không cần bôi trơn dầu mỡ, không gây ra tiếng ồn, không gây ô nhiễm môi trường, tuổi thọ cao [3]. Hình 2 biểu diễn cấu tạo của bánh đà lưu trữ năng lượng.



Hình 2. Cấu tạo của bánh đà lưu trữ năng lượng
Năng lượng lưu trữ trong bánh đà dưới dạng động năng được tính theo công thức:

$$W = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (1)$$

Trong đó W là năng lượng được lưu trữ trong bánh đà dưới dạng động năng (Jul); J là mô men quán tính (kgm^2), $J = k.M.R^2$ với M là khối lượng (kg), R bán kính (m), k : hằng số quán tính phụ thuộc vào hình dạng và cấu trúc vật lý của bánh đà; ω là vận tốc góc (rad,s).

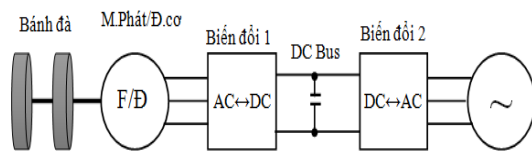
Trong bánh đà có tích hợp rotor của một máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát hoặc chế độ động cơ để biến đổi năng lượng từ cơ sang điện năng và ngược lại. Có nhiều loại máy phát được sử dụng cho hệ thống bánh đà, như máy phát nam châm vĩnh cửu, máy điện cảm ứng...

Quá trình hoạt động của bánh đà có thể được tóm tắt như sau: khi có dư thừa năng lượng bánh đà thực hiện việc lưu trữ năng lượng, nó làm việc như một động cơ điện, khác với động cơ điện thông thường, động cơ điện sử dụng trong bánh đà có mô men quán tính rất lớn và tốc độ quay rất cao. Mặt khác, khi có một dao động bất thường ở nguồn hoặc tải bánh đà hoạt động như một máy phát điện cung cấp thêm năng lượng cần thiết để giữ ổn định hệ thống. Trong quá trình xả năng lượng tốc độ của bánh đà giảm dần dẫn đến tần số điện áp liên tục thay đổi. Để duy trì tần số điện áp do máy phát của bánh đà phát ra ta cần sử dụng một bộ biến đổi điện tử công suất làm việc ở chế độ chỉnh lưu để biến điện năng có tần số thay đổi thành điện năng một chiều và một bộ biến đổi điện tử công suất làm việc ở chế độ nghịch lưu để biến đổi năng lượng điện một chiều thành điện áp xoay chiều hình sin kết nối với lưới điện.

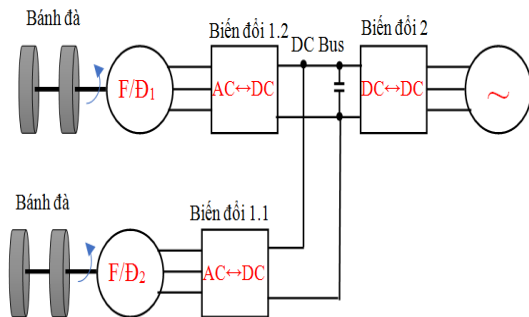
CẤU TRÚC PHẦN ĐIỆN CỦA FESS

Trong hệ thống điện gió và điện mặt trời nối lưới bánh đà đóng vai trò như một acqui để lưu trữ năng lượng dư thừa và như một máy phát điện dự phòng để cung cấp năng lượng khi có sự thay đổi bất thường của lưới điện. Để làm được điều này thì các thành phần điện chính của một hệ thống dự trữ năng lượng bánh đà là một modul điện tử công suất và modul điều khiển để điều khiển hoạt động của modul điện tử công suất ở chế độ nạp, xả hoặc dự phòng [5], [6].

Cấu hình phổ biến nhất của hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng được chỉ ra trên Hình 3 và Hình 4. Trong hình 3, các bộ biến đổi 1 và 2 là những bộ biến đổi 2 chiều. Ở chế độ xả, bộ biến đổi 1 làm việc như một bộ chỉnh lưu, bộ biến đổi 2 làm việc như một bộ nghịch lưu. Ở chế độ nạp bộ biến đổi 1 lại làm việc ở chế độ nghịch lưu và bộ biến đổi 2 ở chế độ chỉnh lưu. Hình 4 có nguyên lý làm việc như hình 3 nhưng sử dụng bánh đà nhiều bậc, chúng được ghép nối với nhau qua DC bus. Hệ thống bánh đà nhiều bậc có thể cung cấp dung lượng dự trữ năng lượng cao hơn hệ thống bánh đà một bậc.

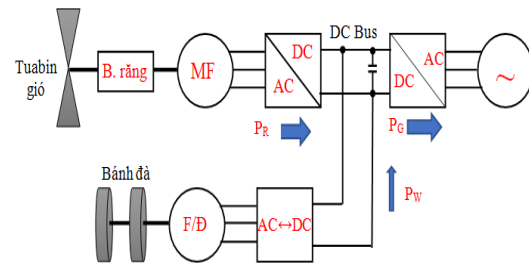


Hình 3. Cấu trúc của bánh đà lưu trữ năng lượng nối lưới 1 cấp



Hình 4. Cấu trúc của hệ thống bánh đà nối lưới 2 cấp

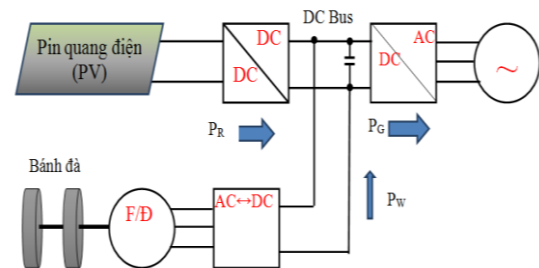
Hệ thống bánh đà có thể kết hợp với các nguồn sơ cấp khác như điện gió, điện mặt trời, v.v... tạo thành hệ thống lai [2]. Có nhiều hệ thống lai tùy thuộc vào nguồn năng lượng sơ cấp và hệ FESS được tích hợp vào hệ thống. Hình 5 biểu diễn một hệ thống điện gió nối lưới có tích hợp hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng. Điện của hệ bánh đà được tích hợp vào bus DC của hệ thống năng lượng sức gió bằng cách sử dụng một bộ biến đổi DC-AC hai chiều. Hình 6 biểu diễn cấu trúc hệ thống lai điện mặt trời nối lưới tích hợp hệ bánh đà.



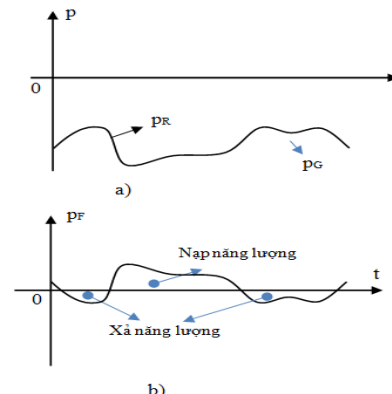
Hình 5. Hệ thống điện gió nối lưới tích hợp bánh đà lưu trữ năng lượng

Để phân tích hoạt động và từ đó thấy được tác dụng của bánh đà lưu trữ năng lượng cũng như nguyên tắc điều khiển chúng trong hệ thống lai như ở Hình 5 và hình 6, nhóm tác giả giả thiết đặt p_r là công suất từ nguồn năng lượng tái tạo (điện gió, điện mặt trời) cung cấp cho lưới, công suất này thường thay đổi liên tục theo điều kiện môi trường [1], [2]; p_w là công suất hệ thống của hệ thống bánh đà; p_g là công suất bơm vào lưới, để lưới điện làm việc ổn định thì công suất này cần được giữ cố định ($p_g = \text{const}$) Ta có:

$$p_F = p_g - p_r \quad (2)$$



Hình 6. Hệ thống điện mặt trời nối lưới tích hợp bánh đà lưu trữ năng lượng



Hình 7. Đường cong công suất tức của lưới (a) và của FESS (b) trong hệ thống lai

Đường cong các loại công suất được chỉ ra trên Hình 7. Từ biểu thức (2) và từ Hình 7 ta thấy rằng công suất của FESS biến động theo sự biến động của công suất của nguồn năng lượng tái tạo. FESS sẽ thực hiện nạp năng lượng khi $p_F > 0$ và xả năng lượng để bổ sung năng lượng cho hệ thống khi $p_F < 0$. Đường cong p_F được sử dụng để điều khiển hoạt động của FESS (vấn đề này sẽ mô tả chi tiết trong bài báo tiếp theo).

KẾT LUẬN

Bánh đà lưu trữ năng lượng là một hệ thống lưu trữ năng lượng có nhiều ưu điểm nổi bật so với các phần tử lưu trữ năng lượng truyền thống (pin, acqui, v.v.). Chúng có tuổi thọ rất cao, dung lượng lưu trữ có thể rất lớn, không phải bảo dưỡng trong quá trình vận hành. Tuy nhiên hệ thống FESS còn một vài nhược điểm là giá thành khá cao, thời gian xả năng lượng ngắn. Các phân tích ở trên đã cho thấy cấu trúc và vai trò của hệ thống FESS trong các vi lưới có sự tham gia của các nguồn năng lượng tái tạo. Bài báo này mới dừng lại ở việc mô tả cấu trúc và nguyên tắc điều khiển hệ thống FESS trong hệ thống lai. Trong các công bố tiếp theo chúng tôi sẽ mô tả chi tiết các chiến lược điều khiển FESS để đảm bảo sự làm việc ổn định của vi lưới.

SUMMARY

FLYWHEEL ENERGY STORAGE SYSTEM IN THE MICROGRID WITH WITH THE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Lai Khắc Lãi^{1*}, Thanh Hoa Lai Thi¹,
Huỳnh Nguyễn Văn¹, Hai Vu Nguyễn²

¹University of Technology - TNU

²College of Economics and Techniques - TNU

Today, the exploit and use renewable energy sources to replace fossil fuels that are depleting and polluting the environment has become a popular issue in many countries of the world. Vietnam has a great potential for renewable energy, especially wind energy and solar energy. However, wind power and solar power always fluctuate due to weather and environmental conditions, so when they participate in the local grid (microgrid) can cause grid instability, sometimes causing errors grid. This paper presents the structure of the Flywheel Energy Storage System (FESS) and proposes effective ways of using them in microgrid systems as an energy regulator. The results of the analysis show the role of FESS and their operating principle in the microgrid.

Keywords: FESS, Flywheel Energy storage system, Microgrid, Wind power, Solar power

Ngày nhận bài: 24/10/2017; **Ngày phản biện:** 29/10/2017; **Ngày duyệt đăng:** 30/11/2017

* Tel: 0913 507464