

Phương pháp điều khiển sliding mode và droop control cho các bộ nghịch lưu trong Microgrid

- **Phạm Thị Xuân Hoa**¹
- **Nguyễn Minh Huy**²

¹ Khoa Điện – Điện Tử, Trường ĐH Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

² Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bản nhận ngày 05 tháng 02 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 24 tháng 02 năm 2016)

TÓM TẮT

Điều khiển bền vững và linh hoạt là mục tiêu chính của microgrid độc lập. Microgrid có thể có các bộ nghịch lưu khác nhau với các tải tuyến tính hoặc phi tuyến. Sóng hài dòng điện gây ra bởi các tải phi tuyến làm cho bộ điều khiển điện áp kiểu PI (Proportional Integral) hoặc PID (Proportional Integral Derivative) sẽ cho đường đặc tính của điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu có độ vọt lố và sai số xác lập cao, trong trường hợp microgrid hoạt động ở chế độ độc lập. Hơn nữa, tính bền vững của hệ thống vòng kín PID không được đảm bảo. Một số nghiên cứu đã dùng bộ điều khiển điện áp kiểu PR, bộ điều khiển PR có khả năng khử được sóng hài và cho tín hiệu điện áp có dạng sin hơn. Tuy nhiên, bộ điều khiển PR sẽ cho một độ lệch nhỏ về tần số do việc lựa chọn

các thành phần hài. Trong bài này trình bày phương pháp điều khiển trượt bám SMC (Sliding Mode Control) để điều khiển các bộ nghịch lưu kết nối song song trong một microgrid hoạt động độc lập, bộ điều khiển này có thể cải thiện được đặc tính bền vững của hệ thống điều khiển và giảm sai số xác lập. Tính ổn định của hệ thống vòng kín được xác định theo tiêu chuẩn Lyapunov. Cấu trúc của bộ điều khiển bao gồm vòng điều khiển SMC bên trong và vòng điều khiển Droop control ở bên ngoài. Mục đích chính của bài này là thiết kế vòng điều khiển SMC bên trong để cải thiện tính chất động học của microgrid. Các kết quả thu được từ việc mô phỏng trong matlab.

Từ khóa: Điều khiển trượt bám, điều khiển bền vững, các bộ nghịch lưu song song.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tính ổn định và linh hoạt là vấn đề quan tâm trong microgrid độc lập, đặc tính này được quyết định bởi chiến lược điều khiển của chúng ta. Trong bài này đưa ra chiến lược điều khiển cho các bộ nghịch lưu giống hoặc khác nhau, kết nối song song và cung cấp công suất cho các tải tuyến

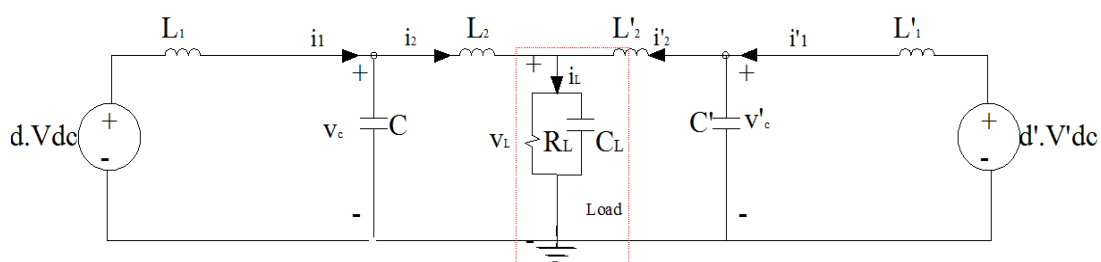
tính hoặc phi tuyến. Kết nối song song để nâng cao hiệu suất nguồn phát, nâng cao độ tin cậy. Tuy nhiên, phải điều khiển chia công suất cho các bộ nghịch lưu. Tải phi tuyến làm méo dạng dòng điện nguồn của bộ nghịch lưu. Dòng tải luôn có thành phần sóng hài, và nếu thành phần hài này

không phân đều giữa các bộ nghịch lưu sẽ có nguy cơ quá tải và làm nóng bộ nghịch lưu. Điều này làm cho tuổi thọ của chúng giảm đi rất nhiều. Nhược điểm chính của droop control là không giữ được tần số và điện áp bằng giá trị định mức. Nhưng ở mạng điện áp thấp thì điện áp cho phép thay đổi trong một phạm vi cho phép. Tuy nhiên, việc chia tải theo kiểu droop control còn bị ảnh hưởng bởi trở kháng của đường dây, làm cho việc chia dòng không đều giữa các bộ nghịch lưu, đặc biệt là đối với tải phi tuyến thì việc chia dòng hài không đều sẽ làm ảnh hưởng đến tuổi thọ của bộ nghịch lưu. Sự kết hợp của vòng điều khiển SMC sẽ điều chỉnh lại tần số và điện áp của microgrid gần với giá trị tham chiếu [1], [2]. Đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp điều khiển này, nhưng mục tiêu chủ yếu là tập trung điều khiển SMC cho dòng điện và điện áp ngõ ra của một bộ nghịch lưu trong microgrid độc lập [3], [4]. Bài này thiết kế bộ điều khiển SMC để cải thiện những khuyết điểm của droop control. Bộ điều khiển SMC kết hợp với droop control để đáp ứng cho việc đồng bộ của các bộ nghịch lưu trong Microgrid độc lập với các tải phi tuyến. Với mô hình SMC này thì độ lệch điện áp và tần số được giảm thiểu so với giá trị định mức, cải thiện được độ ổn định của microgrid. Các kết quả mô phỏng sẽ cho thấy điều này. Chiến lược điều khiển ở đây là sử dụng vòng điều khiển công suất droop

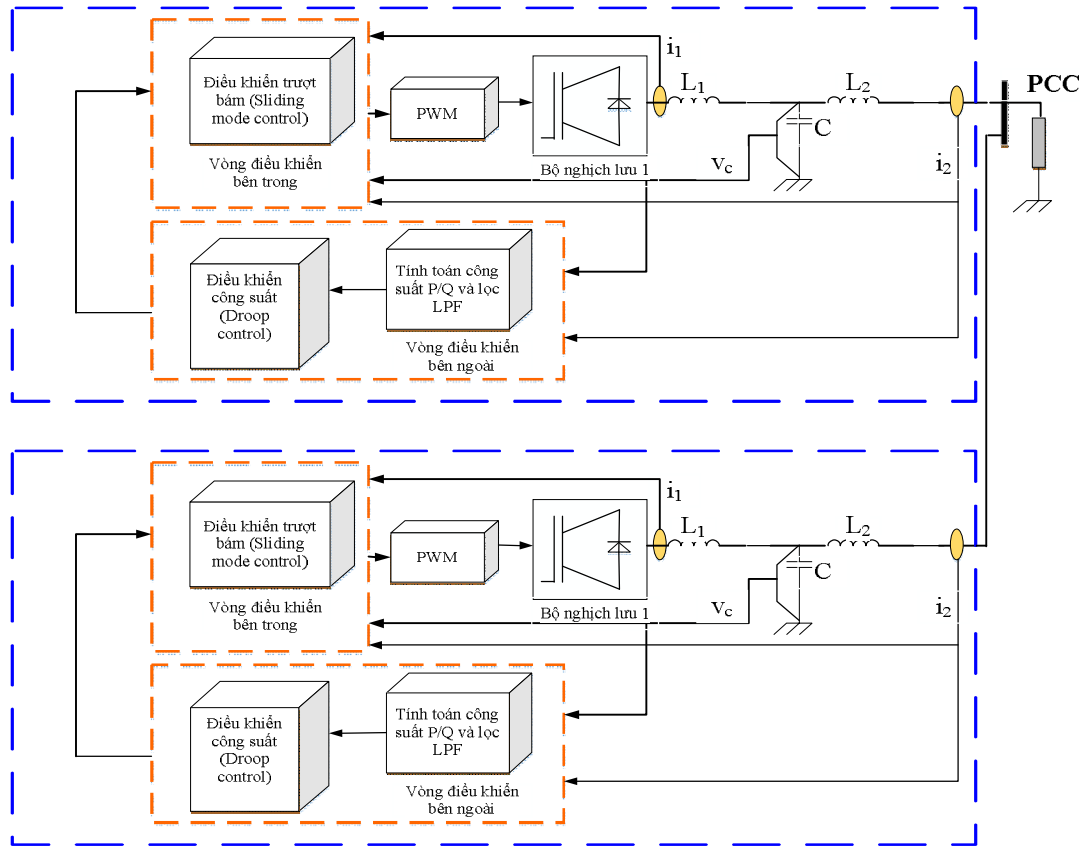
control ở bên ngoài và vòng điều khiển SMC để điều khiển điện áp và dòng điện ở bên trong. Bài này điều khiển trong hệ tọa độ dq0 để điều khiển định hướng theo điện áp, từ đó có thể điều khiển công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q một cách độc lập. Hệ thống điều khiển đảm bảo được tính ổn định của các bộ nghịch lưu hoạt động song song trong microgrid độc lập, cải thiện được đáp ứng động học của hệ thống. Ở đây trình bày luật điều khiển SMC cho hai hoặc nhiều bộ nghịch lưu giống hoặc khác nhau kết nối song song trong một microgrid độc lập. Phương pháp điều khiển trượt bám SMC là phương pháp điều khiển đơn giản và hiệu quả, điều khiển quỹ đạo của hệ thống dọc theo một mặt trượt được thiết kế [5], [6]. Tín hiệu ngõ ra được điều khiển bám theo tín hiệu ngõ vào mong muốn. Vì vậy, SMC là một giải pháp cho việc điều khiển các bộ nghịch lưu trong chế độ độc lập với nhiều phụ tải phi tuyến. Tính ổn định và bền vững của hệ thống được sử dụng bởi tiêu chuẩn Lyapunov. Các kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển SMC sẽ làm giảm thiểu được sự ảnh hưởng của sóng hài dòng điện do tải phi tuyến gây ra.

Đối tượng nghiên cứu là hai bộ nghịch lưu giống hoặc khác nhau kết nối song song cung cấp cho tải tuyến tính hoặc phi tuyến hoạt động trong một micro grid độc lập như ở hình 2.

Sơ đồ tương đương một pha của hai bộ nghịch lưu ba pha kết nối song song được biểu diễn ở hình 1.



Hình 1. Mạch điện tương đương của hai bộ nghịch lưu song song trong micro grid độc lập

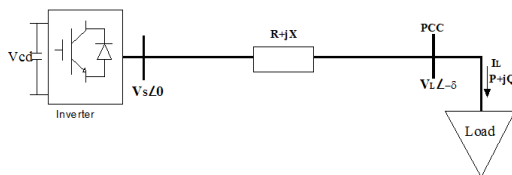


Hình 2. Cấu hình của micro grid hoạt động độc lập

2. Phương pháp điều khiển

2.1 Thiết kế bộ điều khiển Droop control

Cơ sở lý thuyết của phương pháp điều khiển chia công suất Droop control được trình bày theo [7], [8] như sau:



Hình 3. Sơ đồ phát công suất của bộ nghịch lưu

Công suất chạy trên đường dây được tính:

$$\begin{cases} P = \frac{V_s}{R^2 + X^2} [R(V_s - V_L \cos \delta) + X V_L \sin \delta] & (1) \\ Q = \frac{V_s}{R^2 + X^2} [-R V_L \sin \delta + X(V_s - V_L \cos \delta)] & (2) \end{cases}$$

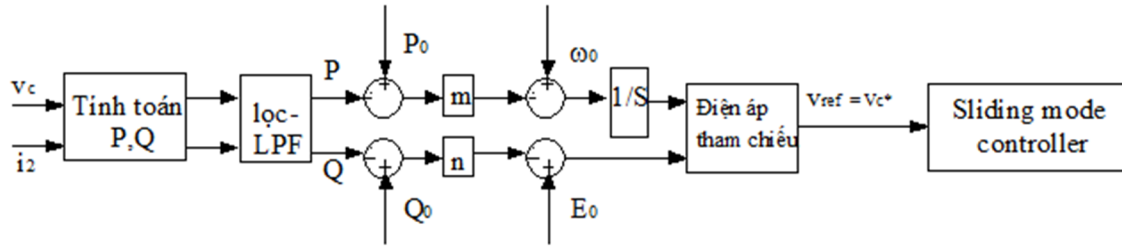
Trong đường dây phân phối nếu $X \gg R$ và δ nhỏ. Khi đó công thức (1) và (2) trở thành:

$$\delta = \frac{XP}{V_s V_L} ; V_s - V_L = \frac{XQ}{V_s} \quad (3)$$

Công thức (3) cho thấy tần số thì phụ thuộc vào công suất tác dụng P , điện áp phụ thuộc vào công suất kháng Q . Vì vậy điện áp được điều khiển bởi Q , tần số được điều khiển bởi P . Tuyến tính gần đúng công thức (3) ta thu được công thức cho điều khiển Droop P/f và Q/V :

$$f = f_0 - m(P - P_0) \quad (4)$$

$$V_s = V_{s0} - n(Q - Q_0) \quad (5)$$



Hình 4. Sơ đồ khối bộ điều khiển Droop control

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. 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. Hệ số độ dốc m và n được chọn theo độ thay điện áp và tần số cho phép so với định mức:

$$m = \frac{f_0 - f_{min}}{P_{max} - P_0}; n = \frac{V_0 - V_{min}}{Q_{max} - Q_0} \quad (6)$$

Sơ đồ khối của vòng điều khiển công suất Droop control bên ngoài và vòng điều khiển SMC bên trong được thể hiện ở hình 4.

2.2 Thiết kế bộ điều khiển trượt SMC

Từ hình 2, ta có các phương trình vi phân:

$$\begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{v_{dc}}{L_1}d - \frac{1}{L_1}v_c \\ \frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C}i_1 - \frac{1}{C}i_2 \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_2}v_c - \frac{1}{L_2}v_L \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó d là tín hiệu điều khiển của hệ thống.

Biểu diễn hệ phương trình (7) trong hệ tọa độ dq0 ta được hệ phương trình (8):

$$\begin{cases} \dot{i}_{1d} = \frac{v_{dc}}{L_1}d_d - \frac{1}{L_1}v_{cd} + \omega i_{1q} \\ \dot{i}_{1q} = \frac{v_{dc}}{L_1}d_q - \frac{1}{L_1}v_{cq} - \omega i_{1d} \\ \dot{v}_{cd} = \frac{1}{C}i_{1d} - \frac{1}{C}i_{2d} + \omega v_{cq} \\ \dot{v}_{cq} = \frac{1}{C}i_{1q} - \frac{1}{C}i_{2q} - \omega v_{cd} \\ \dot{i}_{2d} = \frac{v_{cd}}{L_2} - \frac{1}{L_2}v_{Ld} + \omega i_{2q} \\ \dot{i}_{2q} = \frac{v_{cq}}{L_2} - \frac{1}{L_2}v_{Lq} - \omega i_{2d} \end{cases} \quad (8)$$

Thiết kế bộ điều khiển trượt trong hệ tọa độ dq là xác định tín hiệu điều khiển d_d và d_q sao cho các tín hiệu điện áp và dòng điện ngõ ra bộ nghịch lưu bám theo tín hiệu mong muốn. Định nghĩa các biến trạng thái trên trục d và trục q:

$$\begin{cases} x_{1d} = i_{1d} - i_{1d}^* \\ x_{2d} = v_{cd} - v_{cd}^* \\ x_{3d} = i_{2d} - i_{2d}^* \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó i_{1d}^* , v_{cd}^* , i_{2d}^* lần lượt là các tín hiệu tham chiếu của dòng điện ngõ ra bộ nghịch lưu, điện áp trên tụ, dòng điện qua tải chiếu lên trục d.

$$\begin{cases} x_{1q} = i_{1q} - i_{1q}^* \\ x_{2q} = v_{cq} - v_{cq}^* \\ x_{3q} = i_{2q} - i_{2q}^* \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó i_{1q}^* , v_{cq}^* , i_{2q}^* lần lượt là các tín hiệu tham chiếu của dòng điện ngõ ra bộ nghịch lưu, điện áp trên tụ, dòng điện qua tải chiếu lên trục q.

Từ hệ phương trình trạng thái (9) và (10) ta chọn mặt trượt cho trục d và trục q:

$$S_d = a_{1d}x_{1d} + a_{2d}x_{2d} + a_{3d}x_{3d} = a_{1d}(i_{1d} - i_{1d}^*) + a_{2d}(\dot{v}_{cd} - \dot{v}_{cd}^*) + a_{3d}(i_{2d} - i_{2d}^*)$$

$$S_q = a_{1q}x_{1q} + a_{2q}x_{2q} + a_{3q}x_{3q} = a_{1q}(i_{1q} - i_{1q}^*) + a_{2q}(\dot{v}_{cq} - \dot{v}_{cq}^*) + a_{3q}(i_{2q} - i_{2q}^*)$$

Trong đó a_{1d} , a_{2d} , a_{3d} , a_{1q} , a_{2q} , a_{3q} là các hệ số dương. Luật điều khiển d_d và d_q sẽ điều khiển hệ thống sao cho khi t tiến ra vô cùng thì các biến trạng thái x_{1d} , x_{2d} , x_{3d} , x_{1q} , x_{2q} , x_{3q} sẽ tiến đến zero, khi đó phương trình $S_d=0$ và $S_q=0$ sẽ xác định mặt trượt S_d và S_q cần thiết kể. Vấn đề đặt ra là xác định luật điều khiển d_d và d_q để đưa các quỹ đạo pha của hệ thống về mặt trượt $S_d=0$, $S_q=0$ và duy trì trên mặt trượt một cách bền vững với các sự thay đổi đột ngột của các thông số hệ thống. Biểu diễn hệ phương trình (9) ở dạng phương trình không gian trạng thái của hệ thống trên trục d:

$$\dot{X}_d = A_d X_d + B_d u_d + D_d$$

$$\text{Trong đó: } X_d = \begin{bmatrix} x_{1d} \\ x_{2d} \\ x_{3d} \end{bmatrix}, A_d = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L_1} & 0 \\ \frac{1}{C} & 0 & -\frac{1}{C} \\ 0 & \frac{1}{L_2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_d = \begin{bmatrix} \frac{v_{dc}}{L_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, u_d = \begin{bmatrix} d_d \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$D_d = \begin{bmatrix} -\frac{v_{cd}^*}{L_1} - \dot{i}_{1d}^* + \omega i_{1q} \\ \omega x_{2q} \\ \omega x_{3q} \end{bmatrix}$$

$$\dot{S}_d = a_{1d}\dot{x}_{1d} + a_{2d}\dot{x}_{2d} + a_{3d}\dot{x}_{3d} = [a_{1d} \ a_{2d} \ a_{3d}]\dot{X}_d \quad (11)$$

Vậy để hệ thống luôn ổn định tiệm cận tại $S_d = 0$ thì quỹ đạo pha của hệ thống bắt buộc phải di chuyển trên mặt trượt $S_d=0$, để làm được điều này

$$B_q = \begin{bmatrix} \frac{v_{dc}}{L_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, u_q = \begin{bmatrix} d_q \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

thì theo nguyên lý ổn định Lyapunov, ta chọn hàm Lyapunov: $V_d = \frac{1}{2}S_d^2$. Ta thấy $V_d(S_d)$ xác định dương và phải có $S_d \cdot \dot{S}_d < 0$. Khi $S_d > 0$ nghĩa là quỹ đạo pha đi ra khỏi mặt trượt thì tín hiệu điều khiển d_d phải điều khiển sao cho $\dot{S}_d < 0$ để quỹ đạo pha trở về mặt trượt. Khi $S_d < 0$ nghĩa là quỹ đạo pha đi ra khỏi mặt trượt thì tín hiệu điều khiển d_d phải điều khiển sao cho $\dot{S}_d > 0$ để quỹ đạo pha trở về mặt trượt. Khi $S_d = 0$ thì $\dot{S}_d = 0$ nghĩa là quỹ đạo pha đã nằm trên mặt trượt. Vì vậy ta chọn:

$$\dot{S}_d = -k_{1d}S_d - k_{2d}\text{sign}(S_d) \quad (12)$$

Trong đó k_{1d} và k_{2d} là các hệ số dương. Lúc này quỹ đạo pha của hệ thống luôn được đưa về mặt trượt $S_d=0$ và giữ ổn định trên đó. Từ (11) và (12), ta có luật điều khiển cho trục d:

$$\begin{aligned} d_d &= \frac{1}{v_{dc}} \left[\frac{-L_1 k_{1d} \cdot S_d}{a_{1d}} - \frac{k_{2d} L_1 \text{sign}(S_d)}{a_{1d}} + L_1 \dot{i}_{1d}^* \right. \\ &+ x_{2d} + v_{cd}^* - \frac{L_1 a_{3d}}{a_{1d} L_2} x_{2d} - \frac{L_1 a_{2d}}{a_{1d} C} x_{1d} \\ &+ \frac{L_1 a_{2d}}{a_{1d} C} x_{3d} - \frac{\omega L_1 a_{2d}}{a_{1d}} x_{2q} - \omega L_1 i_{1q} \\ &\left. - \frac{a_{3d}}{a_{1d}} \omega L_1 x_{3q} \right] \quad (13) \end{aligned}$$

Biểu diễn hệ phương trình (10) ở dạng phương trình không gian trạng thái của hệ thống trên trục q:

$$\dot{X}_q = A_q X_q + B_q u_q + D_q$$

Trong đó:

$$X_q = \begin{bmatrix} x_{1q} \\ x_{2q} \\ x_{3q} \end{bmatrix}, A_q = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L_1} & 0 \\ \frac{1}{C} & 0 & -\frac{1}{C} \\ 0 & \frac{1}{L_2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$D_q = \begin{bmatrix} -\frac{v_{cd}^*}{L_1} - \dot{i}_{1d}^* - \omega i_{1d} \\ -\omega x_{2d} \\ -\omega x_{3d} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_q &= a_{1q}\dot{x}_{1q} + a_{2q}\dot{x}_{2q} + a_{3q}\dot{x}_{3q} \\ &= [a_{1q} \ a_{2q} \ a_{3q}]\dot{X}_q \quad (14)\end{aligned}$$

Tương tự như trên, ta chọn:

$$\dot{S}_q = -k_{1q}S_q - k_{2q}\text{sign}(S_q) \quad (15)$$

Từ (14) và (15), ta có luật điều khiển cho trục q:

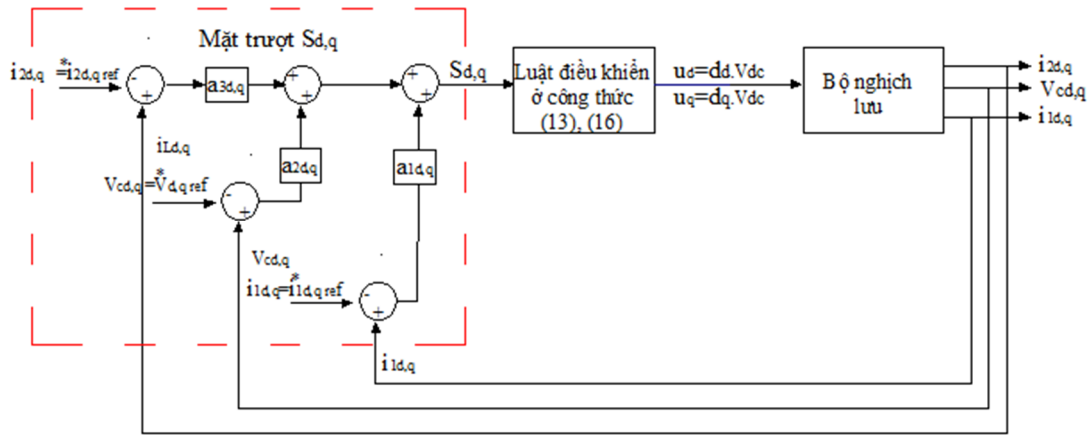
$$\begin{aligned}d_q &= \frac{1}{v_{dc}} \left[\frac{-L_1 k_{1q} S_q}{a_{1q}} - \frac{k_{2q} L_1 \text{sign}(S_q)}{a_{1q}} + L_1 i_{1q}^* \right. \\ &+ x_{2q} + v_{cq}^* - \frac{L_1 a_{3q}}{a_{1q} L_2} x_{2q} - \frac{L_1 a_{2q}}{a_{1q} C} x_{1q} \\ &+ \frac{L_1 a_{2q}}{a_{1q} C} x_{3q} + \frac{\omega L_1 a_{2q}}{a_{1q}} x_{2d} + \omega L_1 i_{1d} \\ &\left. + \frac{a_{3q}}{a_{1q}} \omega L_1 x_{3d} \right] \quad (16)\end{aligned}$$

Khi quỹ đạo pha của hệ thống xuất phát từ một điểm bất kỳ đến chạm vào mặt trượt thì tín hiệu điều khiển d_q và d_q luôn phải thay đổi đột

ngột để đưa quỹ đạo pha của hệ thống về mặt trượt $S_d=0$ và $S_q=0$ nên xảy ra hiện tượng chattering, hiện tượng này gây phát nóng thiết bị. Để loại trừ hiện tượng này ta thay hàm sign trong luật điều khiển bằng hàm sat để tín hiệu d_d và d_q không thay đổi đột ngột. Sơ đồ điều khiển sliding mode của hệ thống trong hệ tọa độ dq thể hiện ở hình 5.

Trong sơ đồ điều khiển ở hình 5, điện áp tham chiếu $v_{cd}^* = v_{cdref}$ và $v_{cq}^* = v_{cqref}$ là điện áp tham chiếu lấy từ ngõ ra của bộ điều khiển Droop control. Khi đó dòng điện tham chiếu ở ngõ ra bộ nghịch lưu và dòng tham chiếu cung cấp cho tải của mỗi bộ nghịch lưu được tính theo biểu thức:

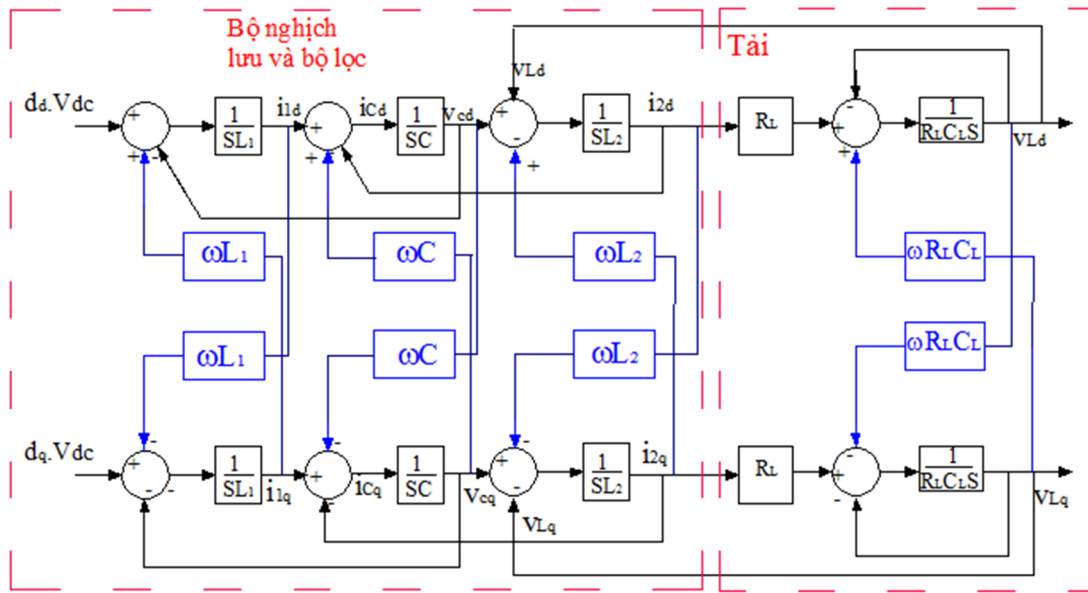
$$\begin{cases} i_{2d}^* = \frac{v_{cd}^*}{L_2} - \frac{1}{L_2} v_{Ld} + \omega i_{2q}^* \\ i_{2q}^* = \frac{v_{cq}^*}{L_2} - \frac{1}{L_2} v_{Lq} - \omega i_{2d}^* \\ i_{1d}^* = C v_{cd}^* + i_{2d}^* - \omega C v_{cq}^* \\ i_{1q}^* = C v_{cq}^* + i_{2q}^* + \omega C v_{cd}^* \end{cases} \quad (17)$$



Hình 5. Sơ đồ khối của bộ điều khiển SMC trong hệ tọa độ dq0

2.3 Mô hình hóa bộ nghịch lưu và tải

Bộ nghịch lưu và bộ lọc kết nối với tải RC song song được mô hình hóa như ở hình 6.



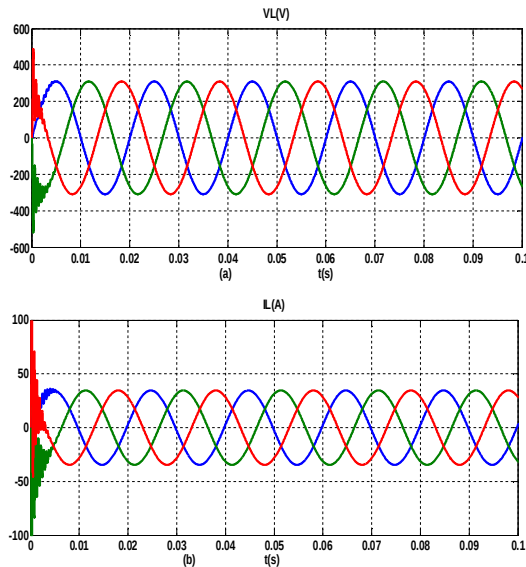
Hình 6. Mô hình hóa bộ nghịch lưu và tải trong hệ tọa độ dq0

Bảng 1. Các thông số mô phỏng cho bộ điều khiển Droop control, SMC và bộ nghịch lưu

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện cảm L_1	1.2	mH	Tần số định mức f_0	50	Hz
Điện cảm L_2	0.4	mH	Hệ số trượt m	3.125×10^{-5}	rad/J
Điện dung C	50	μF	Hệ số trượt n	5.73×10^{-3}	V/Var
Điện trở tải định mức R_L	9	Ω	k_{1d} và k_{1q}	2.0883×10^4	
Điện dung tải định mức C_L	31.5	μF	k_{2d} và k_{2q}	4.1667×10^4	
Công suất định mức ngõ ra P_0	14	kW	a_{1d}, a_{1q}	1	
Điện áp tải tham chiếu v_L^*	310	V	a_{2d}, a_{2q}	1	

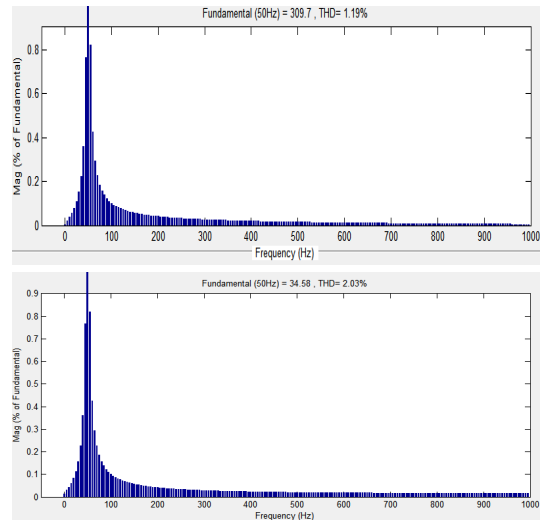
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Sử dụng công cụ Matlab/Simulink mô phỏng cho hai bộ nghịch lưu hoạt động song song trong microgrid độc lập như ở hình 1 theo các thông số cho trong bảng 1. Ta có các kết quả về đặc tuyến dòng, áp, công suất như sau:



Hình 7. (a) Dạng sóng điện áp đặt lên tải, (b) Dạng sóng dòng điện qua tải

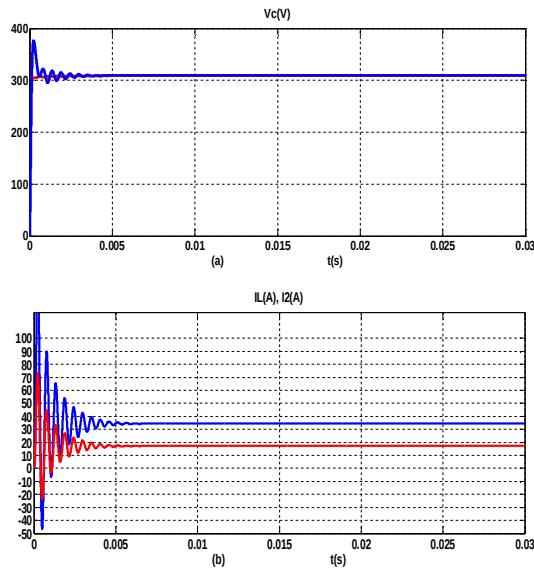
Hình 7 cho thấy biên độ điện áp tải $V_L = 309.7V$, sai lệch rất ít so với giá trị tham chiếu (310V). Dòng điện qua tải có biên độ là 34.58A. Các đặc tuyến ổn định vào thời điểm $t = 0.005s$, trong khoảng thời gian $0 < t < 0.005s$ quỹ đạo pha chưa bám theo tín hiệu đặt vì lúc này tín hiệu điều khiển đang điều khiển quỹ đạo pha của tín hiệu ngõ ra tiếp cận vào mặt trượt để tín hiệu ngõ ra bám theo tín hiệu đặt. Sau khoảng thời gian $t = 0.005s$ thì tín hiệu điều khiển đã điều khiển được quỹ đạo pha của tín hiệu ngõ ra bám theo tín hiệu đặt có dạng hình sin. Tín hiệu điều khiển sẽ điều khiển liên tục để đưa quỹ đạo pha của tín hiệu dòng và áp ngõ ra nằm trên mặt trượt S đã được thiết kế thì lúc đó tín hiệu dòng và áp ngõ ra sẽ bám theo tín hiệu đặt của nó.



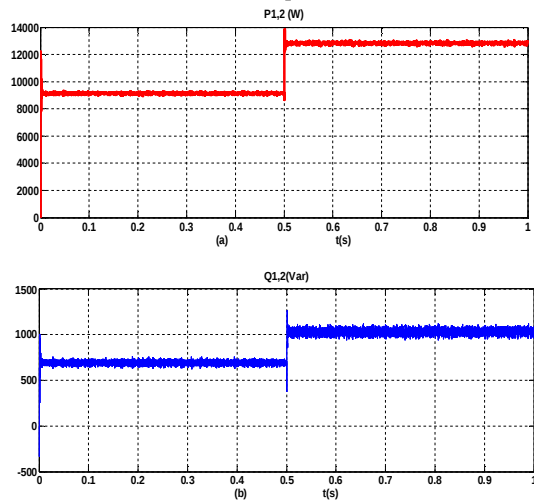
Hình 8. Phân tích phổ của điện áp đặt lên tải và dòng điện qua tải

Hình 8 cho thấy tổng độ méo dạng sóng hài của điện áp đặt lên tải là 1.19%, và tổng độ méo dạng sóng hài của dòng điện qua tải là 2.03%. Ta thấy sóng hài dòng điện và điện áp là không đáng kể, đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điện. Do bộ điều khiển SMC điều khiển tín hiệu ngõ ra bám theo tín hiệu đặt, vì tín hiệu đặt có dạng hình sin nên tín hiệu ngõ ra cũng ít bị ảnh hưởng bởi tải phi tuyến.

Hình 9a cho thấy đặc tuyến của điện áp trên tụ V_c (đường màu xanh) bám sát theo đặc tuyến của điện áp đặt V_{Cref} (đường màu đỏ). Tuy nhiên, có một khoảng thời gian $0 < t < 0.005s$ quỹ đạo pha chưa bám theo tín hiệu đặt vì lúc này tín hiệu điều khiển đang điều khiển quỹ đạo pha của điện áp tiếp cận vào mặt trượt. Hình 9b cho thấy biên độ dòng điện ngõ ra của mỗi bộ nghịch lưu có giá trị là 17.25A (đường đặc tuyến màu đỏ), biên độ dòng điện qua tải có giá trị là 34.5A (đường đặc tuyến màu xanh), điều này cho thấy sự kết hợp của bộ điều khiển SMC và bộ Droop control đã thực hiện chia công suất chính xác trong trường hợp tải phi tuyến.

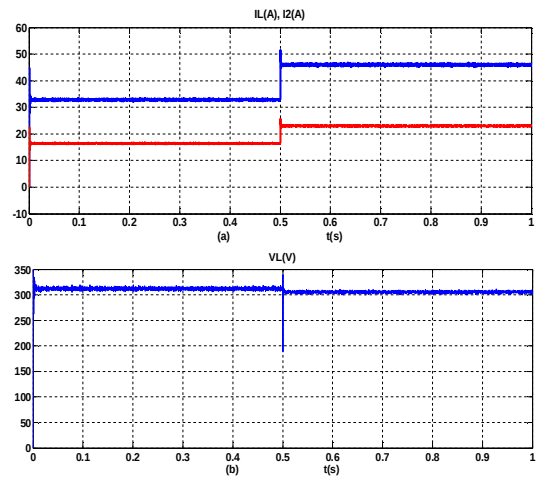


Hình 9. (a) Điện áp ngõ ra trên tụ V_C và điện áp tham chiếu V_{Cref} , (b) Dòng điện phát ra của mỗi bộ nghịch lưu (I_2) và dòng điện qua tải (I_L) trong hệ tọa độ dq0



Hình 10. (a) Công suất tác dụng, (b) Công suất phản kháng phát ra của hai bộ nghịch lưu khi cho tải thay đổi

Hình 10 cho thấy sự kết hợp của bộ điều khiển SMC và bộ Droop control đã thực hiện chia công suất đều công suất cho mỗi bộ nghịch lưu ngay cả trong trường hợp tải phi tuyến thay đổi. Đáp ứng động học của microgrid cũng được cải thiện.



Hình 11. (a) Dòng điện qua tải (I_L) và dòng phát ra của mỗi bộ nghịch lưu (I_2), (b) Điện áp đặt lên tải khi cho tải thay đổi

Hình 11a cho thấy khi dòng điện qua tải tăng từ 34.5A đến 46A thì dòng điện phát ra của mỗi bộ nghịch lưu cũng tăng từ 17.25A đến 23A, điều này cho thấy việc chia tải rất chính xác. Hình 11b cho thấy khi tải tăng thì điện áp đặt lên tải giảm từ 309.7V đến 304.5V, đảm bảo chất lượng điện áp cung cấp cho tải. Đặc tuyến dòng và áp rất ổn định.

Theo các kết quả mô phỏng trong bài này cho thấy điều khiển trượt SMC có hai pha: pha tiếp cận (reaching phase) và pha trượt (sliding mode). Tính bền vững, không nhạy đối với nhiễu của điều khiển trượt chỉ có thể đạt được ở pha trượt ($t \geq 0.005$ s), còn pha tiếp cận thì không có tính bền vững ($0 < t < 0.005$ s). Do vậy để tăng tính bền vững của điều khiển trượt, người ta giảm thiểu thời gian của pha tiếp cận, nghĩa là làm sao cho quỹ đạo pha tiếp cận mặt trượt càng nhanh càng tốt. Nếu chọn mặt trượt có khâu tích phân thì pha trượt sẽ xảy ra ngay tại thời điểm ban đầu, nghĩa là hệ thống có tính bền vững ngay tại thời điểm đầu.

4. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp điều khiển trượt bám SMC đã điều khiển được hai hoặc nhiều bộ

ngành lưu kết nối song song, phương pháp điều khiển này có thể cải thiện được đặc tính bền vững và giảm sai số xác lập, giảm thiểu được độ méo dạng dòng điện và điện áp do tải phi tuyến gây ra. Bộ điều khiển SMC đã cải thiện những khuyết

điểm của Droop control truyền thống trong trường hợp tải phi tuyến thay đổi đột ngột, đáp ứng cho việc đồng bộ của các bộ nghịch lưu trong Microgrid độc lập với các tải phi tuyến.

A control method for parallel inverters in Microgrid based on sliding mode and droop controls

- Phạm Thị Xuân Hoa ¹
- Nguyễn Minh Huy ²

¹ Faculty of Electrical & Electronic Engineering, HCMC University of Food industry

² Faculty of Electrical & Electronic Engineering, HCMC University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT

Robust control and flexible operation are the major objectives of islanded microgrid. A microgrid can have different configurations with linear loads and nonlinear loads. The harmonic current caused by nonlinear loads make Proportional Integral (PI) or Proportional Integral Derivative (PID) voltage controller far beyond excellent performance in case of microgrid operating in islanded mode. Additionally, the robustness of the PID closed loop system can not be guaranteed. The voltage control by using Proportional resonant (PR) controller are recommended. Although PR controller has the ability to sinusoidal signals.

However, PR controller has a slight deviation of the frequency of selected harmonic component. This paper presents a Sliding Mode Control (SMC) for voltage control of parallel inverters operating in islanded microgrid. This controller can enhance the robustness of control system and reduced-state tracking error. The stability of the closed-system is verified by means of Lyapunov stability criterion. The control structure is based on the inner sliding mode closed-loop and the outer droop control loop. The main aim of this paper is to design inner controllers to enhance the dynamics of the microgrid. The results obtained from the simulation of Matlab.

Keywords: Sliding mode control, robustness, parallel inverters.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ali Keyhani, Mohammad N.Marwali, Min Dai, "Integration of Green and Renewable energy in Electric Power Systems," Copyright 2010 by John Wiley and Sons, Inc.All rights reserved.
- [2]. Yancheng Liu, Qinjin Zhang, Chuan Wang, Ning Wang, "Acontrol strategy for microgrid inverters based on adaptive three-order sliding mode and optimized droop controls," *Electric Power systems research* 117 (2014) 192-201.
- [3]. M.H. Abdollahi and S.M.T. Bathaee, "Sliding mode controller for stability enhancement of microgrids," 978-1-4244-1904-3/2008 IEEE.
- [4]. A. Etxeberria, I. Vechiu, H. Camblong, J-M. Vinassa, "Comparision of sliding mode and PI control of a hybrid energy storage system in a microgrid application," *Energy Procedia* 12 (2011) 966-974.
- [5]. Liping Guo, John Y.Hung, R.M. Nelms, "Comparative evaluation of sliding mode fuzzy controller and PID controller for a boost converter," *Electric power systems research* 81 (2011) 99-106.
- [6]. Moradzadeh, M.Boel, R.Vandeveldel, "Voltage Coordination in Multi-Area Power Systems via Distributed Model Predictive Control," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.1, pp.513,521, Feb. 2013.
- [7]. Jiefeng Hu, *Member, IEEE*, Jianguo Zhu, *Senior Member, IEEE*, David G.Dorrell, *Senior Member, IEEE*, "Virtual Flux Droop Method-A New Control Strategy of Inverters in Microgrids", *IEEE Trans. On power Electronics*, Vol. 29, NO.9, September 2014.
- [8]. Mehdi Savaghebi, *Student Member, IEEE*, Alireza Jalilian, Juan C. Vasquez, *Member, IEEE*, "Secondary Control for Voltage Quality Enhancement in Microgrids", *IEEE Trans. On Smart grid*, Vol. 3, NO.4, December 2012.