

ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN ÁP VÀ TẦN SỐ CHO CÁC BỘ NGHỊCH LƯU TRONG MICROGRID

Nguyễn Đình Trường Giang, Lê Khắc Sinh, Phạm Thị Xuân Hoa*

Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: hoaptx@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/12/2022; Ngày chấp nhận đăng: 01/3/2023

TÓM TẮT

Các bộ nghịch lưu trong Microgrid được kết nối song song nhằm nâng cao hiệu suất, tăng khả năng truyền tải, dễ dàng sửa chữa và bảo trì. Khi Microgrid đang hoạt động ở chế độ độc lập, các bộ nghịch lưu phải được điều khiển để chia sẻ năng lượng của chúng theo tỷ lệ định mức, điều này nhằm ổn định tần số và điện áp trong Microgrid. Phương pháp droop điều khiển công suất cho các bộ nghịch lưu mắc song song là một trong những phương pháp chia sẻ công suất phổ biến nhất hiện nay, một số nghiên cứu đã trình bày các phương pháp điều khiển droop truyền thống và cải tiến. Tuy nhiên, mục đích của các nghiên cứu là chia sẻ công suất cho các nghịch lưu mà không có mục đích làm giảm độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng. Bài này trình bày phương pháp điều chỉnh điện áp và tần số dựa trên logic mờ với mục đích giảm thiểu độ lệch điện áp và tần số nhằm nâng cao chất lượng điện năng trong Microgrid. Bộ điều khiển này bao gồm một Droop kết hợp với logic mờ để điều khiển sự thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi, nhờ đó có thể điều chỉnh được độ lệch điện áp và tần số. Bộ điều khiển này bao gồm bộ điều khiển droop kết hợp với logic mờ. Kết quả mô phỏng sẽ chứng minh tính hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Từ khóa: Điều khiển droop, chia sẻ công suất, điều khiển lưới điện siêu nhỏ, bộ nghịch lưu song song, logic mờ.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

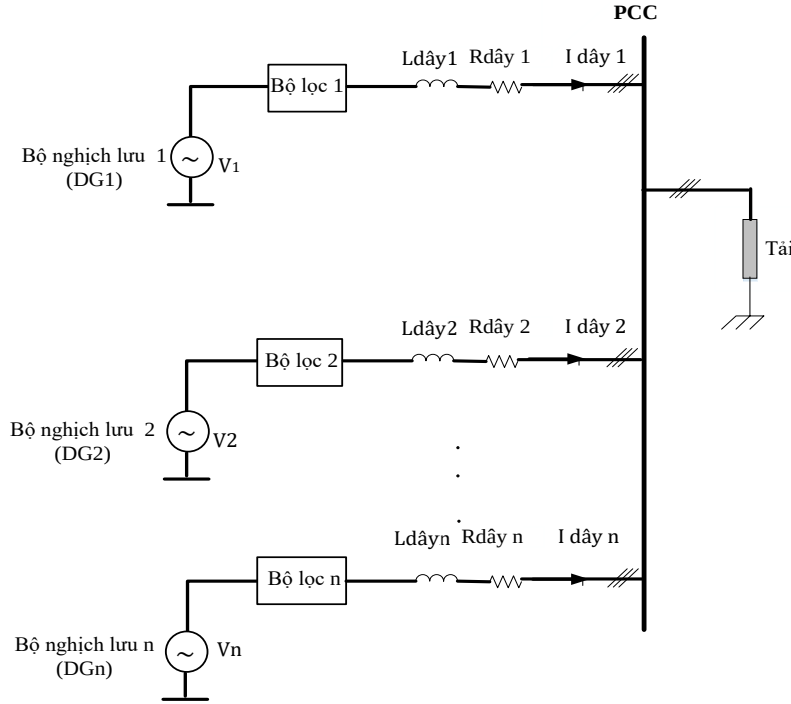
Microgrid bao gồm một hệ thống các nguồn phát điện phân tán (DG), sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió và lưu trữ. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng tái tạo này không thể trực tiếp tạo ra điện áp xoay chiều 3 pha nên cần sử dụng các bộ nghịch lưu để tạo ra điện áp xoay chiều 3 pha. Lưới điện siêu nhỏ có thể truyền tải lượng điện năng lớn hoặc kết nối nhiều máy phát điện với lưới điện, các bộ nghịch lưu cần được kết nối và vận hành song song. Một lý do nữa là các bộ nghịch lưu hoạt động song song sẽ tạo thành một hệ thống dự phòng, nâng cao độ tin cậy của hệ thống và tạo sự linh hoạt, chúng cho phép đóng hoặc ngắt các nguồn điện lên lưới một cách dễ dàng [1]. Khi đó, mỗi bộ nghịch lưu phải đảm bảo phân chia tải theo đúng công suất định mức của chúng. Về mặt lý thuyết, nếu điện áp đầu ra của mỗi bộ nghịch lưu có cùng biên độ, tần số và góc pha thì dòng tải sẽ được phân bố đều trên các pha [2-4].

Dựa trên đặc tính công suất của nguồn, các nghiên cứu trước đây đã đưa ra mô hình toán học của bộ điều khiển droop, điều khiển việc chia sẻ công suất giữa các bộ nghịch lưu hoạt động song song. Mối quan hệ giữa công suất thực và công suất phản kháng được thể hiện qua các hệ số góc [1-3]. Vì vậy, các nhà nghiên cứu đã dựa vào hệ số góc để thực hiện chia sẻ công suất giữa các bộ nghịch lưu song song. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây thường cố định các hệ số góc này [1-6] nên khi tham số tải thay đổi, các bộ điều khiển droop này sẽ làm cho tần số và điện áp đầu ra của biến tần bị sai lệch nhiều hơn so với giá trị định mức.

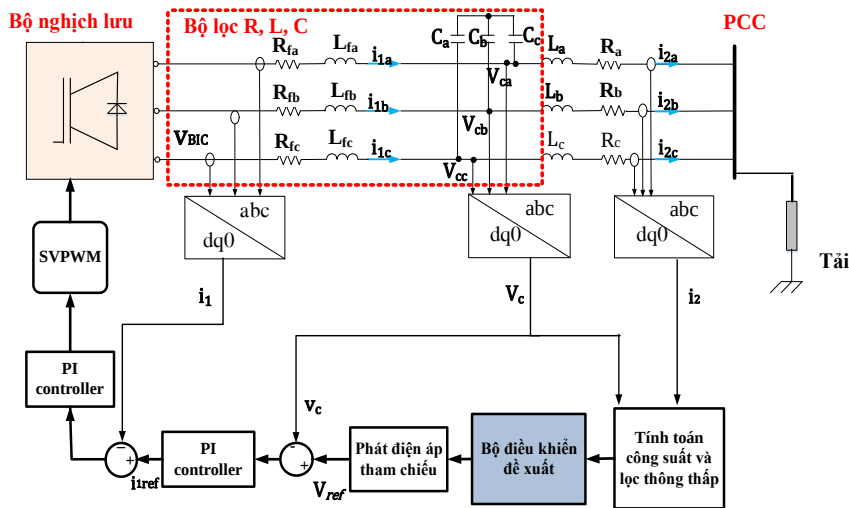
Một số nghiên cứu đã trình bày các phương pháp droop truyền thống và cải tiến [1-9]. Tuy nhiên, mục đích của các nghiên cứu là chia sẻ công suất cho các bộ nghịch lưu mà không có mục đích giảm độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng. Bộ điều khiển phân chia công suất trong [7, 8] cũng dựa trên phương pháp điều khiển droop điện áp và tần số, bộ điều khiển này có thể điều khiển thích ứng theo các tham số tải thay đổi. Tuy nhiên, bộ điều khiển này phụ thuộc rất nhiều vào tham số trở kháng của đường dây. Một số nghiên cứu đã trình bày các phương pháp droop truyền thống và cải

tiền [10-15]. Tuy nhiên, mục đích của nghiên cứu là chia sẻ công suất cho các bộ nghịch lưu mà không có mục đích giảm độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng.

Vì vậy, bài báo này thiết kế bộ điều khiển droop kết hợp logic mờ nhằm khắc phục nhược điểm của các bộ điều khiển droop trước đây. Bộ điều khiển droop- logic mờ sẽ tự động điều chỉnh hệ số góc của các đường đặc tính công suất khi tải thay đổi. Do đó, bộ điều khiển này thích ứng với việc thay đổi các tham số tải, nhờ đó, nó giảm thiểu độ lệch tần số và điện áp, từ đó cải thiện chất lượng điện năng trong lưới điện siêu nhỏ. Cấu trúc của một lưới điện siêu nhỏ độc lập bao gồm các bộ nghịch lưu hoạt động song song được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Microgrid bao gồm n bộ nghịch lưu được kết nối song song thông qua một thanh góp chung



Hình 2. Sơ đồ khối của bộ điều khiển đề xuất cho một bộ nghịch lưu trong microgrid độc lập

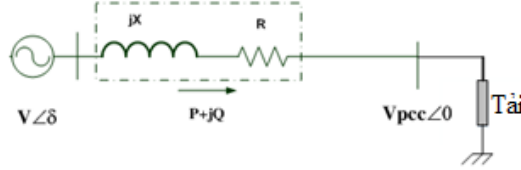
Ở chế độ độc lập, lưới điện siêu nhỏ phải có khả năng tự ổn định điện áp và tần số trong các điều kiện tải thay đổi theo thời gian thực. Hệ thống điều khiển đề xuất bao gồm: bộ điều khiển bên ngoài là bộ điều khiển công suất droop- logic mờ để điều khiển việc chia sẻ công suất cho các bộ nghịch lưu, bộ

điều khiển bên trong là bộ điều khiển dòng điện và điện áp để điều khiển dòng điện và điện áp ở đầu ra của bộ nghịch lưu. Mô hình bộ điều khiển đề xuất được hiển thị trong Hình 2.

2. BỘ ĐIỀU KHIỂN ĐỀ XUẤT

Bộ điều khiển được đề xuất bao gồm các khối sau:

2.1. Phương pháp droop truyền thống



Hình 3. Sơ đồ tương đương của bộ nghịch lưu kết nối với tải

Theo Hình 3, công suất tác dụng và phản kháng do bộ nghịch lưu cung cấp được tính như sau:

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

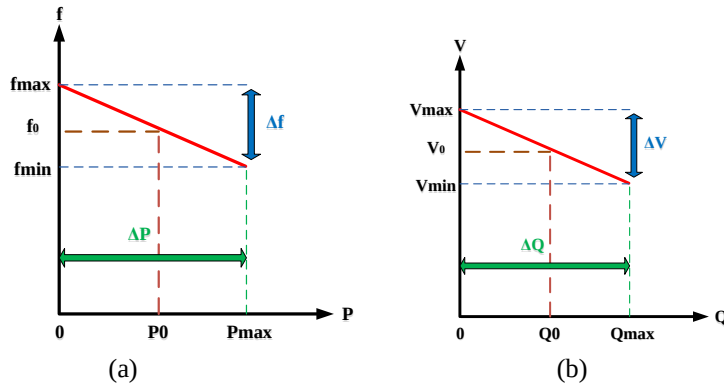
$$Q = \frac{V}{R^2 + X^2} [-R V_{PCC} \sin \delta + X(V - V_{PCC} \cos \delta)] \quad (2)$$

Khi góc δ nhỏ và $X \gg R$, phương trình (1) và (2) được viết lại như sau:

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

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

Biểu thức (3) và (4) cho thấy rằng tần số phụ thuộc vào công suất tác dụng P và độ lệch điện áp phụ thuộc vào công suất phản kháng Q . Từ biểu thức (3) và (4), chúng ta có thể kết luận rằng điện áp được điều khiển bởi Q và tần số là do P điều khiển. Do đó, đặc tính droop P/f và Q/V được sử dụng theo biểu thức (5), (6) và được trình bày như Hình 4.



Hình 4. (a) Đặc tính P/f , (b) Đặc tính Q/V

$$f = f_0 - m_p(P - P_0) \quad (5)$$

$$V = V_0 - m_q(Q - Q_0) \quad (6)$$

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 [7]:

$$m_p = \frac{f_0 - f_{min}}{P_{max} - P_0}; m_q = \frac{V_0 - V_{min}}{Q_{max} - Q_0} \quad (7)$$

Trong đó: P_0, Q_0 là công suất tác dụng và phản kháng định mức của bộ nghịch lưu; P, Q là các giá trị công suất tác dụng và phản kháng thực tế mà bộ nghịch lưu cung cấp cho tải.

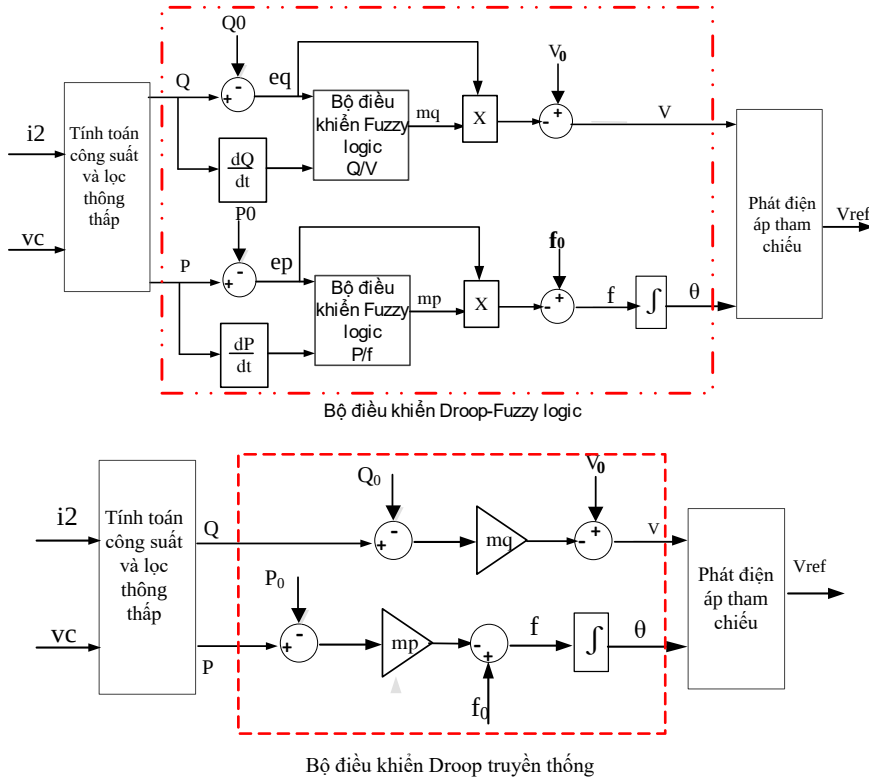
Theo phương trình (5) và (6) ta thấy:

$$\begin{cases} V = V_0 \\ f = f_0 \end{cases} \text{ chỉ có được khi } \begin{cases} Q = Q_0 \\ P = P_0 \end{cases}$$

Khi công suất tác dụng của tải tăng $P > P_0$ thì $f < f_0$ và khi công suất tác dụng của tải giảm $P < P_0$ thì $f > f_0$. Khi công suất phản kháng của tải tăng $Q > Q_0$ thì $V < V_0$ và khi công suất phản kháng của tải giảm $Q < Q_0$ thì $V > V_0$. Nghĩa là ứng với độ thay đổi công suất kháng ΔQ của phụ tải thì sẽ gây ra độ lệch điện áp ΔV và ứng với độ thay đổi công suất tác dụng ΔP của phụ tải thì sẽ gây ra độ lệch tần số Δf . Ta mong muốn khi phụ tải thay đổi thì độ lệch tần số Δf và độ lệch điện áp ΔV càng nhỏ càng tốt. Nghĩa là muốn giữ tần số và điện áp gần với giá trị định mức. Để làm được điều này thì theo phương trình (5), (6) và theo đường đặc tính ở Hình 4 thì ta chỉ có thể điều khiển các hệ số trượt m_p và m_q , chính là điều khiển thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất. Ta điều khiển m_p và m_q sao cho các đường đặc tính P/f và Q/V càng ít dốc thì khi đó độ lệch tần số Δf và độ lệch điện áp ΔV càng nhỏ khi tải thay đổi.

2.2. Thiết kế bộ điều khiển droop-fuzzy logic

Mục tiêu của droop-fuzzy logic là điều khiển sao cho V tiến gần đến V_0 và f tiến gần đến f_0 trong khi các thông số tải thay đổi, nghĩa là điều khiển sao cho tín hiệu điện áp V và tần số f do bộ nghịch lưu phát ra bám theo tín hiệu đặt. Điều này được thực hiện bằng cách thay đổi các hệ số góc của đường đặc tính P/f và Q/V thông qua bộ điều khiển mờ. Sơ đồ khối cho bộ điều khiển bao gồm vòng điều khiển công suất Droop-fuzzy logic ở bên ngoài để điều khiển chia công suất như ở Hình 5. Trong khi đó bộ điều khiển droop truyền thống thì được thực hiện theo các công thức (5), (6), các hệ số trượt m_p và m_q thì được cố định theo công thức (7) nên kết quả có độ lệch tần số và điện áp so với giá trị định mức lớn hơn phương pháp đề xuất.



Hình 5. Sơ đồ điều khiển cho bộ điều khiển droop-fuzzy logic và bộ điều khiển droop truyền thống

a. Tín hiệu ngõ vào của hai bộ điều khiển mờ:

Tín hiệu ngõ vào của bộ điều khiển mờ droop-fuzzy logic Q/V:

Tín hiệu vào thứ nhất là sai lệch giữa công suất kháng thực tế và công suất kháng định mức: $e_q = Q - Q_0$

Tín hiệu vào thứ hai là tốc độ biến thiên của công suất kháng thực tế theo thời gian: $\frac{dQ}{dt}$

Tín hiệu ngõ vào của bộ điều khiển mờ droop-fuzzy logic P/f:

Tín hiệu vào thứ nhất là sai lệch giữa công tác dụng thực tế và công suất tác dụng định mức: $e_p = P - P_0$

Tín hiệu vào thứ hai là tốc độ biến thiên của công suất tác dụng thực tế theo thời gian: $\frac{dP}{dt}$

b. Tín hiệu ngõ ra của hai bộ điều khiển mờ:

Tín hiệu ngõ ra của bộ điều khiển mờ droop-fuzzy logic Q/V là hệ số góc m_q

Tín hiệu ngõ ra của bộ điều khiển mờ droop-fuzzy logic P/f là hệ số góc m_p

c. Xác định các biến ngôn ngữ cho ngõ vào, ngõ ra:

Chọn 5 biến ngôn ngữ cho các biến ngõ vào thứ nhất: $e_p = e_q = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$

NB: âm rất nhiều; NS: âm ít; ZE: bằng 0; PS: dương ít; PB: dương nhiều.

Chọn 3 biến ngôn ngữ cho các biến ngõ vào thứ hai: $\frac{dQ}{dt} = \frac{dP}{dt} = \{N, Z, P\}$

N: âm; Z: bằng 0; P: dương.

Chọn 9 biến ngôn ngữ cho các biến ngõ ra:

$m_p = m_q = \{A1, A2, A3; B1, B2, B3; C1, C2, C3\}$

A1, A2, A3: rất nhỏ; B1, B2, B3: nhỏ vừa; C1, C2, C3: trung bình.

d. Chọn miền giá trị cho ngõ vào và ngõ ra:

Dựa vào phương trình (5) và (6) ta chọn miền giá trị cho các ngõ vào và ngõ ra:

Miền giá trị cho các ngõ vào thứ nhất:

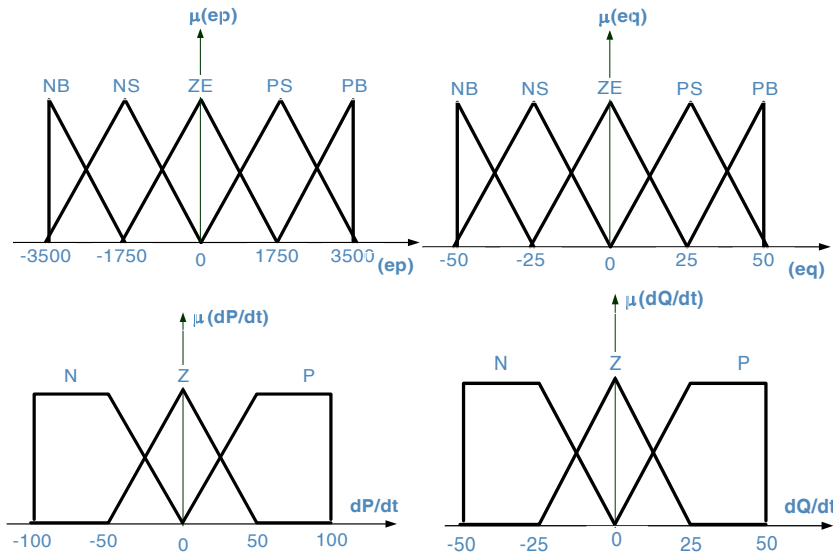
$e_p = [-3500; 3500]$, $e_q = [-50; 50]$

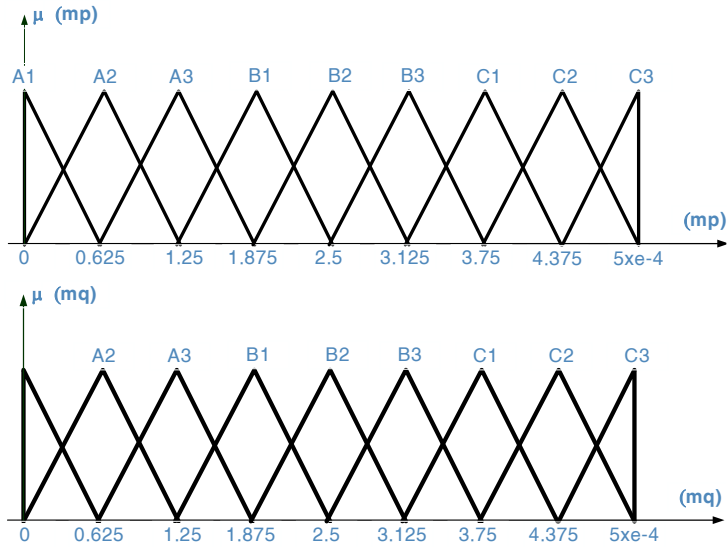
Miền giá trị cho các ngõ vào thứ hai:

$\frac{dP}{dt} = [-100; 100]$, $\frac{dQ}{dt} = [-50; 50]$

Miền giá trị cho các ngõ ra: $m_p = m_q = [0; 2.5e-4]$

e. Xác định các hàm liên thuộc cho ngõ vào, ngõ ra:





Hình 6. Hàm liên thuộc cho các ngõ vào và ngõ ra

f. Xác định các luật điều khiển:

Từ phương trình (5), (6), (7) và Hình 4 cho thấy:

Nếu $Q > Q_0$ thì $V < V_0$, để V tiến đến gần V_0 thì ta phải điều khiển giảm hệ số góc mq tức là tăng hệ số góc.

Nếu $Q < Q_0$ thì $V > V_0$, để V tiến đến gần V_0 thì ta phải điều khiển giảm hệ số góc mq tức là tăng hệ số góc.

Nếu $P > P_0$ thì $f < f_0$, để f tiến đến gần f_0 thì ta phải điều khiển giảm hệ số góc mp tức là tăng hệ số góc.

Nếu $P < P_0$ thì $f > f_0$, để f tiến đến gần f_0 thì ta phải điều khiển giảm hệ số góc mp tức là tăng hệ số góc.

Mặt khác dựa vào các biến ngôn ngữ, miền giá trị, hàm liên thuộc của ngõ vào và ngõ ra, ta có thể thiết lập các luật điều khiển ở Bảng 1.

Nếu $e_p = NB$ (P rất nhỏ hơn P_0) và $\frac{dP}{dt} = N$ (P đang giảm) thì ta chọn ngõ ra mp là A1.

Nếu $e_p = NS$ (P nhỏ hơn P_0) và $\frac{dP}{dt} = N$ (P đang giảm) thì ta chọn ngõ ra mp là B1.

Nếu $e_p = ZE$ ($P = P_0$) và $\frac{dP}{dt} = N$ (P đang giảm) thì ta chọn ngõ ra mp là C1.

Nếu $e_p = PS$ (P nhỏ hơn P_0) và $\frac{dP}{dt} = N$ (P đang giảm) thì ta chọn ngõ ra mp là B3.

Nếu $e_p = PB$ ($P = P_0$) và $\frac{dP}{dt} = N$ (P đang giảm) thì ta chọn ngõ ra mp là A3.

Nếu $e_p = NB$ ($P = P_0$) và $\frac{dP}{dt} = Z$ (P đang ổn định) thì ta chọn ngõ ra mp là A2.

Bảng 1. Các luật điều khiển trong bộ điều khiển mờ

e_p, e_q	NB	NS	ZE	PS	PB
$dP/dt, dQ/dt$					
N	A1	B1	C1	B3	A3
Z	A2	B2	C2	B2	A2
P	A3	B3	C3	B1	A1

Chọn luật hợp thành theo nguyên tắc Sum-Prod.

Giải mờ theo phương pháp trọng tâm.

Kết quả của điều khiển Droop-fuzzy logic cho ra biểu thức tức thời của điện áp, điện áp này làm giá trị tham chiếu cho vòng điều khiển điện áp của bộ nghịch lưu.

2.3. Khôi tính công suất và lọc thông thấp

Công suất tác dụng và phản kháng do bộ nghịch lưu tạo ra được tính toán trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ tĩnh [8]:

$$p = \frac{3}{2} (i_{2\alpha} v_{c\alpha} + i_{2\beta} v_{c\beta}) \quad (8)$$

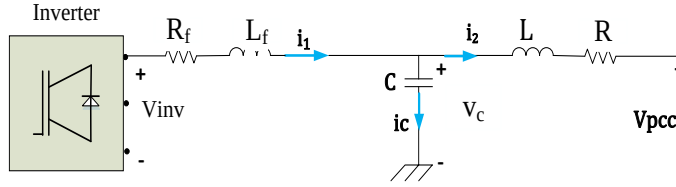
$$q = \frac{3}{2} (i_{2\alpha} v_{c\beta} - i_{2\beta} v_{c\alpha}) \quad (9)$$

Công suất tác dụng và phản kháng ở đầu ra của bộ lọc thông thấp (LPF):

$$P = \frac{\omega_c}{S + \omega_c} p \quad (10)$$

$$Q = \frac{\omega_c}{S + \omega_c} q \quad (11)$$

2.4. Thiết kế bộ điều khiển điện áp và dòng điện



Hình 7. Sơ đồ tương đương của một bộ nghịch lưu kết nối với tải

Theo các nghiên cứu [10-12], dựa vào hình 7 ta có các phương trình:

$$\begin{cases} i_{1d} = i_{2d} + C \frac{dv_{cd}}{dt} - \omega C v_{cq} + i'_d = \Delta i_d + i_{2d} - \omega C v_{cq} + i'_d \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} i_{1q} = i_{2q} + C \frac{dv_{cq}}{dt} + \omega C v_{cd} + i'_q = \Delta i_q + i_{2q} + \omega C v_{cd} + i'_q \end{cases} \quad (13)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \Delta i_d = k_{pv}(v_{cd}^* - v_{cd}) + k_{iv} \int_0^t (v_{cd}^* - v_{cd}) dt \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \Delta i_q = k_{pv}(v_{cq}^* - v_{cq}) + k_{iv} \int_0^t (v_{cq}^* - v_{cq}) dt \end{cases} \quad (15)$$

Phương trình (12) đến (15) dành cho bộ điều khiển điện áp.

$$\begin{cases} v_{invd} = L_f \frac{di_{1d}}{dt} + R_f i_{1d} - \omega L_f i_{1q} + v_{cd} = \Delta v_d - \omega L_f i_{1q} + v_{cd} \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} v_{invq} = L_f \frac{di_{1q}}{dt} + R_f i_{1q} + \omega L_f i_{1d} + v_{cq} = \Delta v_q + \omega L_f i_{1d} + v_{cq} \end{cases} \quad (17)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \Delta v_d = k_{pi}(i_{1d}^* - i_{1d}) + k_{ii} \int_0^t (i_{1d}^* - i_{1d}) dt \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} \Delta v_q = k_{pi}(i_{1q}^* - i_{1q}) + k_{ii} \int_0^t (i_{1q}^* - i_{1q}) dt \end{cases} \quad (19)$$

Phương trình (16) đến (19) dành cho bộ điều khiển dòng điện.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

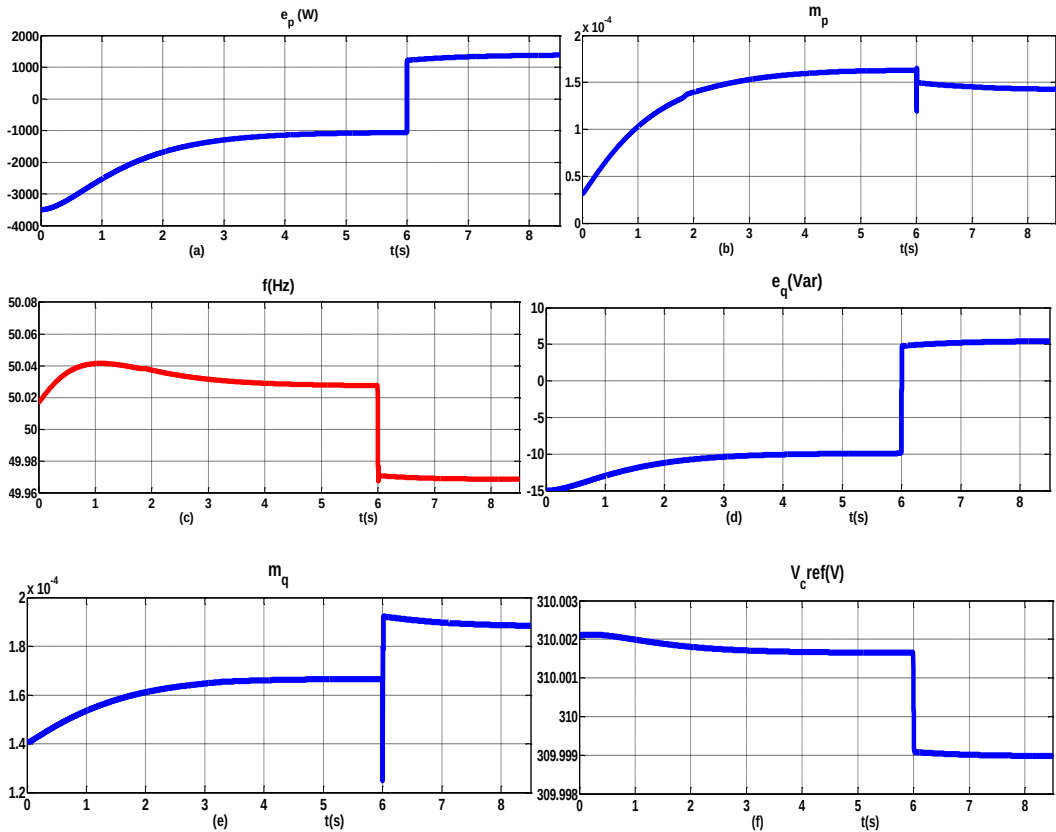
Bộ điều khiển đề xuất được mô phỏng bằng Matlab/Simulink, bộ điều khiển này thực hiện chia công suất cho 2 bộ nghịch lưu 4kVA, các thông số của bộ điều khiển được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Bảng thông số mô phỏng

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
V_{cd} (V)	600	f_0 (Hz)	50
L_f (mH)	4,2	S (kVA)	4
R_f (Ω)	0,1	$V_{AC,p}$ (V)	310
C (μ F)	2,2	f_z (kHz)	10
Trở kháng các đường dây			
L_1 (mH)	0,9	R_1 (Ω)	0,8
L_2 (mH)	0,8	R_2 (Ω)	0,9

3.1. Trường hợp 1:

Mô phỏng áp dụng cho 2 bộ nghịch lưu giống hệt nhau mắc song song khi tải tăng tại thời điểm $t = 6s$.



Hình 8. Đồ thị biểu thị sự thay đổi độ trượt (m_p , m_q) và sự thay đổi tần số và điện áp khi tải tăng ở $t = 6s$

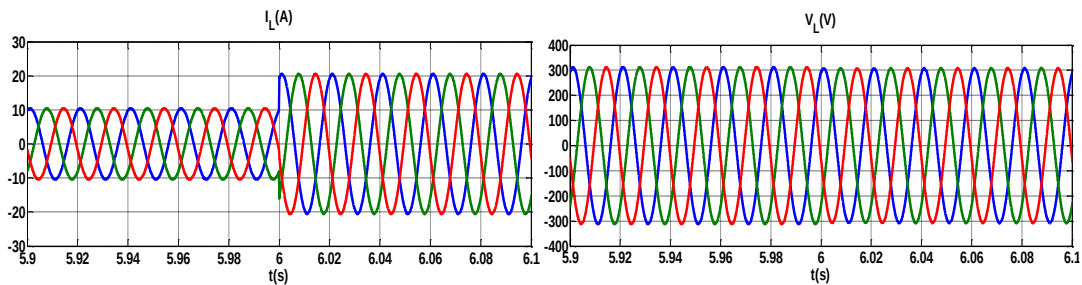
Hình 8a và 8b cho thấy ứng với một độ lớn của sai lệch công suất tác dụng e_p thì sẽ cho một giá trị của hệ số trượt m_p nằm trong miền giá trị đã chọn (miền giá trị được chọn theo công thức (5), (6) và (7)), và ta thấy khi độ lớn sai lệch e_p giảm thì hệ số trượt m_p tăng (tăng trong miền giá trị được chọn) và ngược lại khi độ lớn sai lệch e_p tăng (từ 6s trở đi) thì hệ số trượt m_p giảm. Điều này hoàn toàn phù

hợp với luật điều khiển mờ đã thành lập ở Bảng 1. Hình 8c cho thấy khi hệ số trượt mp thay đổi thì cũng làm thay đổi tương ứng tần số ở ngõ ra của bộ điều khiển Droop-fuzzy logic hay tần số ngõ ra của bộ nghịch lưu, đường đặc tính tần số cho thấy khi tải tăng thì tần số giảm, điều này cũng hoàn toàn phù hợp với công thức trượt (5) và đường đặc tính công suất ở Hình 4a. Giá trị f cũng được tính theo mp và ep ở công thức (5), độ lệch tần số so với định mức được tính ở Bảng 3, ta thấy sai lệch tần số là rất nhỏ, điều này có được là do chúng ta điều khiển thay đổi độ dốc đường đặc tính công suất khi tải thay đổi. Theo Hình 4a ta thấy, nếu ta không thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi thì ứng với một độ lệch công suất ΔP sẽ cho một độ lệch tần số tương ứng Δf , và khi tải thay đổi nhiều thì Δf sẽ lớn.

Tương tự Hình 8d và 8e cho thấy ứng với một độ lớn của sai lệch công suất phản kháng eq thì sẽ cho một giá trị của hệ số trượt mq nằm trong miền giá trị đã chọn, và ta thấy khi độ lớn sai lệch eq giảm thì hệ số trượt mq tăng và ngược lại, tại $t = 6s$ thì độ lớn sai lệch eq lại tiếp tục giảm so với trước đó nên hệ số trượt mq tại tiếp tục tăng. Điều này hoàn toàn phù hợp với luật điều khiển mờ đã thành lập ở Bảng 1. Hình 8f cho thấy khi hệ số trượt mq thay đổi thì cũng làm thay đổi tương ứng điện áp ở ngõ ra của bộ điều khiển Droop-fuzzy logic hay điện áp ngõ ra của bộ nghịch lưu, đường đặc tính điện áp cho thấy khi tải tăng thì điện áp giảm, điều này cũng hoàn toàn phù hợp với công thức trượt (6) và đường đặc tính công suất ở Hình 4b. Giá trị V cũng được tính theo mq và eq ở công thức (6), độ lệch điện áp so với định mức được tính ở Bảng 3, ta thấy sai lệch điện áp là rất nhỏ, điều này có được là do chúng ta điều khiển thay đổi độ dốc đường đặc tính công suất khi tải thay đổi. Theo Hình 4b ta thấy, nếu ta không thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi thì ứng với một độ lệch công suất ΔQ sẽ cho một độ lệch điện áp tương ứng ΔV , và khi tải thay đổi nhiều thì ΔV sẽ lớn.

Bảng 3. Bảng các kết quả cho độ lệch tần số và điện áp so với giá trị định mức

Thông số tải	Độ lệch tần số so với định mức ($\Delta f = f_0 - f$)	Độ lệch điện áp so với định mức ($\Delta V = V_0 - V$)
$Z_1 = 30 + j0,1256 \text{ } (\Omega)$ (Từ 0s đến 6s)	$\Delta f = 50 - 50,0276 = -0,276 \text{ (Hz)}$	$\Delta V = 310 - 310,0016 = -0,0016 \text{ (V)}$
$Z_2 = 15 + j0,06283 \text{ } (\Omega)$ (Từ 6s trở đi)	$\Delta f = 50 - 49,9686 = 0,0314 \text{ (Hz)}$	$\Delta V = 310 - 309,98 = 0,002 \text{ (V)}$



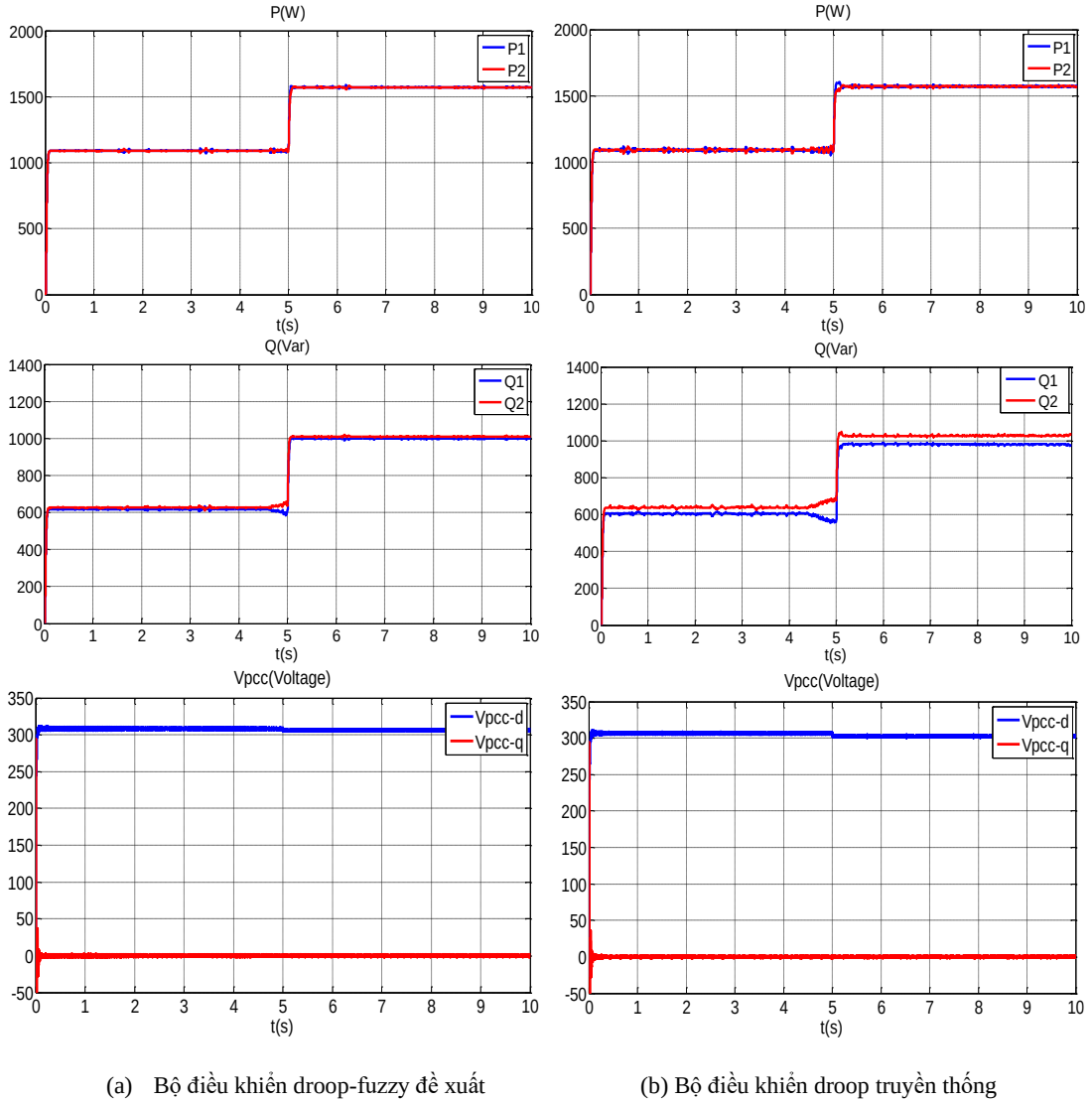
Hình 9. Dạng sóng và phổ của điện áp và dòng điện qua tải

Hình 9 cho thấy phương pháp điều khiển droop –fuzzy logic cho đáp ứng động học tốt ngay khi tải thay đổi, dòng và áp ổn định tốt trở lại ngay sau khi tải thay đổi.

3.2. Trường hợp 2:

Thực hiện chia công suất cho 2 bộ nghịch lưu giống nhau, trở kháng đường dây khác nhau có thông số cho ở Bảng 1.

Hình 10a cho thấy bộ điều khiển droop-fuzzy đề xuất có tính chính xác cao trong việc chia sẻ công suất tác dụng và công suất phản kháng khi trở kháng các đường dây khác nhau có sai số không đáng kể. Đảm bảo chất lượng điện áp cung cấp cho tải ($V_{PCCmin} = 307,5V$).



(a) Bộ điều khiển droop-fuzzy đề xuất

(b) Bộ điều khiển droop truyền thống

Hình 10. Mô phỏng chia công suất với bộ điều khiển droop-fuzzy đề xuất và bộ điều khiển droop truyền thống

Xét sai số chia công suất tác dụng khi xác lập trong khoảng thời gian từ 0s đến 5s:

$$e_p\% = \frac{P_i - P_i^*}{P_i^*} \times 10 = \frac{1115 - 1110}{1110} \times 100\% = 0,45\%$$

Xét sai số chia công suất phản kháng của bộ nghịch lưu 1 khi xác lập trong khoảng thời gian từ 0s đến 5s:

$$e_q\% = \frac{Q_i - Q_i^*}{Q_i^*} \times 100 = \frac{622 - 620}{620} \times 100\% = 0,32\%$$

Ta thấy sai lệch khi chia công suất tác dụng và phản kháng là không đáng kể.

Hình 10a và 10b cũng cho thấy độ lệch điện áp so với giá trị định mức của bộ điều khiển droop-fuzzy đề xuất bé hơn so với bộ điều khiển droop truyền thống.

4. KẾT LUẬN

Phương pháp điều khiển đề xuất đã giảm thiểu độ lệch điện áp và tần số so với định mức khi phụ tải thay đổi đột ngột, nâng cao chất lượng cấp điện cho phụ tải, đáp ứng động học tốt, đảm bảo phân chia công suất phụ tải hợp lý cho các bộ nghịch lưu. Phương pháp này đã khắc phục được nhược điểm

của các phương pháp droop truyền thống hoặc phương pháp cải tiến trước đây ở chỗ là độ dốc của đường cong công suất luôn cố định nên khi phụ tải thay đổi thì không thể điều chỉnh được độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng. Bên cạnh đó, phương pháp điều khiển đề xuất đã điều khiển chia công suất cho 2 nghịch lưu mắc song song trong Microgrid, phương pháp điều khiển này cho kết quả chia công suất chính xác, có thể cải thiện đặc tính ổn định. Phương pháp điều khiển được đề xuất là đơn giản và dễ thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Stigka E.K., Paravantis J.A., Mihalakakou G.K. - Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **32** (2014) 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.026>
2. Han H., Hou X., Yang J., Wu J., Su M., & Guerrero J.M. - Review of Power Sharing Control Strategies for Islanding Operation of AC Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid* **7** (1) (2016) 200-215. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2434849>
3. Md Alamgir Hossain, Hemanshu Roy Pota, Walid Issa and Md Jahangir Hossain - Overview of AC Microgrid Controls with Inverter-Interfaced Generations. *Energies* **10** (9) (2017) 624-632. <https://doi.org/10.3390/en10091300>
4. Perreault D.J., Selders R.L. and Kassakian J.G. - Frequency based current-sharing techniques for paralleled power converters. *IEEE Trans. Power Electron.* **13** (4) (1998) 626-634. <https://doi.org/10.1109/63.704128>
5. Y. Zhang and H. Ma. - Theoretical and experimental investigation of networked control for parallel operation of inverters. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **59** (4) (2012) 1961-1970. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2165459>
6. Yajuan Guan, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero - A simple autonomous current-sharing control strategy for fast dynamic response of parallel inverters in islanded Microgrids. *Hội nghị năng lượng quốc tế IEEE 2014 (ENERGYCON)* (2014) 124-132. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2014.6850426>
7. Cho B.G. and Sul S.K. - Power sharing strategy in parallel operation of inverters for distributed power system under line impedance inequality. *IEEE ECCE Asia Downunder* (2013) 358-364. <https://doi.org/10.1109/ECCE-Asia.2013.6579121>
8. Sao C.K., Lehn P.W. - Control and power management of converter fed Microgrids. *IEEE Trans. Power Syst.* **23** (3) (2008) 1088-1098. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2008.922232>
9. Vikash Gurugubelli, Arnab Ghosh - Implementation and comparison of droop control, virtual synchronous machine, and virtual oscillator control for parallel inverters in standalone microgrid. Wiley (2021). <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12859>
10. 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* (2017) 1211-1220. <https://doi.org/10.3390/en10111800>
11. Nazib A.A - Decoupled DSOGI-PLL for improved three phase grid synchronisation. *The International Power Electronics Conference* (2018) 214-222. <https://doi.org/10.23919/IPEC.2018.8507364>
12. Xiao F., Dong L., Li L. and Liao X. - A frequency-fixed SOGI-based PLL for single-phase grid-connected converters. *IEEE Trans. Power Electron* **32** (3) (2017) 1713-1719. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2606623>
13. Golestan S., Mousazadeh S.Y., Guerrero J.M. and Vasquez J.C. - 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>
14. Guan Y., Feng W., Lu J., Guerrero J.M. and Vasquez J.C. - A novel grid-connected harmonic current suppression control for autonomous current sharing controller-based AC Microgrids. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition* (2018) 132-140. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2018.8557795>

15. Xiaojing Liu, Renxi Gong - A control strategy of microgrid-connected system based on VSG. IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (2020) 164-172. <https://doi.org/10.1109/ICPICS50287.2020.9201955>
16. Guiping Du, Zhifei Liu, Fada Du - Performance improvement of model predictive control using control error compensation for power electronic converters based on the Lyapunov Function. Journal of Power Electronics **17** (4) (2017) 983-990. <https://doi.org/10.6113/JPE.2019.17.4.983>

ABSTRACT

VOLTAGE AND FREQUENCY CONTROL FOR INVERTERS IN MICROGRID

Nguyen Dinh Truong Giang, Le Khac Sinh, Pham Thi Xuan Hoa*

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

*Email: hoaptx@huit.edu.vn

The inverters in Microgrid are connected in parallel to improve efficiency, increase transmission capacity, and easy to repair and maintain. When the Microgrid is operating in standalone mode, the inverters must be controlled to share their power according to the rated ratio, this is to stabilize the frequency and voltage in the Microgrid. The droop control method for power control for parallel-connected inverters is one of the most popular power-sharing methods today, some studies have presented traditional and improved droop control methods. However, the purpose of the studies is power-sharing for the inverters that no purpose of reducing the voltage and frequency deviation to improve power quality. This paper is shown the adjusting of the voltage and frequency method based on fuzzy logic with an aim is minimize the voltage and frequency deviation for improving power quality in Microgrid. This controller consists of a Droop combined with fuzzy logic to control changes in the slope of the power curve when the load changes, thereby the voltage and frequency deviation could be adjusted. This control method is called the Droop-fuzzy logic control method. Experimental results confirm the validity of the proposed control. Simulation and experimental results will prove the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Droop control, power sharing, microgrid control, parallel inverter, fuzzy logic.