

# 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

Lê Thành Tới, Phạm Thị Xuân Hoa\*, Hoàng Đắc Huy

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

\*Email: hoaptx@cntp.edu.vn

Ngày nhận bài: 07/7/2017; Ngày chấp nhận đăng: 18/5/2018

## TÓM TẮT

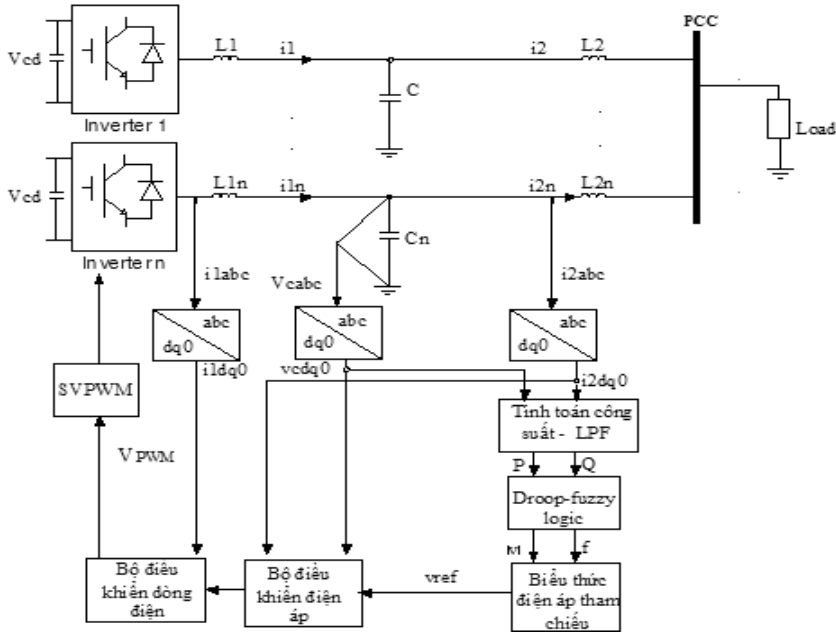
Điều khiển droop để chia công suất tải cho các bộ nghịch lưu kết nối song song là một trong những phương pháp phổ biến hiện nay vì những ưu điểm của nó so với các phương pháp khác. Một số nghiên cứu đã trình bày phương pháp điều khiển droop truyền thống và droop cải tiến, tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu chỉ nhằm mục đích chia đều công suất tải cho các bộ nghịch lưu mà chưa có mục đích giảm thiểu độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng. Vì vậy, bài báo này trình bày một phương pháp điều chỉnh điện áp và tần số dựa vào điều khiển mờ với mục đích làm giảm thiểu độ lệch điện áp và tần số, nhằm nâng cao chất lượng điện cho microgrid. Bộ điều khiển này bao gồm bộ điều khiển droop kết hợp với logic mờ để điều khiển thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi, từ đó độ lệch điện áp và tần số cũng được điều chỉnh. Phương pháp điều khiển đề xuất này được gọi là phương pháp droop-fuzzy logic. Các kết quả mô phỏng sẽ chứng minh cho sự phù hợp của phương pháp điều khiển này.

*Từ khóa:* Điều khiển công suất, logic mờ, bộ nghịch lưu, lưới siêu nhỏ, chia công suất.

## 1. GIỚI THIỆU

Kết nối song song các bộ nghịch lưu trong hệ thống nguồn năng lượng mặt trời để nâng cao hiệu suất nguồn phát, nâng cao độ tin cậy. Tuy nhiên, phải điều khiển chia công suất cho các bộ nghịch lưu. Tải phi tuyến làm méo dạng dòng điện nguồn của bộ nghịch lưu, dòng tải luôn có thành phần sóng hài. Nếu thành phần hài này không phân đều giữa các bộ nghịch lưu sẽ làm nóng bộ nghịch lưu và làm cho tuổi thọ của chúng giảm đi rất nhiều. Dựa vào các đường đặc tính công suất của nguồn phát, các nghiên cứu trước đây đã đưa ra mô hình toán học của bộ điều khiển droop. Bộ điều khiển này thực hiện điều khiển chia công suất giữa các bộ nghịch lưu hoạt động song song theo tỷ lệ công suất định mức của chúng. Mỗi quan hệ giữa công suất định mức và công suất thực được thể hiện bằng độ dốc [1-15]. Vì vậy, các nghiên cứu này đã dựa vào các hệ số độ dốc để thực hiện chia công suất cho các bộ nghịch lưu song song. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây thường cố định các hệ số độ dốc này [1-15], cho nên khi thông số tải thay đổi thì các bộ điều khiển droop này sẽ cho tần số và điện áp ngõ ra của bộ nghịch lưu lệch đi nhiều so với giá trị định mức. Bộ điều khiển droop điện áp và tần số trong nghiên cứu của Jie Fung Hu *et al.* là bộ điều khiển droop truyền thống nên không điều chỉnh được độ lệch điện áp và tần số khi phụ tải thay đổi trong quá trình điều khiển chia công suất [4]. Bộ điều khiển chia công suất của Saleh Ahmadi *et al.* cũng dựa vào phương pháp điều khiển droop điện áp và tần số, bộ điều khiển droop này có thể điều khiển thích nghi theo sự thay đổi thông số của phụ tải, nên nó có thể điều chỉnh được độ lệch tần số và điện áp so với định mức [8]. Tuy nhiên, bộ điều khiển này lại phụ thuộc mạnh vào thông số trở kháng của

đường dây. Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất bộ điều khiển droop- fuzzy logic nhằm khắc phục nhược điểm của các bộ điều khiển droop trước đây. Bộ điều khiển droop-fuzzy logic sẽ có sự tự động điều chỉnh các hệ số độ dốc của các đường đặc tính công suất khi tải thay đổi, hệ số độ dốc được chọn theo độ lệch điện áp và tần số so với định mức. Do đó, bộ điều khiển này thích nghi được sự thay đổi thông số của tải, làm giảm thiểu độ lệch tần số và điện áp, từ đó cải thiện được chất lượng điện năng trong microgrid. Sơ đồ điều khiển của một microgrid độc lập gồm các bộ nghịch lưu hoạt động song song được thể hiện ở Hình 1.



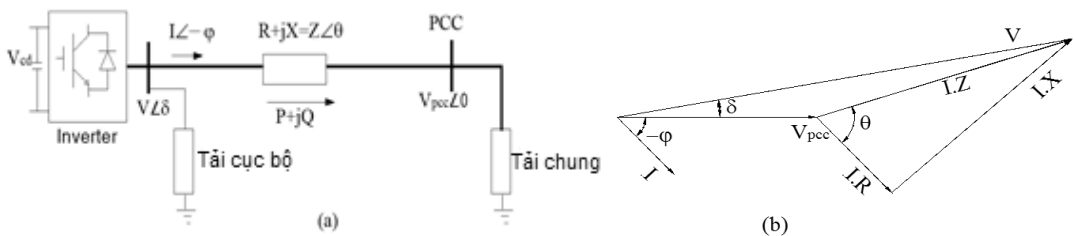
Hình 1. Sơ đồ điều khiển của microgrid hoạt động độc lập

Trong chế độ hoạt động độc lập, microgrid phải tự ổn định được điện áp và tần số trong điều kiện tải thay đổi theo thời gian thực. Hệ thống điều khiển gồm có: bộ điều khiển bên ngoài là bộ điều khiển công suất droop-fuzzy logic để điều khiển chia 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 ngõ ra bộ nghịch lưu.

## 2. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN

### 2.1. Phương pháp điều khiển droop-fuzzy logic

Theo các nghiên cứu [1-8], cơ sở lý thuyết của phương pháp điều khiển trượt được giải thích bằng cách xem xét một mạch tương đương của một bộ nghịch lưu kết nối với bus AC được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu kết nối với tải  
(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 phát ra 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:

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

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

Trong đường dây phân phối, nếu  $X \gg R$  và  $\delta$  nhỏ, thì  $\sin\delta \approx \delta$  và  $\cos\delta \approx 1$  [1-15], 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) cho thấy tần số phụ thuộc vào công suất tác dụng P, độ lệch điện áp phụ thuộc vào công suất kháng Q. Vì vậy, điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu được điều khiển bởi Q, tần số được điều khiển bởi P. Từ công thức (5) và (6) có thể cho công thức điều khiển droop P/f và Q/V:

$$f = f_0 - m_p(P - P_0) \quad (7)$$

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

Trong đó:

P, Q là công suất tác dụng và phản kháng do bộ nghịch lưu phát ra.

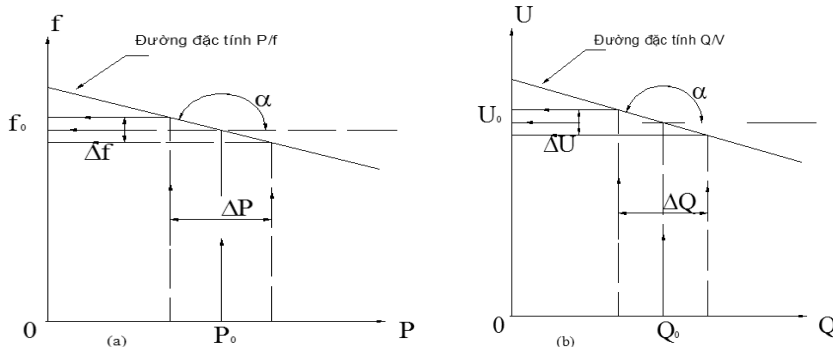
$V_0, f_0$  là điện áp định mức và tần số định mức của nguồn và tải.

V, f là điện áp và tần số ở ngõ ra của bộ nghịch lưu.

$P_0, Q_0$  là công suất tác dụng và phản kháng định mức của bộ nghịch lưu.

Hệ số độ dốc  $m_p$  và  $m_q$  được chọn theo độ thay đổi điện áp và tần số góc cho phép so với định mức [1-12]:

$$m_p = \frac{f_0 - f_{min}}{P_{max} - P_0}; m_q = \frac{V_0 - V_{min}}{Q_{max} - Q_0} \quad (9)$$



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

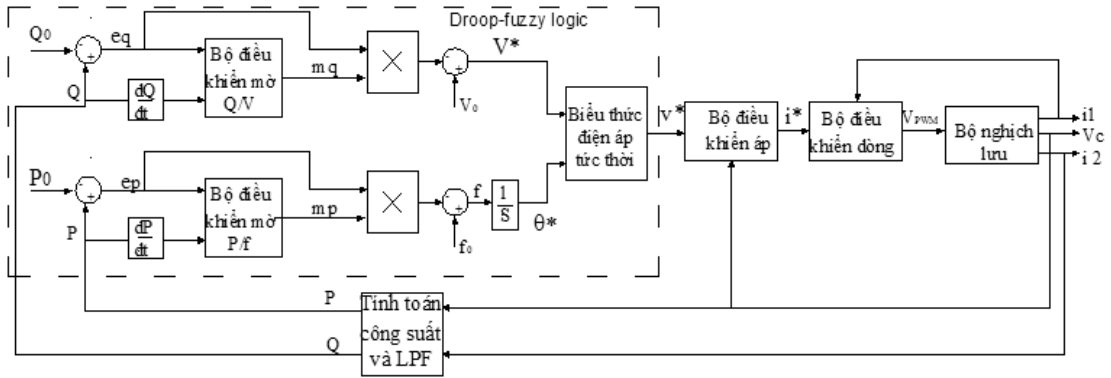
Từ phương trình (7) và (8) có thể thấy:

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

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  $\Delta Q$  của phụ tải thì sẽ gây ra độ lệch điện áp  $\Delta V$  và ứng với độ thay đổi công suất tác dụng  $\Delta P$  của phụ tải thì sẽ gây ra độ lệch tần số  $\Delta f$ . Với mong muốn là khi phụ tải thay đổi thì độ lệch tần số  $\Delta f$  và độ lệch điện áp  $\Delta V$  càng nhỏ càng tốt. Nghĩa là, muốn giữ tần số và điện áp gần với giá trị định mức. Để làm được điều này, tác giả dựa vào phương trình (7), (8) và đường đặc tính droop ở Hình 3, chỉ có thể điều khiển các hệ số trượt  $m_p$  và  $m_q$ , hay nói cách khác là điều khiển thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất. Khi tải thay đổi, cần 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  $\Delta f$  và độ lệch điện áp  $\Delta V$  càng nhỏ.

## 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 và vòng điều khiển dòng điện, điện áp bên trong như ở Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ điều khiển cho bộ điều khiển droop-fuzzy logic và bộ điều khiển dòng điện, điện áp cho bộ nghịch lưu

### 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:  $\frac{dP}{dt}$

**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  $m_p$

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

Vì  $e_p$  và  $e_q$  là các sai lệch giữa công suất thực tế và công suất định mức, nên  $e_p$  và  $e_q$  có thể có các trường hợp sau:

Nếu:  $P = P_0$  thì  $e_p = 0$ ,  $Q = Q_0$  thì  $e_q = 0$

Nếu:  $P < P_0$  thì  $e_p < 0$ ,  $Q < Q_0$  thì  $e_q < 0$

Nếu:  $P > P_0$  thì  $e_p > 0$ ,  $Q > Q_0$  thì  $e_q > 0$

Nếu:  $P \ll P_0$  thì  $e_p \ll 0$ ,  $Q \ll Q_0$  thì  $e_q \ll 0$

Nếu:  $P \gg P_0$  thì  $e_p \gg 0$ ,  $Q \gg Q_0$  thì  $e_q \gg 0$

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.

(Ở đây chỉ cần chọn 5 biến ngôn ngữ là đủ, nếu chọn càng nhiều biến ngôn ngữ thì bộ điều khiển fuzzy sẽ cho kết quả có độ chính xác càng cao, nhưng khi đó bộ điều khiển này sẽ có nhiều luật điều khiển hơn, dẫn đến việc thiết kế bộ điều khiển mất nhiều thời gian hơn).

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.

**Chọn miền giá trị cho ngõ vào và ngõ ra:**

Dựa vào phương trình (7), (8) và (9) ta chọn miền giá trị cho các ngõ vào và ngõ ra:

Miền giá trị cho các ngõ vào thứ nhất:

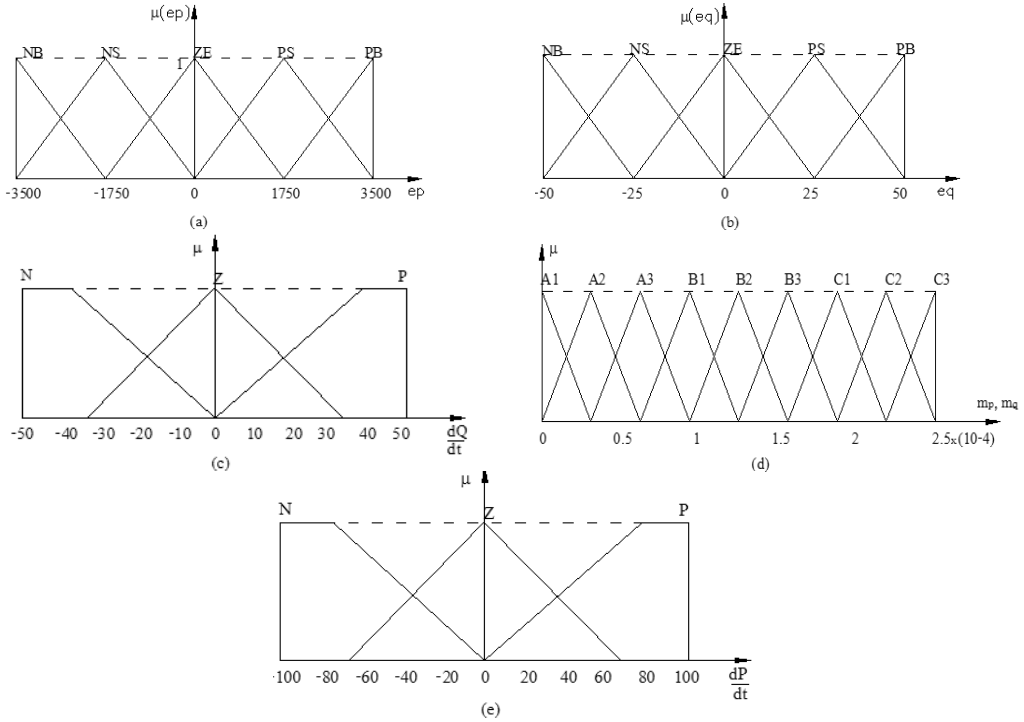
$e_p = [-3500; 3500]$ ,  $e_q = [-50; 50]$

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:  $m_p = m_q = [0; 2,5e-4]$

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



Hình 5. Hàm liên thuộc cho các ngõ vào và ngõ ra

**Xác định các luật điều khiển:**

Từ phương trình (7), (8) và Hình 3 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  $m_q$  tức là tăng góc  $\alpha$ .

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

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

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

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  $m_p$  là A1.

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

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

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

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

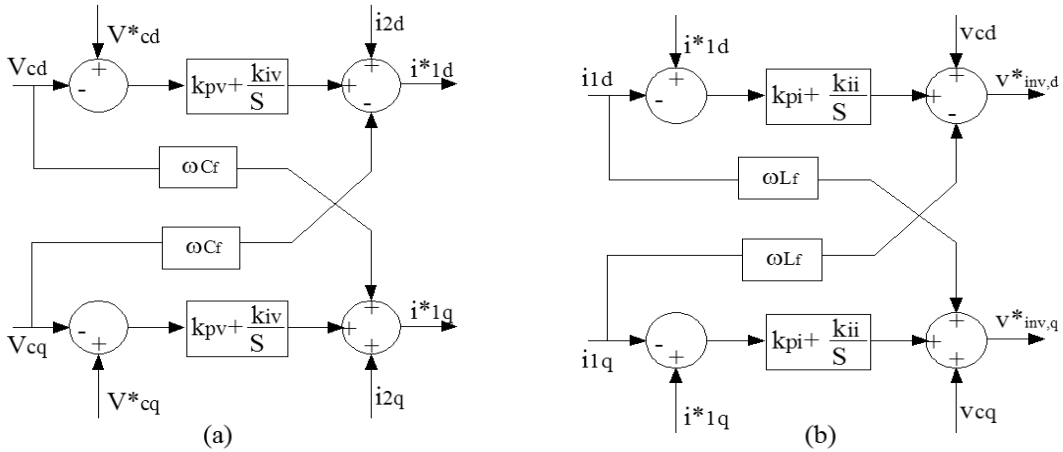
Chọn luật hợp thành theo nguyên tắc Sum-Prod.

Giải mờ theo phương pháp trọng tâm.

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

### 2.3. Thiết kế bộ điều khiển điện áp và dòng điện

Theo nghiên cứu của Joan Rocabert *et al.*, bộ điều khiển điện áp và dòng điện dùng bộ điều khiển PI, thực hiện trong hệ tọa độ dq0, sơ đồ điều khiển được thể hiện ở Hình 6 [6].



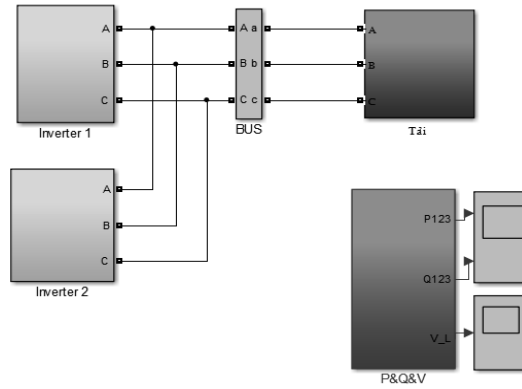
Hình 6. Sơ đồ khối cho bộ điều khiển điện áp và bộ điều khiển dòng điện  
(a) Bộ điều khiển điện áp, (b) bộ điều khiển dòng điện

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

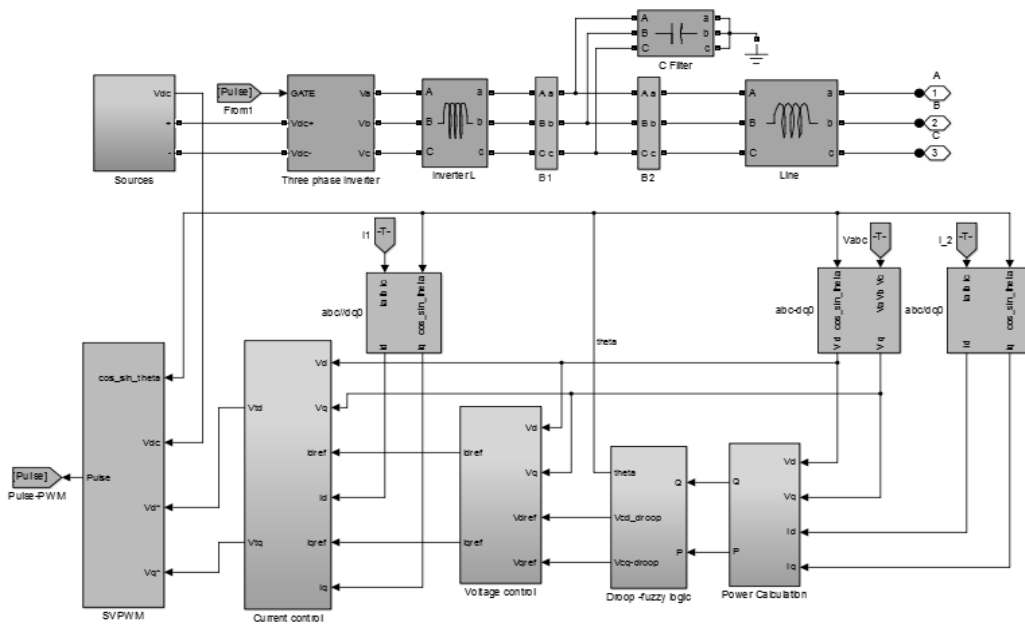
Mô hình điều khiển chia công suất droop-fuzzy logic đề xuất được mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink, mô phỏng cho microgrid độc lập (lưới nhỏ độc lập) gồm 2 bộ nghịch lưu kết nối song song, thông số mô phỏng được trình bày trong Bảng 2. Hai bộ nghịch lưu kết nối song song cung cấp công suất cho tải chung. Giả sử tải chung mang tính trở cao và có giá trị tổng trở tải thay đổi từ  $Z_1 = 30 + j0,1256 (\Omega)$  đến  $Z_2 = 15 + j0,06283 (\Omega)$  (tại  $t = 6$  s). Mô phỏng theo 2 phương pháp: phương pháp droop truyền thống và phương pháp droop-fuzzy logic đề xuất để so sánh, đánh giá và kết luận kết quả mô phỏng.

Bảng 2. Bảng các thông số cho các bộ điều khiển

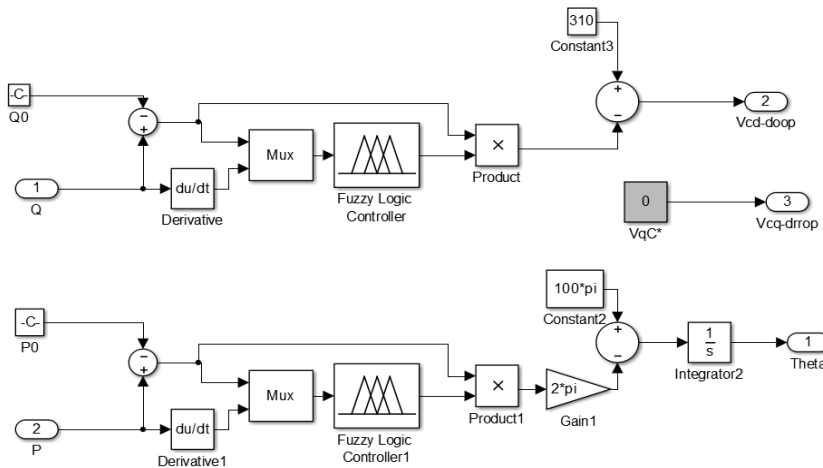
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Điện áp nguồn $V_{cd}$ (V)	600	Tần số định mức $f_0$ (Hz)	50
Điện cảm bộ lọc $L_1$ (mH)	1,2	Công suất định mức P (kW)	3,5
Điện cảm đường dây $L_2$ (mH)	0,4	Điện áp định mức $V_{AC,p}$ (V)	310
Điện dung bộ lọc C ( $\mu$ F)	50	kp	5
Tần số đóng cắt $f_s$ (kHz)	5	ki	2500



Hình 7. Mô hình mô phỏng của bộ điều khiển chia công suất cho 2 bộ nghịch lưu song song



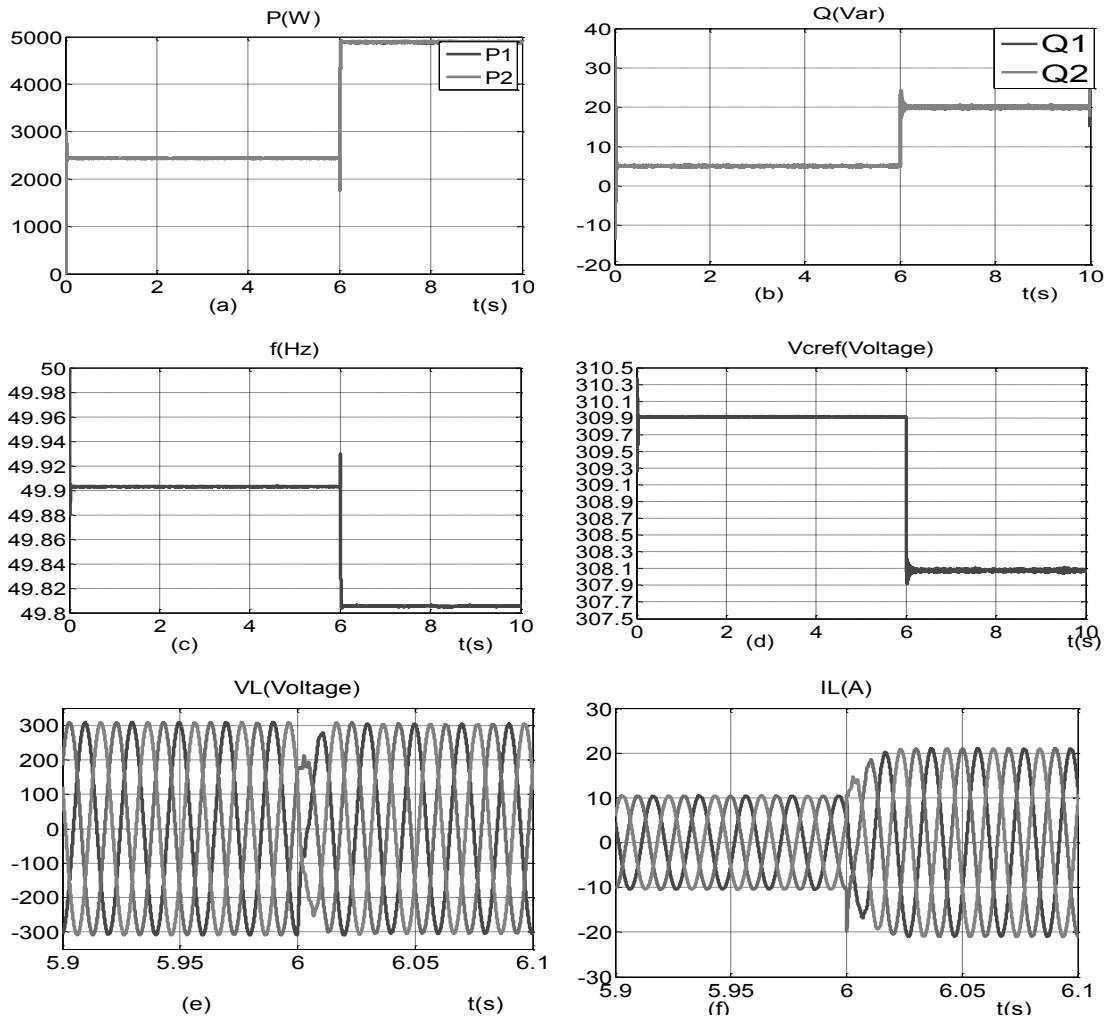
Hình 8. Mô hình mô phỏng chi tiết của bộ điều khiển chia công suất cho 1 bộ nghịch lưu



Hình 9. Mô hình mô phỏng chi tiết của bộ điều khiển droop fuzzy-logic cho 1 bộ nghịch lưu



### 3.1. Kết quả mô phỏng chia công suất theo phương pháp droop truyền thống:



Hình 10. Kết quả chia công suất bằng bộ điều khiển droop truyền thống  
 (a) Công suất tác dụng, (b) Công suất phản kháng, (c) Tần số tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển, (d) Điện áp tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển, (e) Điện áp tại tải, (f) Dòng điện qua tải

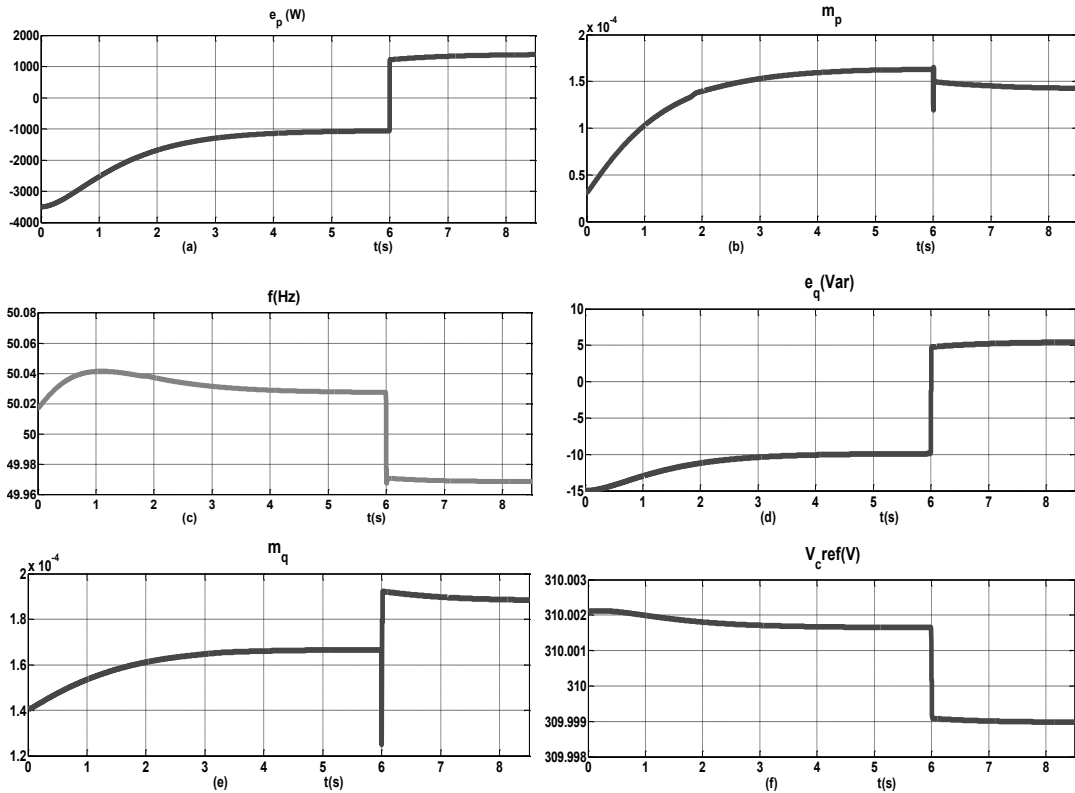
Hình 10a và 10b cho thấy phương pháp điều khiển droop truyền thống có khả năng chia công suất chính xác trong lúc bình thường và trong lúc tải thay đổi.

Hình 10c và 10d cho thấy độ lệch tần số và độ lệch điện áp tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển droop truyền thống so với giá trị định mức là tương đối nhiều. Bởi vì phương pháp điều khiển droop truyền thống với các hệ số trượt được chọn cố định theo công thức (9) nên khi tải tăng (P và Q tăng) thì điện áp và tần số tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển này sẽ giảm và ngược lại. Điều này hoàn toàn phù hợp với biểu thức droop truyền thống (7), (8) và sơ đồ droop truyền thống ở Hình 3.

### 3.2. Kết quả mô phỏng chia công suất bằng phương pháp droop-fuzzy logic:

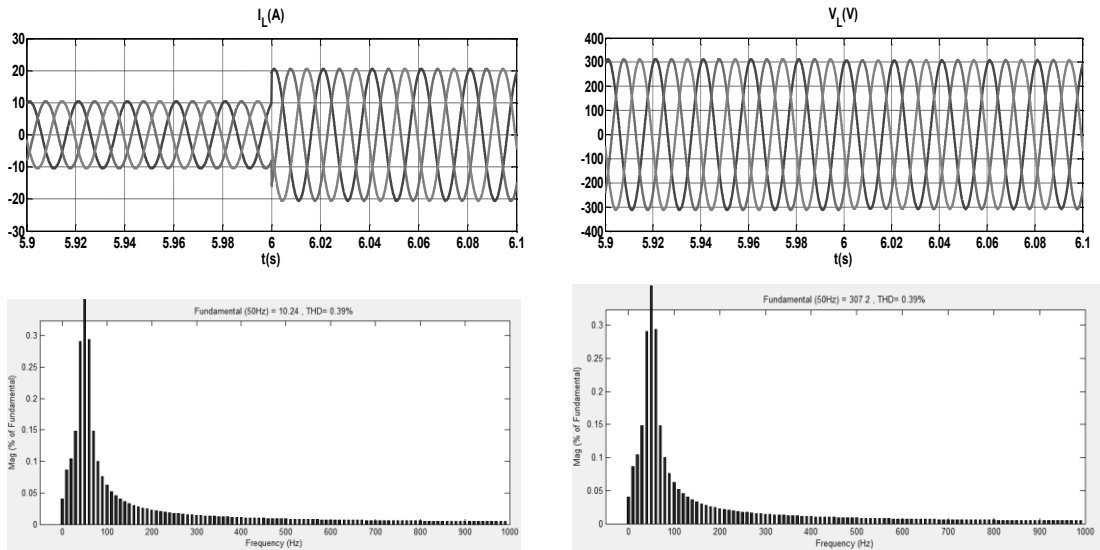
Hình 11a và 11b cho thấy, ứng với một độ lớn của sai lệch công suất tác dụng  $e_p$  thì sẽ cho một giá trị của hệ số trượt  $m_p$  nằm trong miền giá trị đã chọn (miền giá trị được chọn theo công thức (7), (8) và (9)). Khi độ lớn sai lệch  $e_p$  giảm thì hệ số trượt  $m_p$  tăng (tăng trong miền giá trị được chọn) và ngược lại, khi độ lớn sai lệch  $e_p$  tăng (từ 6 s 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 11c cho thấy, khi hệ số trượt  $m_p$  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 (7) và đường đặc tính công suất ở Hình 3a. Giá trị  $f$  cũng được tính theo  $m_p$  và  $e_p$  ở công thức (7). Độ lệch tần số so với định mức được tính ở Bảng 3 cho thấy sai lệch tần số là rất nhỏ, điều này có được là do bộ điều khiển đề xuất có thể điều khiển thay đổi độ dốc đường đặc tính công suất khi tải thay đổi. Theo Hình 3a, nếu không thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi thì ứng với một độ lệch công suất  $\Delta P$  sẽ cho một độ lệch tần số tương ứng  $\Delta f$ , và khi tải thay đổi nhiều thì  $\Delta f$  sẽ lớn.



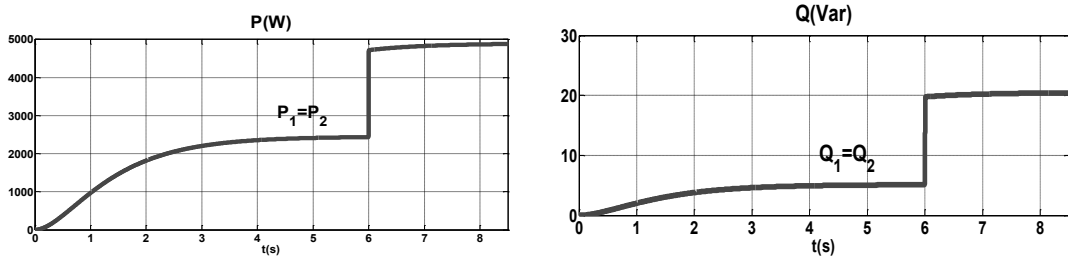
Hình 11. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi về hệ số trượt và sự thay đổi về tần số và điện áp khi tải thay đổi

Tương tự, Hình 11d và 11e cho thấy ứng với một độ lớn của sai lệch công suất phản kháng  $e_q$  thì sẽ cho một giá trị của hệ số trượt  $m_q$  nằm trong miền giá trị đã chọn. Khi độ lớn sai lệch  $e_q$  giảm thì hệ số trượt  $m_q$  tăng và ngược lại, tại  $t = 6$  s thì độ lớn sai lệch  $e_q$  lại tiếp tục giảm so với trước đó nên hệ số trượt  $m_q$  tại tiếp tục tăng. Điều này hoàn toàn phù hợp với luật điều khiển mờ đã thành lập ở Bảng 1. Hình 11f cho thấy khi hệ số trượt  $m_q$  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 (8) và đường đặc tính công suất ở Hình 3b. Giá trị  $V$  cũng được tính theo  $m_q$  và  $e_q$  ở công thức (8), 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 bộ điều khiển đề xuất có thể điều khiển thay đổi độ dốc đường đặc tính công suất khi tải thay đổi. Theo Hình 3b, nếu không thay đổi độ dốc của đường đặc tính công suất khi tải thay đổi thì ứng với một độ lệch công suất  $\Delta Q$  sẽ cho một độ lệch điện áp tương ứng  $\Delta V$ , và khi tải thay đổi nhiều thì  $\Delta V$  sẽ lớn.



Hình 12. Dạng sóng và phổ của điện áp và dòng điện qua tải

Hình 12 cho thấy phương pháp điều khiển droop-fuzzy logic đề xuất 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. Tổng độ méo dạng sóng hài (THD) của dòng điện qua tải và điện áp đặt lên tải là 0,39%.



Hình 13. Công suất ngõ ra của 2 bộ nghịch lưu

Hình 13 cho thấy phương pháp điều khiển droop - fuzzy logic đề xuất có khả năng chia công suất chính xác ngay cả khi tải thay đổi đột ngột.

Bảng 3 thể hiện sự so sánh về kết quả chia công suất của phương pháp droop truyền thống và droop-fuzzy logic.

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

Thông số tải	Độ lệch tần số tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển so với tần số định mức (Hz)		Độ lệch điện áp tham chiếu ở ngõ ra của bộ điều khiển so với điện áp định mức (V)	
	Droop-fuzzy logic	Droop truyền thống	Droop-fuzzy logic	Droop truyền thống
$Z_1 = 30 + j0,1256 (\Omega)$ (từ 0 s đến 6 s)	$\Delta f = 50 - 50,0276$ $= -0,0276$	$\Delta f = 50 - 49,9$ $= 0,1$	$\Delta V = 310 - 310,0016$ $= -0,0016$	$\Delta V = 310 - 309,9$ $= 0,1$
$Z_2 = 15 + j0,06283(\Omega)$ (từ 6 s trở đi)	$\Delta f = 50 - 49,9686$ $= 0,0314$	$\Delta f = 50 - 49,804$ $= 0,196$	$\Delta V = 310 - 309,98$ $= 0,002$	$\Delta V = 310 - 308$ $= 2$

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất phương pháp điều khiển droop-fuzzy logic, bộ điều khiển này đã điều khiển được 2 hoặc nhiều bộ nghịch lưu kết nối song song trong microgrid độc lập. Các kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp này đã giảm thiểu được độ lệch điện áp và tần số so với định mức khi tải thay đổi đột ngột, cải thiện được chất lượng điện cung cấp cho tải, cho đáp ứng động học tốt và đảm bảo chia đều công suất tải cho các bộ nghịch lưu. Phương pháp này đã khắc phục được nhược điểm của các phương pháp droop truyền thống hay cải tiến trước đây ở chỗ: độ dốc của đường đặc tính công suất luôn giữ cố định, nên khi tải thay đổi thì không điều chỉnh được độ lệch điện áp và tần số để nâng cao chất lượng điện năng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cristina Guzman, Alben Cardenas, Kodjo Agbossou. - Hardware implementation of droop control for isolated AC microgrids, IEEE Electrical Power and Energy Conference (2012) 265-274.
2. Yasser Abdel-Rady Ibrahim Mohamed, Ehab F. El-Saadany. - Adaptive decentralized droop controller to preserve power sharing stability of paralleled inverters in distributed generation microgrids, IEEE Transactions on Power Electronics **23** (6) (2008) 2806–2816.
3. Vandoorn T. L., Renders B., Degroote L., Meersman B., Vandeveldel L. - Active load control in islanded microgrids based on the grid voltage, IEEE Transactions on Smart Grid **2** (1) (2011) 139–151.
4. Jie Feng Hu, Jian Guo Zhu, Glenn Platt. - A droop control strategy of parallel-inverter-based microgrid, International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, Sydney (2011) 141–152.
5. Hassan Bevrani, Shores Shokoohi. - An intelligent droop control for simultaneous voltage and frequency regulation in islanded microgrids, IEEE Transactions on Smart Grid **4** (3) (2013) 423–434.
6. Joan Rocabert, Alvaro Luna, Frede Blaabjerg, Pedro Rodríguez. - Control of power converters in AC microgrids, IEEE Transactions on Power Electronics **27** (11) (2012) 4734–4749.
7. Alireza Kahrobaeian and Yasser Abdel-Rady I. Mohamed. - Suppression of interaction dynamics in DG converter-based microgrids via robust system-oriented control approach, IEEE Transactions on Smart Grid **3** (4) (2012) 1800–1811.
8. Saleh Ahmadi, Shores Shokoohi, Hassan Bevrani. - A fuzzy logic-based droop control for simultaneous voltage and frequency regulation in an AC microgrid, International Journal of Electrical Power & Energy Systems **64** (2015) 148–155.
9. Meiqin Mao, Kai Shen, Liuchen Chang. - Accurate output power control of inverters for microgrids based on local measurement, 4<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation System (PEDG), Rogers, USA (2013) 1–7.
10. Du Yan, Liuchen Chang, Meiqin Mao, Jianhui Su, Ning Liu. - Improved droop controller for microgrid inverter considering the line impedance mismatching, International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE ASIA) (2014) 2668–2672.

11. Prodanovic M., Green T. C., and Mansir H. - A survey of control methods for three-phase inverters in parallel connection, 8<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives (IEE Conf. Publ. No. 475), London (2000) 472–477.
12. Siri K., Lee C. Q., Wu T. F. - Current distribution control for parallel connected converters, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems **28** (3) (1992) 841–851.
13. Phạm Thị Xuân Hoa, Nguyễn Minh Huy. - Phương pháp điều khiển sliding mode và droop control cho các bộ nghịch lưu trong microgrid, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - ĐHQG-HCM **19** (K2) (2016) 40–50.
14. Lê Minh Phương, Hoàng Võ Đức Duy, Phạm Thị Xuân Hoa, Nguyễn Minh Huy. - New adaptive droop control with combined line impedance estimation method for parallel inverters, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - ĐHQG-HCM **19** (K7) (2016) 45–64.
15. Lê Minh Phương, Nguyễn Minh Huy, Phạm Thị Xuân Hoa, Trần Quang Thọ. - Phân tích thiết kế sơ đồ điều khiển droop mới các bộ nghịch lưu kết nối song song trong microgrid độc lập, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - ĐHQG-HCM **19** (K2) (2016) 5–19.

### ABSTRACT

#### ADJUSTING THE VOLTAGE AND FREQUENCY BASED ON DROOP CONTROL FOR PARALLEL INVERTERS IN MICROGRIDS

Le Thanh Toi, Pham Thi Xuan Hoa\*, Hoang Dac Huy  
*Ho Chi Minh City University of Food Industry*  
\*Email: [hoaptx@cntp.edu.vn](mailto:hoaptx@cntp.edu.vn)

Droop control for load sharing between parallel inverters is one of the power sharing methods popular today because of its advantages compared with other methods. Some articles have presented traditional and improved droop control method. However, most studies aim at only load sharing for the inverters but not reducing the voltage and frequency deviation to improve power quality. Therefore, this paper shows the adjustment of the voltage and frequency method based on fuzzy logic with the aim to minimize the voltage and frequency deviation for improvement of power quality in microgrids. This controller consists of a droop combined with fuzzy logic to control changes of the slope of the power curve when the load changes, thereby the voltage and frequency deviation could be adjusted. This proposed control method is called the droop-fuzzy logic control method. Experimental results confirm the validity of the proposed control.

*Keywords:* Droop control, fuzzy logic, inverters, microgrid, power sharing.