

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**Ngô Đức Minh**

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG  
HỆ THỐNG TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG DÙNG ẮC QUY  
TRONG MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ THỦY ĐIỆN NHỎ**

**Chuyên ngành: Tự động hóa  
Mã số: 62 52 60 01**

**TÓM TẮT  
LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Hà Nội - 2010**

Công trình được hoàn thành tại: Bộ môn Tự động hóa Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học:  
1-PGS. TS. Nguyễn Văn Liễn  
2-PGS. TS. Võ Minh Chính

Phản biện 1: PGS. TS. Tô Văn Dực

Phản biện 2: PGS. TS. Lê Tòng

Phản biện 3: PGS. TS. Đào Văn Tân

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp nhà nước họp tại: nhà C1-P318 trường ĐHBK Hà Nội.  
vào hồi: giờ 8h30 ngày 23 tháng 6 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại:  
- Thư viện quốc gia Hà Nội  
- Thư viện trường ĐHBK Hà Nội

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN NỘI DUNG LUẬN ÁN

1. Ngô Đức Minh, Nguyen Van Lien. Dynamic improvement of BESS using deadbeat type controller in local power networks. (IEEE Việt Nam Section, International Forum on Strategic Technologies (IFOST) 2009, 21-23 October 2009 in HoChiMinh City, Vietnam).
2. Ngô Đức Minh. Ứng dụng chỉnh lưu PWM cho bù công suất phản kháng và lọc sóng hài trong mạng điện cục bộ (tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Thái nguyên, số 4 (48) năm 2008).
3. Ngô Đức Minh, Trần Xuân Minh. Kết hợp bộ tích trữ năng lượng nguồn ắc quy (BESS) với thủy điện nhỏ để nâng cao chất lượng điện năng và hiệu quả khai thác nguồn thủy năng (tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Thái nguyên, số 3(47) năm 2008).
4. Ngô Đức Minh. Ứng dụng bộ biến đổi PWM trong điều khiển công suất giữa các nguồn điện cục bộ (tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Thái nguyên, số 4(44) năm 2007).
5. Ngô Đức Minh, Hòa Thái Thanh, Nguyễn Văn Liễn. Phương pháp điều khiển công suất trực tiếp tựa theo vector từ thông ảo trong hệ thống điều chỉnh xoay chiều 3 pha (tạp chí Tự động hóa ngày nay, tháng 6 năm 2006).
6. Ngô Đức Minh, Nguyễn Ngọc Kiên. Nghiên cứu tổng quan hệ điều khiển quá trình có khâu thời gian chết lớn (tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Thái nguyên, số 2(34) năm 2005).
7. Ngô Đức Minh, Nguyễn Hữu Công, Lâm Hùng Sơn. Phương pháp biến phân giải bài toán điều khiển tối ưu cho hệ có tham số phân bố (tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Thái nguyên, số 2(34) năm 2005).

## PHẦN 1. GIỚI THIỆU LUẬN ÁN

### Tính cấp thiết cứu của đề tài

Hiện nay, trong 10 năm trở lại đây có một số lượng lớn các nguồn cung cấp năng lượng đang được thúc đẩy phát triển mạnh mẽ không những riêng ở nước ta, mà trên phạm vi toàn cầu. Trong đó, một số thủy điện nhỏ ở các vùng núi, cách xa các trung tâm kinh tế phát triển chỉ có thể được khai thác theo hình thức mạng điện cục bộ. Trước đây, mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ (MĐCBTĐN) chưa được quan tâm khai thác và phát triển nên các ứng dụng khoa học kỹ thuật vào điều khiển nguồn phát cũng như trong toàn mạng còn chưa được đề cập đến. Chính vì thế, làm cho tính kinh tế của hệ thống còn thấp, chất lượng điện năng cung cấp chưa đảm bảo.

MĐCBTĐN được hiểu là một mạng điện độc lập, không kết nối với lưới điện quốc gia, nguồn phát có công suất nhỏ ( $\leq 6$  MW). Một số nhược điểm của MĐCBTĐN có thể được phân tích nguyên nhân xuất phát từ hoạt động của hệ máy phát-turbine thủy điện. Trong đó, sự hoạt động bình thường của máy phát đồng bộ xoay chiều ba pha được đảm bảo thông qua chất lượng điều khiển của hai hệ thống:

- 1- Hệ thống điều chỉnh kích từ để ổn định điện áp và huy động công suất phản kháng.
- 2- Hệ thống turbine để ổn định tần số và huy động công suất tác dụng.

Với thủy điện nhỏ thì các nhược điểm phát sinh hầu như đều có nguyên nhân từ hệ thống turbine. Thực tế các thủy điện nhỏ thường được xây dựng theo kiểu thủy điện có kênh dẫn, đặc tính điều chỉnh công suất và tốc độ có thời gian trễ lớn, khả năng quá tải thấp nên không đáp ứng được nhu cầu đòi hỏi của phụ tải thực tế. Ví dụ: Khi động cơ khởi động dẫn đến một số vấn đề kỹ thuật như sau:

- Để động cơ được cấp đủ công suất cho khởi động thì máy phát phải luôn vận hành với hệ số mạng tải thấp

- Quá trình khởi động của động cơ bị kéo dài.
- Chất lượng điện năng thấp, không ổn định.

Như vậy, để khắc phục tình trạng trên cần thiết phải có một nguồn dự trữ năng lượng khác ngoài máy phát.

### Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Nghiên cứu ứng dụng Hệ thống tích trữ năng lượng ắc quy (BESS) trong MĐCBTĐN, nhằm phát huy hiệu quả khai thác công suất nguồn phát và nâng cao chất lượng điện năng.

### Phạm vi nghiên cứu

Xây dựng cấu trúc điều khiển của hệ BESS trong MĐCBTĐN thực hiện chức năng chính là:

- Huy động công suất đỉnh cho chế độ khởi động của động cơ
- Bù công suất phản kháng để cải thiện chất lượng điện áp tại điểm kết nối
- San tải, điều hòa công suất trong MĐCBTĐN.

### Ý nghĩa khoa học của đề tài

- Xây dựng một mô hình MĐCBTĐN kết hợp với BESS đáp ứng được hai vấn đề chính là nâng cao chất lượng điện năng và khai thác hiệu quả nguồn phát.
- Thực nghiệm cho hệ BESS trong phòng thí nghiệm thực hiện chức năng bù công suất đỉnh.

### Ý nghĩa thực tiễn của đề tài

Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ có một ý nghĩa thực tiễn cho việc ứng dụng hệ BESS vào MĐCBTĐN và thúc đẩy phát triển khai thác hiệu quả các mạng điện cục bộ khác tương tự: Năng lượng gió, năng lượng mặt trời V.V.

### Cấu trúc luận án

Luận án gồm 4 chương, 124 trang, 49 tài liệu tham khảo, 12 trang phụ lục, 90 hình vẽ và đồ thị.

## PHẦN 2. NỘI DUNG LUẬN ÁN

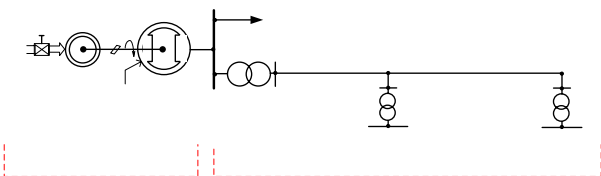
### Chương I

#### MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ THỦY ĐIỆN NHỎ VÀ NHỮNG VẤN ĐỀ CẦN NGHIÊN CỨU

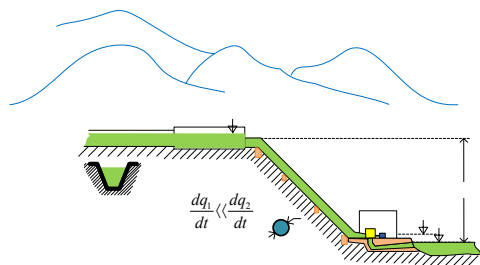
##### 1.1. Tổng quan về mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ

###### 1.1.1. Tình hình phát triển

Mạng điện cục bộ là một hệ thống điện riêng rẽ, hoạt động có tính chất độc lập không kết nối vào hệ thống điện quốc gia. Đại diện cho loại này là các mạng điện của nguồn phát thủy điện nhỏ (MĐCBTĐN), hình 1.1, hình 1.2



Hình 1.1 Mô tả mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ



Hình 1.2 Cấu trúc cơ bản của trạm thủy điện nhỏ

###### Ưu điểm của thủy điện nhỏ:

- Tận dụng nguồn tài nguyên thiên nhiên là các dòng chảy phổ biến có ở các vùng núi. Có ý nghĩa đặc biệt đối với các khu vực miền núi xa xôi hẻo lánh mà việc đưa điện lưới quốc gia đến không thể thực hiện được.

- Sản xuất điện theo công nghệ sạch, không phải xây dựng lòng hồ nên không xâm hại môi trường tự nhiên, không phải di dân làm

Nguồn phát

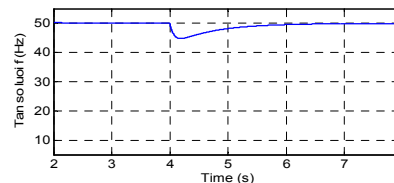
thay đổi tập quán sản xuất và bản sắc văn hóa địa phương.

###### 1.1.2. Những vấn đề còn tồn tại

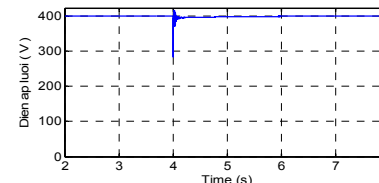
Xuất phát từ các điều kiện địa hình trên các địa bàn khu vực miền núi các trạm thủy điện thường được xây dựng kiểu kênh dẫn, hình 1.2

Vấn đề điều chỉnh tăng hay giảm công suất vận hành được thực hiện thông qua điều chỉnh lưu lượng  $q$ . Trong quá trình điều chỉnh  $q$  có nảy sinh một số hạn chế:

- Giới hạn trên của phạm vi điều chỉnh hẹp
- Đặc tính điều chỉnh  $q$  có thời gian trễ lớn, xem hình 1.3



Hình 1.3 Đặc tính ổn định tần số theo tải



Hình 1.4 Đặc tính ổn định điện áp

Đặc điểm này dẫn đến hạn chế khả năng điều chỉnh công suất của máy phát cả về hai yếu tố là:

- Khả năng quá tải
- Tốc độ huy động công suất.

Khi đó, MĐCBTĐN bộc lộ một số nhược điểm:

1) **Nhược điểm thứ nhất:** Máy phát không thể cấp đủ công suất cho động cơ khởi động nếu hệ số mang tải của máy phát đang vận hành ở mức cao ( $K_{pt} \geq 0,7$ ).

2) **Nhược điểm thứ hai:** Quá trình khởi động động cơ bị kéo dài làm giảm chất lượng điện năng cả về chỉ tiêu tần số và điện áp, thậm chí khởi động không thành công.

Như vậy, trong MĐCBTĐN để đáp ứng nhu cầu thực tế cần phải tìm được một giải pháp kỹ thuật phù hợp. Đó là ứng dụng hệ thống tích trữ năng lượng ắc quy

###### 1.2. Tổng quan về hệ tích trữ năng lượng

$$S_2 = P_2 + jQ_2$$

$$S_3 = P_3 + jQ_3$$

Lưới điện và tải tiêu thụ

PC.

$$S = P + jQ$$

L<sub>12</sub>

L<sub>23</sub>

V<sub>f</sub>

### 1.2.1. Vấn đề tích trữ năng lượng và hệ BESS

Tích trữ năng lượng là bài toán được đặt ra ngay từ rất sớm. Năng lượng được tích trữ khi đầu vào dư thừa để sử dụng lại khi nguồn phát thiếu. Trên thế giới đã ứng dụng nhiều hình thức tích trữ:

Hệ thống tích trữ kinh điển nhất là hệ thống thủy điện dùng bơm. Điện được tạo ra từ nguồn năng lượng khác (gió, mặt trời, nhiệt...) khi dư thừa sẽ bơm nước lên hồ chứa thủy điện. Ví dụ, công trình Northfield Mountain bang Massachusetts – Mỹ năm 1972 tích trữ được 2.7 triệu KWh [28].

Hệ thống CAES (Compressed Air Energy Storage) bơm khí nén vào một hệ thống chứa rồi sau đó khai thác lại qua turbine khí, phát lại thành điện. Ví dụ, trạm 110MW tại McIntosh, Alabama – Mỹ chứa được năng lượng cho một nhà máy phát trong 26 giờ [21], [38].

Về mặt công năng sử dụng, hai hệ thống trên chỉ có ý nghĩa về mặt tích trữ năng lượng chứ gần như không có khả năng bù tức thời.

Hệ tích điện ắc quy (BESS) có lịch sử phát triển gần như đồng thời với hệ thống tích năng lượng theo kiểu bơm cưỡng bức. Hệ thống BESS thể hiện ưu điểm về không gian chiếm chỗ và khả năng phản ứng. BESS tỏ ra đặc biệt lợi thế trong những hệ cấp điện không kết nối lưới quốc gia như hệ thống năng lượng tái tạo hoạt động độc lập

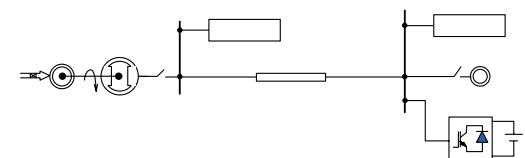
Đối với các hệ thống phát điện độc lập, vấn đề đáng quan tâm hàng đầu là ổn định điện áp lưới cục bộ. Bản chất, đây là vấn đề cân bằng năng lượng phát-thu. Các nhân tố tác động làm mất ổn định cân bằng năng lượng cho hệ thống có thể đến từ hai phía. Về phía phát, năng lượng có thể có đáp ứng chậm hoặc bị giới hạn. Về phía thu, đặc tính tải tiêu thụ là không ổn định. Hơn nữa, các quá trình quá độ của thiết bị cũng gây nên nhân tố mất ổn định lưới (ví dụ: quá trình khởi động động cơ lớn). Để giải quyết vấn đề mất cân bằng này, bắt buộc các hệ thống phát điện không hòa lưới phải có “vùng đệm” năng lượng. Vấn đề sử dụng BESS cho hệ thống phát điện sức gió,

mặt trời, lai sức gió mặt trời đã được tiến hành nghiên cứu và đưa vào thực tiễn từ với nhiều hình thức phong phú. Cho đến thời điểm này, BESS vẫn đang chiếm một số lượng áp đảo.

### 1.2.2. Giải pháp ứng dụng BESS trong MĐCBTĐN

Khả năng huy động công suất tức thời chính là vấn đề đáng bàn với các **thủy điện sử dụng kênh dẫn**. Khi có biến động đầu tải tăng đột biến, thủy điện nhỏ kênh dẫn cũng không có khả năng huy động công suất lập tức mà phải chấp nhận độ trễ về thời gian (dòng chảy trong phần kênh dẫn). Trong trường hợp xấu, tải có công suất đỉnh vượt công suất máy phát hay dòng chảy đỉnh của kênh dẫn, chất lượng điện áp sẽ rơi vào trạng thái kém nghiêm trọng. Chính vì vậy, nghiên cứu này mong muốn góp phần hiện thực hóa một phương án kỹ thuật khả thi cho mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ: Sử dụng BESS huy động công suất đỉnh, san tải và ổn định chất lượng điện áp, hạn chế nhược điểm thủy điện nhỏ kênh dẫn.

Cấu trúc hệ BESS trong MĐCBTĐN có thể được xây dựng như hình 1.5



Hình 1.5 Mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ và BESS

### 1.3. Kết luận

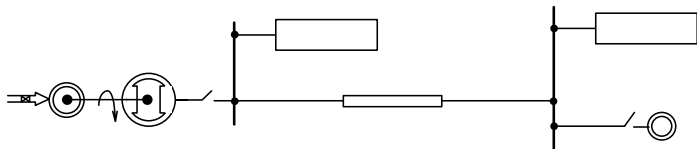
MĐCBTĐN cần được quan tâm một cách thỏa đáng hơn để thực hiện mục tiêu bức thiết nhất hiện nay cho vấn đề phát triển các nguồn năng lượng sạch. Trong đó, khắc phục một số nhược điểm của thủy điện nhỏ cần phải được thực hiện trước tiên. Vì thế, nội dung chính của luận án là: “**Nghiên cứu ứng dụng hệ thống tích trữ năng lượng ắc quy trong mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ**”

**Chương II**

**MÔ TẢ TOÁN HỌC MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ THỦY ĐIỆN NHỎ**

**2.1. Cấu trúc mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ**

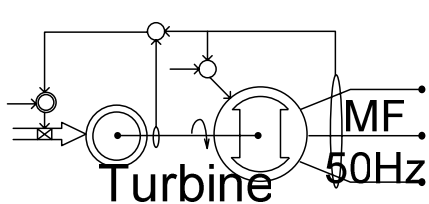
Từ sơ đồ hình 1.1, từ một mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ có bất kỳ có thể biến đổi đưa về sơ đồ dạng tổng quát như hình 2.1.



Hình 2.1 Sơ đồ tổng quát của mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ

**2.2. Mô tả toán học hệ turbinr-máy phát**

Nguồn phát của một trạm thủy điện nhỏ, gồm hai thiết bị chính là turbine thủy lực và máy phát đồng bộ xoay chiều ba pha, hình 2.2



Hình 2.2 Mô hình trạm thủy điện nhỏ

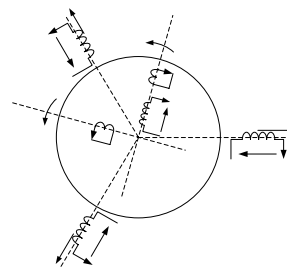
**2.2.1. Mô tả toán học máy phát**

**2.2.1.1. Khái niệm vector không gian**

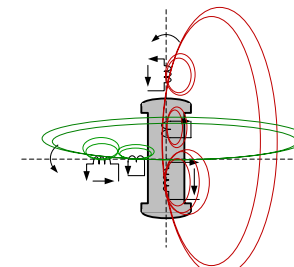
Theo lý thuyết [1], [5] [13], các đại lượng ba pha đối xứng có thể áp dụng phép biến đổi Park trên các hệ tọa độ  $abc$ ,  $\alpha\beta$  và  $dq$

**2.2.1.2. Mô tả máy phát đồng bộ xoay chiều 3 pha**

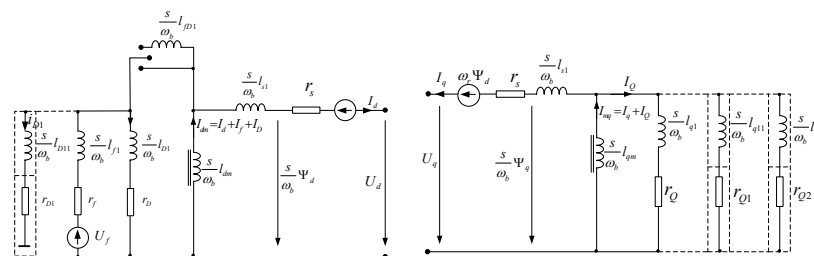
Máy phát điện đồng bộ ba pha có sơ đồ như hình 2.4, 2.6 và 2.8a,b có thể được mô tả toán học bằng hệ phương trình 2.42



Hình 2.4 Sơ đồ cấu trúc các cuộn dây stator và rotor máy điện đồng bộ



Hình 2.6 Điện cảm và hồ cảm các cuộn dây rotor trên mô hình dq



Hình 2.8 Mạch điện tương đương của máy phát đồng bộ

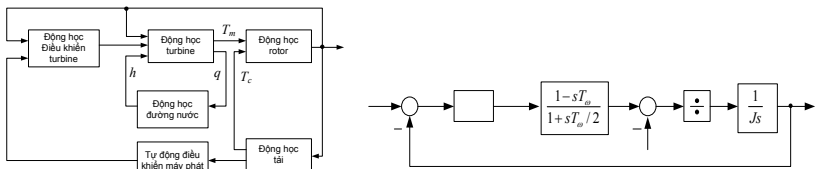
$PCC_1$   
 $P_1 + jQ_1$   
 $L$  (km)

$$\begin{cases} (R_f + \frac{s}{\omega_b} P_{12} + jQ_{12}) I_f - U_f = -\frac{s}{\omega_b} \Psi_{dm} \\ (R_D + \frac{s}{\omega_b} L_{\sigma D}) I_D = -\frac{s}{\omega_b} \Psi_{dm} \\ (R_Q + \frac{s}{\omega_b} L_{\sigma Q}) I_Q = -\frac{s}{\omega_b} \Psi_{qm} \\ (R_s + \frac{s}{\omega_b} L_{\sigma s}) i_d + u_d + \omega_r \Psi_d = -\frac{s}{\omega_b} \Psi_{dm} \\ (R_s + \frac{s}{\omega_b} L_{\sigma s}) i_q + u_q + \omega_r \Psi_q = -\frac{s}{\omega_b} \Psi_{qm} \end{cases} \quad (2.42)$$

**2.2.3. Mô tả toán học hệ turbine**

Một trong những mô hình turbine thủy điện chuẩn dùng để nghiên cứu hệ điều tốc turbine thủy điện được xây dựng như hình 2.9 [30]. mô hình này chỉ ra mối quan hệ giữa phụ tải với động lực học hệ turbine-máy phát, và ảnh hưởng của các tham số khác như: động học đường ống dẫn nước.

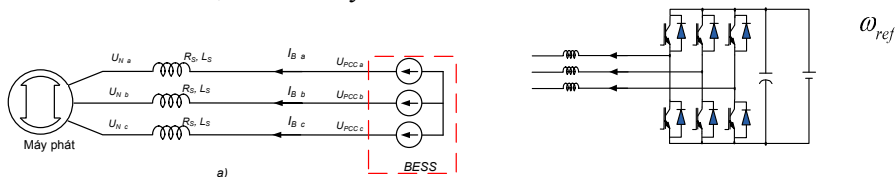
Cấu trúc đơn giản sử dụng mô hình tuyến tính turbine để xây dựng bộ điều tốc như hình 2.15



Hình 2.9 Sơ đồ khối chức năng bộ điều tốc turbine thủy điện Hình 2.15 Cấu trúc điều tốc turbine thủy điện

**2.3. Mô tả toán học bộ biến đổi BESS trong mạng MĐCBTĐN**

Từ sơ đồ hình 1.4 và hình 2.1, có thể coi BESS như một nguồn áp tại điểm kết nối PCC với mạch điện ba pha như hình 2.16a và bộ biến đổi BESS được mô tả đầy đủ như hình 2.16b.



Hình 2.16

a) Thay thế BESS như một nguồn áp tại PCCi. b) Cấu trúc bộ biến đổi BESS

Các quá trình trao đổi công suất của BESS với lưới được mô tả toán học thông qua mô hình thay thế như hình 2.17

**❖ Mô hình bộ biến đổi BESS trong tọa độ abc**

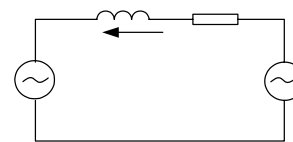
Giả thiết nguồn điện ba pha lý tưởng, các mô tả toán học được viết trong hệ ba pha abc bằng hệ phương trình vi phân sau:

$$\begin{cases} u_{Ba} = Ri_{Ba} + L \frac{di_{Ba}}{dt} + u_{PCCa} \\ u_{Bb} = Ri_{Bb} + L \frac{di_{Bb}}{dt} + u_{PCCb} \\ u_{Bc} = Ri_{Bc} + L \frac{di_{Bc}}{dt} + u_{PCCc} \end{cases} \quad (2.53)$$

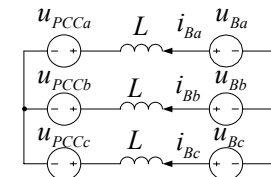
Hay viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} u_{Ba} \\ u_{Bb} \\ u_{Bc} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_{Ba} \\ i_{Bb} \\ i_{Bc} \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{Ba} \\ i_{Bb} \\ i_{Bc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{PCCa} \\ u_{PCCb} \\ u_{PCCc} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

tương ứng với mô hình được thể hiện trên hình 2.18



Hình 2.17 Sơ đồ thay thế bộ biến đổi BESS

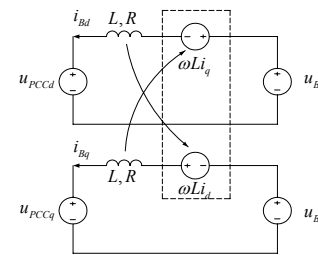


Hình 2.18 Mô hình tín hiệu tb bộ biến đổi BESS trong tọa độ abc

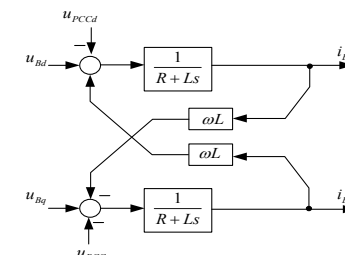
**❖ Mô hình bộ biến đổi BESS trong tọa độ dq**

$$\begin{cases} u_{Bd} = Ri_{Bd} + L \frac{di_{Bd}}{dt} + u_{PCCd} - L\omega i_{Bq} \\ u_{Bq} = Ri_{Bq} + L \frac{di_{Bq}}{dt} + u_{PCCq} + L\omega i_{Bd} \end{cases} \quad (2.59)$$

Từ phương trình (2.59) có mô hình bộ biến đổi BESS trên tọa độ quay dq, hình 2.19, mô hình hoá bộ biến đổi BESS trên miền toán tử Laplace, hình 2.20.



Hình 2.19 Mô hình bộ biến đổi BESS trong hệ tọa độ quay dq



Hình 2.20 Mô hình bộ biến đổi BESS trong miền toán tử Laplace

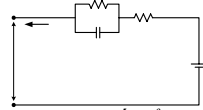
**Nhận xét:** Mô hình dòng phía lưới là mô hình tuyến tính nhiều đầu vào ra (MIMO). Vì vậy có thể áp dụng được các thuật toán điều khiển tuyến tính cho mô hình đối tượng trên.

**2.4. Mô hình kho tích trữ năng lượng battery**

$$\begin{matrix} U_{PCCa} & R, L & I_{B a} \\ U_{PCCt} & R, L & I_{B t} \end{matrix} \quad +$$



Mô hình tính toán của ắc quy cũng như siêu tụ được thay thế giống nhau bằng mô hình mạch điện Thevenin như hình 2.23. Giả sử xét cho ắc quy



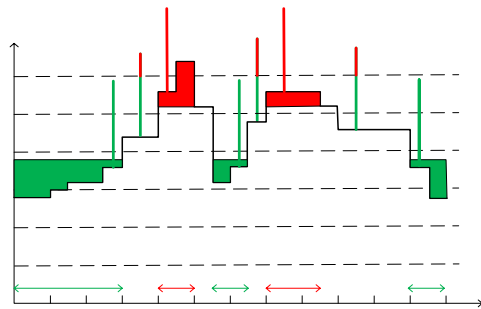
Hình 2.23 Mô hình thay thế kiểu Thevenin của ắc quy

Ở chế độ làm việc có thể bỏ qua tổn hao trong mạch vòng tự phóng điện. Khi đó mô tả toán học về ắc quy được viết:

$$\begin{cases} U_b = E_b - i_b R_i \\ P_b = U_b i_b \end{cases} \quad (2.56)$$

**2.5. Vận hành MĐCBTĐN và giới hạn tải của máy phát**

Dựa trên cơ sở sơ đồ mạng điện như hình 2.1a,b và kết quả tính toán cho thấy trên đồ thị phụ tải ngày hình 2.25. Nếu không có BESS thì động cơ chỉ có thể khởi động thành công tại các thời điểm máy phát đang vận hành với tải tính  $P_{tính} \leq P_{tính\ gh}(pu) = 72\%$ .



Hình 2.25 Đồ thị phụ tải ngày

- Không có BESS thì động cơ chỉ có thể khởi động thành công tại các thời điểm t1, t4, t8.

- Khi có BESS thì động cơ luôn được khởi động thành công nhờ BESS huy động công suất đỉnh cho khởi động: Ở thời điểm t2, t5 và t7 BESS huy động một phần đỉnh khi công suất khởi động vượt qua

120% công suất máy phát; Ở thời điểm t3 và t6 BESS huy động hoàn toàn phần công suất khởi động của động cơ.

- BESS làm việc ở chế độ tích năng lượng trong khoảng thời gian từ (0÷6) giờ, từ (11÷13) giờ và từ (22÷24) giờ.

- BESS sẽ phát công suất trong khoảng thời gian từ (8÷10) giờ, và từ (14÷17) giờ.

**2.6. Kết luận chương 2**

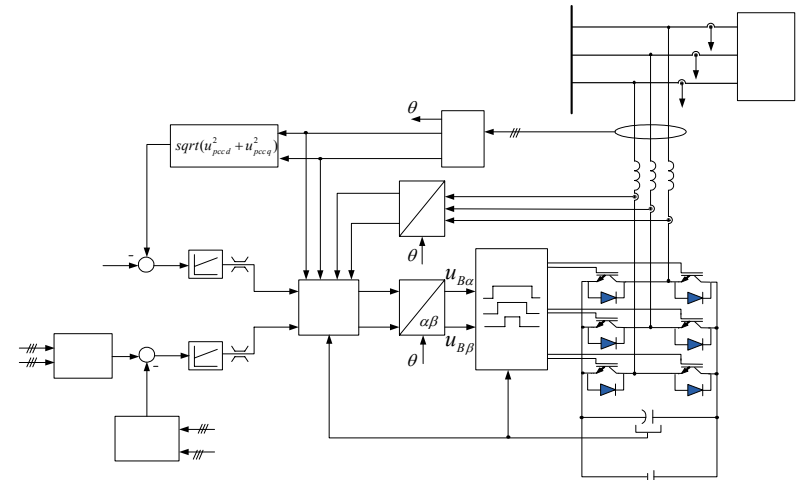
Kết thúc chương 2 cho ta một cách nhìn đầy đủ về mô hình của một mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ thông qua việc mô tả toán học của các hệ làm cơ sở cho công việc tiếp theo trong chương 3 là thiết kế bộ điều khiển BESS đáp ứng cho các yêu cầu của MĐCBTĐN.

**Chương III**

**$E_t +$  CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN HỆ BESS  
-TRONG MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ THỦY ĐIỆN NHỎ**

**3.1. Cấu trúc điều khiển hệ BESS**

Dựa trên kết quả nghiên cứu của chương 2 luận án đã đưa ra cấu trúc điều khiển hệ BESS như hình 3.1



Hình 3.1 Cấu trúc điều khiển hệ BESS trong MĐCBTĐN

Bộ điều khiển được thiết kế gồm những khối cơ bản làm việc trong hệ tọa độ quay  $dq$  tựa điện áp lưới như sau:

Bộ điều chỉnh dòng điện  $R_i$  điều chỉnh 2 thành phần dòng một chiều  $i_{Bd}$  (huy động P khi cần P đỉnh),  $i_{Bq}$  (huy động Q để ổn định điện áp tại PCC).

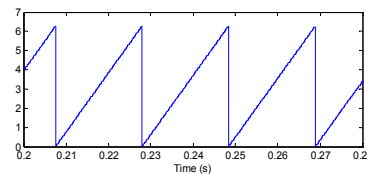
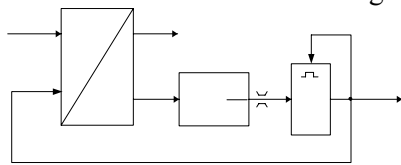
- Bộ điều chỉnh điện áp tại điểm kết nối PCC có tác dụng cải thiện động học điện áp tại điểm này khi xuất hiện các biến thiên điện áp.

- Bộ điều chỉnh công suất tác dụng điều chỉnh quá trình trao đổi năng lượng giữa bộ biến đổi BESS với lưới điện.

**3.2. Nguyên lý xác định góc pha vector điện áp**

Chức năng: Xác định góc tựa điện áp lưới  $\theta$  để chuyển hệ tọa.

Luận án chọn phương pháp vòng khóa pha (PLL) có cấu trúc như hình 3.3 và cấu trúc điều khiển góc pha như hình 3.4.

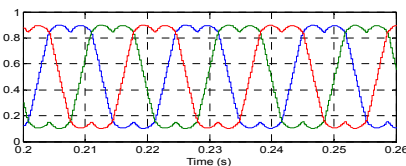


Hình 3.3 Cấu trúc khối đồng bộ với điện áp lưới

Hình 3.4 Dạng tín hiệu tựa đồng bộ điện áp lưới

**3.3. Điều chế vector không gian SVM cho hệ BESS**

Phương pháp điều khiển phát xung được chọn phù hợp với thiết kế bộ điều khiển, luận án chọn phương pháp phát xung kiểu SVM, dạng sóng biến điệu vector SVM như hình 3.9



Hình 3.9 Dạng sóng biến điệu vector SVM

**3.4. Thiết kế bộ điều chỉnh dòng điện cho hệ BESS**

$U_{abc}$

$U_d$

$abc$

$U_q$

$K$

$f$

$\theta^*$

Luận án sử dụng phương pháp thiết kế bộ điều chỉnh dòng trong hệ tọa độ quay  $dq$  đồng bộ với điện áp tại điểm kết nối chung PCC, thông qua 2 phương pháp thiết kế: Thiết kế bộ điều chỉnh dòng kiểu PI, và thiết kế bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat.

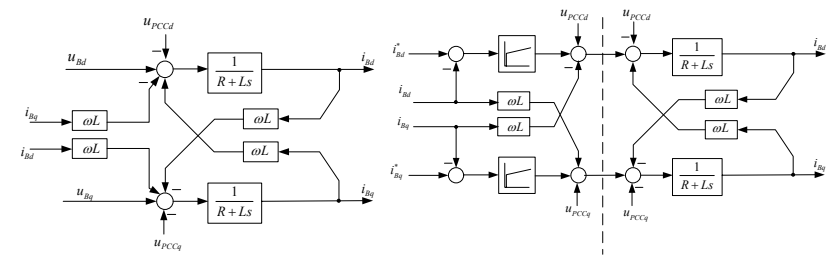
**3.4.1. Cấu trúc bộ điều chỉnh kiểu PI**

Hệ phương trình mạch vòng dòng điện trong hệ tọa độ quay  $dq$  được viết:

$$\begin{cases} u_{Bd} = Ri_{Bd} + L \frac{di_{Bd}}{dt} + u_{PCCd} - L\omega i_{Bq} \\ u_{Bq} = Ri_{Bq} + L \frac{di_{Bq}}{dt} + u_{PCCq} + L\omega i_{Bd} \end{cases} \quad (3.15)$$

Giả sử ta có thể thực hiện khử thành công 2 thành phần tương tác chéo  $-\omega Li_{Bd}$  và  $\omega Li_{Bq}$  khi đo được 2 thành phần dòng  $i_{Bd}$ ,  $i_{Bq}$ . Cấu trúc điều khiển như hình 3.10.

Từ phương trình (3.16) nhận thấy mối quan hệ giữa  $\Delta u_d$  và  $i_{Bd}$ , giữa  $\Delta u_q$  và  $i_{Bq}$  có đặc điểm tỷ lệ quán tính bậc 1 (PT1). Trong đó  $u_{PCCd}$  và  $u_{PCCq}$  là 2 thành phần phía lưới của bộ biến đổi BESS có thể đo được và do đó có thể khử tác động bằng phương thức bù xuôi. Do đặc điểm khâu PT1 ta có thể sử dụng 2 bộ điều chỉnh PI để điều khiển 2 thành phần dòng  $i_{Bd}$ ,  $i_{Bq}$ .



Hình 3.10 Cấu trúc khử tương tác 2 thành phần dòng  $i_{Bd}$  và  $i_{Bq}$

Hình 3.11 Cấu trúc bộ điều chỉnh dòng kiểu PI cho bộ biến đổi BESS

Hàm truyền đạt của khâu điều chỉnh dòng kiểu PI như sau:

$$G_{Ri}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i}\right) = \frac{L}{2T_i} \left(1 + \frac{1}{sT_i}\right) \quad (3.19)$$

Nhận xét: Bộ điều chỉnh dòng điện kênh d,q sẽ có tham số Kp, Ki giống nhau.

### 3.4.2. Bộ điều chỉnh kiểu Dead-Beat

Để cải thiện thời gian đáp ứng mà vẫn đảm bảo được chất lượng hệ thống, luận án đưa ra thiết kế bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat.

Nội dung được trình bày như sau:

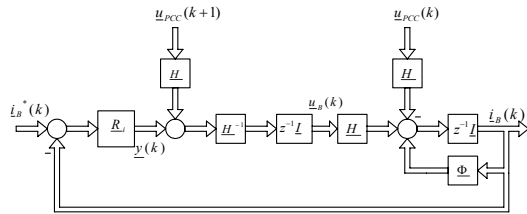
Viết lại (3.15) dưới dạng mô hình trạng thái:

$$\begin{cases} \frac{di_{Bd}}{dt} = -\frac{1}{T_L} i_{Bd} + \omega_s i_{Bq} + \frac{1}{L} (u_{Bd} - u_{PCCd}) \\ \frac{di_{Bq}}{dt} = -\omega_s i_{Bd} - \frac{1}{T_L} i_{Bq} + \frac{1}{L} (u_{Bq} - u_{PCCq}) \end{cases} \quad (3.20)$$

Từ phương trình trạng thái thu được mô hình dòng gián đoạn [13]:

$$\underline{i}_B(k+1) = \underline{\Phi} \underline{i}_B(k) + \underline{H} u_B(k) - \underline{H} u_{PCC}(k) \quad (3.21)$$

Từ (3.22), (3.23) và (3.24) xây dựng được sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều chỉnh dòng điện như hình 3.12 và thiết kế khâu điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat như hình 3.12.



Hình 3.12 Cấu trúc mạch vòng điều chỉnh dòng điện kiểu Dead-Beat

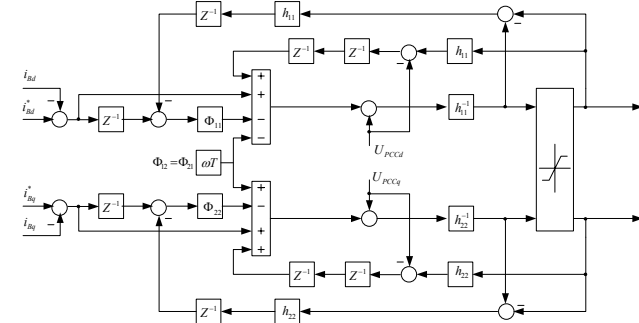
Giả thiết y(k) là biến đầu ra của khâu điều chỉnh vector Ri, trong đó đã bù ảnh hưởng điện áp lưới và trễ thời gian thực hiện bộ điều chỉnh:

$$\underline{u}_B(k+1) = \underline{H}^{-1} \left[ \underline{y}(k) + \underline{H} \underline{u}_{PCC}(k+1) \right] \quad (3.25)$$

Mục tiêu đặt ra sao cho giá trị thực đuổi kịp giá trị đặt trong hai chu kỳ trích mẫu, thỏa mãn biểu thức :

$$\underline{i}_B(z) = z^{-2} \underline{i}_B^*(z) \quad (3.27)$$

Cấu trúc bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat được thiết kế như hình 3.14



Hình 3.14 Cấu trúc bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat

### 3.5. Thiết kế bộ điều chỉnh điện áp tại điểm kết nối chung PCC

Từ hình 2.16.a, viết hệ phương trình cân bằng điện áp đầu cực máy phát và điểm kết nối chung trong hệ tọa độ abc :

$$\begin{cases} u_{PCCa} = R_s i_{Ba} + L_s \frac{di_{Ba}}{dt} + u_{Na} \\ u_{PCCb} = R_s i_{Bb} + L_s \frac{di_{Bb}}{dt} + u_{Nb} \\ u_{PCCc} = R_s i_{Bc} + L_s \frac{di_{Bc}}{dt} + u_{Nc} \end{cases} \quad (3.34)$$

Áp dụng chuyển đổi Park phương trình (3.34) được viết lại trong hệ tọa độ tọa điện áp đầu cực máy phát:

$$\begin{cases} u_{PCCd} = R_s i_{Bd} + L_s \frac{di_{Bd}}{dt} + u_{Nd} - \omega L_s i_{Bq} \\ u_{PCCq} = R_s i_{Bq} + L_s \frac{di_{Bq}}{dt} + u_{Nq} + \omega L_s i_{Bd} \end{cases} \quad (3.35)$$

Viết lại (3.35) dưới dạng mô hình trạng thái

$$\begin{cases} \frac{di_{Bd}}{dt} = -\frac{R_s}{L_s} i_{Bd} + \omega_s i_{Bq} + \frac{1}{L_s} (u_{PCCd} - u_{Nd}) \\ \frac{di_{Bq}}{dt} = -\frac{R_s}{L_s} i_{Bq} - \omega_s i_{Bd} + \frac{1}{L_s} (u_{PCCq} - u_{Nq}) \end{cases} \quad (3.36)$$

Ở chế độ xác lập đạo hàm các thành phần dòng  $i_{Ld}$   $i_{Lq}$  bằng 0 :

$$\begin{cases} 0 = -\frac{R_s}{L_s} i_{Bd} + \omega_s i_{Bq} + \frac{1}{L_s} (u_{PCCd} - u_{Nd}) \\ 0 = -\frac{R_s}{L_s} i_{Bq} - \omega_s i_{Bd} + \frac{1}{L_s} (u_{PCCq} - u_{Nq}) \end{cases} \quad (3.37)$$

Nhận xét: Điện áp tại điểm PCC có thể được điều chỉnh bằng cách đẩy ra một lượng phù hợp thành phần dòng  $i_{Bq}$ . Như vậy đầu ra bộ điều chỉnh điện áp tại điểm kết nối chung PCC sẽ là lượng đặt cho bộ điều chỉnh dòng kênh  $q$ .

Tuy nhiên, do điện áp tại điểm kết nối PCC phụ thuộc rất lớn vào trở kháng đường dây là tham số rất khó xác định chính xác. Vì thế, luận án đề xuất sử dụng bộ điều chỉnh tham số thích nghi thông qua việc nhận dạng đáp ứng động học của đối tượng như hình 3.17

### 3.6. Bộ điều khiển công suất tác dụng

Điều khiển công suất tác dụng với chức năng điều chỉnh quá trình phóng/ nạp ắc quy, quá trình phóng (hỗ trợ máy phát khi có phụ tải đột biến) đặt công suất tác dụng đặt  $P^* > 0$ . Ngược lại, quá trình nạp ắc quy đặt  $P^* < 0$

Trong quá trình huy động công suất tác dụng,  $P^*$  được tính toán từ các yêu cầu công suất tải và công suất máy phát để xác định lượng đặt phù hợp cho bộ điều chỉnh công suất. Công suất tác dụng được tính toán thông các đại lượng dòng điện và điện áp tức thời:

+ Trong hệ tọa độ abc:

$$P = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (3.43)$$

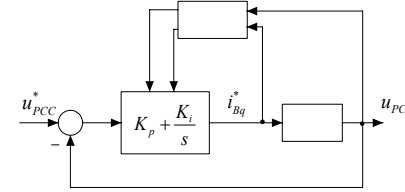
+ Trong hệ tọa độ tĩnh  $\alpha\beta$ :

$$P = u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta \quad (3.44)$$

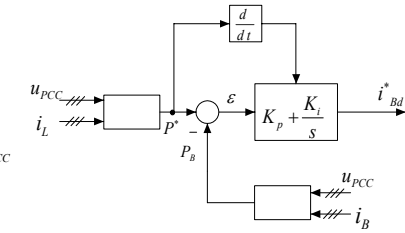
+ Trong hệ tọa độ quay  $dq$ :

$$P = 1.5(u_d i_d + u_q i_q) \quad (3.45)$$

Đầu ra của bộ điều chỉnh công suất tác dụng sẽ là lượng đặt cho thành phần dòng theo kênh  $d$  (hình 3.18).



Hình 3.17 Cấu trúc điều khiển thích nghi mạch vòng điện áp



Hình 3.18 Cấu trúc điều khiển công suất tác dụng

### 3.7. Kết luận chương 3

Chương 3 đưa ra cấu trúc điều khiển hệ BESS trong MĐCBTĐN được xây dựng trong hệ tọa độ  $dq$ . Cấu trúc điều khiển gồm 2 phần chính:

Đầu ra bộ điều chỉnh dòng là lượng đặt cho khâu điều chế vector không gian SVM.

Bộ điều chỉnh vòng ngoài thực hiện chức năng công nghệ của hệ BESS gồm: Bộ điều khiển công suất tác dụng, bộ điều khiển điện áp tại điểm kết nối chung PCC. Đầu ra bộ điều chỉnh vòng ngoài là lượng đặt cho bộ điều chỉnh dòng điện.

## Chương IV

### MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM HỆ BESS VỚI MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ THỦY ĐIỆN NHỎ

#### 4.1. Mô phỏng hệ BESS với MĐCBTĐN bằng Matlab

Nội dung mô phỏng:

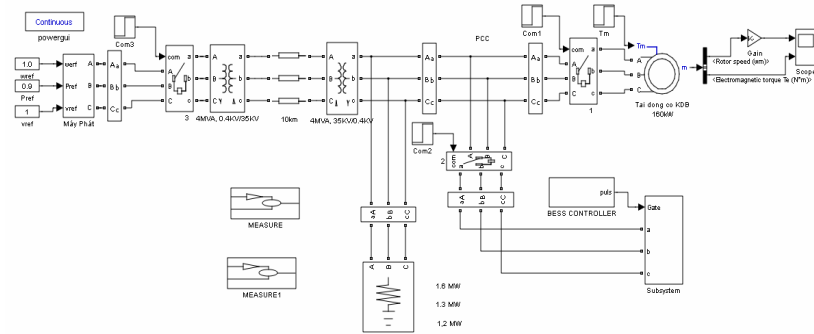
1) BESS huy động công suất đỉnh cho động cơ khởi động được mô phỏng trong MĐCBTĐN công suất 2 MVA.

2) BESS bù công suất phản kháng, điều hòa tải, phóng và tích năng lượng được mô phỏng trong MĐCBTĐN công suất 85 kVA

##### 4.1.1. Mô phỏng trong MĐCBTĐN công suất 2 MVA

###### 4.1.1.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Sơ đồ mô phỏng như hình 4.1

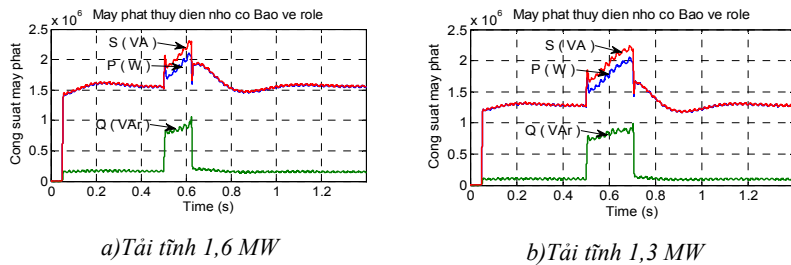


Hình 4.1 Mô hình mô phỏng hệ BESS trong MĐCBTĐN công suất 2MVA

4.1.1.2. Kết quả mô phỏng

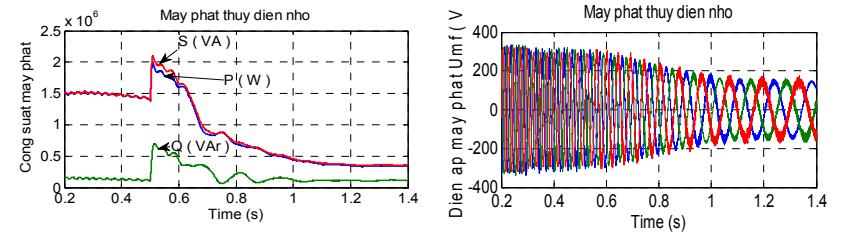
a) Trường hợp chưa có BESS

Khởi động động cơ 160 KW, công suất định toàn mạng áp đặt lên máy phát 2,5 MVA vượt quá công suất định mức máy phát  $\approx 1,2$  lần làm cho máy phát thủy điện nhỏ kiểu kênh dẫn không đáp ứng được. Bảo vệ role tác động cắt mạch điện, động cơ khởi động không thành công. Kết quả hình 4.4a khi tải tĩnh 1,6 MW, hình 4.4b khi tải tĩnh 1,3 MW.



Hình 4.4 Các thành phần công suất máy phát thủy điện nhỏ có bảo vệ role khi khởi động động cơ 160 KW, với các tải tĩnh là 1,6 MW và 1,3 MW

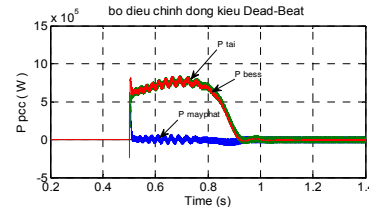
- Trường hợp mô phỏng với máy phát thủy điện nhỏ không có bảo vệ role, tốc độ máy phát suy giảm mạnh, kéo theo tần số giảm và điện áp giảm nghiêm trọng dẫn đến tan rã lưới. Kết quả mô phỏng trên hình 4.5



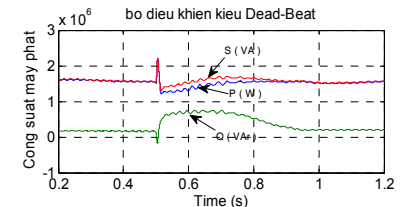
Hình 4.5 Hệ turbine-máy phát thủy điện nhỏ không đáp ứng phụ tải định Để đối phó với tình huống này phải giảm tải tĩnh giảm xuống 1,2 MW. Tuy nhiên, giảm tải tĩnh sẽ làm tính kinh tế hệ thống.

b) Trường hợp có BESS

BESS huy động toàn bộ công suất tác dụng cho động cơ khởi động, Công suất tác dụng máy phát không tăng, xem hình 4.7 - 4.8



Hình 4.7 BESS huy động công suất tác dụng khi động cơ khởi động

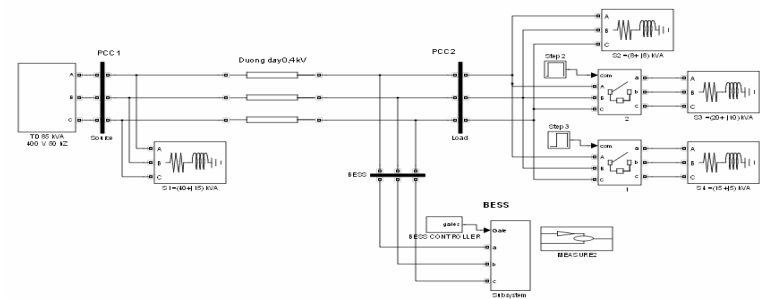


Hình 4.8 Các thành phần công suất của máy phát khi động cơ khởi động

4.1.2. Mô phỏng trong MĐCBTĐN công suất 85 kVA

4.1.2.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Sơ đồ mô phỏng như hình 4.14

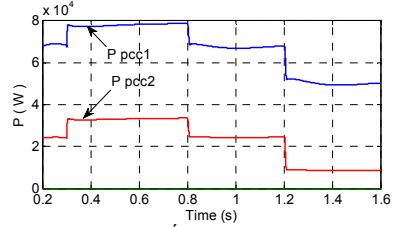


Hình 4.14 Mô hình mô phỏng hệ BESS trong MĐCBTĐN công suất 85 kVA

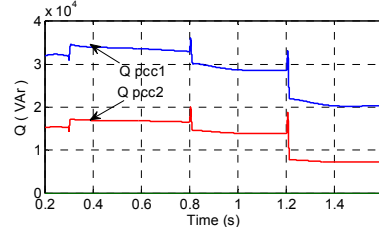
4.1.2.2. Kết quả mô phỏng

**a) Trường hợp chưa có BESS**

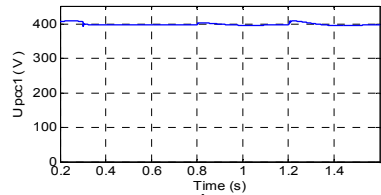
Do phụ tải tại PCC2 lớn, tổn thất điện áp trên đường dây lớn (340V/400V). Kết quả mô phỏng như hình 4.15 - 4.17



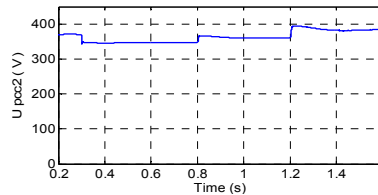
Hình 4.15 Công suất P đo tại PCC1 và PCC2



Hình 4.16 Công suất Q đo tại PCC1 và PCC2



Hình 4.17 Điện áp đầu cực máy phát  $U_{PCC1}$

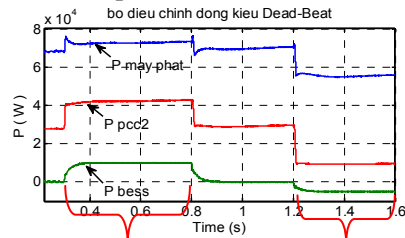


Hình 4.18 Điện áp trên tải  $U_{PCC2}$

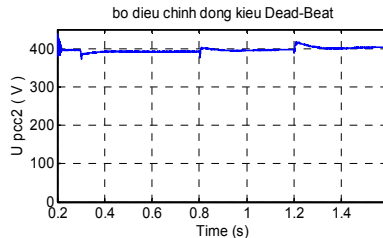
**b) Trường hợp có BESS**

✓ **BESS điều hòa công suất tác dụng:**

Trong khoảng thời gian (0,3-0,8)s BESS phát 10 kW, đảm bảo cho máy phát không bị quá tải. Sau thời điểm 1,2 s phụ tải giảm thấp, khi đó BESS chuyển sang chế độ tích năng lượng, xem hình 4.19. Tác dụng bù công suất phản kháng đã giữ cho điện áp tại điểm PCC2 có điện áp sai lệch  $\leq 5\%$ , hình 4.21.



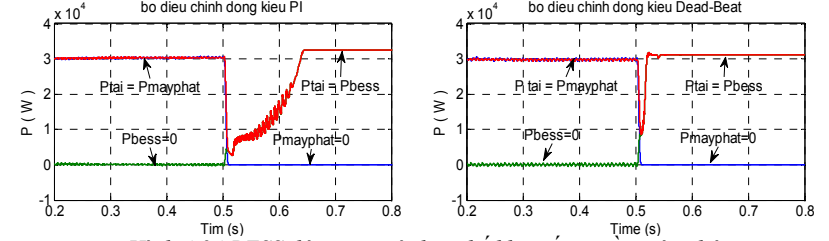
Hình 4.19 BESS điều hòa công suất P



Hình 4.21 Điện áp trên tải  $U_{PCC2}$  khi có BESS

✓ **BESS đóng vai trò nguồn dự phòng có đáp ứng nhanh:**

Kết quả mô phỏng trường hợp mất nguồn cho thấy bộ điều khiển dòng kiểu Dead-Beat có đáp ứng nhanh hơn nhiều so với kiểu PI thông thường, xem hình 4.24



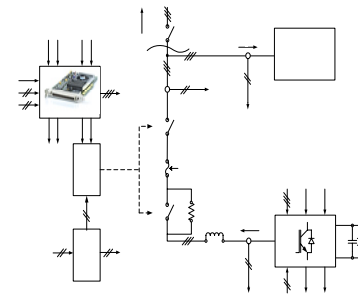
Hình 4.24 BESS đóng vai trò thay thế khi mất nguồn máy phát

**4.2. Thục nghiệm hệ BESS trong phòng thí nghiệm**

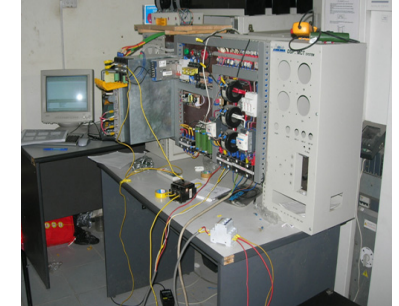
Nội dung thực nghiệm đề ra là chỉ kiểm chứng tính năng của BESS huy động công suất định cho động cơ khởi động .

**4.2.1. Cấu trúc thí nghiệm hệ BESS**

Cấu trúc các khối thí nghiệm hệ BESS kết nối với lưới điện được xây dựng như sơ đồ hình 4.25, hình 4.26



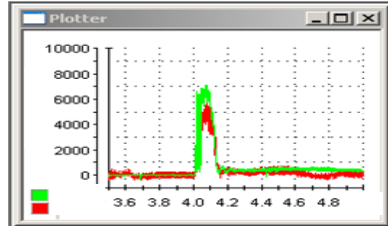
Hình 4.25 Cấu trúc thí nghiệm hệ BESS



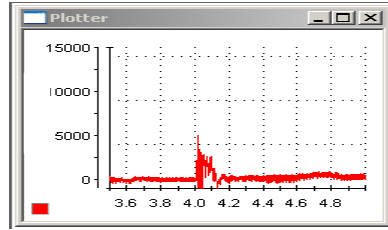
Hình 4.26 Mô hình thí nghiệm hệ BESS

**4.2.3. Kết quả thí nghiệm hệ BESS**

Cho động cơ 2,2 kW khởi động không tải, đặt BESS bù 70% công suất tác dụng khi động cơ khởi động, phần chênh lệch công suất còn lại sẽ do nguồn cung cấp. Kết quả xem hình 4.35, 4.36

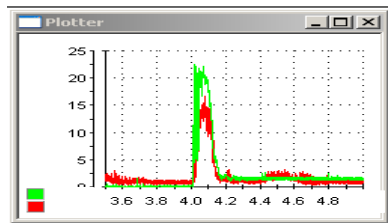


Hình 4.35 BESS bù thành phần công suất tác dụng cho động cơ khởi động

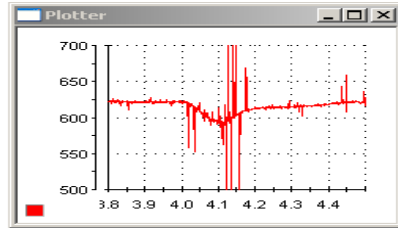


Hình 4.36 Sai lệch công suất tác dụng P giữa tải và BESS do máy phát cấp

Dòng điện đỉnh nhọn do động cơ khởi động, hình 4.40 và điện áp trên ắc quy khi BESS phát công suất tác dụng, hình 4.43.



Hình 4.40 Biên độ dòng điện đỉnh nhọn khi động cơ khởi động và BESS



Hình 4.43 Điện áp ắc quy khi BESS phóng điện

**4.3. Kết luận chương 4**

Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cấu trúc điều khiển hệ BESS trong phòng thí nghiệm được xây dựng trong chương 4 đã chứng tỏ những tính năng của BESS như đã phân tích nghiên cứu trong chương 2 và chương 3 là đúng. Khẳng định tính trung thực và khoa học của các phương pháp nghiên cứu về BESS mà luận án đã áp dụng. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai các ứng dụng của BESS vào thực tế cho mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ.

**KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

**1. Kết luận:**

Mục tiêu của luận án đề ra là sử dụng BESS để nâng cao hiệu quả khai thác công suất đồng thời đảm bảo ổn định lưới (điện áp và tần

số) trong mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ. Kết quả nghiên cứu đã giải quyết được một số vấn đề chính sau:

- Ứng dụng BESS để phủ đỉnh cho chế độ khởi động của các động cơ lớn. Cụ thể là áp dụng cho động cơ có công suất 160 kW trong mạng điện cục bộ thủy điện nhỏ có công suất máy phát 2 MVA, nhờ có BESS đã nâng được công suất vận hành máy phát lên trên 90% công suất định mức. Khi không có BESS thì công suất vận hành máy phát chỉ có thể nhỏ dưới 1,3 MW (70%) như kết quả tính toán và mô phỏng.

- Luận án đã đưa ra được cấu trúc điều khiển hệ BESS thỏa mãn yêu cầu đáp ứng nhanh về công suất (bám theo công suất định) thông qua thiết kế bộ điều chỉnh dòng điện kiểu PI và Dead-Beat cho hệ BESS. Nhờ đó điện áp được giữ vững và ổn định ngay cả trong thời gian có các động cơ khởi động.

- Kết quả nghiên cứu đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm đã khẳng định tính khả thi và ý nghĩa thực tiễn của đề tài.

**Kiến nghị**

- Từ kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy mô hình BESS cần được nghiên cứu chế thử và có thể phát triển thành sản phẩm thương mại đáp ứng cho thực tế áp dụng trong các thủy điện nhỏ đang được phát triển rất phổ biến ở các tỉnh miền núi phía Bắc Việt Nam.

- Tiếp tục phát triển hướng nghiên cứu của đề tài cho các điều kiện khác về lưới điện. Ví dụ:

- + Lưới không đối xứng, lưới 1 pha
- + Điều khiển thích nghi với các thông số đường dây khác nhau
- Nghiên cứu sử dụng BESS cho các mạng điện cục bộ siêu mềm khác (ví dụ: Hệ thống phát điện sức gió).

P(W)

t(s)

U<sub>battery</sub> (V)