

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN KIỂU DEAD-BEAT ĐỂ NÂNG CAO TÍNH ĐỘNG HỌC CHO HỆ THỐNG LƯU TRỮ TRONG MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ DYNAMIC IMPROVEMENT OF BESS USING DEAD-BEAT TYPE CONTROLLER

Ngô Đức Minh

Trường Đại học KTCN- Đại học Thái Nguyên

Nguyễn Văn Liễn

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Hệ thống lưu trữ điện acquy (BESS) ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các mạng điện cục bộ. Để nâng cao tính động học cho BESS, và thuận lợi cho việc triển khai thuật toán bằng các vi điều khiển hay DSP, tác giả đã xây dựng bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat. Nội dung của phương pháp là: Dựa trên nền tảng của phương pháp điều khiển tựa theo vectơ điện áp lưới trong hệ tọa độ quay dq, có khối phát xung theo phương pháp điều chế vectơ không gian SVM. Hệ phương trình mô tả hệ thống được viết trong không gian trạng thái và gián đoạn hóa với chu kỳ trích mẫu nhỏ (5kHz) để làm cơ sở cho bộ điều chỉnh dòng điện sao cho giá trị của dòng điện thực đuổi kịp giá trị đặt trong khoảng thời gian cần thiết. Ví dụ, chọn là 2 chu kỳ trích mẫu. Kết quả mô phỏng bằng Matlab/Simulink cho thấy cấu trúc điều khiển này thỏa mãn các yêu cầu đặt ra với hệ BESS, cho đáp ứng động học của hệ thống nhanh.

ABSTRACT

Battery Energy Storage Systems (BESS) are widely used in local power networks. In order to improve dynamic response of the BESS and to take advantage of implementation algorithms based on microprocessors or Digital Signal Processing (DSP) systems, the authors of the paper proposed a deadbeat current controller design for the BESS. The main idea of the method is relied on the grid voltage oriented vector control approach on the well-known dq rotational frame and the space vector SVM pulse width modulation technique. The system is described by state-space equations that are then transformed into the discrete-time domain with a high sampling frequency (5kHz). The designed controller guarantees that the actual values of the plant currents follow their set values after a desired time (in 2 sampling periods). Result, simulated by Matlab/Simulink, shows that this control structure satisfies established demands toward BESS system and has fast dynamic response.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

BESS là thiết bị tích trữ năng lượng nguồn acquy, ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các mạng điện cục bộ. Điều khiển BESS đã có nhiều phương pháp được đưa ra, mỗi phương pháp đều có những ưu, nhược điểm riêng. Ví dụ như: Phương pháp VOC với bộ điều khiển dòng theo kiểu PI số có chất lượng điều khiển cao, nhưng tính động học còn thấp (hàng trăm ms),[1]; Phương pháp điều khiển trực tiếp công suất DPC có tính động học cao, nhưng có nhược điểm là tần số đóng cắt lớn (40kHz) và không cố định, gây dao động công suất,...

Như vậy, tùy theo từng đối tượng áp dụng, người ta lựa chọn thuật điều khiển cho thích hợp. Trường hợp yêu cầu đáp ứng nhanh,

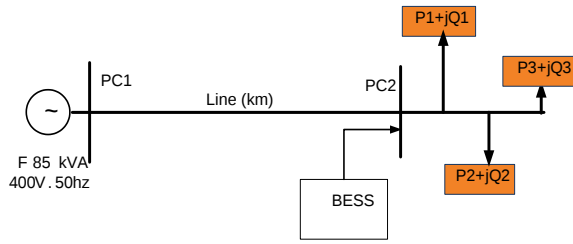
đòi hỏi bộ điều khiển phải có tính động học cao, chất lượng điều khiển đảm bảo điện áp phát ra của BESS phải thỏa mãn các chỉ tiêu chất lượng điện năng, ta ứng dụng phương pháp VOC và thiết kế bộ điều khiển kiểu Dead-Beat, khối phát xung theo phương pháp điều chế vectơ không gian SVM.

II. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

2.1 Mạng điện cục bộ công suất nhỏ

Xét một mạng điện cục bộ như Hình 1. Mục tiêu đề ra cho BESS phải có tính động học cao để phản ứng nhanh trong khi thực hiện một số chức năng sau:

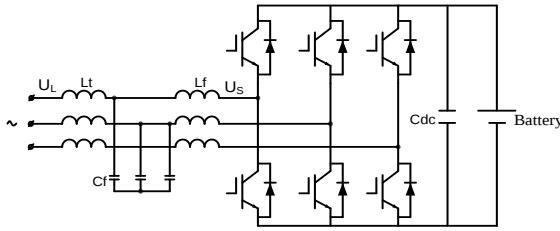
- Giảm ứng suất cho nguồn khi đóng/cắt tải nặng.
- Ổn định điện áp khi có biến động tải



Hình 1. Sơ đồ BESS và lưới điện cục bộ

2.2 Phân tích cấu trúc điều khiển

Hình 2 Mô tả cấu trúc mạch lực của BESS, [2].



Hình 2. Cấu trúc mạch lực của BESS

Từ sơ đồ mạch lực của BESS (Hình 2), ta viết được phương trình mô hình dòng điện của bộ biến đổi trong hệ tọa độ quay dq:

$$\begin{aligned} u_{Ld} &= R i_{Ld} + L \frac{di_{Ld}}{dt} + u_{Sd} - \omega L i_{Lq} \\ u_{Lq} &= R i_{Lq} + L \frac{di_{Lq}}{dt} + u_{Sq} + \omega L i_{Ld} \end{aligned} \quad (1)$$

Phương trình (1) là xuất phát để ta có thể xây dựng bộ điều khiển tựa theo điện áp lưới với khâu phát xung theo phương pháp điều chế vector không gian. Một bộ điều khiển đơn giản thường được thiết kế với bộ điều chỉnh dòng theo kiểu PI thông thường [2]. Nhưng, nếu theo

tiêu chí bộ điều khiển phải có tính động học cao ta thiết kế bộ điều khiển dòng theo kiểu Deat-Beat.

Từ (1), viết lại dưới dạng mô hình trạng thái [3],[4], ta có:

$$\begin{cases} \frac{di_{Ld}}{dt} = -\frac{1}{T_L} i_{Td} + \omega_s i_{Lq} + \frac{1}{L} (u_{Sd} - u_{Ld}) \\ \frac{di_{Lq}}{dt} = -\omega_s i_{Ld} - \frac{1}{T_L} i_{Lq} + \frac{1}{L} (u_{Sq} - u_{Lq}) \end{cases} \quad (2)$$

Từ phương trình trạng thái ta thu được mô hình dòng gián đoạn:

$$\underline{i}_L(k+1) = \underline{\Phi} \underline{i}_L(k) + \underline{H} \underline{u}_s(k) - \underline{H} \underline{u}_L(k) \quad (3)$$

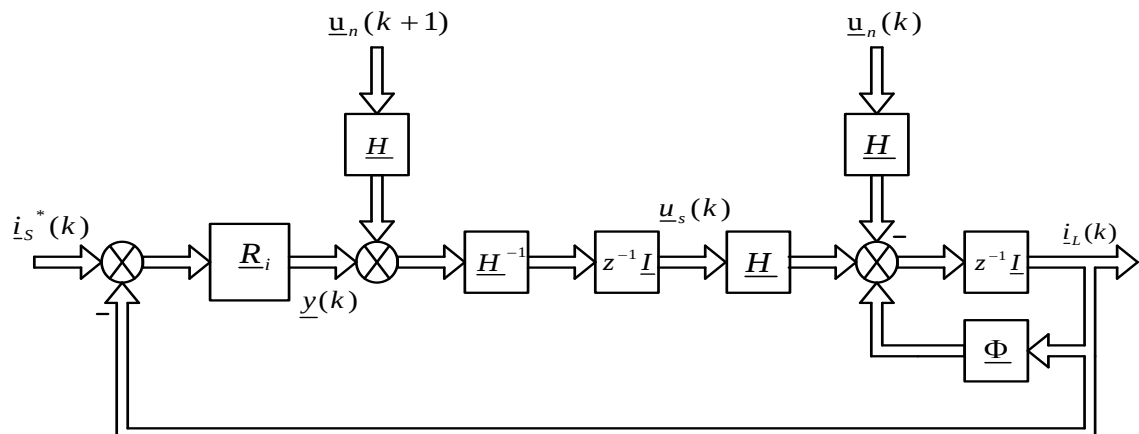
Trong đó:

$$\underline{\Phi} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T}{T_d} & \omega T \\ -\omega T & 1 - \frac{T}{T_d} \end{bmatrix}; \quad \underline{H} = \begin{bmatrix} \frac{T}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{T}{L_d} \end{bmatrix}$$

$$\underline{i}_L(k) = \begin{bmatrix} i_{Ld}(k) \\ i_{Lq}(k) \end{bmatrix}; \underline{u}_L(k) = \begin{bmatrix} u_{Ld}(k) \\ u_{Lq}(k) \end{bmatrix}; \underline{u}_s(k) = \begin{bmatrix} u_{Sd}(k) \\ u_{Sq}(k) \end{bmatrix}$$

T: Là chu kỳ trích mẫu bộ điều chỉnh dòng điện.

Từ đây ta xây dựng được cấu trúc mạch vòng dòng điện phía lưới, Hình 3. Đó chính là xuất phát điểm để thiết kế khâu điều chỉnh dòng.



Hình 3. Cấu trúc mạch vòng dòng điện phía lưới

Giả thiết $\underline{y}(k)$ là biến đầu ra của khâu điều chỉnh vector $\underline{R}_i$, trong đó đã bù ảnh hưởng điện áp lưới và trễ thời gian thực hiện bộ điều chỉnh

$$\underline{u}_s(k+1) = \underline{H}^{-1} [\underline{y}(k) + \underline{H} \underline{u}_L(k+1)] \quad (4)$$

Phương trình (4) thể hiện rõ trong quá trình thiết kế bộ điều chỉnh dòng đã xét cả hiện tượng làm trễ một nhịp tính trong hàm đặt của khâu điều chỉnh dòng. Biểu thức thứ hai, $\underline{H} \underline{u}_L(k+1)$ có nhiệm vụ bù tính nhiễu điện áp lưới.

Phương trình đầu ra bộ điều chỉnh dòng:

$$\begin{aligned} \underline{y}(k) &= \underline{R}_i [\underline{i}_L^*(k) - \underline{i}_L(k)] = \underline{R}_i \underline{x}_w(k) \\ \underline{y}(z) &= \underline{R}_i [\underline{i}_L^*(z) - \underline{i}_L(z)] \end{aligned} \quad (5)$$

Mục tiêu đặt ra khi thiết kế bộ điều chỉnh dòng có động học cao sao cho giá trị thực đuổi kịp giá trị đặt trong 2 chu kỳ trích mẫu.

$$\underline{i}_L(z) = z^{-2} \underline{i}_L^*(z) \quad (6)$$

Thay (6) vào (5) ta thu được cấu trúc bộ điều khiển dòng như sau:

$$\underline{R}_i = \frac{1-z^{-1}\Phi}{1-z^{-2}} \quad (7)$$

Từ phương trình (7) ta viết phương trình sai phân bộ điều chỉnh dòng:

$$\underline{y}(k) = \underline{x}_w(k) - \Phi \underline{x}_w(k-1) + \underline{y}(k-2) \quad (8)$$

Như vậy để thuận lợi cho quá trình tính toán phương trình bộ điều khiển dòng được viết qua 2 bước:

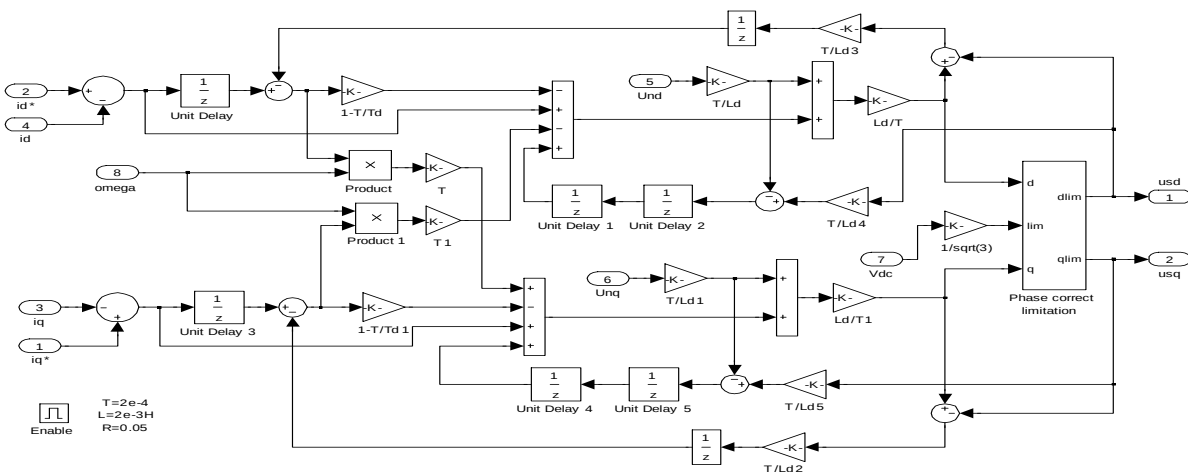
Bước 1: Tính vector, $\underline{y}(k)$ theo (8)

$$\begin{cases} y_d(k) = x_{wd}(k) - \left(1 - \frac{T}{T_L}\right) x_{wd}(k-1) - \omega T x_{wq}(k-1) + y_d(k-2) \\ y_q(k) = x_{wq}(k) + \omega T x_{wd}(k-1) - \left(1 - \frac{T}{T_D}\right) x_{wq}(k-1) + y_q(k-2) \end{cases} \quad (9)$$

Bước 2: Tính vector điện áp $\underline{u}_s(k)$ theo (4)

$$\begin{cases} u_{sd}(k+1) = \frac{L}{T} \left[y_d(k) + \frac{T}{L} u_{Ld}(k+1) \right] \\ u_{sq}(k+1) = \frac{L}{T} \left[y_q(k) + \frac{T}{L} u_{Lq}(k+1) \right] \end{cases} \quad (10)$$

Đến đây, ta xây dựng được cấu trúc bộ điều khiển dòng điện kiểu Dead-Beat như Hình 4.



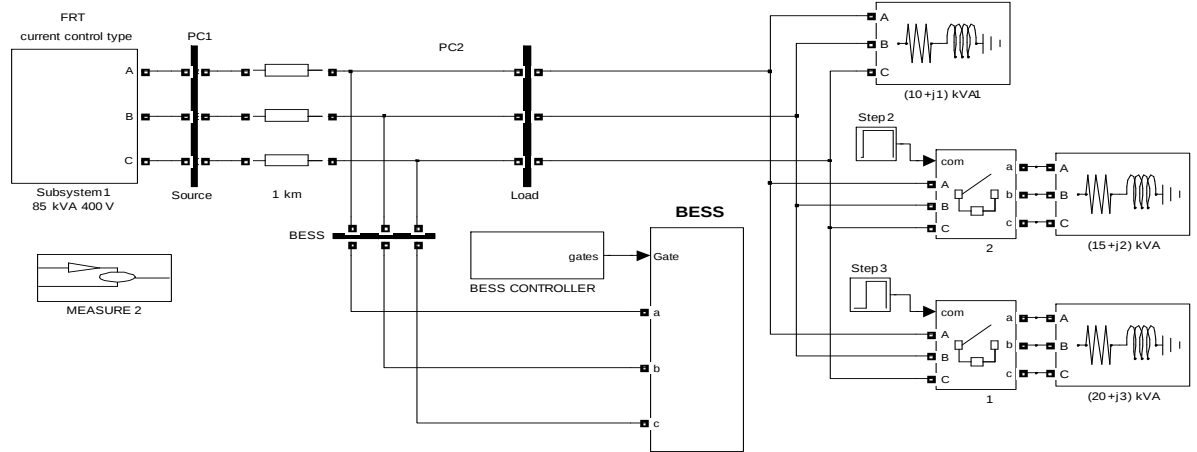
Hình 4. Cấu trúc bộ điều khiển dòng điện kiểu Dead-Beat

2.3 Kết quả mô phỏng Hình 5, mô phỏng sơ đồ tác dụng của BESS trong mạng điện cục bộ với bộ điều khiển dòng kiểu Deat-Beat:

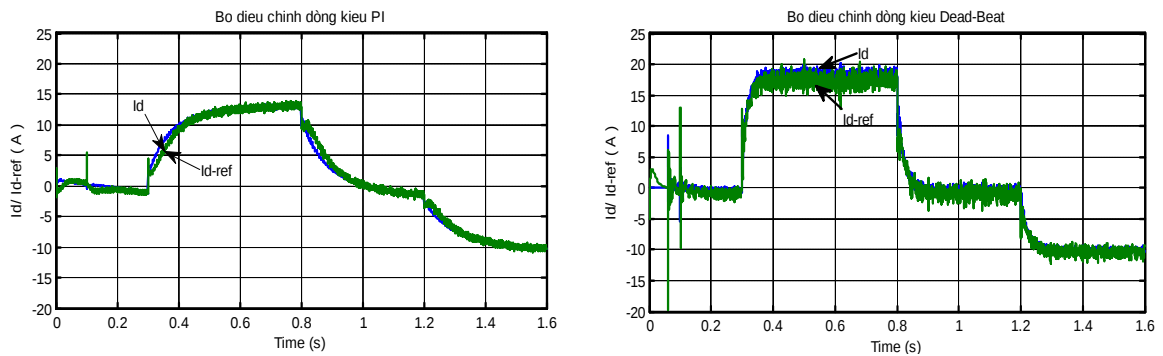
- Khi đóng/cắt tải nặng: BESS bù công suất tác dụng P để giảm ứng suất cho máy phát, đồng thời bù công suất phản kháng Q để đảm bảo ổn định giá trị điện áp lưới.

- Khi mất nguồn: BESS đóng vai trò nguồn thay thế với thời gian quá độ nhanh nhất.

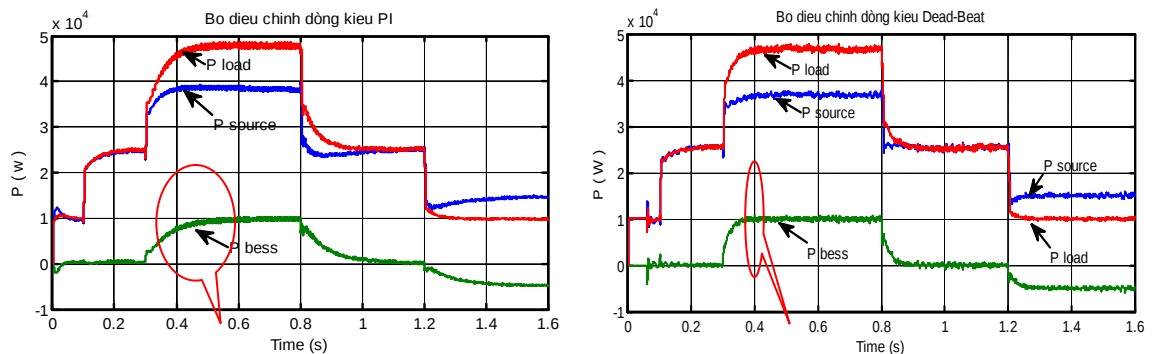
Để thấy được phương pháp Dead-Beat có tính động học cao hơn, ta nêu kết quả mô phỏng đồng thời so sánh với kết quả tương ứng của BESS có bộ điều khiển dòng kiểu PI,[2].



Hình 5. Sơ đồ BESS và mạng điện cục bộ



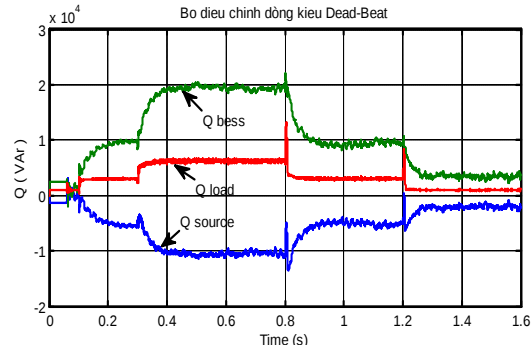
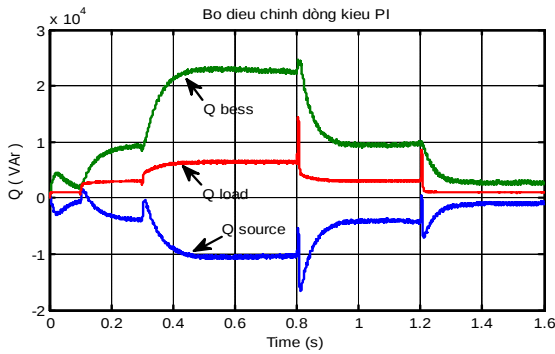
Hình 6. Kết quả đo các thành phần dòng Id và Id-ref



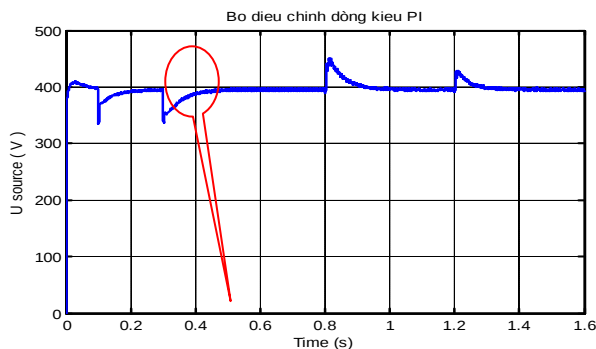
Thời gian quá độ (0,3÷0,55)s

Thời gian quá độ(0,3÷0,35)s

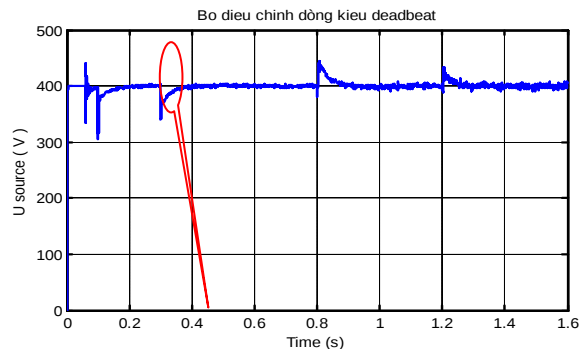
Hình 7. Kết quả đo các thành phần công suất tác dụng P



Hình 8. Kết quả đo các thành phần công suất phản kháng Q

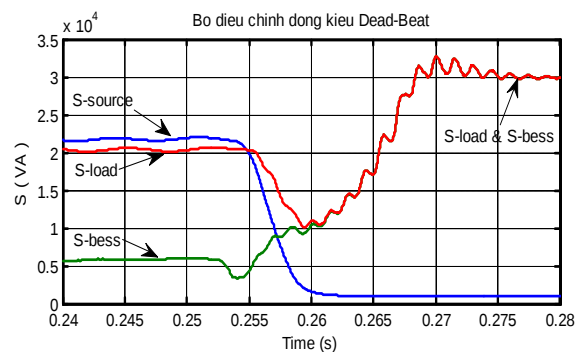
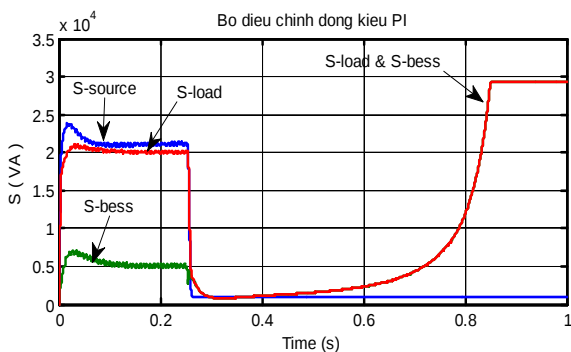


Thời gian quá độ



Thời gian quá độ

Hình 9. Kết quả đo giá trị hiệu dụng điện áp lưới



Hình 10. Kết quả đo công suất tác dụng S khi mất nguồn

2.4 Phân tích kết quả mô phỏng

So sánh giữa hai kết quả thu được, ta thấy rõ bộ điều chỉnh Dead-Beat có tính động cao hơn bộ điều chỉnh PI. Cụ thể như sau:

- 1- Tốc độ bám của dòng thực theo dòng đặt nhanh hơn, Hình 6
- 2- Tại thời điểm 0,3s, cần huy động từ BESS tăng công suất tác dụng P thêm 10kW. BESS với bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat chỉ cần

thời gian quá độ là 0,02s. Trong khi đó, với bộ điều chỉnh dòng điện kiểu PI cần 0,25s, Hình 7.

3- Do tốc độ phục hồi điện áp nhanh hơn, nên với bộ điều chỉnh Dead-Beat, BESS phát bù một lượng công suất phản kháng Q nhỏ hơn (19 kVar). Trong khi đó, với bộ điều khiển PI thì BESS phải phát bù một lượng công suất phản kháng Q lớn hơn (23,5 kVar), Hình 8.

4- Khi tăng tải ở thời điểm 0,3s, điện áp lưới suy giảm khoảng 10%. Với bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat thì BESS chỉ cần 0,04s để phục

hồi điện áp lưới về giá trị ban đầu. Trong khi đó, với bộ điều chỉnh PI thì BESS phải cần 0,2s, Hình 9.

5- Trường hợp mất nguồn, BESS sẽ làm việc thay thế. Thời gian quá độ chỉ mất 0,015s đối với BESS có bộ điều chỉnh dòng kiểu Dead-Beat. Trong khi đó, với BESS có bộ điều chỉnh dòng kiểu PI thì phải mất 0,6s (gấp 40 lần), Hình 10.

III. KẾT LUẬN

- Mô hình BESS với cấu trúc điều khiển có bộ điều chỉnh dòng điện kiểu Dead-Beat là một kết

quả nghiên cứu khoa học khoa học có tính tân tiến.

- Kết quả mô phỏng bằng Matlab cho thấy cấu trúc điều khiển này thỏa mãn các yêu cầu đặt ra với hệ BESS, cho đáp ứng động học của hệ thống nhanh, không có quá điều chỉnh.

- Mô hình BESS có tính động học cao sẽ mang lại nhiều hứa hẹn cho việc khắc phục một số nhược điểm của nguồn điện cục bộ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Bhim Singh, Jitendra Solanki, Ambrish Chandra*; Adaline Based Control of Battery Energy Storage System for Diesel Generator Set. 0-7803-9525-5/06/\$20.00©2006 IEEE.
2. *Ngô Đức Minh*; Ứng dụng BESS trong mạng điện cục bộ nguồn thủy điện công suất nhỏ; Báo cáo kết quả nghiên cứu lần 1, đề tài NCKH cấp bộ, (2009-2010).
3. *Nguyễn Phùng Quang*; Truyền động điện thông minh; NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2004.
4. *Nguyễn Phùng Quang*; Máy điện dị bộ nguồn kép dùng làm máy phát trong hệ thống phát điện chạy sức gió: Các thuật toán điều chỉnh bảo đảm phân ly giữa mômen và hệ số công suất; Báo cáo khoa học tại VICA3, 1998.

Địa chỉ liên hệ: Ngô Đức Minh - Tel: 0982.286.428, Email: ngoducminh@tnut.edu.vn
Khoa Điện, Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp - Đại học Thái Nguyên
Tích Lương, Thái Nguyên