

ĐIỀU KHIỂN CÁC BỘ BIẾN ĐỔI CÔNG SUẤT KẾT NỐI SONG SONG TRONG MICROGRID AC/DC

Nguyễn Thị Bích Hậu, Đinh Xuân Tân,

Trần Trọng Hiếu, Phạm Thị Xuân Hoa*

Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: hoaptx@huit.edu.vn

Ngày nhận bài 17/4/2024; Ngày nhận bài sửa: 03/6/2024; Ngày chấp nhận đăng: 30/8/2024

TÓM TẮT

Trong bài báo này đã đề xuất phương pháp điều khiển chia công suất cho các bộ biến đổi công suất trong microgrid hỗn hợp AC/DC, mục tiêu của phương pháp đề xuất là duy trì sự ổn định điện áp và tần số trong microgrid AC/DC, các bộ biến đổi công suất sẽ được chia sẻ công suất đúng theo tỉ lệ định mức của chúng và được điều khiển để truyền tải công suất qua lại giữa hai lưới điện con AC và DC trong microgrid hỗn hợp AC/DC hoạt động ở chế độ độc lập. Phương pháp điều khiển sẽ duy trì sự ổn định điện áp và tần số cũng như sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng. Ngoài ra phương pháp đề xuất có thể nâng cao khả năng phục hồi điện áp và tần số cho microgrid AC/DC trong trường hợp tải tăng hoặc sự cố nguồn phát công suất trong lưới con AC và DC. Điều này được chứng minh bằng kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink.

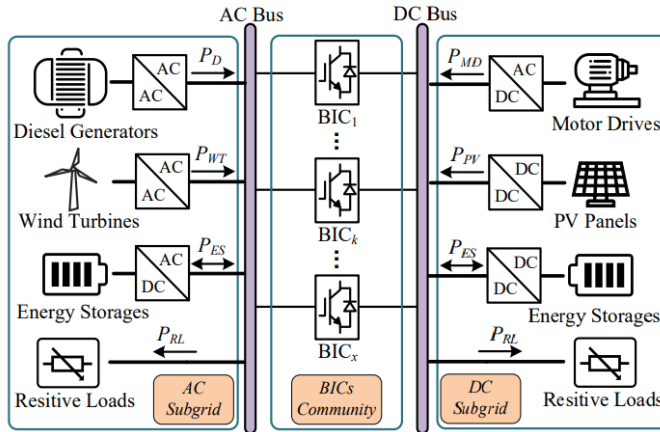
Từ khóa: Nguồn điện phân tán, lưới điện siêu nhỏ AC/DC lai, điều khiển công suất trong lưới điện siêu nhỏ, điều khiển các bộ biến đổi công suất, các bộ biến đổi công suất kết nối song song.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để cung cấp cả hai nguồn điện AC và DC cho các thiết bị điện gia dụng, microgrid hỗn hợp AC/DC dường như là một giải pháp khả thi. Nguồn điện xoay chiều thường được có sẵn cho các thiết bị điện. Tuy nhiên, thông qua việc sử dụng microgrid hỗn hợp AC/DC, nguồn DC có thể được cung cấp cho thiết bị DC mà không có tổn thất chuyển đổi đáng kể. Công suất thu được từ các nguồn năng lượng tái tạo như pin quang điện và pin nhiên liệu là loại DC. Do đó, cần hợp nhất các lưới điện siêu nhỏ AC và DC thông qua bộ biến đổi công suất hai chiều và thiết lập một microgrid hỗn hợp AC/DC. Bộ biến đổi công suất AC/DC được điều khiển để chuyển đổi công suất giữa các bus AC và DC trong microgrid AC/DC, được gọi là bidirectional interlinking converter (BIC). BIC giảm bớt việc chia sẻ năng lượng trên các mạng khác nhau cũng như cả hai loại phụ tải. Hơn nữa, có tính đến sự ổn định của hệ thống điện. Vấn đề điều khiển công suất cho các bộ biến đổi công suất trong microgrid đã nhận được sự chú ý đáng kể trong nhiều công trình nghiên cứu trong và ngoài nước. Mục đích của những nghiên cứu này tập trung vào việc điều khiển công suất cho microgrid AC hoặc microgrid DC [1-8], hầu hết là việc chia sẻ công suất cho các bộ nghịch lưu kết nối song song để giảm dòng điện tuần hoàn trong microgrid AC hoặc DC, ổn định tần số và điện áp khi microgrid này bị mất kết nối với lưới điện. Các nghiên cứu này đã đề xuất phương pháp droop truyền thống P/f và Q/V (đường dây có $X \gg R$) hay P/V và Q/f (đường dây có $R \gg X$) để thực hiện chia sẻ công suất cho các bộ biến đổi công suất, ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện. Tuy nhiên, phương pháp droop truyền thống này bị ảnh hưởng bởi thông số trở kháng đường dây, vì vậy việc điều chỉnh điện áp không đảm bảo khi trở kháng các đường dây khác nhau, không thể chia công suất đúng theo tỉ lệ định mức của các bộ biến đổi công suất khi trở kháng các đường dây khác nhau.

Ngoài ra còn có những nghiên cứu để ổn định dòng công suất phát vào lưới đối với microgrid kết nối lưới [9-14]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này được thực hiện cho microgrid AC hoặc DC thuần túy, chưa được áp dụng cho microgrid hỗn hợp AC/DC.

Khi quy mô của lưới con AC và DC được mở rộng, việc thiết kế hoạt động song song cho các BIC là rất cần thiết. Đối với BIC được điều khiển bằng điện áp, mục đích là để điều khiển điện áp đầu ra của chúng. Điều này đòi hỏi sự hợp tác với điều khiển điện áp bus trong các lưới điện con, nếu không xung đột có thể xảy ra. Trong khi đó, sự sụt giảm điện áp chênh lệch do trở kháng đường dây cáp gây ra chắc chắn sẽ dẫn đến sự khác biệt về điện áp đầu cuối của chúng. Điều này gây ra dòng điện tuần hoàn (circulating currents- CC) chạy giữa các BIC song song. Ngoài ra, vì BIC thường nằm giữa bus AC và bus DC, mức độ lưu thông dòng điện tuần hoàn sẽ lớn, CC có thể gây mất điện và thậm chí gây hư hỏng các thiết bị điện.



Hình 1. Cấu trúc của microgrid hỗn hợp AC/DC có nhiều bộ BIC kết nối song song [3]

Bài báo này đề xuất phương pháp điều khiển chia sẻ công suất cho các BIC kết nối song song trong microgrid hỗn hợp AC/DC để loại bỏ dòng điện CC và duy trì ổn định tần số điện áp cả hai phía AC và DC. Đồng thời cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng. Phương pháp điều khiển cũng kết hợp với việc nâng cao khả năng phục hồi của microgrid hỗn hợp AC/DC khi tải tăng đột ngột hoặc sự cố nguồn phát công suất trong lưới con AC và DC, giúp duy trì ổn định tần số và điện áp bus AC/DC. Điều này có nghĩa là khi tình trạng mất cân bằng công suất xảy ra trong một lưới điện con thì các lưới điện con khác sẽ bị ảnh hưởng, khi đó buộc phải cung cấp công suất hỗ trợ cần thiết để đảm bảo cung cấp điện cho toàn bộ tải trọng quan trọng trong lưới điện siêu nhỏ hỗn hợp AC/DC.

2. BỘ ĐIỀU KHIỂN ĐỀ XUẤT

Cấu trúc điển hình của microgrid AC/DC được thể hiện trên Hình 1. Microgrid AC/DC có thể hoạt động ở chế độ nối lưới hoặc chế độ độc lập. Ở chế độ kết nối lưới, lưới điện chính hỗ trợ công suất mạnh mẽ cho microgrid AC/DC để nó có thể hoạt động ổn định. Tuy nhiên, trong chế độ độc lập, microgrid AC/DC mất kết nối điện với lưới điện chính, nó phải tự cân bằng công suất và duy trì ổn định cho toàn bộ microgrid. Vì vậy, trong chế độ độc lập, chiến lược điều khiển công suất cho microgrid AC/DC là vô cùng quan trọng. Phương pháp điều khiển droop được coi là một trong những phương pháp tốt nhất và phổ biến được sử dụng trong việc chia sẻ công suất cho microgrid mà không cần thông tin liên lạc giữa các lưới con. Trong bài báo này, kết hợp phương pháp điều khiển droop $P/f - Q/V_{ac}$ và droop P/V_{dc} để điều khiển công suất hai chiều cho BIC trong các chế độ hoạt động khác nhau. Chiến lược điều khiển đề xuất nhằm mục đích cải thiện tính ổn định của microgrid và giải quyết dòng công suất của BIC, khi đó tần số phía AC và điện áp phía DC của microgrid có thể nằm trong phạm vi cho phép. Đồng thời phương pháp đề xuất cũng nâng cao khả năng phục hồi của microgrid khi có sự cố các nguồn phát trong lưới con AC và DC.

2.1. Phương pháp điều khiển droop cho lưới con AC

Theo Hình 1, công suất tác dụng và phản kháng của các nguồn phân tán trong lưới con AC phát ra được tính như sau [1-4]:

$$P = \frac{V}{R^2 + X^2} [R(V - V_{AC} \cos \delta) + XV_{AC} \sin \delta] \quad (1)$$

$$Q = \frac{V}{R^2 + X^2} [-RV_{AC} \sin \delta + X(V - V_{AC} \cos \delta)] \quad (2)$$

Trong đó: V là điện áp ngõ ra của nguồn phân tán trong lưới con AC, I là dòng điện chạy trên đường dây nối từ nguồn phân tán đến thanh cái AC chung, δ là góc lệch pha giữa điện áp đầu ra của nguồn phân tán trong lưới con và điện áp bus AC, V_{AC} là điện áp bus AC chung, R và X là trở kháng trên đường dây.

Trong mạng phân phối, đường dây thường có X lớn hơn nhiều so với R và góc lệch δ thường rất nhỏ, khi đó phương trình (1) và (2) được viết lại như sau:

$$\delta \cong \frac{XP}{VV_{AC}} \quad (3)$$

$$V - V_{AC} \cong \frac{XQ}{V} \quad (4)$$

Phương trình (3) và (4) cho thấy: công suất tác dụng (P) phụ thuộc tần số (f), công suất phản kháng (Q) phụ thuộc điện áp (V). Từ đó ta có thể thiết lập bộ điều khiển droop P/f và Q/V để điều khiển công suất cho các bộ biến đổi công suất như sau:

$$f = f_0 - m_p P \quad (5)$$

$$V = V_0 - m_q Q \quad (6)$$

Trong đó hệ số độ dốc m_p và m_q được chọn theo độ lệch điện áp và tần số cho phép so với định mức:

$$m_p = \frac{f_0 - f_{min}}{P_{max}}; m_q = \frac{V_0 - V_{min}}{Q_{max}} \quad (7)$$

Trong đó P_{max} là công suất tác dụng lớn nhất mà nguồn điện phân tán cho phép; Q_{max} là công suất phản kháng lớn nhất mà nguồn điện phân tán cho phép; P_0 và Q_0 là công suất tác dụng và phản kháng định mức của nguồn điện phân tán; P , Q là các giá trị công suất tác dụng và phản kháng thực tế mà nguồn điện phân tán phát ra; V_0, f_0 là điện áp định mức và tần số định mức của hệ thống microgrid; V, f là điện áp và tần số ở ngõ ra của nguồn điện phân tán.

2.2. Phương pháp điều khiển droop cho lưới con DC

Theo Hình 1, ta có phương trình điện áp và dòng điện cho lưới con DC:

$$V_{dc,DG} = i_{dc} R_{dc} + V_{dc} \quad (8)$$

Trong đó: $V_{dc,DG}$ là điện áp ngõ ra của nguồn điện phân tán; V_{dc} là điện áp bus DC chung; R_{dc} là điện trở của đường dây nối từ nguồn điện phân tán đến bus DC chung, i_{dc} là dòng điện chạy trên đường dây. Mặt khác, ta có:

$$V_{dc} = \frac{P_{L,dc}}{i_{L,dc}} \quad (9)$$

Trong đó: $P_{L,dc}$ là công suất tiêu thụ của tải DC; $i_{L,dc}$ là dòng điện chạy qua tải DC

Kết hợp (8) và (9) ta có:

$$V_{dc,DG} = i_{dc} R_{dc} + \frac{P_{L,dc}}{i_{L,dc}} \quad (10)$$

Từ phương trình (10), phương pháp droop cho lưới con DC có thể được thực hiện theo phương trình P_{dc}/V_{dc} :

$$V_{dc} = V_{dc0} - m_{dc} P_{dc} \quad (11)$$

Trong đó m_{dc} là hệ số độ dốc, được tính theo công thức sau:

$$m_{dc} = \frac{V_{dc0} - V_{dc,min}}{P_{dc,max}} \quad (12)$$

Trong đó $P_{dc,max}$ là công suất tác dụng tối đa mà nguồn điện phân tán cho phép phát ra khi điện áp trên thanh cái DC giảm xuống mức điện áp tối thiểu cho phép $V_{dc,min}$.

2.3. Điều khiển chia sẻ công suất cho các BIC trong microgrid AC/DC lai

Trong giao diện lưới con AC và giao diện lưới con DC, việc quản lý dòng công suất được coi là vấn đề chính. Phương pháp điều khiển droop cũng được sử dụng để điều khiển BIC, BIC chịu trách nhiệm liên kết các bus AC và DC trong hoạt động tự động. Ý tưởng của phương pháp chia sẻ công suất được đề xuất là mỗi lưới điện con sẽ quản lý dòng công suất của chính nó. Công suất dư thừa sẽ được phân phối tới các lưới điện con khác tùy thuộc vào mức độ thiếu hụt hoặc dư thừa công suất của cả hai lưới điện con. Khi công suất chảy từ phía AC sang DC, BIC làm việc như một nguồn DC song song, đồng thời BIC cũng hoạt động theo hướng ngược lại khi dòng công suất chạy từ DC sang phía AC.

Để áp dụng phương pháp điều khiển droop cho việc chia sẻ công suất trong microgrid AC/DC hỗn hợp, các biến riêng lẻ ở hai lưới con phải được chuẩn hóa để hợp nhất lưới con AC và DC lại với nhau, tần số f trong lưới xoay chiều và điện áp V_{dc} trong lưới một chiều được chuẩn hóa như sau:

$$f' = \frac{f - (f_{max} + f_{min})/2}{(f_{max} - f_{min})/2} \quad (13)$$

$$V' = \frac{V_{dc} - (V_{dc,max} + V_{dc,min})/2}{(V_{dc,max} - V_{dc,min})/2} \quad (14)$$

Trong đó f là tần số đo được ở phía AC và V_{dc} là điện áp đo được ở phía DC; f_{max} , f_{min} , $V_{dc,max}$ và $V_{dc,min}$ là các giá trị tối đa và tối thiểu của tần số và điện áp ở điều kiện không tải và điều kiện đầy tải tương ứng. Kết hợp f' và V' để tạo ra biểu thức điện áp tham chiếu cho ngõ ra của BIC, chúng đại diện cho định lượng và định hướng của dòng công suất giữa lưới con AC và DC. Tần số ở phía AC sẽ cân bằng với điện áp của bên DC. Như vậy, bất kỳ sự thay đổi mức công suất ở bất kỳ bus nào sẽ ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống. Vì BIC là phần tử liên kết giữa hai lưới con của microgrid AC/DC, tần số AC và điện áp bus DC có thể thu được trong nội bộ microgrid thông qua BIC. Do đó, việc điều khiển để $f' = V'$ có thể thu được bằng cách sử dụng bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI) bên trong bộ điều khiển công suất cho BIC. Từ đó BIC được điều khiển dưới dạng như là một nguồn điện áp xoay chiều với droop hai chiều:

$$f = f_0 - m_{p,bic} P_{bic} \quad (15)$$

$$V = V_0 - m_{q,bic} Q_{bic} \quad (16)$$

Trong đó hệ số độ dốc $m_{p,bic}$ và $m_{q,bic}$ được chọn theo độ lệch điện áp và tần số cho phép so với định mức:

$$m_{p,bic} = \frac{f_{max} - f_{min}}{P_{bic,max}} \quad (17)$$

$$m_{q,bic} = \frac{E_{max} - E_{min}}{Q_{bic,max}} \quad (18)$$

Trong đó $P_{bic,max}$ là công suất tác dụng lớn nhất mà BIC cho phép; $Q_{bic,max}$ là công suất phản kháng lớn nhất mà BIC cho phép; P_0 và Q_0 là công suất tác dụng và công suất phản kháng định mức của BIC; P , Q là các giá trị công suất tác dụng và phản kháng thực tế mà BIC phát ra; V_0 , f_0 là điện áp định mức và tần số định mức của microgrid AC/DC; V , f là điện áp và tần số ở ngõ ra của BIC. Với đặc tính droop, tần số f được hỗ trợ bởi P_{bic} giữa hai lưới AC và DC. Bất kể kết nối nguồn AC hay không, BIC vẫn có thể điều chỉnh điện áp bus DC. Để đạt được sự ổn định tần số và điện áp trong microgrid AC/DC, bộ điều khiển PI được sử dụng để dịch chuyển đường droop dọc theo trục f , để làm cho f' và V' bằng nhau mà không ảnh hưởng đến điện áp xoay chiều AC:

$$\Delta f = k_p \int (V' - f') dt \quad (19)$$

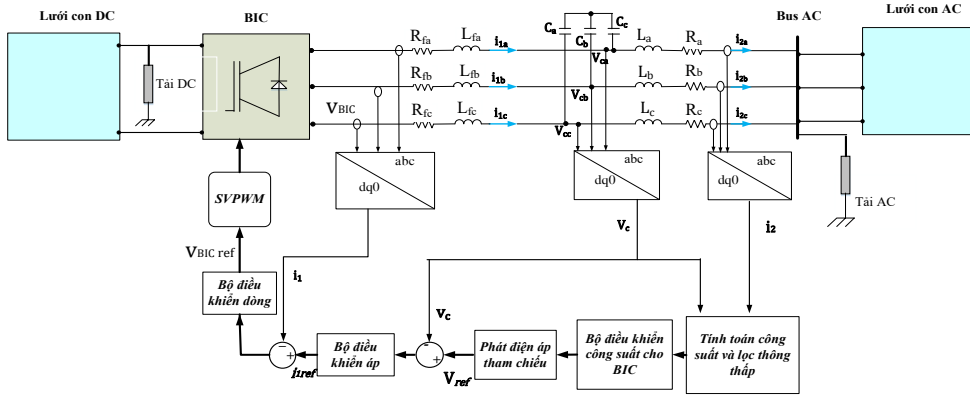
Trong đó: k_p là hệ số tích phân, V' và f' được tính theo (13) và (14)

Vì f' chuẩn hóa vẫn nằm trong phạm vi chấp nhận được, bộ điều khiển PI trong (19) có thể giúp V' bám theo f' chuẩn hóa.

Kết hợp (15) và (19), ta có biểu thức droop tần số P_{ic}/f cho BIC:

$$f = f_0 - m_{p,bic} P_{bic} + \Delta f \quad (20)$$

Bằng cách điều chỉnh công suất phản kháng ở ngõ ra của BIC sẽ điều chỉnh được điện áp của lưới AC theo biểu thức droop Q_{bic}/V_{ac} ở (16). Bộ điều khiển công suất cho BIC đề xuất có thể điều chỉnh điện áp xoay chiều hoặc điện áp một chiều được thực hiện theo phương trình (16) và (20). Bộ điều khiển đề xuất này nhằm duy trì ổn định tần số điện áp cả hai phía AC và DC cho microgrid hỗn hợp AC/DC ở chế độ độc lập, cũng như sự cân bằng của công suất tác dụng và công suất phản kháng, nâng cao khả năng phục hồi khi các nguồn trong lưới con bị sự cố. Đồng thời các BIC cũng được chia sẻ công suất phát ở ngõ ra đúng theo tỉ lệ công suất định mức bởi các biểu thức (17) và (18).



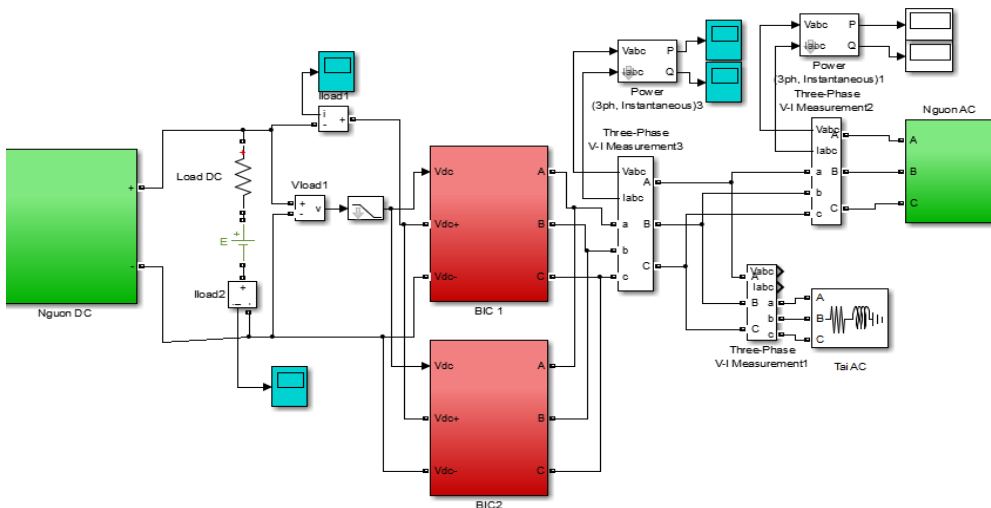
Hình 2. Sơ đồ khối điều khiển công suất cho một BIC

Bộ điều khiển đề xuất bao gồm các khối sau:

- Khối tính toán công suất và bộ lọc thông thấp: Khối này đo điện áp ở đầu ra của bộ BIC và dòng điện trên đường dây nối từ BIC đến thanh cái AC, sau đó tính toán công suất và thông thấp để có giá trị công suất trung bình, ngõ ra của khối này là công suất P và Q.
- Khối điều khiển công suất cho BIC được thực hiện theo các phương trình (16) và (20), ngõ ra của khối này sẽ tạo ra điện áp tham chiếu cho điện áp ngõ ra của bộ BIC.
- Bộ điều khiển điện áp và dòng điện để điều khiển điện áp và dòng điện ở ngõ ra của bộ BIC theo giá trị tham chiếu.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bộ điều khiển đề xuất được mô phỏng bằng Matlab/Simulink (Hình 3), các thông số của bộ điều khiển được trình bày trong Bảng 1.



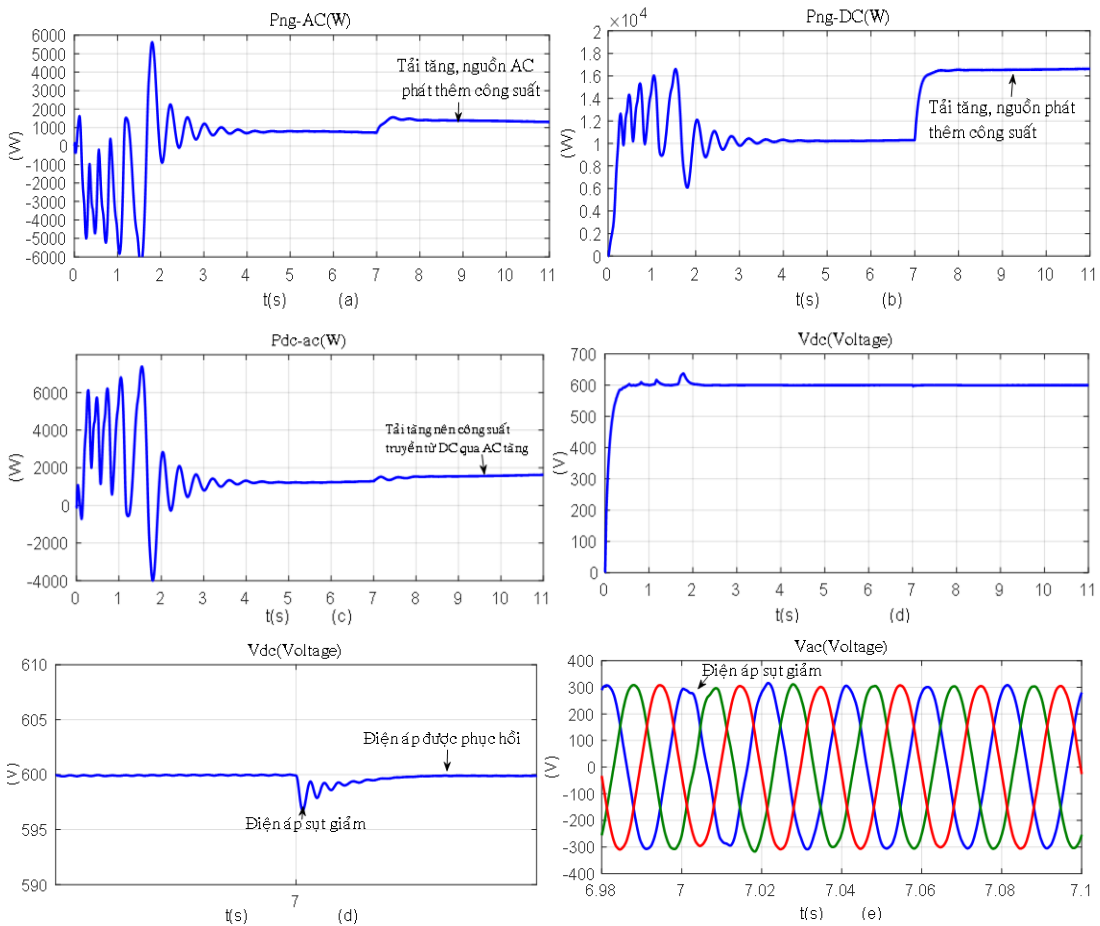
Hình 3. Mô hình mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink

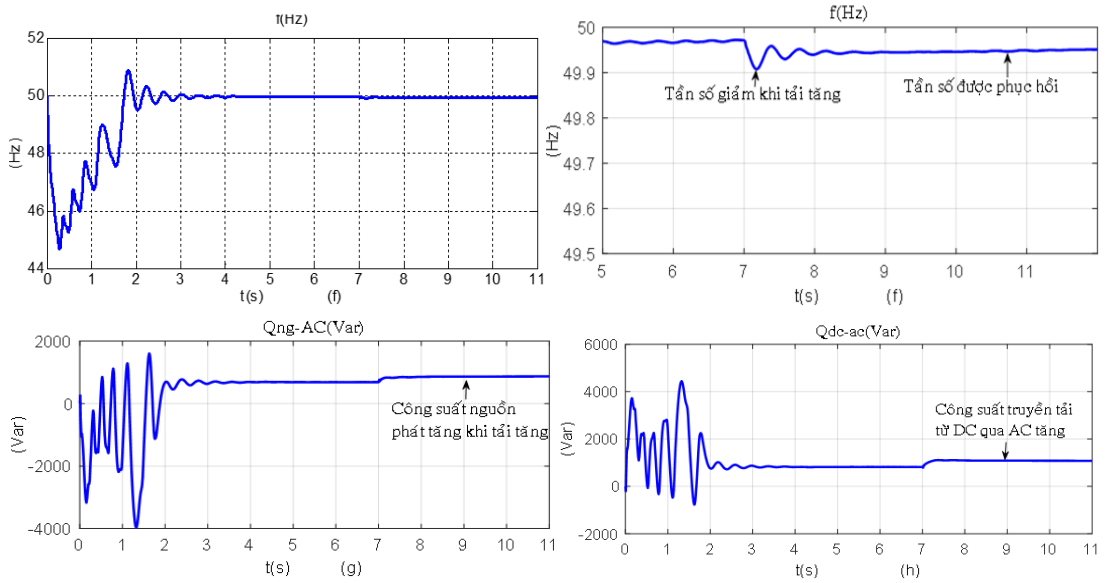
Bảng 1. Bảng các thông số của bộ điều khiển

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
V_{dc} (V)	600	f_0 (Hz)	50
L_f (mH)	4,2	f_{max} (Hz)	51
R_f (Ω)	0,1	$V_{AC,p}$ (V)	311
C (μ F)	2,2	f_z (kHz)	10
$V_{dc, max}$ (V)	610	f_{min} (Hz)	49
$V_{dc, min}$ (V)	590	k_p	0,9
Trở kháng đường dây nối từ BIC đến Bus AC chung			
R_1 (Ω)	0,1	R_2 (Ω)	0,1
L_1 (H)	0,001	L_2 (H)	0,001

Thực hiện mô phỏng cho microgrid AC/DC có cấu hình như trong Hình 1 cho các trường hợp sau:

A. Trường hợp 1: Khả năng duy trì sự ổn định điện áp và tần số cũng như sự cân bằng của công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống microgrid hỗn hợp AC/DC khi tải tăng đột ngột





Hình 4. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 1

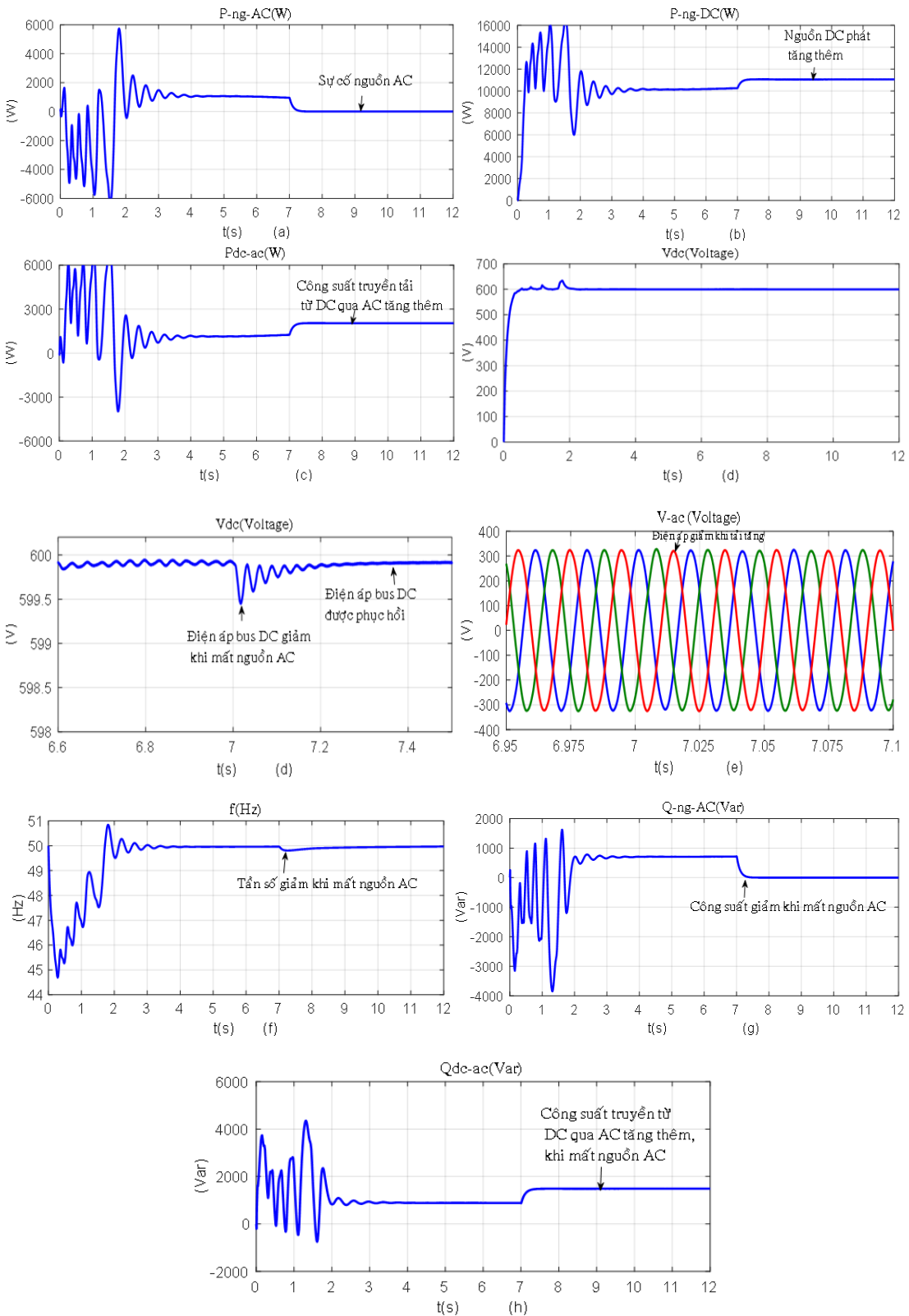
Tải DC có công suất tiêu thụ là 9kW và tải AC là 2kW và 1,5kVar được kết nối với các bus DC và AC tương ứng, nguồn một chiều trong lưới con DC tạo ra điện áp là $V_{dc} = 600V$, nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát ra biên độ điện áp pha là 311V. Theo Hình 4, ban đầu trong khoảng thời gian từ 0-7 giây, hệ thống hoạt động với điện áp bus DC là $V_{dc} = 599,9V$ và tần số $f = 49,98Hz$, nguồn một chiều trong lưới con DC phát công suất $P_{ng-DC} = 10250W$, công suất nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát $P_{ng-AC} = 760W$, công suất truyền tải từ phía DC qua AC là $P_{dc-ac} = 1240W$. Biên độ điện áp xoay chiều tại bus AC chung là 312V.

Tại thời điểm 7 giây, tải tăng đột ngột, tải DC là 15kW và tải AC là 3kW và 2kVar, tại thời điểm 7,02 giây thì điện áp bus DC bị giảm xuống còn $V_{dc} = 597V$, tần số giảm xuống còn 49,5Hz, biên độ điện áp xoay chiều giảm còn 295V. Theo sơ đồ điều khiển đề xuất, để ổn định tần số và điện áp thì công suất nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát tăng đến giá trị $P_{ng-AC} = 1300W$, công suất nguồn một chiều trong lưới con DC phát tăng đến giá trị $P_{ng-DC} = 16730W$, công suất truyền tải từ phía DC qua AC cũng tăng lên đến giá trị $P_{dc-ac} = 1700W$ để khôi phục tần số từ 49,5Hz về 49,96Hz và biên độ điện áp bus AC chung từ 295V về 311V, điện áp bus DC từ 597V về 599,8V. Vậy là khả năng phục hồi, ổn định tần số và điện áp của hệ thống đã được tăng cường trong quá trình tải tăng đột ngột.

B. Trường hợp 2: Tăng cường khả năng phục hồi của điều chỉnh điện áp xoay chiều khi các nguồn xoay chiều trong lưới con AC bị sự cố

Tải DC có công suất tiêu thụ là 9kW, tải AC là 2,2kW và 1,6kVar được kết nối với các bus DC và AC tương ứng, nguồn một chiều trong lưới con DC tạo ra điện áp là $V_{dc} = 600V$, nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát ra biên độ điện áp pha là 311V. Theo Hình 5, ban đầu trong khoảng thời gian từ 0-7 giây, hệ thống hoạt động với điện áp bus DC là $V_{dc} = 599,9V$ và tần số $f = 49,96Hz$, nguồn 1 chiều trong lưới con DC phát công suất $P_{ng-DC} = 10250W$, công suất nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát $P_{ng-AC} = 970W$ và $Q_{ng-AC} = 710VAr$, công suất truyền tải từ phía DC qua AC là $P_{dc-ac} = 1227W$ và $Q_{dc-ac} = 890VAr$. Biên độ điện áp xoay chiều tại bus AC chung là 311V.

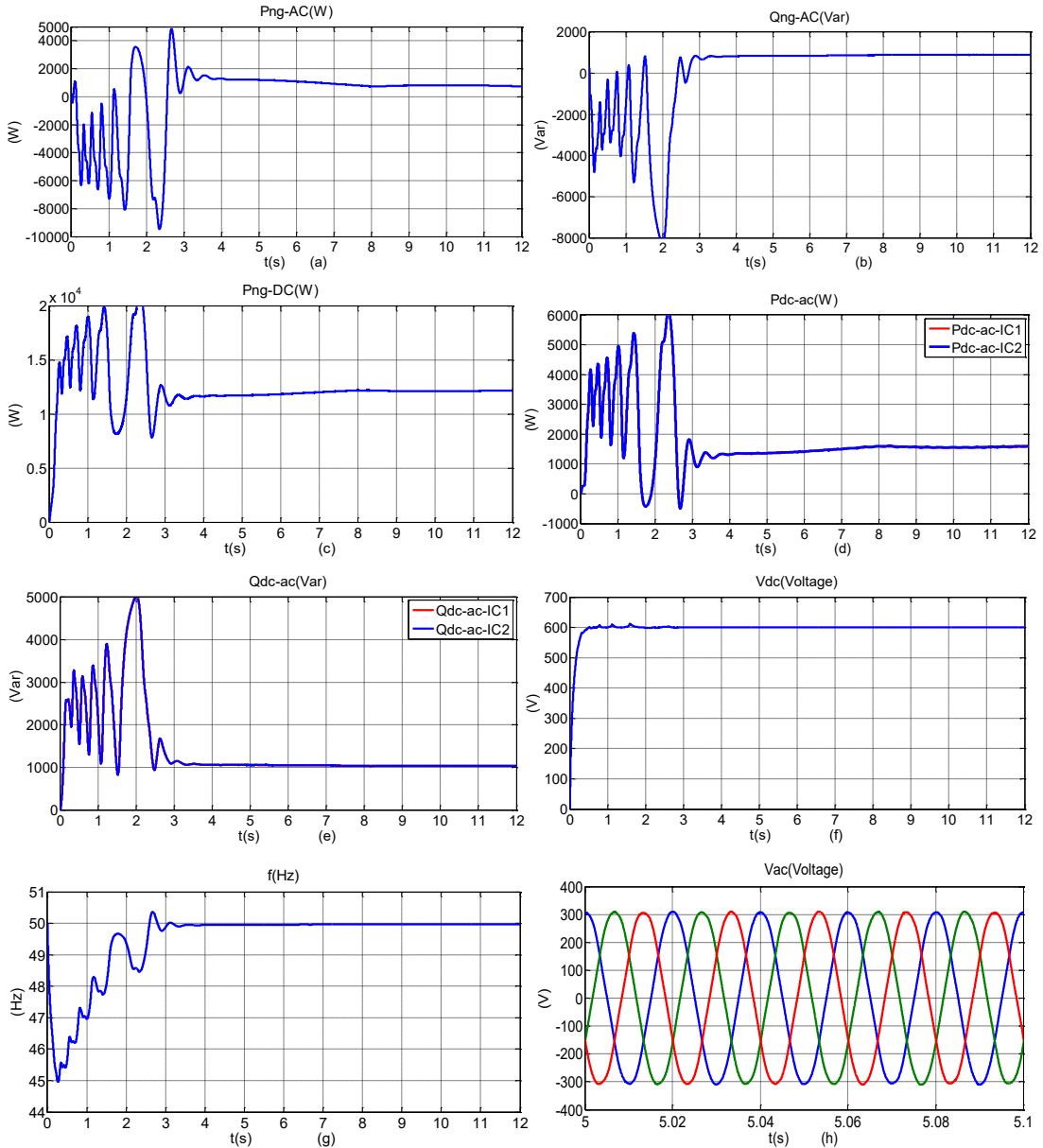
Tại thời điểm 7 giây, nguồn xoay chiều trong lưới con AC bị sự cố và ngắt kết nối khỏi bus AC chung. Tại thời điểm 7,02 giây, tần số giảm xuống 49,5Hz, điện áp bus DC giảm xuống là $V_{dc} = 599,4V$, biên độ điện áp xoay chiều tăng lên 313V. Theo sơ đồ điều khiển đề xuất, công suất nguồn một chiều trong lưới con DC phát tăng đến giá trị $P_{ng-DC} = 11220W$ để hỗ trợ cho điện áp bus xoay chiều, công suất truyền tải từ phía DC qua AC cũng tăng lên đến giá trị $P_{dc-ac} = 2200W$ và $Q_{dc-ac} = 1600VAr$ để khôi phục tần số từ 49,5Hz về 49,7Hz và biên độ điện áp bus AC chung từ 313V về 312V, điện áp bus DC từ 599,4V về 599,9V. Vậy là khả năng phục hồi của hệ thống đã được tăng cường trong quá trình sự cố nguồn xoay chiều trong lưới con AC.



Hình 5. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2

C. Trường hợp 3: Khả năng chia công suất cho 2 BIC song song, cũng như khả năng duy trì sự ổn định điện áp và tần số cũng như sự cân bằng của công suất tác dụng và phản kháng

Tải DC có công suất tiêu thụ là 9kW và tải AC là 4kW và 3kVar được kết nối với các bus DC và AC tương ứng, nguồn một chiều trong lưới con DC tạo ra điện áp là $V_{dc} = 600V$, nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát ra biên độ điện áp pha là 311V. Hai bộ BIC kết nối giữa 2 bus DC và AC có công suất định mức giống nhau và trở kháng đường dây nối cũng giống nhau. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 3 được hiển thị trong Hình 6.



Hình 6. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 3

Theo Hình 6, hệ thống hoạt động với điện áp bus DC là $V_{dc} = 599,9V$ và tần số $f = 49,98Hz$, nguồn một chiều trong lưới con DC phát công suất $P_{ng-DC} = 12280W$, công suất nguồn xoay chiều trong lưới con AC phát $P_{ng-AC} = 720W$ và $Q_{ng-AC} = 900Var$, công suất truyền tải từ phía DC qua AC của mỗi bộ BIC thì giống nhau và có giá trị là $P_{dc-ac-1,2} = 1640W$ và $Q_{dc-ac-1,2} = 1050Var$. Biên độ điện áp xoay chiều tại bus AC chung là 312V. Ta thấy sơ đồ điều khiển đề xuất thực hiện chia sẻ công suất cho hai bộ BIC kết nối song song trong microgrid hỗn hợp AC/DC một cách chính xác, loại bỏ được dòng tuần hoàn,

duy trì sự ổn định điện áp và tần số cũng như sự cân bằng của công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống microgrid.

4. KẾT LUẬN

Phương pháp điều khiển đề xuất cho bộ biến đổi công suất kết nối song song trong hệ thống microgrid hỗn hợp AC/DC, các kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp điều khiển đã thực hiện chia sẻ công suất cho hai bộ BIC kết nối song song trong microgrid hỗn hợp AC/DC một cách chính xác, duy trì được sự ổn định điện áp và tần số cũng như sự cân bằng của công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống microgrid hỗn hợp. Ngoài ra phương pháp đề xuất còn nâng cao khả năng phục hồi điện áp và tần số cho microgrid trong trường hợp sự cố nguồn phát công suất trong lưới con AC và DC. Phương pháp này không sử dụng truyền thông nên giảm thiểu chi phí hệ thống và thuận tiện cho hệ thống nguồn điện phân tán, mang lại lợi ích đáng kể cho hiệu quả kinh tế và khả năng phục hồi của hệ thống microgrid hỗn hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xia Y., Peng Y., Yang P., Yu M. and Wei W. - Distributed coordination control for multiple bidirectional power converters in a hybrid AC/DC microgrid, *IEEE Transactions on Power Electronics* **32** (6) (2017) 4949-4959. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2603066>
2. Sun D., Du L., Lu X., and He L. - An energy-stored quasi z source converter based interlinking converter for hybrid AC/DC microgrids. *Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (2018) 3821–3826. <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591538>
3. Abuhilaleh M., Li L., Begum M., and Zhu J. - Power management and control strategy for hybrid AC/DC microgrids in autonomous operation mode. *International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)* (2017). <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2017.8056435>
4. Alam F., Ashfaq M., Zaidi S., and Y. Memon A. - Robust droop control design for a hybrid AC/DC microgrid. *International Conference on Control (CONTROL)* (2016)1–6. <https://doi.org/10.1109/CONTROL.2016.7737547>
5. Wang C., Deng C., and Li G. - Control strategy of interlinking converter in hybrid microgrid based on line impedance estimation. *Energies* **15** (5) (2022)1664. <https://doi.org/10.3390/en15051664>
6. Li K., Zhang J., and Zhang J. - Research on the control strategy of AC/DC interlinking converters in islanded hybrid microgrid. *IEEE 4th International Conference on Electronics Technology (ICET)* (2021) 479–483. <https://doi.org/10.1109/ICET51757.2021.9450958>
7. Golestan S., Mousazadeh S., Guerrero J., and Vasquez J. - A critical examination of frequency-fixed second order generalized integrator based phase-locked loops. *IEEE Trans. Power Electron* **32** (9) (2017) 6666–6672. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2674973>
8. Guan Y., Feng W., Lu J., and Guerrero J. - A novel grid connected harmonic current suppression control for autonomous current sharing controller based AC microgrids. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (2018) 5899–5904. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2018.8557795>
9. Liu X., and Gong R. - A control strategy of microgrid-connected system based on VSG. *IEEE International Conference on Power Intelligent Computing and Systems (ICPICS)* (2020) 739-743. <https://doi.org/10.1109/ICPICS50287.2020.9201955>
10. Young H., Perez M., Rodriguez J., and Abu-Rub H. - Assessing finite control set model predictive control: A comparison with a linear current controller in two-level voltage source inverters. *IEEE Ind. Electron. Mag.* **8** (1) (2014) 44–52. <https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2294870>
11. Niringiyimana E., Quan S., Benimenia I., Nzibonera B., and Gasana A. - Enhanced virtual impedance for power sharing control in hybrid AC microgrid. *International Conference on Computers and Automation* (2022) 17-24. <https://doi.org/10.1109/CompAuto55930.2022.00011>

12. Bao F., Guo J., Wang W., and Wang B. - Cooperative control strategy of multiple VSGs in microgrid based on adjacent information. *IEEE Access* **9** (2021) 125603-125615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110848>
13. Gurugubelli V., Ghosh A., Panda A. and Rudra S. - Implementation and comparison of droop control virtual synchronous machine and virtual oscillator control for parallel inverters in standalone microgrid. *Trans Electr Energ Syst* **31** (5) (2021). <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12859>
14. Rosini A., Labella A., Bonfiglio A., Procopio R., and Guerrero J. M. - A review of reactive power sharing control techniques for islanded microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **141** (2021)110-745. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110745>

ABSTRACT

CONTROL OF PARALLEL CONNECTED POWER CONVERTERS IN AC/DC MICROGRID

Nguyen Thi Bich Hau, Dinh Xuan Tan, Tran Trong Hieu, Pham Thi Xuan Hoa*

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

*Email: hoaptx@huit.edu.vn

In this paper, a power sharing control method for power converters in a AC/DC hybrid microgrid is proposed. The goal of the proposed method is to maintain voltage and frequency stability in the microgrid AC/DC, the power converters will share power according to their rated power ratio and be controlled to transmit power back and forth between the two AC and DC subgrids in an active AC/DC hybrid microgrid operates in independent mode. The control method will maintain voltage and frequency stability as well as active and reactive power balance. In addition, the proposed method can improve the voltage and frequency recovery ability for AC/DC microgrid in case of increased load or power generation failure in AC and DC subgrids. This is proven by simulation results on Matlab/Simulink software.

Keywords: Distributed power source, hybrid AC/DC microgrid, power control in microgrid, control of converters, parallel connected converters.