

# MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘ DỐC TẦN SỐ VÀ ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI ĐỘC LẬP

## A FREQUENCY AND VOLTAGE DROOP CONTROL METHOD FOR AUTONOMOUS DISTRIBUTION NETWORK

Nguyễn Văn Hùng<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Đức Huy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Tác giả liên hệ: vanhung312@gmail.com

(Nhận bài: 16/5/2022; Chấp nhận đăng: 29/9/2022)

**Tóm tắt** - Lưới điện phân phối có nguồn phân tán và cấu hình lưới phù hợp có khả năng hoạt động ở chế độ nối lưới hệ thống hoặc hoạt động ở chế độ độc lập. Trong chế độ nối lưới, tần số và điện áp của lưới phân phối phụ thuộc vào lưới hệ thống. Trong khi quá trình điều khiển tần số và điện áp trong lưới điện phân phối ở chế độ độc lập phụ thuộc hoàn toàn vào các nguồn phân tán nội bộ. Bài báo này đề xuất cấu trúc điều khiển độ dốc trên các bộ biến đổi ở các chế độ làm việc khác nhau. Qua đó, giúp phân bổ công suất giữa các nguồn phân tán, giữ điện áp và tần số trong dải cho phép ở giai đoạn điều khiển sơ cấp. Bài báo đã tiến hành mô phỏng mô hình điều khiển độ dốc được đề xuất trên lưới điện được chọn bằng công cụ Matlab/Simulink.

**Từ khóa** - Lưới điện phân phối; nguồn phân tán; bộ biến đổi; điều khiển độ dốc

### 1. Đặt vấn đề

Trong lưới điện truyền thống, kỹ thuật điều khiển độ dốc được áp dụng nhằm giữ tần số và điện áp lưới trong mức độ cho phép khi xảy ra các biến động công suất tác dụng và công suất phản kháng. Quá trình điều khiển độ dốc diễn ra tại các bộ điều tốc của máy phát điện đồng bộ, nguồn phát chủ yếu trong lưới điện truyền thống [1]. Đối với các lưới điện phân phối (LĐPP) có nguồn phân tán (DGs), việc áp dụng kỹ thuật điều khiển độ dốc mang nhiều đặc điểm khác biệt do DGs chủ yếu là nguồn phát đồng bộ công suất nhỏ hoặc được nối lưới thông qua bộ biến đổi công suất. Do vậy, việc ứng dụng điều khiển độ dốc trên các DGs cần được nghiên cứu chi tiết, đặc biệt trong chế độ độc lập, khi các DGs đóng vai trò chính trong việc duy trì tần số và điện áp lưới điện [2].

Tần số và điện áp của LĐPP trong chế độ nối lưới được duy trì bởi lưới hệ thống, do vậy các DGs được vận hành theo hướng tối đa hóa công suất phát. Vai trò và chế độ hoạt động của các DGs sẽ thay đổi khi LĐPP ở chế độ độc lập. Khi đó, tần số và điện áp của lưới điện phụ thuộc hoàn toàn vào các DGs trong lưới.

Sự phân bố công suất giữa các DGs trong chế độ độc lập dựa trên điều khiển độ dốc đóng vai trò quan trọng trong việc giữ ổn định lưới [3], [4]. Việc phân cấp điều khiển lưới điện và áp dụng kỹ thuật điều khiển độ dốc trong phân cấp tương ứng được đề xuất trong các nghiên cứu [5], [6], [7]. Trong đó, giá trị tham chiếu của điều khiển sơ cấp

**Abstract** - The distribution network has distributed sources and suitable grid configuration capable of operating in grid-connected mode or in autonomous mode. In grid-connected mode, the frequency and voltage of the distribution network depends on the system network. Meanwhile, the frequency and voltage control process in the distribution network in autonomous mode depends entirely on the internal distributed sources. This paper proposes a droop control structure on the converters in different working modes. Thereby, it helps to power sharing between distributed sources, keeping voltage and frequency within the allowable range at the primary control stage. The paper simulates the proposed droop control model on a network using Matlab/Simulink tools.

**Key words** - Distribution network; distributed sources; converter; droop control

$\omega^*$  và  $V^*$  lần lượt là tần số góc và điện áp đầu ra của DGs tại điểm đặt danh định. Theo cách tiếp cận truyền thống hệ số độ dốc được xác định dựa trên công suất định mức của bộ biến đổi công suất và độ lệch tần số, điện áp tối đa.

Ngoài ra, kỹ thuật điều khiển độ dốc dựa trên đường đặc tính góc pha ( $\delta_n = m\delta P$ ) được áp dụng để hạn chế thay đổi lớn về tần số khi phụ tải thay đổi là điều khiển độ dốc góc pha được [8] đề xuất. Quá trình phân bổ công suất trong LĐPP được điều khiển bởi sự chênh lệch góc pha điện áp giữa các điểm nút nối với các DGs. Mà điện áp đầu cực các DGs có thể được đáp ứng nhanh chóng bởi các vòng lặp điều khiển điện áp phía trong. Điều khiển độ dốc dựa trên đường đặc tính giữa điện áp và dòng điện  $V-I$  được [9], [10] đề xuất cho các bộ biến đổi mắc song song. Phương pháp điều khiển được đề xuất giúp tăng cường độ chính xác phân bổ công suất trong điều kiện tải tăng cao, giúp các DGs giảm khả năng rơi vào tình trạng quá tải qua đó tăng độ ổn định của lưới điện.

Chế độ nối lưới hệ thống hay độc lập của LĐPP ảnh hưởng trực tiếp và quyết định chế độ làm việc của mỗi DGs trong LĐPP, đặc biệt với các DGs nối lưới thông qua bộ biến đổi công suất. Vì vậy, trong quá trình điều khiển các bộ biến đổi cần đưa ra phương thức điều khiển phù hợp với chế độ vận hành hiện thời của bộ biến đổi đó.

Nội dung bài báo này đề xuất các phương thức áp dụng điều khiển độ dốc khác nhau trên các bộ biến đổi công suất trong các chế độ làm việc tương ứng bao gồm *chế độ nguồn*

<sup>1</sup> Hanoi University of Science and Technology (Hung Nguyen-Van, Huy Nguyen-Duc)

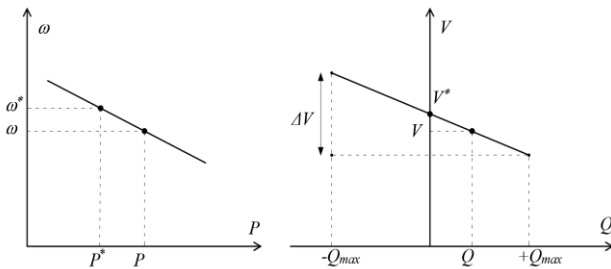
<sup>2</sup> Hanoi University of Industry (Hung Nguyen-Van)

dòng (CCM) và chế độ nguồn áp (VCM). Qua đó, điều khiển phân bố công suất tác dụng và công suất phản kháng giữa các DGs. Ngoài ra, bài báo cũng tiến hành phân tích đặc tính các bộ điều khiển dòng điện, điện áp bên trong các bộ biến đổi nhằm đưa ra các thông số phù hợp cho các bộ điều khiển. Mô hình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Matlab/Simulink.

**2. Điều khiển độ dốc truyền thống**

Khi quá trình biến thiên công suất trong lưới điện diễn ra, các thông số trạng thái tần số và điện áp cũng theo đó dao động. Để đưa tần số và điện áp trong lưới điện trở lại giá trị danh định ban đầu cần có tác động điều khiển mang tính hệ thống từ các bộ điều khiển trung tâm nhằm phân bố công suất phát giữa các máy phát điện trong lưới. Quá trình tác động điều khiển từ các bộ điều khiển trung tâm cần có thời gian, do vậy việc giữ mức độ dao động tần số và điện áp ở mức thấp trong giai đoạn đầu khi hình thành biến thiên công suất là rất quan trọng [6].

Sử dụng phương pháp điều khiển độ dốc không qua hệ thống điều khiển trung tâm cho phép các đáp ứng tức thời trên mỗi máy phát điện. Đường đặc tính tĩnh  $P-\omega$  và  $Q-V$  giúp xác định mức độ thay đổi tần số và điện áp khi có biến động công suất được thể hiện trong Hình 1.



**Hình 1.** Đặc tính tĩnh điều khiển độ dốc

Đặc tính tĩnh công suất tác dụng và tần số  $P-\omega$ , công suất phản kháng và điện áp  $Q-V$ :

$$\omega - \omega^* = m_P (P^* - P) \tag{1}$$

$$V - V^* = n_Q (Q^* - Q) \tag{2}$$

Độ dốc đường đặc tính  $m_P, n_Q$  và điểm đặt danh định  $(P^*, \omega^*), (Q^*, V^*)$  với mỗi máy phát khác nhau và quyết định tới mức độ công suất nguồn phát tham gia vào lưới. Các giá trị công suất danh định  $P^*, Q^*$  độc lập giữa các máy phát điện, nhưng mức thay đổi công suất bị ràng buộc bởi tần số và điện áp các nút.

$$P_1 : P_2 \dots : P_i = \frac{1}{m_1} : \frac{1}{m_2} \dots : \frac{1}{m_i} \tag{3}$$

$$Q_1 : Q_2 \dots : Q_i = \frac{1}{n_1} : \frac{1}{n_2} \dots : \frac{1}{n_i} \tag{4}$$

Các giá trị giới hạn tần số, điện áp và công suất tối đa được dùng để xác định độ dốc đặc tính với mỗi DGs.

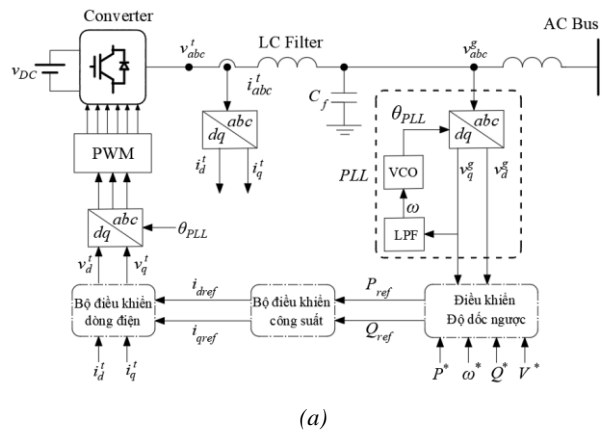
$$m_P = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{P_{max}} \tag{5}$$

$$n_Q = \frac{V_{nmax} - V_{nmin}}{Q_{max}} \tag{6}$$

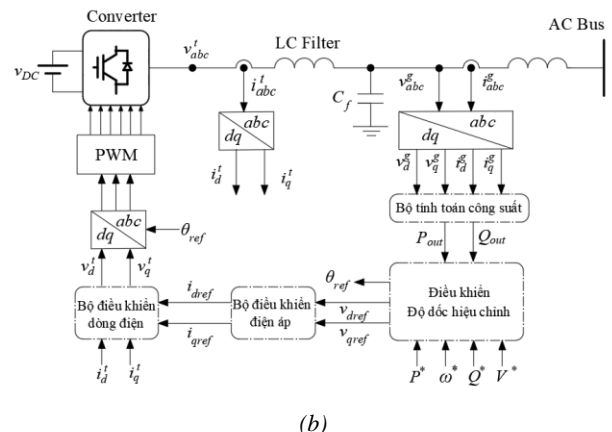
**3. Điều khiển bộ biến đổi DC-AC**

Khác với các máy phát đồng bộ truyền thống nối lưới trực tiếp, đa phần các DGs như điện gió, điện mặt trời hay các bộ lưu điện được kết nối với lưới điện thông qua các bộ biến đổi DC-AC. Bộ biến đổi DC-AC đóng vai trò quan trọng trong LĐPP. Không chỉ là phần tử kết nối đơn thuần nguồn sơ cấp với lưới điện, bộ biến đổi DC-AC còn giữ vai trò quyết định trong việc điều khiển các thông số chế độ đối với các DGs.

Chế độ vận hành nối lưới hay độc lập của LĐPP quyết định chế độ vận hành của bộ biến đổi. Cụ thể, khi LĐPP ở chế độ nối lưới thì các DG đóng vai trò như các nguồn dòng CCM bơm công suất vào lưới hệ thống nhằm đạt được chi tiêu kinh tế, ngược lại khi LĐPP ở chế độ độc lập, nhiệm vụ duy trì tần số và điện áp trong LĐPP được đặt lên các DG nội bộ ở chế độ VCM. Khi đó, vai trò và quá trình điều khiển mỗi DG sẽ khác nhau nhằm xác lập và duy trì các thông số chế độ trong giới hạn cho phép [11]. Sơ đồ khối điều khiển bộ biến đổi công suất được thể hiện trong Hình 2.



(a)



(b)

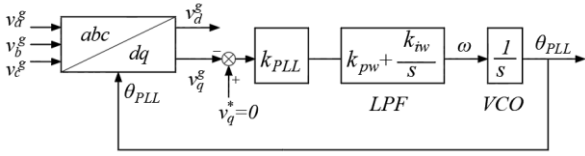
**Hình 2.** Sơ đồ khối điều khiển bộ biến đổi công suất  
(a) Bộ biến đổi chế độ nguồn dòng;  
(b) Bộ biến đổi chế độ nguồn áp

Hệ thống điều khiển bộ biến đổi công suất được xây dựng trên hệ trục tọa độ quay  $dq0$ . Các vòng điều khiển được thiết kế nhằm đảm bảo yêu cầu của chế độ hoạt động bộ biến đổi. Khi bộ biến đổi ở chế độ VCM, yêu cầu duy trì điện áp và tần số tại đầu ra của DG được đáp ứng bởi vòng lặp điều khiển điện áp ở phía ngoài và vòng lặp dòng điện ở phía trong. Chế độ này có thể coi như nguồn áp lý tưởng, có vai trò rất quan trọng trong việc giữ điện áp và

tần số LĐPP khi ở chế độ độc lập tương tự như vai trò của máy phát đồng bộ trong lưới truyền thống. Mặt khác, khi bộ biến đổi ở chế độ CCM, việc ưu tiên duy trì công suất phát được đáp ứng bởi bộ điều khiển công suất phía trước bộ điều khiển dòng điện. Chế độ này có thể được coi như những nguồn dòng, chúng không thể hoạt động hoàn toàn độc lập ở LĐPP độc lập khi không có máy phát đồng bộ hoặc một bộ biến đổi ở chế độ VCM trong lưới điện.

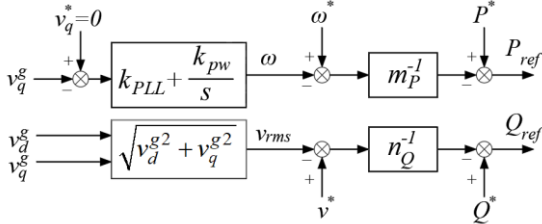
### 3.1. Chế độ nguồn dòng

Bộ điều khiển CCM thông qua bộ khóa pha PLL [12], [13] đồng bộ hóa DG và lưới. Sơ đồ khối vòng lặp khóa pha PLL được thể hiện trong Hình 3. Mô hình bao gồm một vòng lọc thông thấp LPF và khối tạo dao động điều khiển điện áp VCO. Trong đó, việc chuyển đổi các đại lượng trên trục tọa độ  $abc$  sang hệ trục tọa độ vuông góc quay  $dq$  được dựa trên công thức biến đổi Park  $T_{abc/dq}$  [1].



Hình 3. Sơ đồ khối bộ PLL

Khi LĐPP ở chế độ độc lập, bộ biến đổi CCM có vai trò hỗ trợ điều khiển tần số và điện áp trong lưới cùng bộ biến đổi VCM. Quá trình tham gia điều khiển tần số và điện áp của CCM thông qua điều khiển độ dốc và bộ điều khiển công suất trước khi đưa tín hiệu điều khiển vào trong bộ điều khiển dòng điện. Sơ đồ khối bộ điều khiển độ dốc ngược trong CCM được thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Điều khiển độ dốc ngược trên CCM

Với vector biến đầu vào và đầu ra của điều khiển độ dốc lần lượt là  $[\omega, v]$  và  $[P, Q]$  ngược lại với điều khiển độ dốc truyền thống.

$$P_{ref} = P^* - m_p^{-1}(\omega - \omega^*) \quad (7)$$

$$Q_{ref} = Q^* - n_Q^{-1}(v^* - v_{rms}) \quad (8)$$

Bộ điều khiển công suất bao gồm hai vòng lặp điều khiển tương ứng với công suất tác dụng  $P$  và công suất phản kháng  $Q$ .  $P_{ref}$ ,  $Q_{ref}$  là các đại lượng tham chiếu được tạo bởi bộ điều khiển độ dốc ở phía ngoài.  $P_{out}$ ,  $Q_{out}$  được xác định bởi các đại lượng dòng điện và điện áp như trong công thức (11,12).

Đại lượng đầu ra của bộ điều khiển công suất  $[i_{dref}, i_{qref}]$  được đưa vào bộ điều khiển dòng điện ở phía trong.

$$i_{dref} = k_{pd}(P_{ref} - P_{out}) + k_{id} \int (P_{ref} - P_{out}) dt \quad (9)$$

$$i_{qref} = k_{pq}(Q_{ref} - Q_{out}) + k_{iq} \int (Q_{ref} - Q_{out}) dt \quad (10)$$

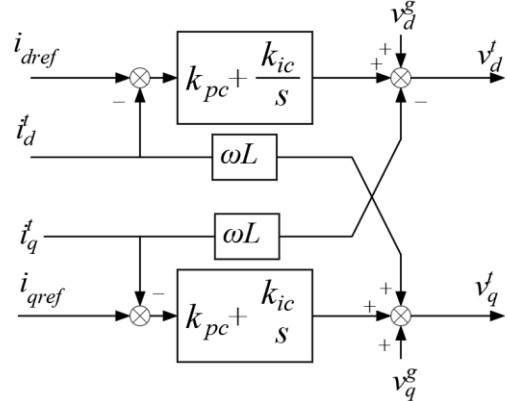
Trong đó:

$$P_{out} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_d^g i_d^g + v_q^g i_q^g) \quad (11)$$

$$Q_{out} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_d^g i_q^g - v_q^g i_d^g) \quad (12)$$

Với  $\omega_c$  là tần số đóng cắt của bộ lọc thông thấp.

Bộ điều khiển dòng điện với biến trạng thái là dòng trên điện kháng đầu ra bộ biến đổi được thiết kế trên hệ trục quay vuông góc  $dq$  được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Bộ điều khiển dòng điện

$$L \frac{di_d^t}{dt} - \omega L i_q^t + R i_d^t + v_d^g = v_d^t \quad (13)$$

$$L \frac{di_q^t}{dt} + \omega L i_d^t + R i_q^t + v_q^g = v_q^t \quad (14)$$

Với vectơ tín hiệu đầu ra bộ điều khiển  $[v_d^t, v_q^t]$

Hàm truyền bộ điều khiển dòng điện

$$G_c(s) = \frac{k_{pc}s + k_{ic}}{Ls^2 + (R + k_{pc})s + k_{ic}} = \frac{(k_{pc}s + k_{ic})/L}{s^2 + 2\xi_c \omega_{nc}s + \omega_{nc}^2} \quad (15)$$

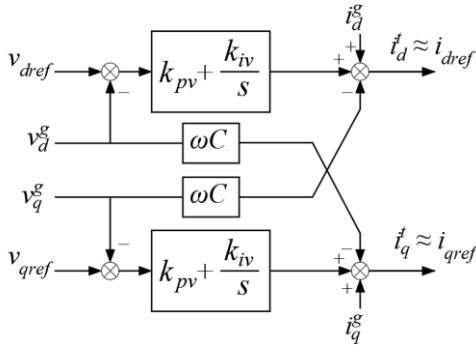
Trong đó: Tần số dao động tự nhiên  $\omega_{nc} = \sqrt{\frac{k_{ic}}{L}}$

Hằng số tắt  $\xi_c = \frac{R + k_{pc}}{2\sqrt{k_{ic} \cdot L}}$

### 3.2. Chế độ nguồn áp

Máy phát đồng bộ công suất lớn giữ vai trò duy trì tần số và điện áp LĐPP ở chế độ nối lưới, tuy nhiên trong chế độ độc lập vai trò này được chuyển tới các DG nội bộ. Các bộ điều khiển bên trong chế độ VCM cũng được thiết kế theo hướng đảm bảo các yêu cầu về tần số và điện áp, như được thể hiện trong Hình 2. Vòng lặp điều khiển dòng điện nằm bên trong với các thông số đầu vào được tạo bởi bộ điều khiển điện áp ở phía ngoài [14]. Vòng lặp điều khiển độ dốc được thiết kế phía ngoài dựa trên hệ số phân bổ công suất giữa các DG từ trước đó, tuy nhiên quá trình điều khiển diễn ra riêng biệt tại mỗi DG dựa trên các ràng buộc về tần số lưới điện.

Bộ điều khiển điện áp với biến trạng thái là điện áp trên điện dung đầu ra bộ biến đổi được thiết kế trên hệ trục quay vuông góc  $dq$  được thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. Vòng lặp điều khiển điện áp

Giả thiết quá trình động học của vòng lặp điều khiển dòng điện phía trong diễn ra nhanh hơn rất nhiều lần quá trình động học vòng lặp điện áp phía ngoài, do đó với vòng lặp điện áp có thể chấp nhận  $i_d^t \approx i_{dref}$  và  $i_q^t \approx i_{qref}$ .

Vector tín hiệu đầu ra bộ điều khiển  $[i_{dref}, i_{qref}]$

$$i_{dref} \approx i_d^t = i_d^g + k_{pv}(v_{dref} - v_d^g) + k_{iv} \int (v_{dref} - v_d^g) dt - \omega C v_q^g \quad (16)$$

$$i_{qref} \approx i_q^t = i_q^g + k_{pv}(v_{qref} - v_q^g) + k_{iv} \int (v_{qref} - v_q^g) dt - \omega C v_d^g \quad (17)$$

Hàm truyền bộ điều khiển điện áp

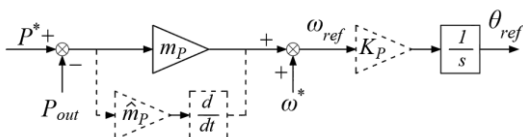
$$G_v(s) = \frac{s.k_{pv} + k_{iv}}{Cs^2 + s.k_{pv} + k_{iv}} = \frac{(s.k_{pv} + k_{iv})/C}{s^2 + 2\xi_v \omega_{nv} s + \omega_{nv}^2} \quad (18)$$

Trong đó: Tần số dao động tự nhiên  $\omega_{nv} = \sqrt{\frac{k_{iv}}{C}}$

$$\text{Hằng số tắt } \xi_v = \frac{k_{pv}}{2\sqrt{k_{iv}.C}}$$

Quá trình điều khiển độ dốc đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì điện áp và tần số trong giới hạn cho phép khi có biến động phân bố công suất. Tuy nhiên, tốc độ đáp ứng tần số và mức tăng điện áp cục bộ là những vấn đề tồn tại với bộ điều khiển truyền thống. Vấn đề này trở lên nghiêm trọng hơn với các bộ biến đổi điện tử công suất do thiếu hụt quán tính mà mức độ nhạy cảm với điện áp của các thiết bị điện tử [3]. Do đó, để thích nghi với đối tượng là các bộ biến đổi công suất ở chế độ VCM, phương pháp điều khiển độ dốc truyền thống cần có một số hiệu chỉnh.

Sơ đồ khối điều khiển tần số hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ điều khiển tần số hiệu chỉnh

Tần số được điều khiển bám theo mức thay đổi công suất tác dụng dựa trên quan hệ sau:

$$\begin{cases} \omega_{ref} = \omega^* + m_p(P^* - P_{out}) - \hat{m}_p \frac{dP_{out}}{dt} \\ \theta_{ref} = K_p \int \omega_{ref} . dt \end{cases} \quad (19)$$

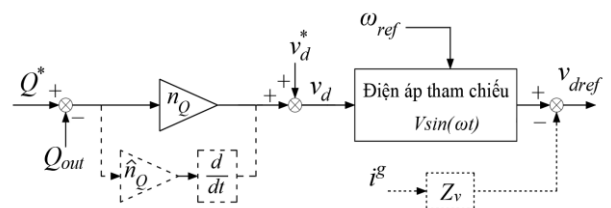
Trong đó, hệ số  $\hat{m}_p$  được hiệu chỉnh thêm mới so với điều khiển độ dốc truyền thống có độ dốc  $m_p$  thông thường nhằm tăng khả năng đáp ứng của tần số với sự thay đổi của công suất tác dụng [7].

Cơ chế điều khiển tần số sơ cấp trong máy phát truyền thống dựa trên hoạt động của bộ điều tốc, trong khi các bộ biến đổi ở chế độ VCM dựa trên quá trình điều khiển các thiết bị điện tử công suất. Sự khác biệt này cho phép điều chỉnh hệ số quan hệ  $K_p$  giữa tần số  $\omega$  và góc pha  $\theta$  trong các bài toán điều khiển đa mục tiêu. Hệ số  $K_p$  giúp đa dạng phương thức điều chỉnh tốc độ đáp ứng thay đổi công suất tác dụng của bộ biến đổi mà không gây nên ảnh hưởng tới điều khiển độ dốc vốn được đặc trưng bởi  $m_p$  [15].

Quá trình điều khiển điện áp đầu ra của bộ biến đổi ở chế độ VCM bắt đầu từ bộ điều khiển độ dốc. Nhằm tăng tốc độ đáp ứng điện áp với sự thay đổi phân bố của công suất phản kháng trong lưới, hệ số hiệu chỉnh  $\hat{n}_Q$  được đưa vào.

$$\begin{cases} v_d = V^* + n_Q(Q^* - Q_{out}) - \hat{n}_Q \frac{dQ_{out}}{dt} \\ v_q = 0 \end{cases} \quad (20)$$

Tuy nhiên, khác với tần số là đại lượng mang tính toàn cục, điện áp nút phụ thuộc vào phân bố công suất toàn lưới. Do đó mức độ thay đổi công suất phản kháng trên mỗi DG dựa trên đường đặc  $Q-V$  có điểm tham chiếu không đồng nhất. Điều này dẫn đến sự xuất hiện của các dòng quân chạy giữa các DGs. Nhằm hạn chế tác động của dòng quân, tăng tính ổn định của hệ thống đặc biệt trong các trường hợp tải phi tuyến hoặc tải không cân bằng, một số nghiên cứu đề xuất sử dụng một vòng lặp hiệu chỉnh nhằm cân bằng điện áp giữa các DGs. Hình 8 thể hiện sơ đồ điều khiển điện áp hiệu chỉnh.



Hình 8. Sơ đồ điều khiển điện áp hiệu chỉnh

Khi đó, điện áp tham chiếu trước khi đưa vào các vòng lặp điều khiển điện áp sẽ được hiệu chỉnh thông qua điện áp rơi trên điện kháng ảo  $Z_v$ . Với dòng điện đi qua điện kháng ảo  $i^s$  là đại lượng đặc trưng cho mức độ hoạt động của DGs

$$v_{ref} = V \sin \omega t - Z_v . i^s \quad (21)$$

$$Z_v = R_v + jL_v \quad (22)$$

Từ và (21) và (22) thu được:

$$v_{ref} = V \sin(\omega t) - \left( R_v \cdot i^g + L_v \frac{di^g}{dt} \right) \quad (23)$$

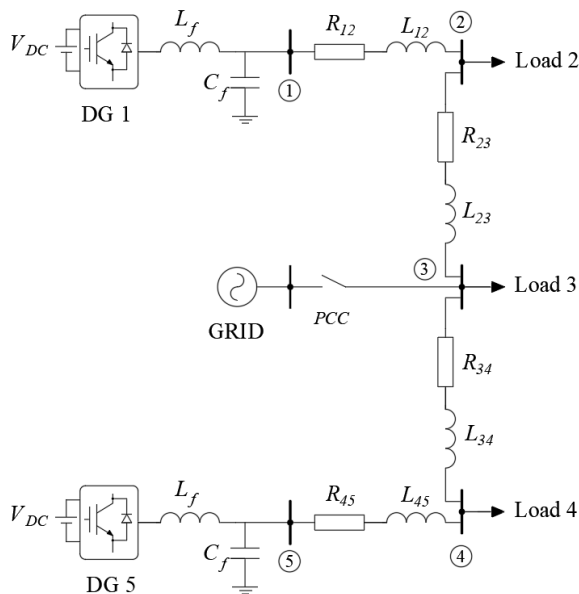
Chuyển (23) về hệ trục tọa độ quay vuông góc  $dq$ :

$$v_{dqref} = V_{dq} - \left( R_v \cdot i_{dq}^g + L_v \frac{di_{dq}^g}{dt} + j\omega L_v i_{dq}^g \right) \quad (24)$$

Vòng lặp hiệu chỉnh điện áp thông qua điện kháng ảo giúp tăng tổng trở liên kết giữa bộ biến đổi và điểm kết nối lưới điện, vì vậy mà giảm được dòng điện quân của hệ thống. Tuy nhiên, việc đưa thêm điện kháng ảo vào hệ thống có thể khuếch đại nhiều trong thành phần dòng điện  $i^g$ . Để hạn chế nhiều vào hệ thống có thể sử dụng bộ lọc thông thấp LPF. Bên cạnh đó, việc tăng tổng trở kết nối có thể khiến điện áp tại điểm kết nối lưới của bộ biến đổi giảm mạnh gây ảnh hưởng tới độ lệch điện áp các nút trong lưới đặc biệt khi tải lớn. Do vậy, quá trình tính chọn các thông số  $Z$ , cần được cân nhắc giữa các kịch bản vận hành lưới khác nhau.

#### 4. Kết quả và thảo luận

Áp dụng phương pháp điều khiển độ dốc đề xuất ở trên cho LĐPP thử nghiệm tại Hình 9. Thông số các phần tử trong sơ đồ được cho trong các Bảng 1, 2.



Hình 9. Sơ đồ lưới nghiên cứu

Quá trình mô phỏng diễn ra trong chế độ LĐPP tách đảo khỏi lưới hệ thống, DG1 và DG5 đang cấp điện cho phụ tải 2 và phụ tải 4, tại thời điểm 1,5s đóng thêm phụ tải 3. Trong đó, DG1 hoạt động ở chế độ nguồn áp, có chức năng đóng vai trò chính yếu để duy trì ổn định tần số, ổn định điện áp khi vận hành độc lập. Kết quả mô phỏng diễn tiến công suất tác dụng của các DGs được thể hiện trong Hình 10. Khi phụ tải thay đổi tại thời điểm 1,5 s, công suất phát của 2 DGs cũng thay đổi bám theo điều khiển độ dốc với hệ số độ dốc tương ứng mỗi DG trong Bảng 1.

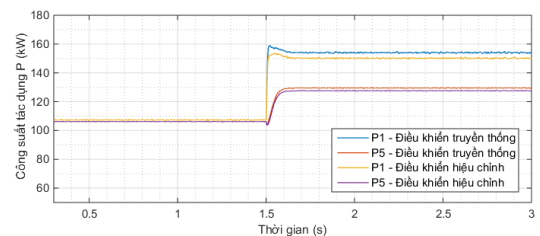
Bảng 1. Thông số DG

DG1, $S_n = 300$ kVA		DG5, $S_n = 300$ kVA	
$L_{f1}$	0,1 mH	$L_{f2}$	0,1 mH
$R_{f1}$	2,0 mΩ	$R_{f2}$	2,0 mΩ
$C_{f1}$	0,3 mF	$C_{f2}$	0,3 mF
$k_{pll1}$	1	$k_{pll2}$	1
$k_{pw1}$	300	$k_{pw2}$	300
$k_{iw1}$	10000	$k_{iw2}$	10000
$k_{pc1}$	2,5	$k_{pc2}$	2,5
$k_{ic1}$	625	$k_{ic2}$	625
$k_{pv1}$	0,3	$k_{pd2}$	0,06
$k_{iv1}$	3,0	$k_{pq2}$	60
$m_{p1}$	0,04 kW/Hz	$m_{p2}$	0,08 kW/Hz
$n_{q1}$	0,4 kVAr/V	$n_{q2}$	0,8 kVAr/V
$L_v$	0,001 H		

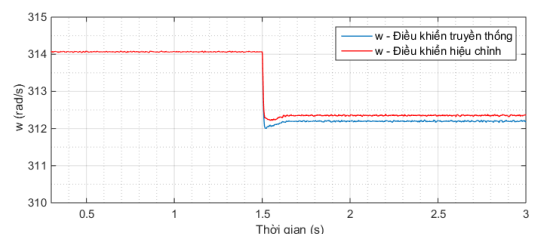
Bảng 2. Thông số lưới và tải

$S_b = 1$ MVA; $V_b = 0,4$ kV		Phụ tải	
1-2	$0,03 + j0,036 \Omega$	Phụ tải 2	$100 + j80$ kVA
2-3	$0,03 + j0,036 \Omega$	Phụ tải 3	$100 + j80$ kVA
3-4	$0,02 + j0,024 \Omega$	Phụ tải 4	$100 + j80$ kVA
4-5	$0,02 + j0,024 \Omega$		

Kết quả cho thấy, hệ số độ dốc khác nhau trên mỗi DG đóng góp trực tiếp vào quá trình phân bổ công suất phát giữa các DG. Mức độ thay đổi công suất tải được phân bổ tương ứng với khả năng của mỗi DG, qua đó tránh được tình trạng quá tải cục bộ tại một DG giúp nâng cao độ ổn định lưới điện. Tương ứng với quá trình tăng công suất phát của mỗi DG là đường độ dốc dốc xuống của tần số góc toàn lưới LĐPP được thể hiện trong Hình 11.



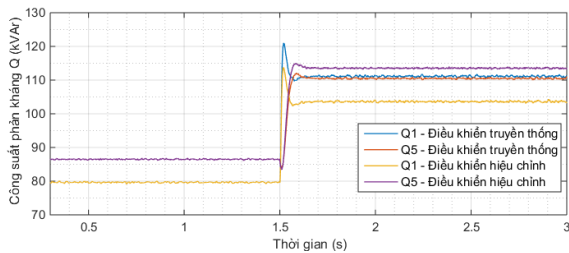
Hình 10. Công suất tác dụng của các DGs



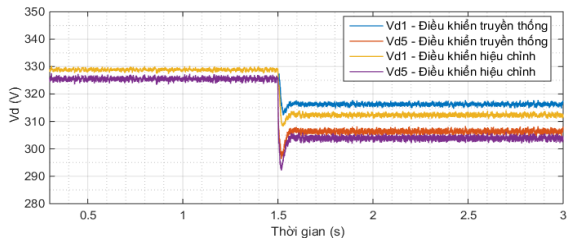
Hình 11. Tần số góc  $\omega$  (rad/s) của lưới điện

Kết quả mô phỏng tần số lưới điện khi có sự thay đổi công suất tải tại thời điểm 1,5 s trên Hình 11 thể hiện sự khác nhau khi áp dụng điều khiển hiệu chỉnh và điều khiển độ dốc truyền thống. Tần số lưới khi áp dụng điều khiển hiệu chỉnh có đặc tính tốt hơn khi mang tải nặng. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cũng cho thấy độ vượt lô tần số vẫn tồn tại trong cả hai phương pháp. Mức độ thiếu hụt quán tính trong các bộ biến đổi công suất là nguyên

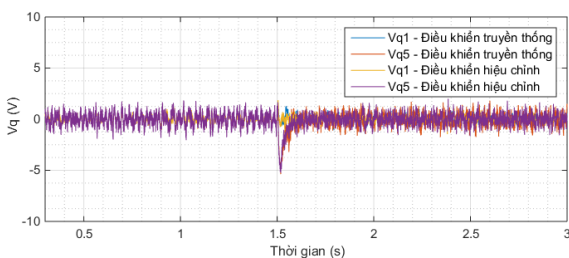
nhân chính dẫn đến sự tồn tại của độ vượt lỗi tần số.



Hình 12. Công suất phản kháng của các DGs



Hình 13. Điện áp  $V_a$  tại các nút nguồn DGs



Hình 14. Điện áp  $V_q$  tại các nút nguồn DGs

Tương tự, kết quả mô phỏng sự thay đổi công suất phản kháng phát của các DGs được thể hiện trong Hình 12. Nhận thấy, nhờ có sự tham gia của vòng lặp điều hiệu chỉnh điện áp thông qua điện kháng ảo mà tỷ lệ mức độ thay đổi công suất phản kháng đã gần với tỷ lệ hệ số độ dốc giữa các DGs. Điện áp  $V_d$ ,  $V_q$  tại nút đặt các DGs được thể hiện trong Hình 13, Hình 14. Mức chênh điện áp giữa các nút nguồn có xu hướng gia tăng khi công suất phát tăng sau thời điểm đóng bộ sung phụ tải 3.

## 5. Kết luận

Điều khiển độ dốc được áp dụng trong điều khiển sơ cấp tại các máy phát đồng bộ trong lưới điện truyền thống. Tuy nhiên, khi áp dụng trong điều khiển các DGs nối lưới thông qua bộ biến đổi công suất cần có những điều chỉnh phù hợp. Bài báo đã phân tích đặc điểm, vai trò và cấu trúc điều khiển các chế độ làm việc khác nhau của các bộ biến đổi. Trên cơ sở đó, bài báo đã đề xuất một cách thức áp dụng điều khiển độ dốc lên các bộ biến đổi nhằm phân bổ công suất giữa các DGs trong LĐPP ở chế độ độc lập khi có biến động công suất.

Mô phỏng trên lưới điện được chọn cho thấy các kết quả khả quan. Mức độ phân bổ công suất tác dụng giữa các

DGs được quyết định dựa trên hệ số độ dốc tương ứng với khả năng của mỗi DG. Do đó, tránh được tình trạng quá tải cục bộ trên một DG khi có sự biến đổi công suất phụ tải. Tần số trong lưới cũng giữ tránh khỏi các độ lệch lớn trong giai đoạn sơ cấp, các đáp ứng diễn ra trong khoảng thời gian ngắn do quá trình điều khiển diễn ra ngay trên các DGs mà không cần thông qua bộ điều khiển trung tâm. Tuy nhiên, độ vượt lỗi tần số vẫn tồn tại khi có biến động công suất do sự thiếu hụt quán tính trong các bộ biến đổi.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control". McGraw-Hill, 1994, p. 1176.
- [2] T. L. Vandoorn, J. C. Vasquez, J. De Kooning, J. M. Guerrero, and L. Vandevelde, "Microgrids: Hierarchical control and an overview of the control and reserve management strategies", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, no. 4, 2013. pp. 42–55.
- [3] N. Pogaku, S. Member, M. Prodanovic, T. C. Green, and S. Member, "Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 2, 2007. pp. 613–625.
- [4] A. Khaledian and M. Aliakbar Golkar, "Analysis of droop control method in an autonomous microgrid", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 15, no. 4, 2017. pp. 371–377.
- [5] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. De Vicuña, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A general approach toward standardization", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 1, 2011. pp. 158–172.
- [6] A. Bidram, S. Member, and A. Davoudi, "Hierarchical Structure of Microgrids Control System", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012. pp. 1–14.
- [7] Y. A. R. I. Mohamed and E. F. El-Saadany, "Adaptive decentralized droop controller to preserve power sharing stability of paralleled inverters in distributed generation microgrids", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 6, 2008. pp. 2806–2816.
- [8] R. Majumder, A. Ghosh, G. Ledwich, and F. Zare, "Angle droop versus frequency droop in a voltage source converter based autonomous microgrid", *2009 IEEE Power and Energy Society General Meeting, PES '09*. 2009.
- [9] Y. Li and L. Fan, "Stability Analysis of Two Parallel Converters with Voltage-Current Droop Control", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 6, 2017. pp. 2389–2397.
- [10] M. S. Golsorkhi and D. D. C. Lu, "A control method for inverter-based islanded microgrids based on V-I droop characteristics", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, no. 3, 2015. pp. 1196–1204.
- [11] J. Rocabert, A. Luna, F. Blaabjerg, and P. Rodríguez, "Control of Power Converters in AC Microgrids", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 11, Nov. 2012. pp. 4734–4749.
- [12] S. Chung, "Phase-locked loop for grid-connected three-phase power conversion systems", *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 147, no. 3, 2000. pp. 213–219.
- [13] R. Yazdani, A., & Iravani, "Voltage-sourced converters in power systems: Modeling, control, and applications". Wiley, 2010, pp. 211–217.
- [14] A. Yazdani and R. Iravani, "A unified dynamic model and control for the voltage-sourced converter under unbalanced grid conditions", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 3, 2006. pp. 1620–1629.
- [15] C. K. Sao and P. W. Lehn, "Autonomous load sharing of voltage source converters", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 2 I, 2005. pp. 1009–1016.