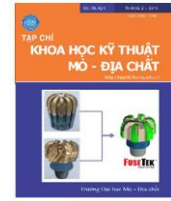




Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Xây dựng cấu trúc điều khiển cho hệ năng lượng tái tạo

Phạm Thị Thanh Loan *, Đào Hiếu

Khoa Cơ điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 15/6/2017

Chấp nhận 20/7/2017

Đăng online 28/2/2018

Từ khóa:

Lưới điện siêu nhỏ

Điều khiển phi tập trung

Điều khiển Droop

TÓM TẮT

Cấu trúc điều khiển phi tập trung cho hệ năng lượng tái tạo thiết lập bởi các nguồn phát phân tán, tải và thiết bị lưu trữ điện năng được nghiên cứu trong bài báo này. Tín hiệu điện áp dc bus được sử dụng để quyết định việc chia sẻ năng lượng giữa các nguồn khác nhau đồng thời được dùng để chọn chế độ hoạt động của hệ thống. Với kỹ thuật điều khiển phi tập trung, các bộ biến đổi được điều chỉnh độc lập mà không cần đến bộ điều khiển trung tâm hay các kết nối truyền thông. Vì thế, độ tin cậy và tính linh hoạt có thể được nâng cao. Hai chế độ hoạt động cho pin mặt trời và ắc quy được được tóm tắt phụ thuộc vào thành phần đang nắm quyền cân bằng năng lượng cho hệ thống. Hiệu quả của cấu trúc điều khiển đề xuất được chứng minh qua các kết quả mô phỏng cho một hệ một chiều với nguồn năng lượng tái tạo là năng lượng mặt trời.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Hệ thống lưới điện xoay chiều thông thường được xây dựng dựa trên nguồn nhiên liệu hóa thạch tập trung hay các nhà máy điện hạt nhân đang đứng trước thách thức cần phải thay đổi sâu sắc về cấu trúc bởi sự góp mặt của nguồn năng lượng tái tạo. Sự phụ thuộc vào điều kiện thời tiết của hai nguồn năng lượng tái tạo hứa hẹn nhất là năng lượng mặt trời và năng lượng gió gây nên sự biến thiên và gián đoạn ở điện áp đầu ra, do đó không đảm bảo đáp ứng các yêu cầu về tải của lưới điện, đặc biệt trong trường hợp có tải ngẫu nhiên lớn (Zhongqing and Akagi, 2004). Việc sử dụng các thành phần lưu trữ năng lượng tích hợp trong

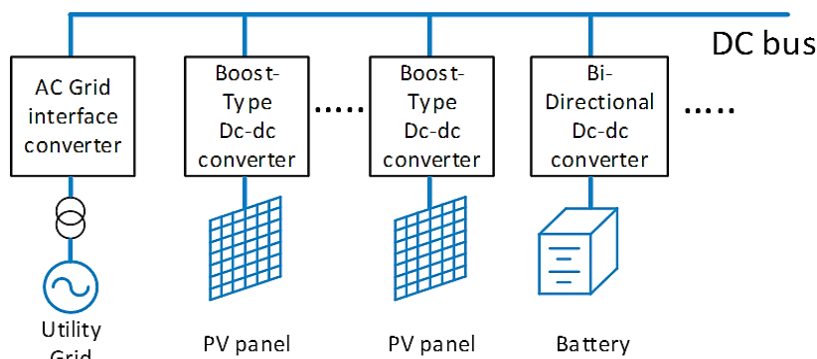
hệ thống lưới điện là một giải pháp phù hợp để giải quyết vấn đề này.

Lưới điện siêu nhỏ một chiều (dc-Microgrid) là một trong những cấu trúc mới bao gồm nguồn phát không tập trung, tải và thành phần tích trữ năng lượng được thiết kế để tiếp nhận nguồn năng lượng tái tạo, cung cấp dịch vụ phụ trợ cho số lượng lớn hệ thống điện, nâng cao chất lượng điện năng và độ tin cậy cho người tiêu dùng (Venkataramanan and Marnay, 2008).

Hầu hết các hệ dc-Microgrid hiện nay đang được điều khiển thông qua bộ biến đổi điện tử công suất với giải pháp dựa trên điện áp một chiều. So với cấu trúc xoay chiều thông thường, giải pháp này có nhiều ưu điểm như: loại bỏ bộ biến đổi ac/dc và dc/ac; khả năng điều khiển là tốt hơn vì không cần đồng bộ và bù công suất phản kháng. Hơn nữa, các thành phần (terminal) có thể được tách rời khỏi lưới điện mà không ảnh hưởng

*Tác giả liên hệ

E-mail: phamthithanhloan@humg.edu.vn



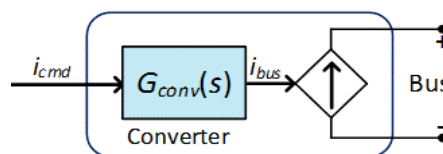
Hình 1. Cấu trúc của lưới điện siêu nhỏ một chiều (dc-Microgrid) (Rodriguez et al., 2016).

đến hoạt động của hệ thống (Rodriguez et al., 2016).

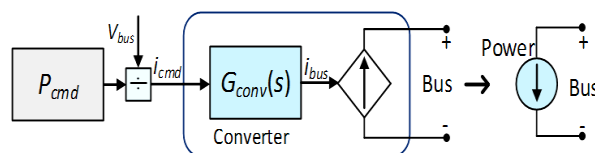
Việc lựa chọn cấu trúc và xây dựng bộ điều khiển có vai trò then chốt quyết định tới chất lượng của hệ dc-Microgrid. Có rất nhiều chiến lược điều khiển cho hệ ac đã được công bố, tuy nhiên nó không hoàn toàn phù hợp với hệ dc vì các đặc thù nêu trên của hệ dc. Hai cấu trúc điều khiển cho hệ dc hiện nay là cấu trúc điều khiển tập trung và cấu trúc điều khiển phi tập trung. Trong cấu trúc tập trung, tất cả các terminal được điều chỉnh bởi một bộ điều khiển trung tâm thông qua truyền thông. Một sự thay đổi nhỏ ở một thành phần có thể gây ảnh hưởng lớn tới toàn hệ thống dẫn đến độ tin cậy và tính linh hoạt của hệ thống bị giảm xuống. Do đó, cấu hình này không phù hợp cho hệ thống có yêu cầu cao về khả năng mở rộng như dc-Microgrid (Chen and Xu, 2010).

Cấu trúc điều khiển phi tập trung được đề xuất để khắc phục nhược điểm trên. Các terminal trong hệ thống được điều khiển độc lập dựa trên thông tin cục bộ với hai phương pháp điều khiển droop cơ bản dựa trên nguồn dòng (V/I) hoặc nguồn áp (V/P) (Zhongqing and Akagi, 2004). Ở đây, tín hiệu điện áp bus được sử dụng để quyết định tới việc chia sẻ năng lượng giữa các nguồn phát. Mặc dù cải thiện được độ tin cậy, tính linh hoạt của kỹ thuật điều khiển droop vẫn bị hạn chế vì tất cả các thiết bị trong hệ thống hoạt động theo một đường cong droop cài đặt sẵn mà không có sự chuyển đổi linh hoạt giữa các chế độ (Rodriguez et al., 2013).

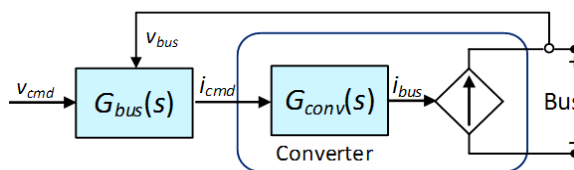
Bài báo này giới thiệu phương pháp điều khiển phi tập trung được cải tiến so với các phương pháp droop thông thường. Với phương pháp này, các đường cong droop của các thành phần khác nhau sẽ được đặt tại các dải điện áp khác nhau, do đó điện áp dc bus có thể được sử



Hình 2. Mô hình đơn giản của bộ biến đổi.



Hình 3. Mô hình bộ biến đổi nguồn dòng.



Hình 4. Mô hình bộ biến đổi nguồn áp.

dụng để chọn chế độ hoạt động cho hệ thống. Với cách tiếp cận này, bộ điều khiển của mỗi terminal sẽ có khả năng tự xử lý hoàn toàn mà không cần tới bộ điều khiển tập trung hoặc các kết nối khác. Do đó, cả độ tin cậy và tính linh hoạt đều được nâng cao. Kết quả của nghiên cứu sẽ được thể hiện thông qua quá trình mô phỏng cho hệ thống bao gồm pin mặt trời, ắc quy và tải.

2. Phân loại kiểu nguồn sử dụng trong hệ thống

Hiệu quả hoạt động phối hợp của các terminal phụ thuộc vào khả năng điều khiển điện áp của các bộ chuyển đổi trong hệ thống, bao gồm bộ chuyển đổi giảm áp dc/dc cho pin mặt trời, chuyển đổi (2 chiều) dc/dc cho thành phần tích trữ điện áp. Các bộ chuyển đổi khác nhau có cấu trúc, nguyên tắc

hoạt động và chiến lược điều khiển khác nhau. Vì vậy, cách mô tả chung cho từng bộ biến đổi cần được thực hiện trước khi đưa ra kỹ thuật thay đổi chế độ hoạt động của hệ lưới điện một chiều.

Mô hình đơn giản của một bộ biến đổi được minh họa trên Hình 2, ở đó các bộ biến đổi có hai nhiệm vụ: Giữ ổn định dòng điện đầu ra và duy trì ổn định điện áp của hệ thống. Vì có thể tồn tại xung đột giữa hai mục tiêu nên tại mỗi thời điểm chỉ một mục tiêu được chọn. Đây cũng là yếu tố để phân loại các bộ biến đổi: Bộ biến đổi nguồn dòng (Hình 3) và bộ biến đổi nguồn áp (Hình 4).

2.1. Bộ biến đổi nguồn dòng

Nhiệm vụ của bộ biến đổi nguồn dòng là đáp ứng yêu cầu chia sẻ công suất tại mỗi đầu vào ra (terminal) dựa trên các điều kiện cục bộ mà không tham gia tới quá trình cân bằng công suất cho toàn hệ thống. Các tải hằng số và các nguồn năng lượng tái tạo phân tán làm việc tại điểm công suất cực đại là các ví dụ điển hình sử dụng bộ biến đổi nguồn dòng. Bộ biến đổi này hoạt động như một bộ thích nghi công suất, nghĩa là công suất phát hay công suất tiêu thụ của hệ thống không bị ảnh hưởng bởi mức điện áp dc-bus.

2.2. Bộ biến đổi nguồn áp

Không giống như bộ biến đổi nguồn dòng, bộ biến đổi nguồn áp có vai trò duy trì sự cân bằng điện áp và ổn định điện áp của toàn hệ thống. Điện áp bus sẽ được điều chỉnh bằng cách điều khiển dòng điện đưa vào terminal dựa trên tín hiệu điện áp phản hồi. Do đó chúng được mô tả như một nguồn áp nối tiếp với một trở kháng Z như trên Hình 4.

Bộ biến đổi nguồn áp đảm bảo tính ổn định điện áp cho hệ dc-Microgrid bằng phản ứng bù điện áp khi có thay đổi về công suất. Từ quan điểm này, một chức năng quan trọng của kỹ thuật điều khiển phi tập trung là thay đổi thích nghi nhiệm vụ điều chỉnh bus với các terminal khác nhau với các điều kiện khác nhau theo thời gian thực để tối ưu dòng công suất đồng thời đảm bảo độ tin cậy và ổn định cho hệ thống.

3. Cấu trúc điều khiển phi tập trung

Để tăng cường tính linh hoạt cho hệ thống, mỗi terminal cần được điều khiển theo thời gian thực, nghĩa là mỗi bộ biến đổi phải có khả năng

thích nghi giữa trạng thái của các terminal với trạng thái của bus tùy theo điều kiện của hệ thống. Cấu trúc điều khiển phi tập trung giới thiệu trong bài báo sử dụng điện áp bus để lựa chọn chế độ hoạt động cũng như quyết định việc chia sẻ năng lượng giữa các terminal.

3.1. Các chế độ hoạt động của hệ dc-Microgrid

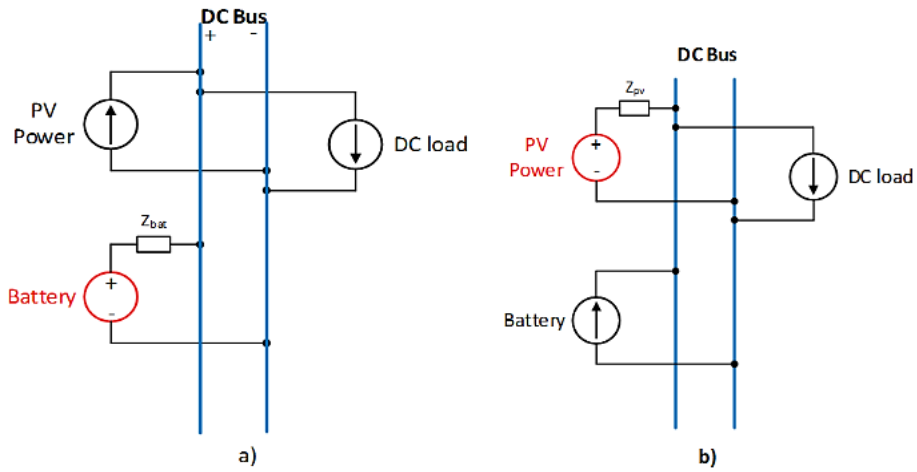
Hoạt động của các ac-Microgrid thông thường được phân chia thành hai chế độ: Chế độ nối lưới và chế độ ốc đảo (island mode) vì nguyên tắc hoạt động và cấu trúc điều khiển khác nhau. Tuy nhiên, sự phân loại này không phù hợp đối với hệ dc vì dc bus được tách rời khỏi lưới nhờ bộ biến đổi dc-ac. Do đó các thay đổi trên lưới điện chính có thể không ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động của dc Microgrid.

Hơn nữa, các ràng buộc trong khả năng tận dụng nguồn năng lượng tái tạo cũng cần được tính toán đến. Với mong muốn dc Microgrid có thể cung cấp công suất và dịch vụ phụ trợ nhiều nhất có thể cho lưới điện chính trong điều kiện dung lượng của nguồn phát phân tán và thiết bị lưu trữ điện năng bị giới hạn, các terminal cần phải được điều chỉnh một cách hợp lý.

Dựa vào các yếu tố trên, một định nghĩa mới về chế độ hoạt động của hệ dc-Microgrid bao gồm pin mặt trời, ắc quy và tải làm việc ở chế độ ốc đảo được đề xuất trong bài báo. Hai chế độ hoạt động được xác định theo thành phần nắm quyền duy trì ổn định điện áp bus được thể hiện trên Hình 5.

Hình 5a biểu diễn chế độ ắc quy (chế độ I) trong điều kiện nguồn phát phân phối hoạt động ở điểm công suất cực đại và ắc quy có đủ công suất và năng lượng dự trữ để cung cấp cho tải. Trong chế độ này bộ biến đổi của pin mặt trời hoạt động ở chế độ nguồn dòng để bơm năng lượng nhiều nhất có thể vào dc bus bằng thuật toán MPPT. Trong khi đó ắc quy hoạt động ở chế độ nguồn áp để duy trì điện áp bus xung quanh điểm làm việc.

Nếu công suất phát của pin mặt trời cao hơn công suất tiêu thụ và năng lượng dư thừa vượt quá khả năng tích trữ của ắc quy thì pin mặt trời trở thành thành phần điều chỉnh điện áp bus (làm việc ở chế độ nguồn áp). Lúc này, bộ biến đổi của pin mặt trời thoát khỏi chế độ bám theo công suất cực đại (MPPT) để chuyển sang chế độ nguồn áp nhằm mục đích cân bằng công suất cho hệ thống. Trong chế độ này bộ biến đổi của ắc quy hoạt động ở chế độ nguồn dòng để nạp hay xả dòng điện phụ thuộc



Hình 5. Định nghĩa các chế độ hoạt động cho hệ dc Microgrid; a) chế độ ắc quy; b) chế độ nguồn phát phân phối.

vào độ chênh năng lượng giữa mặt trời và tải. Chế độ này gọi là chế độ pin mặt trời (Chế độ II), được thể hiện như Hình 5b.

Ưu điểm của phương pháp phân loại này là các chế độ được tách biệt một cách rõ ràng đồng thời nó cho phép chuyển chế độ liên mạch dựa vào sai lệch điện áp dc bus.

3.2. Kỹ thuật chuyển chế độ

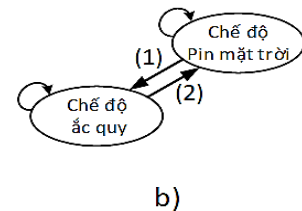
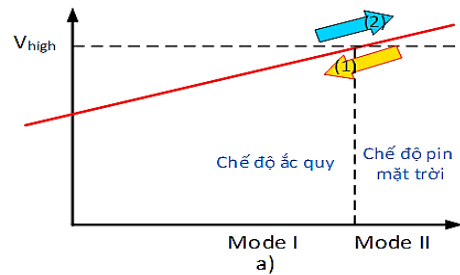
Một đặc điểm quan trọng của hệ dc Microgrid là điều kiện cân bằng công suất được thể hiện thông qua điện áp dc-bus. Ví dụ, khi công suất dư thừa thì tụ sẽ được nạp, dẫn đến việc tăng điện áp bus và ngược lại. Do đó, bản thân điện áp bus có thể được sử dụng để chỉ ra các chế độ hoạt động và quá trình chuyển đổi cho hệ thống. Dựa trên ý tưởng này, phạm vi hoạt động của điện áp bus có thể được chia thành 2 vùng tương ứng với 2 chế độ hoạt động, được thể hiện như trong Hình 6. Các bộ biến đổi của pin mặt trời và ắc quy sẽ tự đưa ra quyết định để chia sẻ năng lượng dựa vào thông tin của điện áp bus.

Nếu hệ thống đang hoạt động ở chế độ ắc quy mà tải giảm hoặc công suất phát của pin mặt trời tăng lên hoặc bất cứ lý do nào khác gây ra sự dư thừa công suất, điện áp bus sẽ tăng lên. Khi điện áp chuyển lên ngưỡng cao hơn V_{thres} , nó sẽ tự động chuyển sang chế độ pin mặt trời để duy trì điện áp bus cho hệ thống. Ngược lại, khi điện áp bus giảm xuống dưới ngưỡng V_{thres} vì tải tăng hoặc công suất phát của pin mặt trời bị gián đoạn, công suất phát bị thiếu hụt thì hệ thống sẽ chuyển sang chế độ ắc quy. Pin mặt trời sẽ làm việc ở điểm công suất cực đại khai thác tối đa nguồn năng

Bảng 1. Các chế độ của dc Microgrid.

Chế độ	Đặc tính công suất	Dải điện áp	Điều chỉnh điện áp
Mode I	$-P_{ESS_ch}$ $< P_{load} - P_{PV}$ $< P_{ESS_dsc}$	V_{bus} $< V_{thres}$	Ắc quy
Mode II	$P_{PV} - P_{load}$ $> P_{ESS_ch}$	V_{bus} $> V_{thres}$	Pin mặt trời

Mode I: Chế độ ắc quy;
Mode II: Chế độ pin mặt trời.



Hình 6. Sự chuyển chế độ dựa vào chênh lệch điện áp bus: a) phân vùng điện áp; b) Kỹ thuật chuyển chế độ.

lượng tái tạo, còn bộ biến đổi của ắc quy sẽ làm việc như nguồn áp để duy trì điện áp bus. Quá trình chuyển đổi giữa các chế độ được tóm tắt trong Hình 6 và Bảng 1.

P_{PV} : Công suất phát của pin mặt trời tại điểm công suất cực đại (MPPT); P_{load} : công suất tiêu thụ của tải; $P_{ESS_{ch}}$; $P_{ESS_{dsc}}$: Công suất nạp, xả cực đại của ắc quy; V_{bus} : điện áp dc bus; V_{thres} : ngưỡng điện áp cho 2 chế độ hoạt động.

4. Bộ điều khiển droop control

Các chế độ và quá trình chuyển đổi của hệ thống được đề cập ở phần trên có thể được thực hiện bằng cách thay đổi phương pháp droop thông thường một cách thích hợp, như trong Hình 7. Với cách tiếp cận này, quan hệ giữa điện áp - công suất (V-P) đặc trưng cho mỗi terminal được chia thành 2 phần. Phần được droop tương ứng với trạng thái nguồn áp, trong khi phần công suất không đổi đại diện cho trạng thái nguồn dòng. Đường P-V của mỗi terminal được thiết lập tại dải điện áp tương ứng của chế độ hoạt động hiện tại. Với sự sắp xếp này, một nhóm bộ biến đổi điện hình có thể tự động chuyển sang trạng thái nguồn áp và duy trì cân bằng công suất khi điện áp bus rơi vào phạm vi tương ứng.

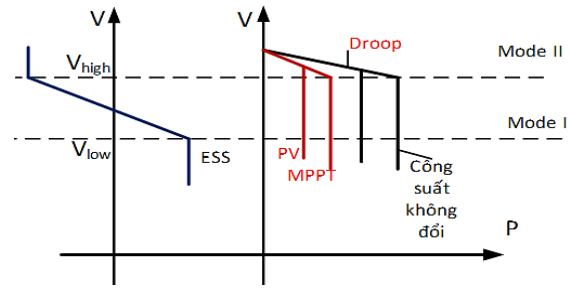
Vì giải pháp được đề xuất này là sự cải tiến của kỹ thuật droop thông thường nên nó vẫn đảm bảo khả năng tự chia sẻ công suất giữa các thành phần. Để đảm bảo tính thống nhất, ngưỡng điện áp V_{thres} là không đổi trong suốt quá trình hoạt động. Trong khi đó, độ dốc của đường droop nên tỷ lệ nghịch với công suất để mỗi bộ biến đổi nguồn áp lấy được lượng công suất tương ứng với khả năng của chúng.

Thuật toán điều khiển chi tiết được thể hiện trên Hình 8. Hình dạng và vị trí của đường cong V-P phụ thuộc vào 4 tham số: tỷ lệ droop R_{droop} ; điện áp đặt V_{ref} ; giới hạn công suất P_{max} , P_{min} . Ý nghĩa vật lý của các tham số này được thể hiện trên Hình 9.

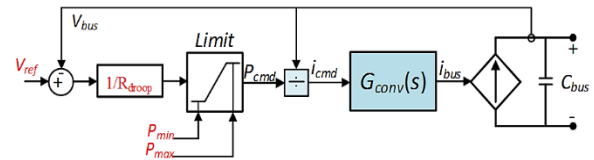
V_{ref} nên được chọn theo giải điện áp của chế độ tương ứng và R_{droop} tỷ lệ nghịch với công suất bộ biến đổi để cho phép chia sẻ năng lượng một cách hợp lý. Giá trị P_{max} , P_{min} được quyết định bởi giới hạn về năng lượng và công suất. Với pin mặt trời, P_{max} được tính từ điểm làm việc công suất cực đại, $P_{min} = 0$.

5. Phân tích các kết quả mô phỏng

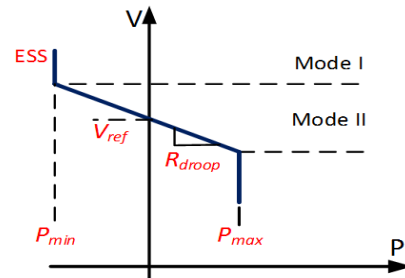
Kết quả mô phỏng cho hệ dc Microgrid bao gồm pin mặt trời, ắc quy và tải sẽ được phân tích trên các chế độ hoạt động và chế độ chuyển mạch



Hình 7. Kỹ thuật Droop cải tiến (Rodriguez et al., 2016).



Hình 8. Thuật toán điều khiển droop.

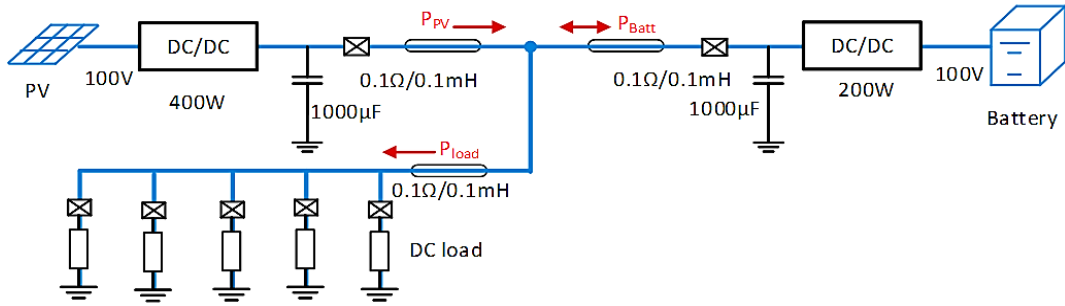


Hình 9. Đường đặc tính V-P.

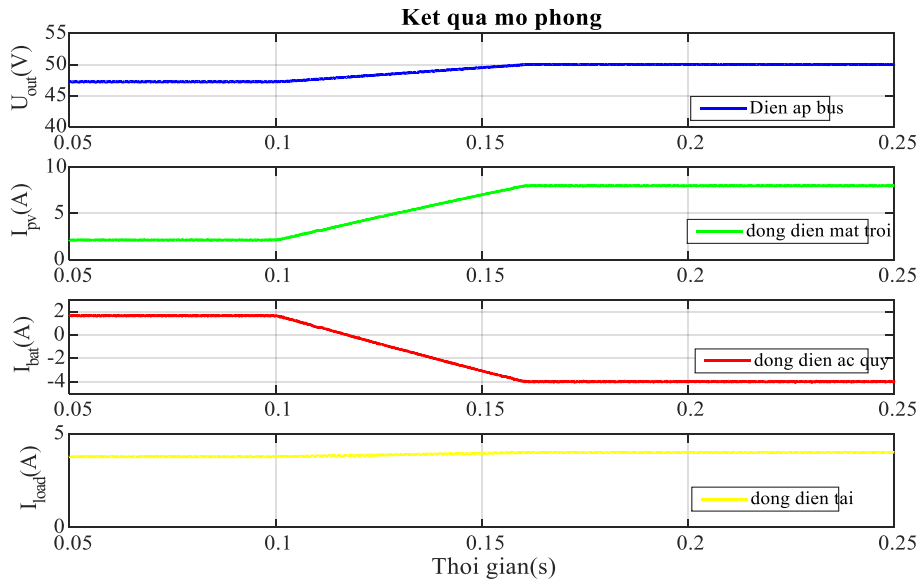
khác nhau. Để kiểm chứng cho thuật toán đã đề xuất, cấu trúc mô phỏng được xây dựng cho một hệ công suất nhỏ với sơ đồ hệ thống và các tham số được thiết lập như trên Hình 10. Công suất của bộ biến đổi cho pin mặt trời là 400W, công suất của bộ biến đổi cho ắc quy là 200W. Điện áp đầu vào là 100V, điện áp bus là 48V - đây là các giá trị điện áp phổ biến được sử dụng trong hệ thống dc Microgrid.

5.1. Chuyển chế độ từ ắc quy sang chế độ pin mặt trời

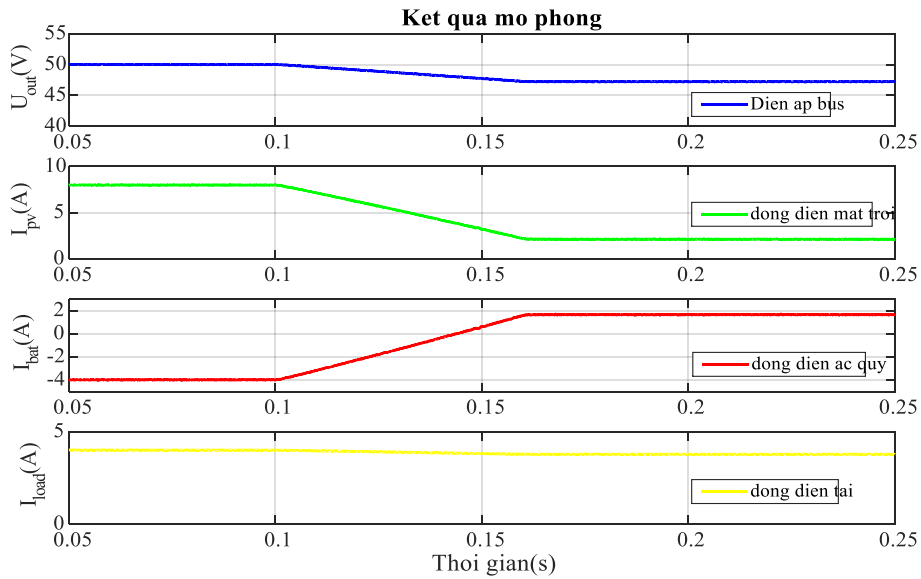
Chuyển đổi từ chế I sang chế độ II xảy ra khi Microgrid đang hoạt động ở chế độ ắc quy (chế độ I), công suất thu được từ pin mặt trời tăng lớn hơn công suất tiêu thụ của tải và công suất nạp cực đại của ắc quy. Công suất dư thừa của pin mặt trời sau khi đã cung cấp cho tải được nạp vào ắc quy. Trong trường hợp này, điện áp bus tăng dần và sau đó ổn định tại điểm lớn hơn điện áp ngưỡng chuyển đổi chế độ V_{thres} . Kết quả mô phỏng chuyển đổi từ chế độ I sang chế độ II được thể hiện trên Hình 11.



Hình 10. Cấu trúc hệ Microgrid.



Hình 11. Chuyển đổi từ chế độ I sang chế độ II.



Hình 12. Chuyển đổi từ chế độ II sang chế độ I.

5.2. Chuyển chế độ từ pin mặt trời sang ắc quy

Chuyển đổi từ chế II sang chế độ I xảy ra khi Microgrid đang hoạt động ở chế độ pin mặt trời (chế độ II), công suất thu được từ pin mặt trời giảm nhỏ hơn công suất tiêu thụ của tải. Khi này ắc quy cần làm việc ở chế độ xả năng lượng để bù vào lượng thiếu hụt trên. Điện áp bus giảm dần và sau đó ổn định tại điểm nhỏ hơn điện áp ngưỡng chuyển đổi chế độ V_{thres} . Kết quả mô phỏng chuyển đổi từ chế độ II sang chế độ I được minh họa trên Hình 12.

6. Kết luận

Với ưu điểm của điện áp dc, các chế độ hoạt động của Microgrid đã được định nghĩa một cách linh hoạt đồng thời việc chuyển đổi liên mạch giữa các chế độ và chia sẻ năng lượng giữa các terminal được thực hiện một cách dễ dàng bằng sách lược điều khiển phi tập trung. Độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống được nâng cao vì không cần tới bộ điều khiển trung tâm cũng như kết nối truyền thông. Hai điều kiện làm việc điển hình được tóm tắt cụ thể là các chế độ pin mặt trời và chế độ ắc quy được thực hiện chi tiết trên sơ đồ và phân tích từ các kết quả mô phỏng đã chứng minh tính khả thi của giải pháp đề xuất.

Tài liệu tham khảo

- Chen, D., and Xu, L., 2010. Autonomous DC Voltage Control of a DC Microgrid With Multiple Slack Terminals. *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 4, 1897-1905.
- Ito, Y., Zhongqing, Y., and Akagi, H., 2004. DC Microgrid based distribution power generation system. in *The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPERC vol. 3, 1740-1745.*
- Rodriguez, M., Stahl, G., Corradini, L., and Maksimovic, D., 2013. Smart DC Power Management System Based on Software-Configurable Power Modules. *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 4, 1571-1586.
- Rodriguez-Diaz, E., Chen, F., Vasquez, J.C., 2016. Voltage-Level Selection of Future Two-Level LVdc Distribution Grids: A Compromise Between Grid Compatibility, Safety, and Efficiency. *IEEE Electrification Mag.*, vol. 4, no. 2, 20-28.
- Venkataramanan, G., and Marnay, C., 2008. A larger role for Microgrids. *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 3, 78-82.

ABSTRACT

Control configurations for renewable DC Microgrid

Loan Thanh Pham, Hieu Dao

Faculty of Electro-Mechanics, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

The decentralized control structure for renewable energy systems set up by distributed sources, loads, and energy storage systems is mentioned in this paper. The dc bus voltage signal is used not only to enable power sharing among different sources, but also to designate Microgrid operation modes and facilitate seamless mode transitions. With decentralized control strategy, this approach features fully self-disciplined regulation of distributed converters without an extra control center or communication link. Therefore, both reliability and flexibility can be enhanced. Two operating conditions for solar cells and batteries are summarized according to which type of sources are dominating the power balance. The effectiveness of the proposed control structure is demonstrated by the simulation results for dc-Microgrid system with renewable energy sources as solar cells.