

ĐIỀU KHIỂN CHIA CÔNG SUẤT TRONG MICROGRID ĐỘC LẬP BẰNG PHƯƠNG PHÁP DROOP CẢI TIẾN

Phạm Thị Xuân Hoa*, Lê Thành Tới

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: hoaptx@cntp.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/9/2018; Ngày duyệt đăng: 05/12/2018

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất phương pháp điều khiển chia công suất cho các bộ nghịch lưu kết nối song song trong microgrid độc lập. Phương pháp đề xuất bao gồm bộ điều khiển droop kết hợp với trở kháng ảo và đồng thời ước tính sụt áp do trở kháng đường dây, nhằm cải thiện đáng kể độ chính xác cho việc chia sẻ công suất phản kháng. Ảnh hưởng của tải cục bộ đến việc chia sẻ công suất phản kháng cũng được xem xét trong bài báo. Tính khả thi và hiệu quả của phương pháp đề xuất được chứng minh bằng các kết quả mô phỏng trên Matlab/Simulink.

Từ khóa. Điều khiển chia công suất, lưới siêu nhỏ, kết nối song song các bộ nghịch lưu, điều khiển droop, trở kháng ảo.

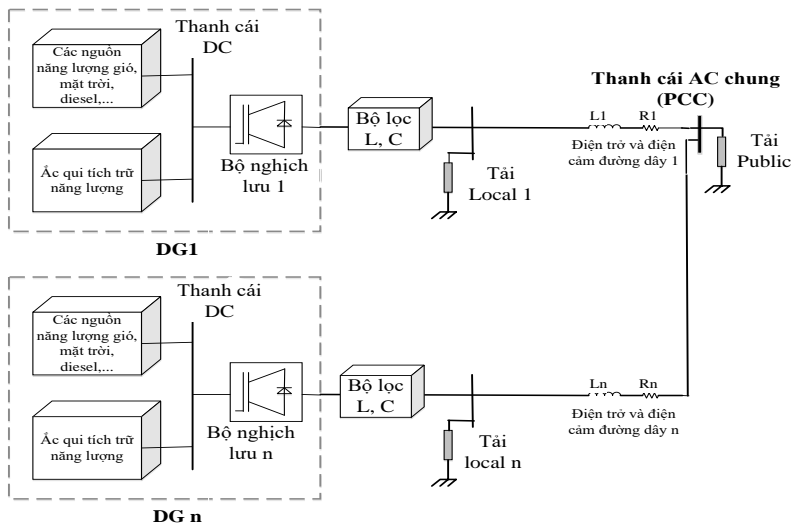
1. GIỚI THIỆU

Việc chia tải cho các bộ nghịch lưu trong microgrid độc lập đang là vấn đề được quan tâm hiện nay. Để đạt được điều này, kỹ thuật chia tải droop là một trong những phương pháp chia công suất phổ biến vì nó không cần hệ thống giám sát, linh hoạt và đáp ứng dễ dàng khi mở rộng microgrid [1]. Tương tự như lưới điện, microgrid có đường dây truyền tải và phân phối riêng, cấp điện áp trong microgrid là cấp trung thế và cấp hạ thế. Công suất truyền tải trong hệ thống thường là nhỏ nên trở kháng đường dây sẽ ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả của bộ điều khiển droop truyền thống và có thể dẫn đến mất ổn định [2]. Trong các nghiên cứu của Molderink *et al.* cho thấy sự không cân bằng của trở kháng đường dây và trở kháng đầu ra của các bộ nghịch lưu ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác trong chia sẻ công suất kháng vì mất cân bằng về sụt áp [3]. Hơn nữa, các tải cục bộ tại đầu ra của bộ nghịch lưu cũng làm ảnh hưởng đến độ chính xác trong việc chia sẻ công suất kháng. Để cải thiện tính chính xác cho việc chia sẻ công suất kháng, một phương pháp điều khiển droop kết hợp với bơm tín hiệu điện áp xoay chiều nhỏ vào hệ thống được đề xuất [4, 5]. Tuy nhiên, phương pháp này sẽ có các nhược điểm như: làm phức tạp việc điều khiển và có thể làm biến dạng dòng điện ở ngõ ra. Một phương pháp trở kháng ảo để giảm thiểu sai lệch trong việc chia sẻ công suất phản kháng được trình bày trong các nghiên cứu của Lasseter *et al.*, Katiraei *et al.*, Haichuan Niu *et al.*, do sự sai lệch về trở kháng ngõ ra của các DG (Distributed generation), trở kháng ảo để khử đi sự sai lệch trong việc chia sẻ công suất kháng [6-8]. Tuy nhiên, sự xuất hiện của các trở kháng ảo có thể dẫn đến sự sụt giảm điện áp của hệ thống, vì vậy không đảm bảo cho việc điều chỉnh điện áp. Một phương pháp droop mới được trình bày trong các nghiên cứu của Abusara & Guerrero *et al.*, để giảm lỗi chia sẻ công suất kháng, lỗi chia sẻ có thể được giảm xuống, nhưng không hoàn toàn loại bỏ và hiệu suất cải thiện không đáng kể nếu tải cục bộ được kết nối tại đầu ra của từng đơn vị nguồn phát DG [9]. Chiến lược điều khiển có sử dụng bus truyền thông được trình bày trong các nghiên cứu của Lasseter *et al.*, kết quả có thể đạt được độ chính xác trong việc chia sẻ công suất phản kháng. Tuy nhiên, trường hợp bus

truyền thông bị gián đoạn và ảnh hưởng của nó đến việc chia sẻ công suất phản kháng thì không được xem xét [6].

Bài báo này đề xuất phương pháp điều khiển droop kết hợp trở kháng ảo, đồng thời ước tính sụt áp do trở kháng đường dây nhằm nâng cao độ chính xác trong việc chia sẻ công suất phản kháng cho các bộ nghịch lưu kết nối song song trong microgrid độc lập trong trường hợp trở kháng đường dây không cân bằng và microgrid có tải cục bộ.

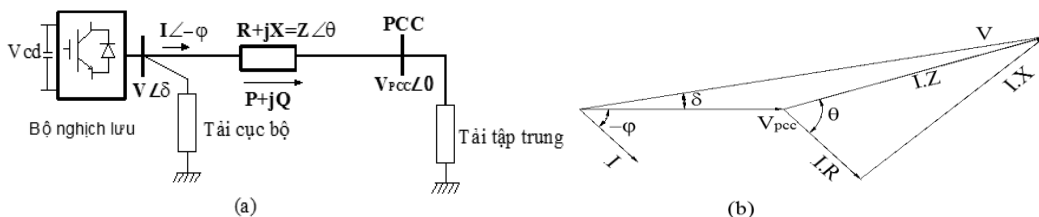
Cấu hình của microgrid khảo sát được thể hiện trong Hình 1. Các bộ nghịch lưu trong microgrid được kết nối song song với nhau thông qua điểm chung (PCC- Point of common coupling). Microgrid gồm có n hệ thống (DG_1, \dots, DG_n). Mỗi hệ thống DG gồm các nguồn phát điện nhỏ (microsource) là: năng lượng mặt trời, gió, diesel,...; hệ thống tích trữ năng lượng; và một bộ nghịch lưu giao diện với lưới. Cấu trúc này có các microsource kết nối với nhau trên bus DC của bộ nghịch lưu nhằm làm giảm số lượng bộ nghịch lưu, nên giảm chi phí đầu tư, thuận tiện cho việc điều khiển, tích trữ giúp ổn định điện áp ở ngõ vào của bộ nghịch lưu. Cấu trúc microgrid này cho phép giảm tổn thất trên đường dây, nâng cao hiệu suất nguồn phát và nâng cao độ tin cậy. Microgrid bao gồm các tải cục bộ (local loads) đặt tại khu vực gần các nguồn năng lượng và các tải tập trung (public loads) đặt ở trung tâm phụ tải cách xa nguồn năng lượng vài trăm mét. Khi hệ thống lưới công cộng có sự cố, microgrid bị ngắt kết nối từ lưới và hoạt động trong chế độ độc lập. Ở chế độ độc lập, microgrid ngay lập tức phải thực hiện chia công suất cho các bộ nghịch lưu để ổn định tần số và điện áp.



Hình 1. Cấu hình của microgrid độc lập

2. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỀ XUẤT

Cơ sở lý thuyết của phương pháp điều khiển đề xuất được hình thành trên cơ sở của phương pháp droop truyền thống, được thành lập bằng cách phân tích mạch tương đương của bộ nghịch lưu kết nối với tải được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2.(a) Sơ đồ phát công suất của một bộ nghịch lưu, (b) đồ thị vec tơ dòng điện và điện áp

Từ Hình 2, công suất cung cấp bởi bộ nghịch lưu được tính:

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

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

Từ (1) và (2) suy ra:

$$\sin \delta = \frac{XP - RQ}{VV_{PCC}} \quad (3)$$

$$V - V_{PCC} \cos \delta = \frac{RP + XQ}{V} \quad (4)$$

Trường hợp đường dây có $X \gg R$ và góc δ nhỏ. Khi đó công thức (3) và (4) có thể viết:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \cong \frac{XP}{VV_{PCC}} \\ V - V_{PCC} \cong \frac{XQ}{V} \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \cong \frac{XP}{VV_{PCC}} \\ V - V_{PCC} \cong \frac{XQ}{V} \end{array} \right. \quad (6)$$

Công thức (5) và (6) lần lượt cho thấy độ lệch tần số phụ thuộc vào công suất tác dụng P và độ lệch điện áp phụ thuộc vào công suất phản kháng Q. Vì vậy, điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu được điều khiển bởi Q, tần số ngõ ra bộ nghịch lưu được điều khiển bởi P. Do đó, đặc tính của droop P/f và Q/V được thể hiện trong công thức (7) và (8):

$$\omega = \omega_0 - m_p(P_0 - P) \quad (7)$$

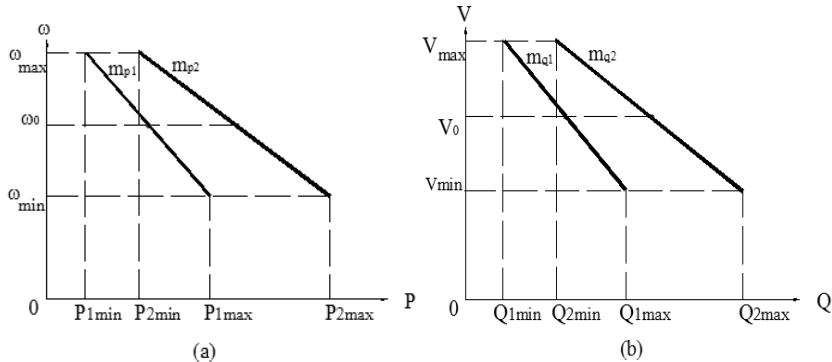
$$V = V_0 - m_q(Q_0 - Q) \quad (8)$$

Trong đó: P và Q lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng do bộ nghịch lưu phát ra; P_0 và Q_0 lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng định mức; V_0 và ω_0 là điện áp định mức và tần số góc định mức của nguồn và tải; V và ω là điện áp và tần số góc ở ngõ ra của bộ nghịch lưu.

Hệ số droop m_p và m_q được chọn theo độ thay đổi điện áp và tần số cho phép so với định mức:

$$m_p = \frac{\omega_0 - \omega_{min}}{P_{max} - P_0} \quad (9)$$

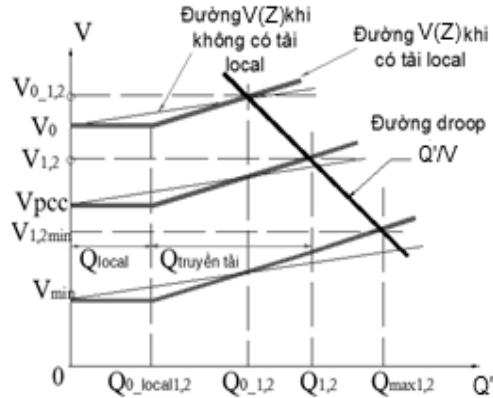
$$m_q = \frac{V_0 - V_{min}}{Q_{max} - Q_0} \quad (10)$$



Hình 3. Đồ thị biểu diễn đường đặc tính droop, (a) Đặc tính droop tần số P/f, (b) Đặc tính droop điện áp Q/V

2.1. Phân tích ảnh hưởng của trở kháng đường dây và tải cục bộ đến việc chia công suất

Theo nghiên cứu của Mao *et al.*, Kim *et al.*, Rangasamy *et al.* và Made & Farhad, việc chia công suất tác dụng theo phương pháp droop không bị ảnh hưởng đáng kể bởi tải cục bộ [10-13]. Tuy nhiên, các tải cục bộ sẽ ảnh hưởng rất lớn đến việc chia công suất phản kháng, được thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Đường đặc tính của điện áp theo công suất kháng với các tải cục bộ giống nhau

V_0 là điện áp tại điểm chung PCC hay điện áp định mức chung của microgrid.

$V_{0,1,2}$ là điện áp định mức của bộ nghịch lưu 1 và bộ nghịch lưu 2.

$Q_{0,1,2}$ là công suất phản kháng định mức của bộ nghịch lưu 1 và bộ nghịch lưu 2.

$Q_{0,cuc\ b\oai 1,2}$ là công suất phản kháng định mức của tải cục bộ 1 và cục bộ 2.

Hình 4 biểu diễn đồ thị chia công suất kháng của hai bộ nghịch lưu giống nhau và kháng đường dây giống nhau, hai tải cục bộ giống nhau mắc ở ngõ ra của hai bộ nghịch lưu. Theo Hình 4, ta có:

Khi không có tải cục bộ thì hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng của bộ nghịch lưu 1 và 2 là:

$$k_{q1,2} = \frac{V_{0,1,2} - V_0}{Q_{0,1,2}} \quad (11)$$

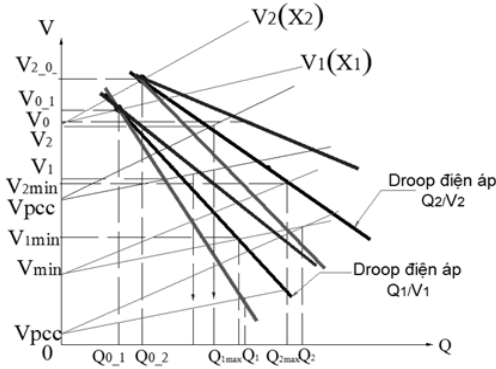
Khi có tải cục bộ thì hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng của bộ nghịch lưu 1 và 2 là:

$$k_{q1,2} = \frac{V_{0,1,2} - V_0}{Q_{0,1,2} - Q_{0,local1,2}} \quad (12)$$

Vậy, tải cục bộ đã làm thay đổi điện áp ở ngõ ra của bộ nghịch lưu, điện áp của tải cục bộ bằng với điện áp định mức chung của microgrid hay điện áp tại điểm chung V_{pcc} , tải cục bộ làm offset điện áp ngõ ra của các bộ nghịch lưu dẫn đến làm thay đổi độ dốc đường đặc tính điện áp theo công suất kháng và thay đổi điện áp phát ra của bộ nghịch lưu. Cuối cùng là gây ra sai lệch cho việc chia công suất kháng.

Trong trường hợp các tải cục bộ khác nhau hoặc các bộ nghịch lưu khác nhau, thì tải cục bộ sẽ làm sai lệch trong việc chia công suất kháng.

2.2. Phương pháp điều khiển đề xuất



Hình 5. Đường đặc tính của điện áp theo công suất kháng với hệ số độ dốc k_{qi} .

Thuật toán ước tính sụt áp được thành lập dựa vào các đường đặc tính của điện áp theo công suất kháng thể hiện ở Hình 5. Hình 5 trình bày đồ thị chia công suất phản kháng của một microgrid trong trường hợp tổng quát, microgrid với hai bộ nghịch lưu khác nhau và trở kháng đường dây khác nhau. Từ Hình 5, ta có:

Nếu điện áp tại điểm chung $V_{PCC} < V_{min}$ (điện áp cực tiểu cho phép của hệ thống) thì công suất ở ngõ ra của các bộ nghịch lưu lớn hơn các giá trị cực đại của nó: $Q_1 > Q_{1max}$ và $Q_2 > Q_{2max}$, trong trường hợp này có thể dẫn đến các bộ nghịch lưu bị quá tải. Hơn nữa, $V_{PCC} < V_{min}$ thì không đảm bảo chất lượng điện cung cấp cho tải.

Nếu điện áp tại điểm chung $V_{PCC} > V_{min}$ thì công suất ở ngõ ra của các bộ nghịch lưu sẽ nhỏ hơn các giá trị cực đại của nó: $Q_1 < Q_{1max}$ và $Q_2 < Q_{2max}$ trong trường hợp này thì việc chia công suất được thực hiện tốt và đảm bảo chất lượng điện cung cấp cho tải.

Nếu điện áp tại điểm chung $V_{PCC} = V_0$ thì công suất ở ngõ ra của các bộ nghịch lưu bằng với công suất định mức của nó: $Q_1 = Q_{0,1}$ và $Q_2 = Q_{0,2}$, trong trường hợp này thì việc chia công suất được thực hiện tốt và đảm bảo chất lượng điện cung cấp cho tải.

Mặt khác, độ chính xác của chia công suất kháng trong microgrid độc lập có thể được cải tiến bằng cách thêm vào hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng $k_{qi} = \frac{\Delta V}{Q_i}$ và điều chỉnh độ dốc của droop Q/V . Nếu hệ số độ dốc k_{qi} không được điều chỉnh thì độ dốc đường đặc tính droop điện áp Q/V sẽ cố định. Điều này sẽ dẫn đến một hoặc nhiều bộ nghịch lưu phát công suất vượt quá công suất giới hạn cực đại. Trong khi k_{qi} có thể được xem xét để quyết định độ dốc mong muốn của đường đặc tính droop Q/V cho mỗi bộ nghịch lưu, nhằm hạn chế những rủi ro bộ nghịch lưu phải hoạt động vượt quá công suất giới hạn và điện áp microgrid dưới giá trị tối thiểu cho phép, đồng thời nâng cao độ chính xác trong việc chia công suất kháng. Điều này có thể được thực hiện bằng cách kết hợp hệ số độ dốc k_{qi} vào bộ điều khiển droop điện áp (Droop Q/V), được trình bày như sau:

Nếu điện áp tại điểm chung V_{PCC} bằng với điện áp định mức của microgrid, theo Hình 5, điện áp ngõ ra của mỗi bộ nghịch lưu tương ứng là: $V_{0,1}$ $V_{0,2}$, khi đó hệ số độ dốc k_{qi} có dạng:

$$k_{qi} = \frac{V_{0,i} - V_0}{Q_{0,i}} \quad (13)$$

Hoặc ta có thể viết:

$$V_{0,i} = V_0 + k_{qi} \cdot Q_{0,i} \quad (14)$$

Nếu điện áp tại điểm chung V_{PCC} bằng với điện áp cực tiểu của microgrid, theo Hình 5, điện áp ngõ ra của mỗi bộ nghịch lưu tương ứng là: V_{1min} V_{2min} , hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng có dạng như sau:

$$k_{qi} = \frac{V_{imin} - V_{min}}{Q_{imax}} \quad (15)$$

Hoặc có thể viết:

$$V_{imin} = V_{min} + k_{qi} \cdot Q_{imax} \quad (16)$$

Hệ số độ dốc của đường đặc tính droop Q/V tương ứng với phương trình (14) và (16) là:

$$m_{qi} = \frac{V_{0,i} - V_{imin}}{Q_{0,i} - Q_{imax}} \quad (17)$$

Phương trình droop Q/V tương ứng:

$$V_i = V_{0,i} - m_{qi}(Q_{0,i} - Q_i) \quad (18)$$

Thuật toán ước tính sụt áp do trở kháng bằng cách kết hợp hệ số độ dốc k_{qi} vào bộ điều khiển droop điện áp (droop Q/V) để cải thiện độ chính xác trong việc chia công suất, được thực hiện theo các phương trình từ (13) đến (18). Tuy nhiên, thuật toán cần phải xem xét và điều chỉnh lại trong trường hợp microgrid có chứa tải cục bộ.

Hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng có thể được viết một cách tổng quát như sau:

$$k_{qi} = \frac{V_i - V_{PCC}}{Q_i} = \frac{\Delta V}{Q_i} \quad (19)$$

Trong đó: ΔV là độ lệch điện áp cho phép; V_i là điện áp tại ngõ ra của bộ nghịch lưu i ; Q_i là công suất kháng tại ngõ ra của bộ nghịch lưu i .

- **Trong trường hợp microgrid có chứa tải cục bộ thì các hệ số độ dốc được điều chỉnh theo các công thức sau:**

Hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng khi có tải cục bộ có thể được viết như sau:

$$k_{qi} = \frac{V_i - V_{PCC}}{Q_i - Q_{local,i}} = \frac{\Delta V}{Q_i - Q_{local,i}} \quad (20)$$

Trong đó: $Q_{local,i}$ là công suất kháng của tải cục bộ.

Nếu điện áp tại điểm chung V_{PCC} bằng với điện áp định mức của microgrid, hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng có dạng như sau:

$$k_{q1} = \frac{V_{0,i} - V_0}{Q_{0,i} - Q_{0,local,i}} \quad (21)$$

Hoặc có thể viết:

$$V_{0,i} = V_0 + k_{qi} \cdot (Q_{0,i} - Q_{0,local,i}) \quad (22)$$

Nếu điện áp tại điểm chung V_{PCC} bằng với điện áp cực tiểu của microgrid, hệ số độ dốc của đường đặc tính điện áp theo công suất kháng có dạng như sau:

$$k_{qi} = \frac{V_{imin} - V_{min}}{Q_{imax} - Q_{0,local,i}} \quad (23)$$

Hoặc có thể viết:

$$V_{imin} = V_{min} + k_{qi} \cdot (Q_{imax} - Q_{0,local,i}) \quad (24)$$

Hệ số độ dốc của phương trình droop Q/V tương ứng với phương trình (22) và (24) là:

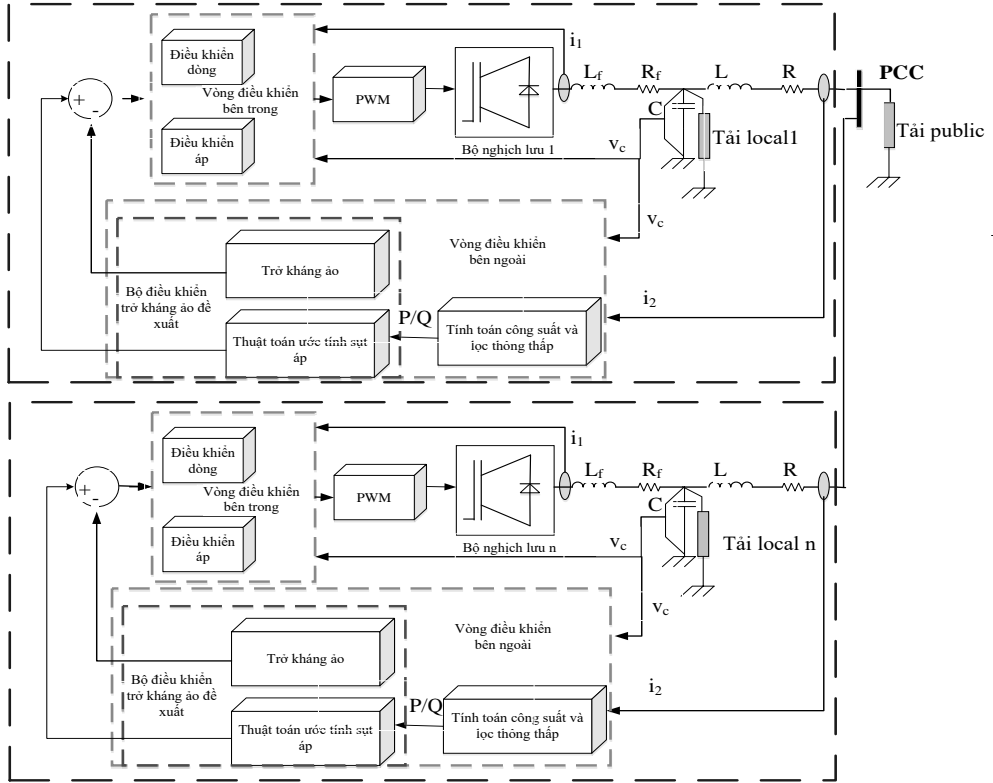
$$m_{qi} = \frac{V_{0,i} - V_{imin}}{Q_{0,i} - Q_{imax}} \quad (25)$$

Phương trình droop Q/V tương ứng:

$$V_i = V_{0,i} - m_{qi}(Q_{0,i} - Q_i) \quad (26)$$

Trong trường hợp tổng quát (có hay không có tải cục bộ), thuật toán ước tính sụt áp do trở kháng được thực hiện theo các phương trình từ (20) đến (26).

Sơ đồ khối của bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất được trình bày ở Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ khối của bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất

Sơ đồ khối của bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất được trình bày ở Hình 6 gồm các khối sau:

2.2.1. Khối trở kháng ảo

Theo các nghiên cứu của Anil Tuladhar, Guerrero & Vasquez *et al.*, Guerrero & Loh *et al.*, [14-16], từ Hình 6 khối trở kháng ảo được tính như sau:

$$v_{\text{ao}} = Z_{\text{ao}} \cdot i_2 = R_v i_2 + L_v \frac{di_2}{dt} \quad (27)$$

Chiếu công thức (27) lên hệ tọa độ dq0:

$$v_{dv} = i_{2d} R_v + L_v \frac{di_{2d}}{dt} - i_{2q} \omega L_v \quad (28)$$

$$v_{qv} = i_{2q} R_v + L_v \frac{di_{2q}}{dt} + i_{2d} \omega L_v \quad (29)$$

Do điện cảm L_v nhỏ nên bỏ qua thành phần $L_v \frac{di_{2d}}{dt}$ và $L_v \frac{di_{2q}}{dt}$ nên công thức (28) và (29) có thể viết:

$$v_{dv} = i_{2d}R_v - i_{2q}X_v \quad (30)$$

$$v_{qv} = i_{2q}R_v + i_{2d}X_v \quad (31)$$

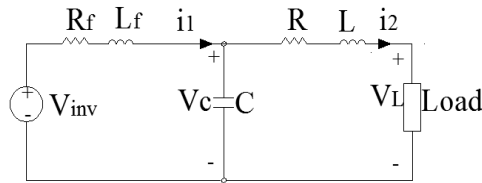
Trong đó: R_v là điện trở ảo (Ω), $X_v = \omega L_v$ là điện kháng ảo (Ω)

Khối trở kháng ảo được thành lập gồm 2 công thức (30) và (31).

Điện áp ngõ ra của khối trở kháng ảo và điện áp ngõ ra của khối ước tính sụt áp ở phương trình (26) sẽ được đưa đến bộ tổng trước khi đưa vào bộ điều khiển điện áp như ở Hình 6.

2.2.2. Khối điều khiển điện áp và dòng điện

Bộ điều khiển điện áp và dòng điện được thành lập dựa vào sơ đồ Hình 6.



Hình 7. Mạch điện tương đương một pha của bộ nghịch lưu kết nối với tải

Trong đó:

R là điện trở của đường dây (Ω)

L là điện cảm của đường dây (H)

R_f là điện trở của tụ lọc (Ω)

L_f là điện cảm của tụ lọc (H)

Từ Hình 7, có thể viết:

$$\begin{cases} i_1 = i_2 + C \frac{dv_c}{dt} \end{cases} \quad (32)$$

$$\begin{cases} v_{inv} = L_f \frac{di_1}{dt} + R_f i_1 + v_{cd} \end{cases} \quad (33)$$

Công thức (32) và (33) có thể được viết:

$$\begin{cases} i_{1d} = i_{2d} + C \frac{dv_{cd}}{dt} - \omega C v_{cq} \end{cases} \quad (34)$$

$$\begin{cases} i_{1q} = i_{2q} + C \frac{dv_{cq}}{dt} + \omega C v_{cd} \end{cases} \quad (35)$$

$$\begin{cases} v_{invd} = L_f \frac{di_{1d}}{dt} + R_f i_{1d} - \omega L_f i_{1q} + v_{cd} \end{cases} \quad (36)$$

$$\begin{cases} v_{invq} = L_f \frac{di_{1q}}{dt} + R_f i_{1q} + \omega L_f i_{1d} + v_{cq} \end{cases} \quad (37)$$

2.2.2.1. Bộ điều khiển điện áp:

Công thức (34) và (35) có thể được viết:

$$\begin{cases} i_{1d} = i_{2d} + C \frac{dv_{cd}}{dt} - \omega C v_{cq} = \Delta i_d + i_{2d} - \omega C v_{cq} & (38) \\ i_{1q} = i_{2q} + C \frac{dv_{cq}}{dt} + \omega C v_{cd} = \Delta i_q + i_{2q} + \omega C v_{cd} & (39) \end{cases}$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \Delta i_d = k_{pi}(v_{cd}^* - v_{cd}) + k_{ii} \int (v_{cd}^* - v_{cd}) dt & (40) \\ \Delta i_q = k_{pi}(v_{cq}^* - v_{cq}) + k_{ii} \int (v_{cq}^* - v_{cq}) dt & (41) \end{cases}$$

Bộ điều khiển điện áp trong Hình 8a được thành lập từ công thức (38) đến (41).

2.2.2.2. Bộ điều khiển dòng điện:

Công thức (36) và (37) có thể được viết:

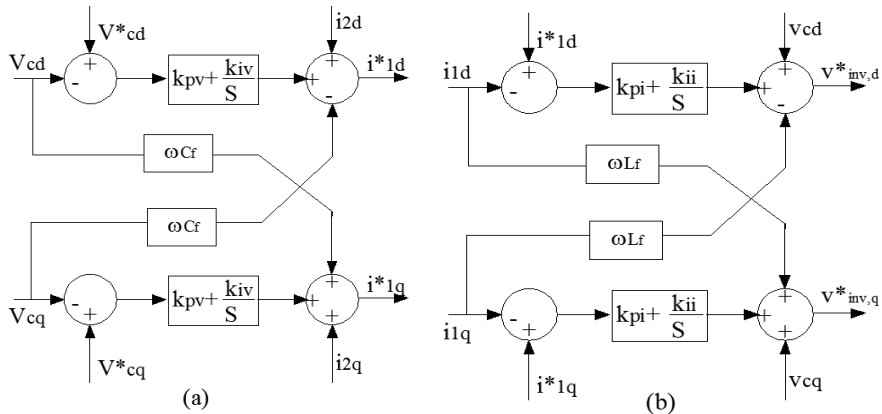
$$\begin{cases} v_{invd} = L_f \frac{di_{1d}}{dt} + R_f i_{1d} - \omega L_f i_{1q} + v_{cd} \\ = \Delta v_d - \omega L_f i_{1q} + v_{cd} & (42) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{invq} = L_f \frac{di_{1q}}{dt} + R_f i_{1q} + \omega L_f i_{1d} + v_{cq} \\ = \Delta v_q + \omega L_f i_{1d} + v_{cq} & (43) \end{cases}$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \Delta v_d = k_{pv}(i_{1d}^* - i_{1d}) + k_{iv} \int (i_{1d}^* - i_{1d}) dt & (44) \\ \Delta v_q = k_{pv}(i_{1q}^* - i_{1q}) + k_{iv} \int (i_{1q}^* - i_{1q}) dt & (45) \end{cases}$$

Bộ điều khiển dòng điện trong Hình 8b được thành lập từ công thức (42) đến (45).



Hình 8. a) Bộ điều khiển điện áp, b) Bộ điều khiển dòng điện

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để thực hiện mô phỏng chia công suất cho microgrid gồm có hai, ba bộ nghịch lưu kết nối song song bằng bộ điều khiển đề xuất để chứng minh sự phù hợp của bộ điều khiển.

Thông số điều khiển của bộ điều khiển đề xuất được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số cho các bộ điều khiển

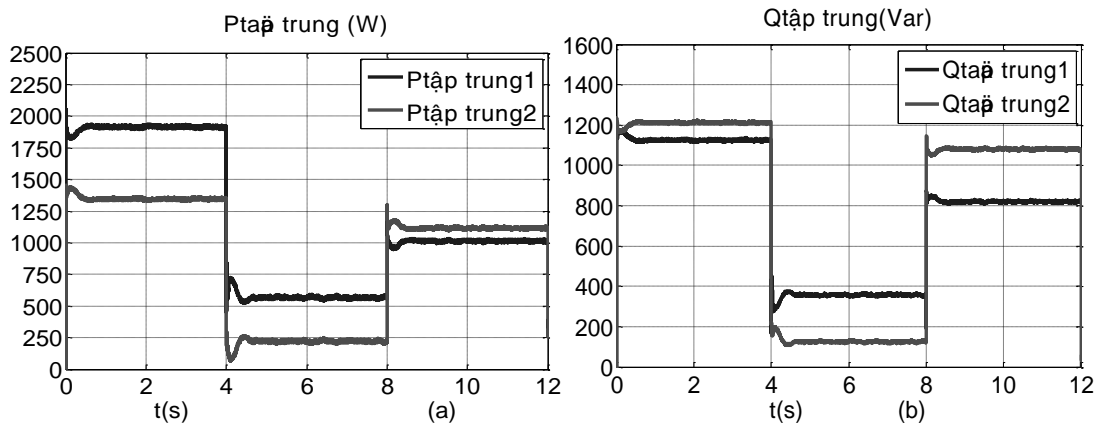
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Điện áp nguồn V_{cd} (V)	620	Tần số định mức f (Hz)	50
Điện cảm bộ lọc L_f (mH)	1,2	Tần số cực tiểu f_{min} (Hz)	49,5
Điện trở bộ lọc R_f (Ω)	0,2	Hệ số droop m_p (rad/s/W)	0,0001
Điện dung bộ lọc C (μ F)	6	Hệ số droop m_q (V/Var)	0,0017
Tần số đóng cắt f_s (kHz)	5	Trở kháng đường dây 1	0,7 Ω ; 1 mH
Công suất định mức S (kVA)	4	Trở kháng đường dây 2	0,5 Ω ; 0,7 mH
Điện áp pha định mức V (V)	311	Trở kháng ảo 1	3 Ω ; 3 mH
Điện áp pha cực tiểu V_{min} (V)	296	Trở kháng ảo 2	2 Ω ; 2 mH

Trường hợp 1: Mô phỏng cho trường hợp trở kháng 2 đường dây khác nhau, tải thay đổi, thông số của bộ điều khiển được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Bảng thông số trở kháng đường dây

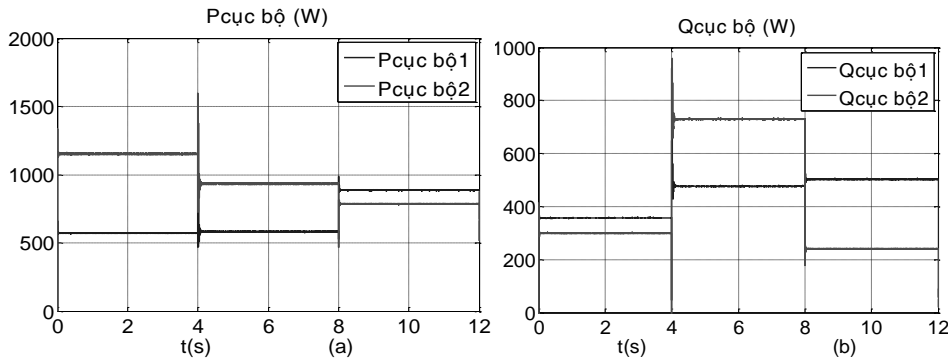
Thông số	Bộ nghịch lưu 1	Bộ nghịch lưu 2
Điện trở đường dây R (Ω)	1	0,8
Điện cảm đường dây L (mH)	0,8	0,6
Tỷ lệ công suất định mức P_{dm} (pu)	1	1

Tải tập trung và cực bộ thay đổi trong giới hạn định mức, và có hệ số công suất trong khoảng từ 0 đến 1.



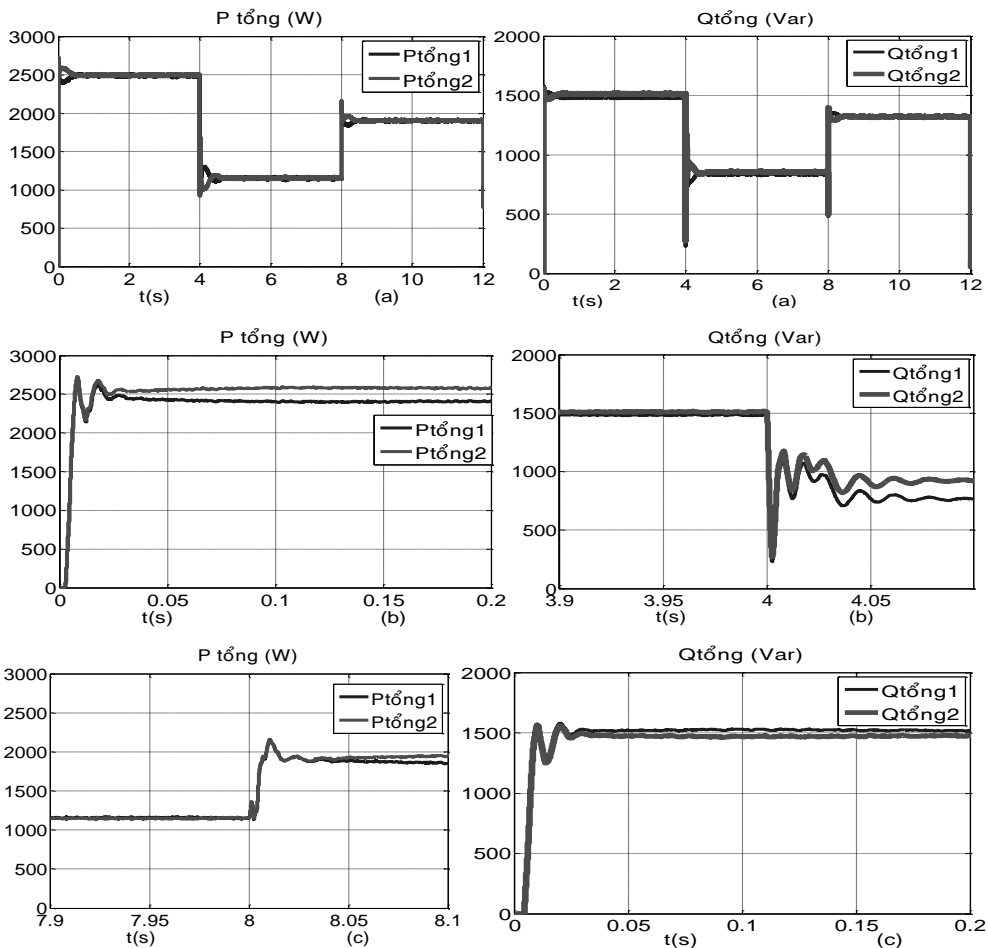
Hình 9. Công suất cấp cho tải tập trung của 2 bộ nghịch lưu, (a) Công suất tác dụng, (b) Công suất phản kháng

Hình 9 cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất cho kết quả chia công suất cho tải tập trung đạt yêu cầu. Tổng công suất của tải (tải tập trung và tải cục bộ) sẽ được điều khiển chia theo tỷ lệ định mức (1:1) cho 2 bộ nghịch lưu, mỗi bộ nghịch lưu cấp công suất cho tải cục bộ của mình, phần công suất còn lại cung cấp cho tải tập trung.



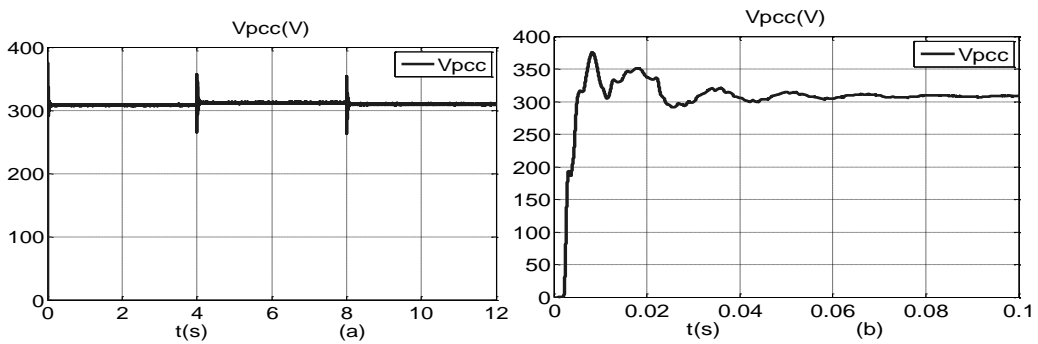
Hình 10. Công suất cấp cho tải cục bộ của 2 bộ nghịch lưu, (a) Công suất tác dụng, (b) Công suất phản kháng

Hình 10 cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất cho kết quả chia công suất cho tải cục bộ đạt yêu cầu.



Hình 11. Công suất phát ra của 2 bộ nghịch lưu, Công suất tác dụng (cột bên trái), Công suất phản kháng (cột bên phải), Hình b và c thể hiện đáp ứng quá độ của Hình a.

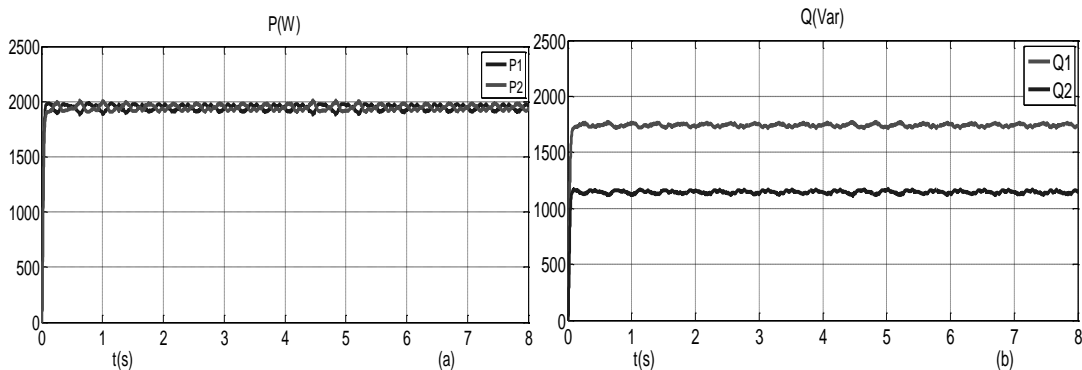
Hình 11 cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất cho kết quả chia công suất đạt yêu cầu tốt. Như được thể hiện ở Hình 11 (cột bên trái), trong trường hợp tải tập trung và tải cục bộ thay đổi trong giới hạn định mức, công suất tác dụng đo được tiến tới trạng thái xác lập tối đa sau 0,2s và độ vọt lố của công suất tác dụng lớn nhất đạt được là 8%. Trong khi đó, thời gian xác lập và độ vọt lố của công suất phản kháng như trong Hình 11 (cột bên phải) nhỏ hơn nhiều so với của công suất tác dụng. Thời gian xác lập và độ vọt lố của công suất phản kháng lần lượt là 0,05s và 3,3%. Như vậy, cả công suất tác dụng và công suất phản kháng đo được đều có thời gian xác lập nhỏ hơn 2s và độ vọt lố nhỏ hơn 30%. Theo nghiên cứu của Remus Teodorescu *et al.*, Hisham Mahmood *et al.*, và Trần Quang Khánh, dòng điện tải sẽ không đủ lớn để có thể làm thiết bị bảo vệ quá dòng tác động [17-19]. Do đó, với tổng công suất của tải được chia theo tỷ lệ định mức (1:1) cho 2 bộ nghịch lưu, bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất đã cho kết quả vận hành tốt hơn.



Hình 12. Điện áp tại điểm chung V_{pcc}

Hình 12 cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất đảm bảo yêu cầu về chất lượng điện cấp cho tải trong suốt quá trình tải tập trung và cục bộ thay đổi theo các hệ số $\cos\phi$ khác nhau. Độ dao động điện áp khi các tải thay đổi không làm ảnh hưởng đến các thiết bị bảo vệ microgrid, khi công suất tải đạt cực đại $P = 2500$ W, $Q = 1500$ Var thì điện áp tại tải là $V_{pcc} = 308,5$ V.

Trường hợp 2: Mô phỏng chia công suất cho 2 bộ nghịch lưu với cùng các thông số đường dây và tải trong trường hợp 1 (trong khoảng thời gian 8-12s) bằng phương pháp droop truyền thống. Kết quả mô phỏng cho ở Hình 13.



Hình 13. Chia công suất cho 2 bộ nghịch lưu bằng bộ điều khiển droop truyền thống, (a) Công suất tác dụng, (b) Công suất phản kháng

Bảng 3 thể hiện sự so sánh kết quả chia công suất của phương pháp droop truyền thống và phương pháp droop trở kháng ảo đề xuất.

Bảng 3. So sánh kết quả về độ chính xác trong việc chia công suất

Sai số chia công suất tác dụng e_P (%)		Sai số chia công suất phản kháng e_Q (%)	
Droop truyền thống	Droop trở kháng ảo đề xuất	Droop truyền thống	Droop trở kháng ảo đề xuất
5,4	0,5	34,61	0,38

Hình 13 và Bảng 3 cho thấy, sự không cân bằng của trở kháng đường dây nổi từ các bộ nghịch lưu đến điểm chung PCC không ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác trong việc chia công suất tác dụng, nhưng ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác trong việc chia công suất phản kháng. Vì sự không cân bằng của trở kháng đường dây sẽ gây ra mất cân bằng về sụt áp trên đường dây, cuối cùng là dẫn đến sai lệch trong việc chia công suất phản kháng. Nếu sự sai lệch về trở kháng đường dây càng nhiều thì phương pháp droop truyền thống cho kết quả chia công suất có sai lệch càng lớn và có thể dẫn đến hệ thống mất ổn định. Tuy nhiên, phương pháp droop trở kháng ảo đề xuất thì cho kết quả chia công suất tốt hơn rất nhiều so với phương pháp droop truyền thống, sai lệch không đáng kể.

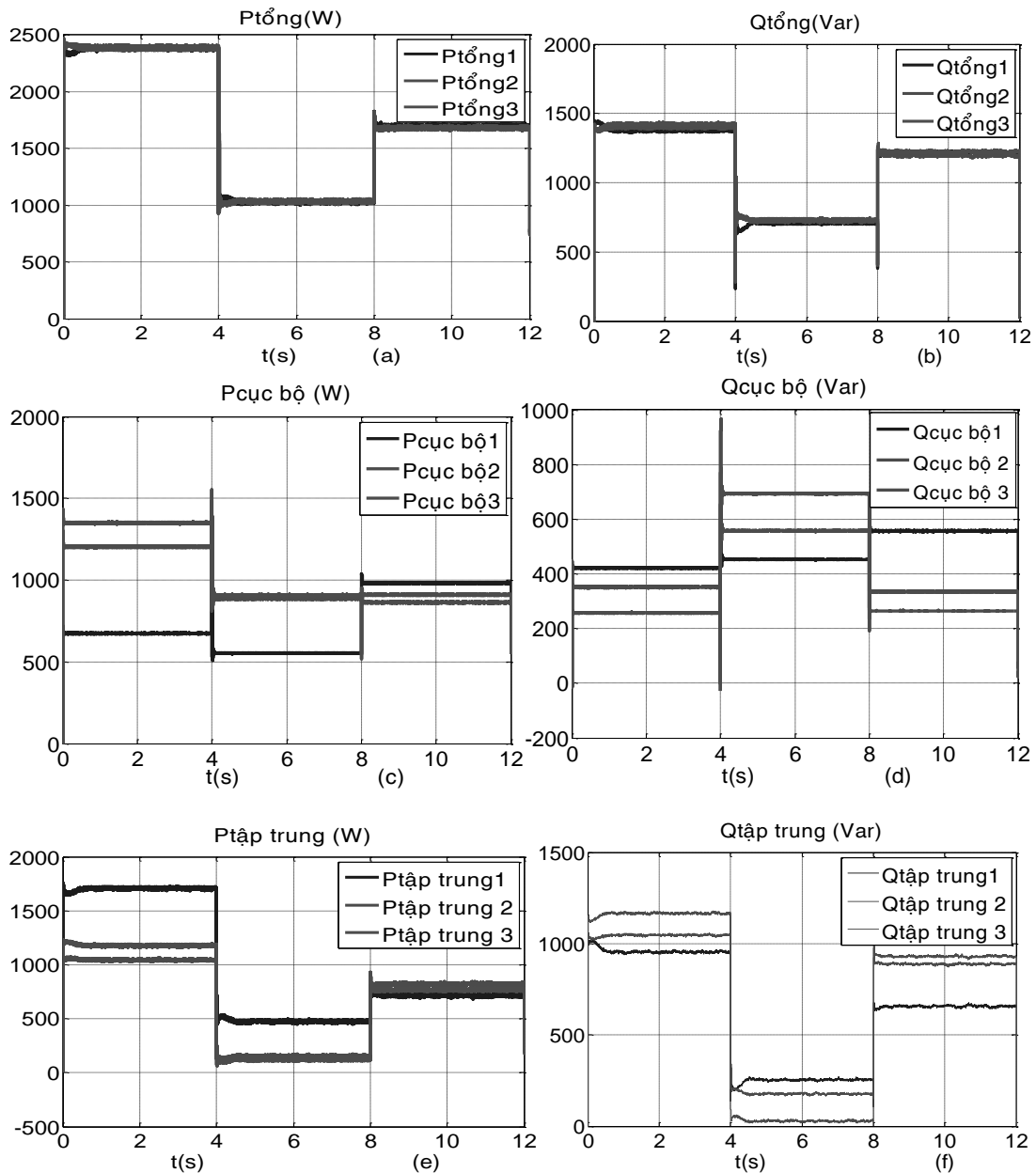
Trường hợp 3: Trường hợp microgrid có 3 bộ nghịch lưu, trở kháng đường dây khác nhau, tải thay đổi. Thông số mô phỏng cho ở Bảng 4.

Bảng 4. Bảng thông số trở kháng đường dây

Thông số	Bộ nghịch lưu 1	Bộ nghịch lưu 2	Bộ nghịch lưu 3
Điện trở đường dây $R(\Omega)$	1	0,8	0,7
Điện cảm đường dây $L(mH)$	0,8	0,6	0,5
Tỷ lệ công suất định mức $P_{dm}(pu)$	1	1	1

Tải tập trung và cục bộ thay đổi trong giới hạn định mức và có hệ số công suất trong khoảng từ 0 đến 1.

Hình 14 cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất cho kết quả chia công suất đạt yêu cầu tốt. Như được thể hiện ở Hình 14 (cột bên trái), trong trường hợp tải tập trung và tải cục bộ thay đổi trong giới hạn định mức, công suất tác dụng đo được tiến tới trạng thái xác lập tối đa sau 0,3s và độ vọt lố của công suất tác dụng lớn nhất đạt được là 9%. Thời gian xác lập và độ vọt lố của công suất phản kháng lần lượt là 0,2s và 5,6% như trong Hình 14 (cột bên phải). Như vậy, cả công suất tác dụng và công suất phản kháng đo được đều có thời gian xác lập nhỏ hơn 2s và độ vọt lố nhỏ hơn 30%. Theo các nghiên cứu của Remus Teodorescu *et al.*, Hisham Mahmood *et al.*, và Trần Quang Khánh, dòng điện tải sẽ không đủ lớn để có thể làm thiết bị bảo vệ quá dòng tác động [17-19]. Do đó, với tổng công suất của tải được chia theo tỷ lệ định mức (1:1:1) cho 3 bộ nghịch lưu, bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất đã cho kết quả vận hành tốt hơn.



Hình 14. Công suất phát ra của 3 bộ nghịch lưu, Công suất tác dụng (cột bên trái), Công suất phản kháng (cột bên phải)

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển droop trở kháng ảo đề xuất đã thực hiện chia công suất đúng theo tỷ lệ công suất định mức của các bộ nghịch lưu, mà không bị ảnh hưởng bởi sự sai lệch của trở kháng đường dây và tải cục bộ. Độ chính xác của việc chia công suất phản kháng được cải thiện đáng kể so với phương pháp droop thông thường. Các kết quả mô phỏng cũng cho thấy phương pháp đề xuất cho kết quả đảm bảo yêu cầu về độ vọt lố và chất lượng điện áp cung cấp cho phụ tải. Bộ điều khiển này cũng không cần sử dụng bus truyền thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Rocabert J., Luna A., Blaabjerg F. and Rodriguez P. - Control of power converters in AC microgrids, *IEEE Transactions on Power Electronics* **27** (11) (2012) 4734–4739.
2. Lê Thành Tới, Phạm Thị Xuân Hoa, Hoàng Đắc Huy. - Điều chỉnh điện áp và tần số dựa trên cơ sở điều khiển droop cho các bộ nghịch lưu kết nối song song trong lưới siêu nhỏ, *Tạp chí Khoa học công nghệ và Thực phẩm* **15** (1) (2018) 81- 91.
3. A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink and G. J. M. Smit. - Management and control of domestic smart grid technology, *IEEE Transactions Smart Grid* **1** (2) (2010) 109–119.
4. F. Petruzzello, P. D. Ziogas and G. Joos. - A novel approach to paralleling of power converter units with true redundancy, *21st IEEE Power Electronics Conference (TXUSA)*, (1990) 808–813.
5. Md Alamgir Hossain, Hemanshu Roy Pota, Walid Issa and Md Jahangir Hossain. - Overview of AC Microgrid Controls with Inverter-Interfaced Generations, *Energy Systems* **64** (2017) 148–155.
6. R. H. Lasseter, B. Schenkman, J. tevens, H. Vollkommer, D. Klapp, E. Linton, H. Hurtado and J.Roy. – CERTS Microgrid laboratory test bed, *IEEE Transactions on Power Electronics* **26** (1) (2011) 325–332.
7. F. Katiraei and M. R. Iravani. - Power management strategies for a Microgrid with multiple distributed generation units, *IEEE Transactions Power Electronic* **21** (5) (2005) 1821–1831.
8. Hai chuan, Niu Meng Jiang, Daming Zhang and John Fletcher. - Autonomous Microgrid Operation by Employing Weak Droop Control and PQ Control, *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, (2014) 563-570.
9. M. A. Abusara, J. M. Guerrero and S. M. Sharkh. - Line-interactive ups for microgrids, *IEEE Transactions Electronics* **61** (3) (2014) 1292–1300.
10. M. Q. Mao, Z. Dong, Y. Ding, and L. C. Chang. - A unified controller for a microgrid based on adaptive virtual impedance and conductance, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (2014) 695-701.
11. Jae-Hyuk Kim, Yoon-Seok Lee, Hyun-Jun Kim and Byung-Moon Han. - A New Reactive-Power Sharing Scheme for Two Inverter - Based Distributed Generations with Unequal Line Impedances in Islanded Microgrids, *Energies Systems* **34** (4) (2017) 124-130.
12. K.S.Rangasamy, Tamil Nadu, India Tiruchengode, Tamil Nadu, India, S.S. Balasreedharan, PG Student, S. Thangavel. - India an adaptive fault entification scheme for DC Microgrid using event based classification, *Ennergies Systems*, **67** (8) (2016) 22 – 23.
13. Made A. Setiawan, Farhad Shahnia. - Zigbee-based communication system for data transfer within future microgrids, *IEEE Transactions on Smart Grid* **6** (5) (2015) 2343-2355.
14. Anil Tuladhar. - Control of Parallel Inverters in Distributed AC Power Systems with Consideration of Line Impedance Effect, *Transactions on industrial applications* **36** (1) (2000) 162-171.

15. Guerrero J. M., Vasquez J. C. and Matas J. - Hierarchical control of droop-controlled AC and DC Microgrids—A general approach toward standardization, *IEEE Transactions Power Electronics* **58** (1) (2011) 158–172.
16. Guerrero J. M., Loh P. and Chandorkar M. - Advanced control architectures for intelligent microgrids - Part I: Decentralized and hierarchical control, *IEEE Transactions Power Electronics* **60** (4) (2013) 1254–1262.
17. Remus Teodorescu, Marco Liserre and Pedro Rodríguez. - Grid converters for photovoltaic and wind power systems, Wiley-IEEE Press, 2011.
18. Hisham Mahmood, Jin Jiang, Dennis Michaelson. - Accurate reactive power sharing in an islanded microgrid using adaptive virtual impedances, *IEEE Transactions on power electronics* **30** (3) (2015) 219-235.
19. Trần Quang Khánh. - Bảo vệ rơ le và tự động hóa hệ thống điện, Nhà xuất bản Giáo dục, 2005.

ABSTRACT

POWER SHARING CONTROL IN ISLANDED MICROGRID BY IMPROVED DROOP CONTROL

Phạm Thị Xuân Hoa*, Lê Thanh Tới

Ho Chi Minh City University of Food Industry

*Email: *hoaptx@cntp.edu.vn*

This paper proposes a power sharing method for inverters in parallel in the islanded microgrid. The proposed method included the droop control with virtual impedance and the algorithm for estimating the voltage drop due to the line impedance to increase the accuracy of reactive power sharing in the islanded microgrid. The effect of local loads on reactive power sharing was also considered in this paper. The feasibility and effectiveness of the proposed method was demonstrated by simulation results on Matlab/Simulink.

Keywords: Power sharing control, microgrid, parallel inverter, droop control, virtual impedance.