

Điều khiển thích nghi mới chia công suất tác dụng và công suất phản kháng trong chế độ lưới độc lập

- Lê Minh Phương
- Hoàng Võ Đức Duy
- Phạm Thị Xuân Hoa
- Nguyễn Minh Huy
- Võ Ngọc Điều – Email: vndieu@gmail.com

Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bản nhận ngày 23 tháng 8 năm 2016, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 26 tháng 11 năm 2016)

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kỹ thuật điều khiển mới chia tải cho các bộ nghịch lưu ba pha kết nối song song trong lưới độc lập. Trong đó đề xuất phương pháp điều khiển droop mới với các bộ PID thích nghi thay cho bộ tích phân thông thường cũng như kết hợp truyền thông giữa các bộ nghịch lưu song song. Từ đó công suất tác dụng và công suất phản kháng được chia chính xác trong điều kiện nhiều bộ nghịch lưu làm việc song song với sự khác biệt rõ rệt giữa tổng trở đường dây, sự thay đổi liên tục của tải. Ngoài ra bài báo trình bày khả năng đáp ứng khi đường truyền thông tin bị gián đoạn mà vẫn giữ được sai số trong giới hạn cho phép. Mô

hình điều khiển được mô phỏng bằng Matlab-Simulink cho ba bộ biến tần nguồn áp kết nối song song. Khi kết hợp đường truyền thông tin từ trung tâm điều khiển, sai số chia công suất tác dụng vào khoảng 0.2% và công suất phản kháng là 0.6%. Và khi mất kết nối đường truyền, sai số chia công suất tác dụng vẫn đạt 0.4% và công suất phản kháng là 2%. Kết quả mô phỏng này đã chứng minh tính đúng đắn của kỹ thuật được đề xuất cũng như ưu điểm vượt trội so với sơ đồ điều khiển Droop truyền thống ngay cả khi tổng trở ngõ ra có tính trở và kháng trong bài toán chia công suất và bài toán giảm sụt áp tải.

Từ khóa: Các bộ nghịch lưu song song, điều khiển Droop, chia công suất tác dụng, công suất phản kháng.

1. GIỚI THIỆU

Việc áp dụng hệ thống nguồn phân tán (DG) đã gia tăng nhanh chóng trong những thập kỷ qua. So với nguồn phát truyền thống, nguồn DG có lợi thế ít ô nhiễm hơn, hiệu quả cao hơn

trong việc sử dụng năng lượng, vị trí lắp đặt linh hoạt hơn, và truyền tải điện năng ít hao tổn. Hầu hết các đơn vị DG được kết nối với lưới điện cần thông qua các bộ chuyển đổi như bộ cộng hưởng, bảo vệ can thiệp, vv. Việc này tốn nhiều

chi phí và không thể sánh bằng so với lưới truyền thống. Để khắc phục những vấn đề trên, khái niệm microgrid lần đầu tiên được đề xuất tại Mỹ bởi Consortium cho công nghệ ổn định hệ thống điện [1]. So với sử dụng một đơn vị DG đơn, microgrid có thể cung cấp công suất vượt trội trong mạng lưới phân phối. Hơn nữa, các microgrid có thể hoạt động trong chế độ nối lưới hoặc chế độ độc lập có lợi cho cả lưới điện và khách hàng trong nền kinh tế thị trường [2] - [7].

Trong chế độ lưới độc lập, tải trong microgrid nên được chia sẻ bởi nhiều nguồn DG. Thông thường, điều khiển droop truyền thống hoạt động tương tự như một máy phát điện đồng bộ trong hệ thống điện, mà không cần sử dụng truyền thông liên lạc [8] - [14], [21],[22]. Việc chia công suất tác dụng có thể đạt được bằng phương pháp droop thông thường. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của sự thiếu cân bằng trở kháng đường dây, công suất tác dụng sẽ không được chia sẻ một cách chính xác. Trong những tình huống xấu, nó có thể gây ra công suất phản kháng tăng cao và thiếu ổn định [11].

Để khắc phục các vấn đề chia sẻ công suất, một vài phương pháp cải tiến đã được đề xuất. Cụ thể, có chủ yếu ba phương pháp giải quyết các tác động của trở kháng đường dây. Phương pháp đầu tiên là dùng trở kháng ảo bằng cách thay đổi điện áp tham chiếu dựa trên thông tin phản hồi từ các DG khác [11], [13],[14], [23]. Phương pháp này có thể làm giảm lỗi trong chia công suất phản kháng bằng cách giảm chênh lệch giữa các trở kháng đầu ra. Tuy nhiên, với việc dùng trở kháng ảo có thể dẫn đến sự sụt giảm của chất lượng điện áp.

Cách tiếp cận thứ hai được dựa trên kỹ thuật tiêm tín hiệu nhỏ. Trong [15], một tín hiệu

DC có chứa thông tin công suất phản kháng được đưa vào tham chiếu điện áp đầu ra của từng nguồn DG, và công suất phản kháng được giới hạn để cải thiện tính chính xác của việc chia công suất phản kháng. Tuy nhiên, kết quả từ phương pháp này gây méo dạng điện áp đầu ra.

Ngoài ra, phương pháp thứ ba thường dựa trên phương pháp thích nghi và bù công suất. Trong [17], phương pháp xây dựng một bộ điều khiển tích phân tác động đến điện áp thanh cái để đảm bảo việc chia sẻ công suất. Các thông số tính toán dựa trên sự thay đổi công suất giúp bộ điều khiển thích khi tốt khi tải thay đổi liên tục. Tuy nhiên, trong tình hình thực tế, thông tin về điện áp thanh cái rất khó để truyền đi khi khoảng cách giữa nguồn DG lớn.

Trong một phân tích khác ở [24] đề ra giải thuật dùng trở kháng thích nghi kết hợp với truyền thông. Kết quả đạt được rất khả quan với sai số công suất phản kháng giảm sâu (chỉ còn 1% đến 3%). Tuy nhiên vì chỉ áp dụng giải thuật droop thông thường để chia công suất tác dụng đã khiến công suất tác dụng bị sai lệch và mất tính thích nghi.

Hệ thống truyền thông liên lạc được sử dụng để nâng cao hiệu suất điều khiển Droop. Kỹ thuật này có thể giảm sai sót trong việc chia công suất dù không thể loại bỏ hoàn toàn. Tuy nhiên khi khoảng cách giữa các DG lớn, sự cố có thể xảy ra với nhiều hơn, giảm độ tin cậy hệ thống.

Một giải thuật điều khiển phân phối khác được phát triển nhằm khôi phục tần số và điện áp, cũng như đảm bảo tính chính xác chia công suất khi trường hợp mất tín hiệu kết nối giữa các DG diễn ra. Trong kỹ thuật này, bộ điều khiển thực hiện trong mỗi đơn vị DG thay vì thực hiện nó ở trung tâm quản lý của lưới microgrid. Dù

kết quả đạt được có thể không bằng so với giải thuật kết nối giữa các DG nhưng nó góp phần quan trọng đảm bảo tính an toàn hệ thống.

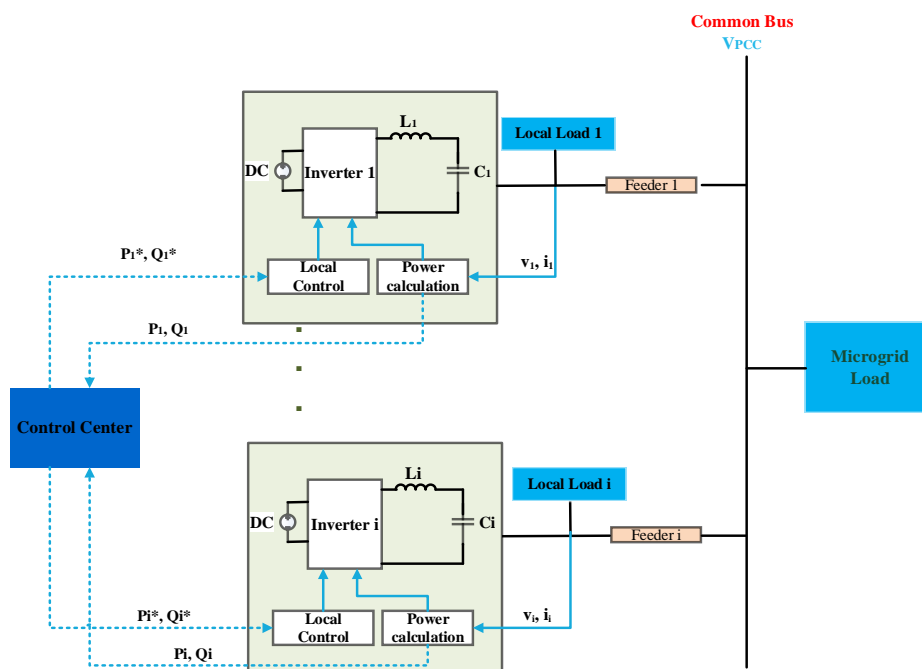
Trong bài báo này, chúng ta sẽ dùng phương pháp trở kháng thích nghi với bộ điều khiển công suất tác dụng để khắc phục sự sai lệch công suất tác dụng trước đó mà vẫn đạt được độ chính xác cao khi chia tải. Thông tin truyền thông giúp điều chỉnh trở kháng ảo liên tục để bù vào sự thiếu hụt điện áp bởi chênh lệch trở kháng đường dây. Nếu gián đoạn giữa các đường dây diễn ra, giải thuật điều khiển độc lập được áp dụng giúp nhanh chóng tái lập trạng thái cân bằng. Độ chính xác công suất vẫn nằm trong giới hạn cho phép của hệ thống. Trong các phần sau, kết quả mô phỏng sẽ chứng minh độ chính xác của hai giải thuật là hoàn toàn vượt trội so với giải thuật điều khiển Droop truyền thống.

Tiếp theo ở phần II, chúng ta sẽ xem xét giải thuật truyền thông và phân tích sai số chia công suất tác dụng và công suất phản kháng. Phần III là phương pháp đề xuất sử dụng đường truyền thông tin liên lạc và khi mất kết nối xảy ra giúp việc chia tải cho bộ nghịch lưu chính xác và nhanh chóng. Phần IV là kết quả thí nghiệm trên Matlab và thực nghiệm.

2. GIẢI THUẬT TRUYỀN THÔNG

2.1. Mô hình lưới Microgrid độc lập

Mô hình lưới Microgrid độc lập với đường truyền thông tin được thể hiện ở hình 1. Trong đó các nguồn DG kết nối với bus chung thông qua trở kháng đường dây và các tải kết nối với lưới được tính như một tải chung duy nhất. Trong đó trở kháng đường dây bao gồm cả cảm kháng và trở kháng của dây cáp và máy biến áp.

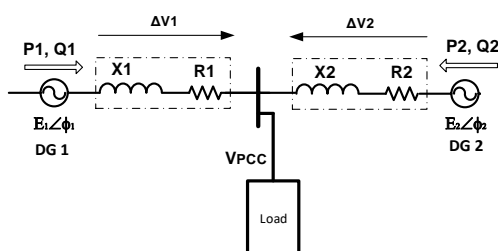


Hình 1. Mô hình lưới Microgrid độc lập với đường truyền thông tin truyền thống.

Trong mỗi đơn vị DG thì gồm có một nguồn năng lượng (có thể là PV hay turbin gió..), một bộ nghịch lưu ba pha và bộ lọc LC. Trong lưới Microgrid, từng đơn vị DG có thể gửi thông tin công suất của mình về trung tâm (Control Center) thông qua một đường truyền liên lạc. Sau khi nhận được thông tin trả về từ trung tâm, bộ điều khiển ở từng inverter sẽ tính toán được điện áp và tần số thích hợp.

2.2. Phân tích công suất tác dụng.

Những phân tích sau đây sẽ được thực hiện đối với các trường hợp với hai bộ nghịch lưu, tuy nhiên có thể được áp dụng cho nhiều bộ nghịch lưu kết nối song song. Các bộ nghịch lưu trong hình 2 có thể được coi là tập hợp các nguồn của các mạng điện phân phối và là nguồn áp được kết nối với thanh cái tải chung thông qua đường dây. Để đơn giản trong việc phân tích ta giả thiết các đường dây có điện trở lần lượt là R_1 và R_2 và thành phần cảm của đường dây là không đáng kể.



Hình 2. Hai bộ nghịch lưu hoạt động song song

Các điện áp tham chiếu tương ứng của hai bộ nghịch lưu

$$\begin{cases} v_{ref1} = \sqrt{2}E_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) \\ v_{ref2} = \sqrt{2}E_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2) \end{cases} \quad (1)$$

Như sẽ được giải thích, để đạt được chia công suất chính xác, tất cả các bộ nghịch lưu

phải có cùng điện áp tại điểm kết nối tải $v_{pcc} = V_{pcc} \angle 0$. Như vậy

$$v_{pcc} = v_{ref1} - R_1 i_1 = v_{ref2} - R_2 i_2 \quad (2)$$

Các hệ số m và n và được xác định dựa trên công suất định mức và sai lệch tối đa cho phép của tần số và điện áp.

$$n = \frac{V_{pcc \max} - V_{pcc \min}}{Q_{\max}} \quad m = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{P_{\max}}$$

Trong một microgrid với N bộ nghịch lưu kết nối song song, và để cho các bộ nghịch lưu có thể chia sẻ công suất theo tỷ lệ, các hệ số droop của nghịch lưu phải tỷ lệ nghịch với công suất định mức tức là, n_i , m_i và phải thỏa mãn các ràng buộc sau đây.

$$\begin{cases} n_1 P_1 = n_2 P_2 = \dots = n_N P_N = \Delta E_{\max} \\ m_1 Q_1 = m_2 Q_2 = \dots = m_N Q_N = \Delta \omega_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó, $\Delta \omega_{\max}$ và ΔE_{\max} là độ lệch tốc độ góc và điện áp tối đa cho phép, P_i và Q_i là công suất tác dụng, công suất phản kháng định mức nguồn thứ i . Từ biểu thức (3) có thể suy ra

$$\frac{n_1}{m_1} = \frac{n_2}{m_2} = \dots = \frac{n_N}{m_N} \quad (4)$$

Ta tính được công suất tác dụng cung cấp bởi từng bộ nghịch lưu như sau:

$$P_1 = \frac{E^* \cos \phi_1 - V_{pcc}}{n_1 \cos \phi_1 + \frac{R_1}{V_{pcc}}} \quad P_2 = \frac{E^* \cos \phi_2 - V_{pcc}}{n_2 \cos \phi_2 + \frac{R_2}{V_{pcc}}} \quad (5)$$

Để hai bộ nghịch lưu chia công suất chính xác theo tỷ lệ, phải thỏa mãn điều kiện (3), nghĩa là:

$$n_1 P_1 = n_2 P_2 \Leftrightarrow \frac{E^* \cos \phi_1 - V_{pcc}}{\cos \phi_1 + \frac{R_1}{n_1 V_{pcc}}} = \frac{E^* \cos \phi_2 - V_{pcc}}{\cos \phi_2 + \frac{R_2}{n_2 V_{pcc}}} \quad (6)$$

Từ đó ta suy ra, để thỏa mãn điều (6) thì

$$\begin{cases} \frac{n_1}{R_1} = \frac{n_2}{R_2} \\ \phi_1 = \phi_2 \end{cases} \quad (7)$$

Nói cách khác n_i nên được chọn sao cho tỷ lệ với điện trở đầu ra R_1 và độ lệch điện áp của từng bộ nghịch lưu phải bằng nhau.

Ta tính được chênh lệch điện áp giữa hai bộ nghịch lưu:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E^* \cos \phi_1 - V_{pcc}}{\cos \phi_1 + \frac{R_1}{n_1 V_{pcc}}} - \frac{E^* \cos \phi_2 - V_{pcc}}{\cos \phi_2 + \frac{R_2}{n_2 V_{pcc}}} \quad (8)$$

Nếu (7) thỏa mãn thì (6) thỏa mãn và khi đó

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 0 \Leftrightarrow E_1 = E_2$$

Như vậy điều kiện để hai bộ nghịch lưu chia đều công suất tác dụng là

$$\begin{cases} E_1 = E_2 \\ \frac{n_1}{R_1} = \frac{n_2}{R_2} \end{cases} \quad (9)$$

Chênh lệch công suất tác dụng phụ thuộc vào độ lệch điện áp:

$$\Delta P_i = -\frac{1}{n_i} \Delta E_i \quad (10)$$

Sai số chia công suất được xác định theo công thức:

$$e_p \% = \frac{P_1}{P_1^*} - \frac{P_2}{P_2^*} = \frac{E^* - E_1}{n_1 P_1^*} - \frac{E^* - E_2}{n_2 P_2^*} = \frac{E^*}{n_i P_i^*} \Delta E \quad (11)$$

Nó cho thấy rằng việc chia công suất giữa các DG phụ thuộc nhiều vào trở kháng đường dây. Khi trở kháng đường dây chênh lệch lớn nó gây ra sụt áp ở ngõ ra PCC, khiến công suất khó đạt được giá trị mong muốn ban đầu.

Điện áp droop có thể viết lại như sau:

$$\Delta E_i = E_i - E^* = -n_i P_i \quad (12)$$

Và điện áp E_i có thể xác định qua việc lấy tích phân ΔE_i :

$$E_i = \int_0^t \Delta E_i dt \quad (13)$$

Trong trạng thái xác lập tích phân bằng là 0, do đó

$$n_i P_i = k_e (E^* - V_{pcc}) \quad (14)$$

Điều kiện để các bộ nghịch lưu làm việc song song và chia công suất tác dụng tỷ lệ với công suất định mức của chúng thì phải thỏa mãn điều kiện (3), có nghĩa là là vế phải luôn của biểu thức (14) bằng nhau đối với tất cả các bộ nghịch lưu. Điều này thực hiện bằng cách lựa chọn giá trị k_e của các bộ nghịch lưu là như nhau, tức là

$$n_i P_i = K_e (E^* - V_{pcc}) = const \quad (15)$$

Như vậy đảm bảo chia công suất tác dụng chính xác theo tỷ lệ mà không cần điều khiển cho điện áp các bộ nghịch lưu E_i phải bằng nhau như trường hợp bộ điều khiển droop thông thường. Độ chính xác của việc chia sẻ công suất tác dụng không còn phụ thuộc vào trở kháng đầu ra biến tần (bao gồm cả trở kháng đường dây) và cũng là không bị ảnh hưởng với các lỗi tính toán số học và rối loạn.

Sai số trong việc chia sẻ công suất tác dụng xuất phát từ lỗi trong đo lường giá trị hiệu dụng của điện áp tải. Từ (14), độ lệch công suất tác dụng ΔP_i do sai số đo lường trị hiệu dụng điện áp ΔV_{pcc} được xác định:

$$\Delta P_i = -\frac{k_e}{n_i} \Delta V_{pcc} \quad (16)$$

Đối với hai bộ nghịch lưu hoạt động song song với công suất định mức P_1^*, P_2^* , Tỷ lệ sai số chia công suất với sai số đo lường trị hiệu dụng điện áp $\Delta V_{pcc} = V_2 - V_1$ được xác định

$$e_p \% = \frac{P_1}{P_1^*} - \frac{P_2}{P_2^*} = \frac{\Delta P_1}{P_1^*} - \frac{\Delta P_2}{P_2^*} = \frac{k_e E^*}{n_i P_i^*} \frac{\Delta V_{pcc}}{E^*} \quad (17)$$

Nếu cảm biến đo tại điểm nối chung là chính xác thì ΔV_{pcc} bằng 0 thì việc chia sẻ công suất chính xác có thể đạt được. $e_p\%$ là phần trăm sai số chia tải và tỷ lệ với tỷ lệ sai số đo lường $\Delta V_{pcc}/E^*$. Nếu điện áp V_{pcc} của tất cả các bộ nghịch lưu được đo lường chính xác và bằng nhau thì sai số chia công suất tác dụng theo tỷ lệ sẽ bằng 0.

Sơ đồ điều khiển cho phép giảm sụt giảm trong điện áp tải. Từ (6), điện áp tải là

$$V_{pcc} = E^* - \frac{n_i}{k_e} P_i = E^* - \frac{n_i P_i}{k_e E^*} E^* \quad (18)$$

Theo sơ đồ điều khiển đề xuất có thể bù sự sụt giảm điện áp do ảnh hưởng tải và hiệu ứng droop và do đó, cung cấp khả năng tốt hơn nhiều điều chỉnh điện áp. Sự sụt giảm điện áp ở đây không còn được quyết định bởi các trở kháng đầu ra như trong sơ đồ truyền thống mà phụ

thuộc vào thông số n_i, k_e và công suất P_i . Độ sụt áp $n_i P_i^*/k_e E^*$ điều khiển giảm bằng cách tăng k_e . Tuy nhiên, khi có sai số trong các phép đo điện áp hiệu dụng giữa các bộ nghịch lưu, thì phải cân nhắc giữa cải thiện chất lượng điện áp và độ chính xác của việc chia công suất vì sự sụt giảm điện áp tỷ lệ thuận với n_i/k_e nhưng sai số chia công suất lại tỉ lệ nghịch với n_i/k_e .

2.3. Phân tích công suất phản kháng

Hiệu quả của sự sai lệch trở kháng đường dây trên công suất phản kháng được kiểm tra trong phần này bằng cách phân tích điện áp rơi trên điện trở nguồn. Điện áp rơi này có thể được xấp xỉ như sau, giống như trong [27], [28] :

$$V \approx \frac{XQ + RP}{V_0} \quad (19)$$

Trong đó R và X là phần thực và ảo của trở kháng đường dây. P, Q là công suất tác dụng và phản kháng chảy qua trở kháng, V_0 là điện áp ngõ ra DG. Tổng quát, hai DG như trong hình 2 được nghiên cứu ở phần này, điện áp rơi trên Trở kháng nguồn 1 và Trở kháng nguồn 2 xấp xỉ như sau:

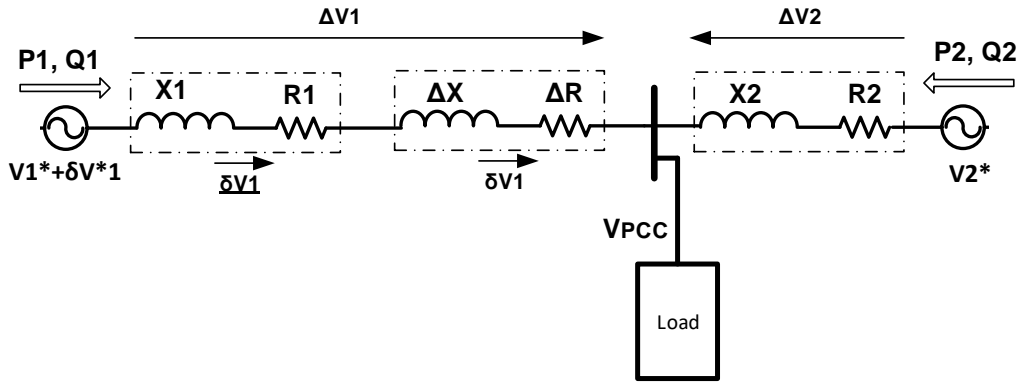
$$V_1 \approx \frac{X_1 Q_1 + R_1 P_1}{V_0} \quad (20)$$

$$V_2 \approx \frac{X_2 Q_2 + R_2 P_2}{V_0} \quad (21)$$

Sự sai lệch trở kháng đường dây tính như sau:

$$X = X_1 - X_2 \quad (22)$$

$$R = R_1 - R_2 \quad (23)$$



Hình 3. Mạng nhìn từ DG 1.

Từ (22) và (23), mạng có thể được xem từ DG 1 như hình 3, trong đó V_1^* and V_2^* là điện áp tham chiếu từ bộ Droop control. R và X là phần thực và ảo của trở kháng đường dây 2 (R_2 và X_2) được chọn làm tham chiếu để tính toán sự sai lệch. R_v và X_v là trở kháng ảo được dùng trong bộ điều khiển. δV_1^* là sự thay đổi điện áp tham chiếu do bộ điều khiển và về sau có tác dụng nâng cao hiệu quả của droop control. Chú ý rằng với thiết kế phù hợp của bộ điều khiển điện áp, điện áp điều khiển và điện áp đo tại ngõ ra tụ lọc DG là phù hợp với điện áp tham chiếu $V_1^* + \delta V_1^*$ và V_1^* khi xác lập. P_1, Q_1, P_2 , và Q_2 là công suất được đo tại ngõ ra của DG. Dựa vào hình 3 và (21) ta có

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &\approx \frac{(X + \Delta X)Q_1 + (R + \Delta R)P_1}{V_0} \\ &= \frac{XQ_1 + RP_1}{V_0} + \frac{\Delta XQ_1 + \Delta RP_1}{V_0} \\ &= \overline{\Delta V_1} + \delta V_1 \end{aligned}$$

Như trong hình 3, ΔV_1 là tổng điện áp rơi trên trở kháng đường dây 1 ($X + \Delta X$ và $R + \Delta R$). δV_1 là điện áp sai lệch giữa trở kháng đường dây 1 và trở kháng đường dây 2 (ΔX và ΔR). Điện áp này sẽ gây ra sự mất cân bằng giữa các DG ([29], [27], [30], [28]). Một giải pháp cho vấn đề

này là dùng trở kháng ảo $X_v = -\Delta X$ và $R_v = -\Delta R$ dẫn đến $Q_{pcc1} = Q_{pcc2}$ và $P_{pcc1} = P_{pcc2}$. Một điều rất quan trọng rằng nếu các DG có thứ tự ưu tiên khác nhau thì điện kháng nguồn (X) và điện trở nguồn (R) phải được sửa đổi tỷ lệ nghịch với Q và P tương ứng để đạt được tỷ lệ chia công suất thích hợp. Hạn chế của giải thuật này là việc đòi hỏi phải biết trước trở kháng đường dây mà đôi khi là rất khó khăn.

Một cách khác để giải quyết, như trong báo cáo đề cập là dùng điện áp bù thay cho trở kháng. Tổng quát, trường hợp hai DG được phân tích như sau.

Khi chỉ có bộ Droop control, V_1^* and V_2^* được tính như sau:

$$V_1^* = V_{pcc} + \overline{\Delta V_1} + \delta V_1 \quad (24)$$

$$V_2^* = V_{pcc} + \overline{\Delta V_2} \quad (25)$$

Hiệu quả của sự sai lệch điện áp do ΔX và ΔR trong chia công suất phản kháng có thể bù bằng cách thay đổi V_1^* như sau:

$$V_1^* + \delta V_1^* = V_{pcc} + \overline{\Delta V_1} + \delta V_1 \quad (26)$$

Giả định rằng một bộ điều khiển có thể được thiết kế như vậy mà bất cứ lúc nào:

$$\delta V_1^* = \delta V_1. \quad (27)$$

Do đó, (24) có thể được giảm xuống:

$$V_1^* = V_{pcc} + \overline{\Delta V}_1 \quad (28)$$

Mặc dù ΔV_1 vẫn không bằng ΔV_2 , nhưng tác dụng δV_1 trong chia công suất phản kháng sẽ được bù đắp. Ví dụ như mỗi khi δV_1 tăng do tải, bộ điều khiển sẽ tăng δV_1^* tương ứng. Điều này có thể thực hiện bằng cách dùng trở kháng ảo và đường truyền truyền thông như trong phần tới.

Tính khả thi của các điều kiện trong (27) có thể tiếp tục làm rõ bằng cách dùng trở kháng ảo và xấp xỉ trong (19). Xem xét việc sử dụng một trở kháng ảo để tạo ra δV_1^* , từ hình 3:

$$-\delta V_v = \delta V_1^* \quad (29)$$

Sử dụng xấp xỉ tại (17), điều kiện (25) có thể viết như sau:

$$-\frac{X_v Q_1 + R_v P_1}{V_0} \approx \frac{\Delta X Q_1 + \Delta R P_1}{V_0} \quad (30)$$

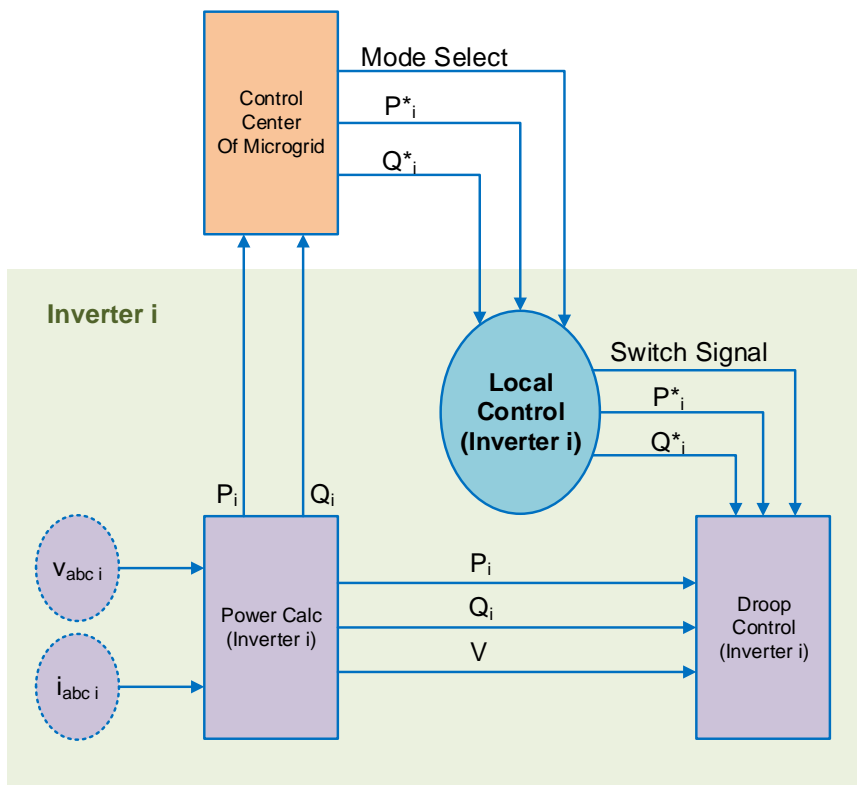
Đáp ứng (30) là không thực tế như đã nêu ra ở mục II. Tuy nhiên (30) có thể được đơn giản hóa bằng cách :

$$K_v^{\sim} = X_v = R_v \quad (31)$$

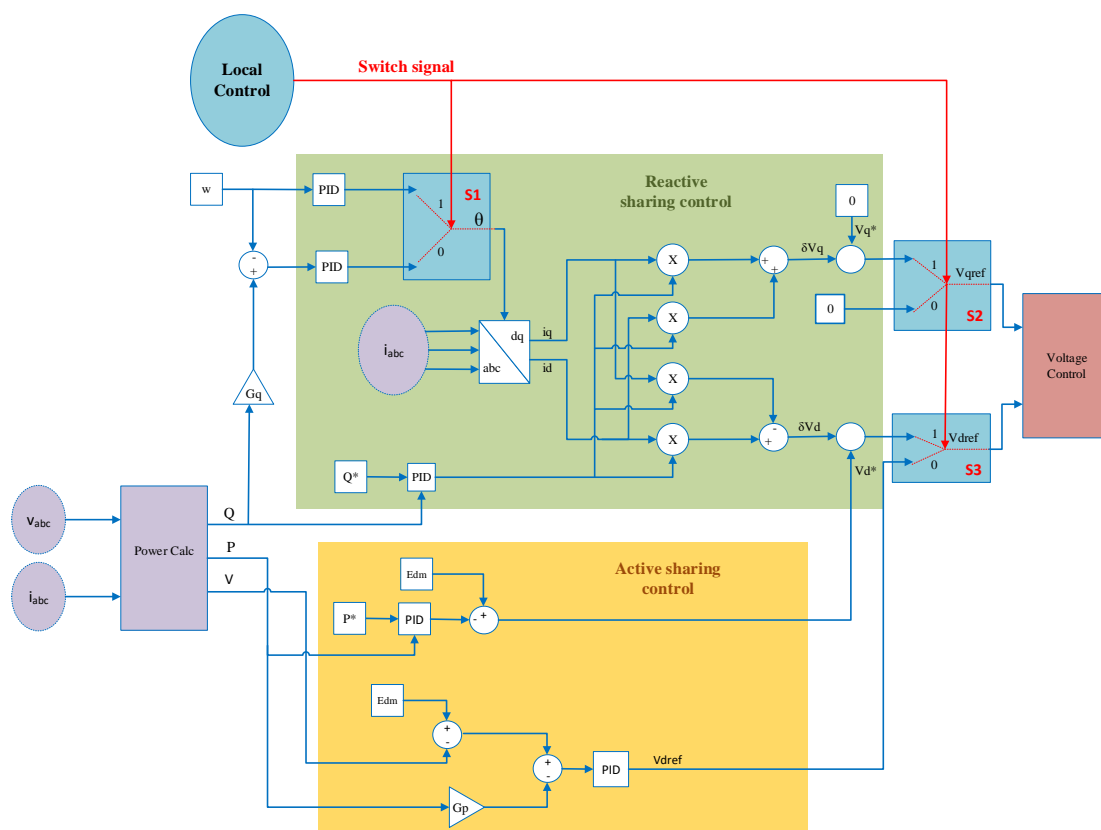
Trong đó K_v^{\sim} là biến trở kháng ảo. Điều kiện (31) sẽ cho thấy tính khả thi của bộ điều khiển ở phần sau. Thay (31) vào (30) và sắp xếp lại:

$$K_v^{\sim} \approx -\frac{\Delta X Q_1 + \Delta R P_1}{Q_1 + P_1} \quad (32)$$

Có thể thấy từ (32), với bất kỳ giá trị nào của ΔX , ΔR , P_1 , Q_1 đều có một K_v^{\sim} tương ứng phù hợp điện áp trong điều kiện (27).



Hình 4. Sơ đồ truyền tín hiệu của các bộ nghịch lưu.



Hình 5. Mạch điều khiển P và Q.

Có thể thấy được rằng khi một DG nhận được giá trị Q^* chính xác của riêng mình từ trung tâm điều khiển (kết hợp từ thông tin của các DG khác), giải thuật hoàn toàn có thể chia chính xác tỷ lệ công suất cho các DG, cũng như bù đắp sự sụt ΔV cho từng DG khác nhau.

3. SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN ĐỀ XUẤT

3.1. Mạch điều khiển P và Q.

Mạch truyền tín hiệu giữa các bộ nghịch lưu và trung tâm điều khiển (Center Control) được trình bày như hình 4. Trong đó bộ tính toán công suất sẽ gửi công suất đo đạc cũng như trạng thái đường truyền tại nơi đó lên trung tâm, từ đó trung tâm sẽ gửi giá trị P_{rated} , Q_{rated} và Mode Select về lại cho Local Control. Local Control sẽ phân phối lại các giá trị P^* và Q^*

này, đồng thời dựa vào Mode Select hiện tại mà điều khiển các Switch (S1, S2, S3) trong mạch điều khiển cho phù hợp.

Mạch điều khiển đề xuất (Hình 5) gồm có các khối chính như sau:

- Khối điều khiển công suất phản kháng Q: gần giống với sơ đồ trở kháng ảo thích nghi ở [24] với các hệ số PID và K_v được điều chỉnh cho phù hợp.
- Khối điều khiển công suất tác dụng P : Khắc phục nhược điểm của sơ đồ [24] giúp chia công suất tác dụng chính xác mà không làm giảm suy giảm điện áp, cũng như hoạt động tốt ở chế độ độc lập.

Trong mạch điều khiển Q, giá trị Q^* được lấy từ thông tin của trung tâm điều khiển đưa

xuống (qua Local Control) để từ đó tạo ra giá trị K_v trở kháng ảo phù hợp với từng điều kiện nhất định giúp cân bằng công phản kháng Q giữa các DG với nhau. Ở mỗi thời điểm tùy theo sự thay đổi tải và chế độ ưu tiên của các bộ nghịch lưu, trung tâm điều khiển sẽ đưa ra giá trị Q^* phù hợp. Cách điều khiển này giúp Q đo có thể bám chính xác giá trị Q^* đặt ra để từ đó chia chính xác công suất phản kháng.

Bảng 1. Các chế độ điều khiển và Switch.

Mode Select	P*, Q* Signal	Switch Signal		
		S1	S2	S3
0	Mất tín hiệu P*, Q*	0	0	0
1	Có tín hiệu P*, Q*	1	1	1
2	Có tín hiệu P*, mất tín hiệu Q*	0	0	1
3	Có tín hiệu Q*, mất tín hiệu P*	1	1	0

Như trong bảng 1, ta có thể thấy ứng với mỗi chế độ nhận được từ trung tâm điều khiển Microgrid, bộ điều khiển nội bộ (Local Control) của từng bộ nghịch lưu sẽ điều chỉnh các công tắc S1, S2, S3 phù hợp. Trong đó S1 sẽ điều khiển tần số, S2 sẽ điều khiển V_{q^*} và S3 điều khiển V_{d^*} . Ở chế độ 0 và 1, ba công tắc này cũng chuyển đổi trạng thái đồng thời. Còn trong chế độ 2 và 3, S1 và S2 chuyển sang 1 khi có tín hiệu công suất phản kháng, còn S3 chuyển sang 1 khi có tín hiệu công suất tác dụng.

Khi đường truyền bị gián đoạn, Q^* không còn đủ tin cậy, bộ Local Control sẽ phát hiện và chuyển đổi về Mode 0 hoặc Mode 2. Và ở chế độ điều khiển độc lập này thì Q đo sẽ tham gia vào hiệu chỉnh tần số góc ω thông qua một bộ điều khiển PID. Từ đó công suất phản kháng

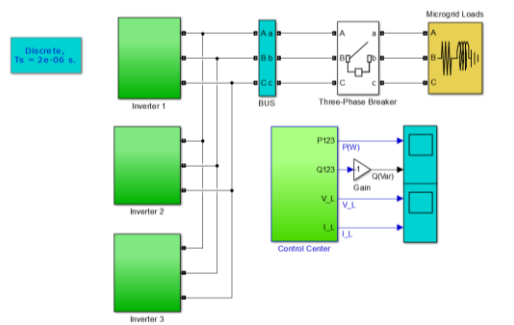
luôn được điều khiển chính xác, tuy nhiên sụt áp có thể diễn ra nên ta cần thêm mạch điều khiển P có tác dụng điều chỉnh V_{dref} phù hợp.

Giống như mạch điều khiển Q thì P^* trong mạch điều khiển P cũng lấy tín hiệu từ trung tâm đưa xuống. Qua đó tính được V_{d^*} phù hợp cho mạch điều khiển Q ở trên, cũng như đảm bảo P được điều khiển chính xác theo yêu cầu từ trung tâm (Mode 1 và Mode 2).

Ở chế độ độc lập mất tín hiệu P^* (Mode 0 và Mode 3), P được điều khiển ở dạng bù điện áp, vừa có tác dụng khôi phục điện áp vừa giúp chia công suất tác dụng P theo tỷ lệ ưu tiên của các bộ nghịch lưu. Ngõ ra của bộ điều khiển V_{dref} được đưa vào bộ chuyển đổi Mode.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG THÍ NGHIỆM.

Trong phần này, một lưới microgrid gồm ba bộ nghịch lưu song song được mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink như trong hình 6. Mô hình này dựa theo cấu trúc hình 1 gồm có các bộ nghịch lưu song song, một trung tâm điều khiển, trở kháng đường dây và tải chung. Trong đó trở kháng đường dây bao gồm cả cảm kháng và trở kháng của dây cáp và máy biến áp. Giá trị trở kháng của từng bộ nghịch lưu được đặt khác nhau nhằm mô phỏng gần chính xác nhất với thực tế. Ba bộ nghịch lưu có công suất định mức là 3kW với các thông số được trình bày trong bảng 2 và bảng 3 theo phương pháp đề xuất. Đường truyền liên lạc được thực hiện giữa trung tâm và các bộ nghịch lưu. Kết quả mô phỏng như sau:



Hình 6. Mô hình kết nối chia tải ba bộ nghịch lưu trong Simulink.

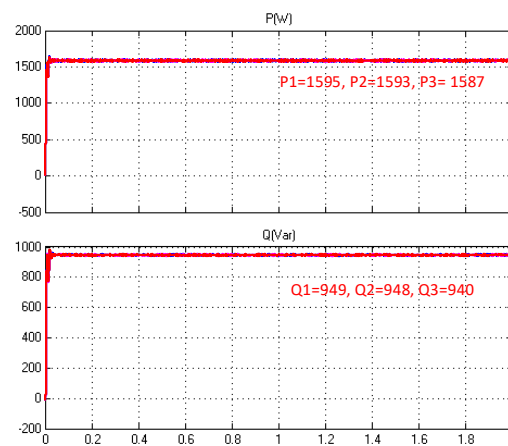
Bảng 2. Các thông số cơ bản của các biến tần.

Ký hiệu	Tham số	Giá trị
E^* (V)	Điện áp ngõ ra danh định	311
ω^* (rad/s)	Tần số danh định	$2\pi 50$
n (V/W)	Hệ số droop điện áp	1×10^{-2}
m (Hz/Var)	Hệ số droop tần số	34.3×10^{-6}
k_e	Hệ số	1
V_{DC}	Điện áp ngõ vào	600V
R_f (Ω)	Điện trở cuộn lọc	0.1 Ω ;
C_f (F)	Tụ lọc ngõ ra	20e-6F
Tải (kW)	Tải chung lớn nhất	4.5

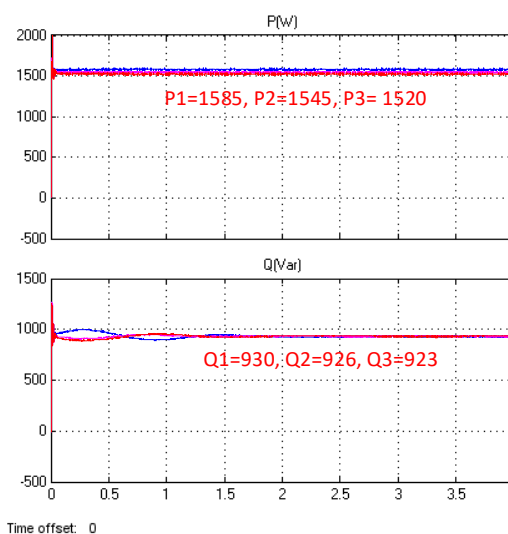
Bảng 3. Thông số định mức

Thông số	Inverter 1	Inverter 2	Inverter 3
R (Ω)	0.3	0.7	0.9
L (H)	0.001	0.002	0.003
P_{dm}^* (pu)	1/3	2/3	1
Q_{dm}^* (pu)	1/3	2/3	1

4.1. Trường hợp 1- Tỷ lệ công suất 1:1:1, Mode 1 điều hành.



Hình 7a. Kết quả mô phỏng của sơ đồ đề xuất.



Hình 7b. Kết quả mô phỏng của sơ đồ truyền thống.

Bảng 4a. Sai số chia công suất sơ đồ đề xuất.

	P_1	P_2	P_3
Sai số	0.19%	0.06%	0.31%
	Q_1	Q_2	Q_3
Sai số	0.32%	0.21%	0.63%

Bảng 4b. Sai số chia công suất sơ đồ truyền thống.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	2.25%	0.32%	1.93%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.39%	0.03%	0.40%

Trong trường hợp thứ 1, P và Q cùng được chia ở tỷ lệ 1:1:1.

Ở sơ đồ truyền thống với tỷ lệ công suất 1:1:1, khả năng chia tải của giải thuật là tạm chấp nhận được với sai số chia P lớn nhất là 2.25% và sai số chia Q lớn nhất là 0.4%. Tuy nhiên thời gian xác lập của công suất phản kháng còn chậm, vào khoảng 1,5s.

Đối với sơ đồ đề xuất, khi Mode 1 điều hành, các bộ nghịch lưu nhận thông tin công suất từ trung tâm gửi về. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu lần lượt là 1595W, 1593W, 1587W, và công suất phản kháng là 949Var, 948Var, 940Var. Ta có thể thấy trong trường hợp này, hiệu suất của hệ thống rất tốt khi vọt lố thấp, thời gian xác lập nhanh, sai số chia công suất P lớn nhất khoảng 0.3% và sai số chia công suất Q lớn nhất là 0.65%.

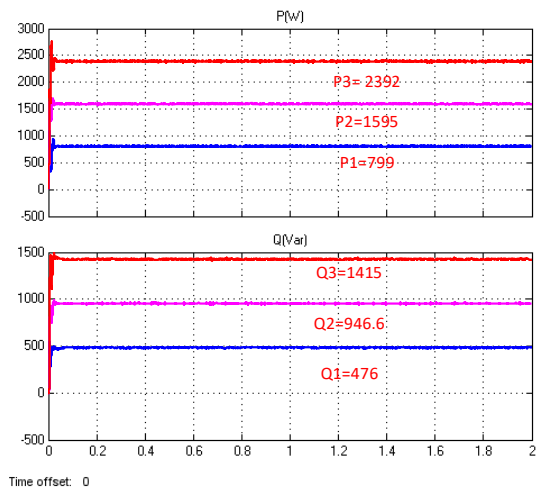
4.2. Trường hợp 2- Tỷ lệ công suất 1:2:3, Mode 1 điều hành.

Bảng 5a. Sai số chia công suất sơ đồ đề xuất.

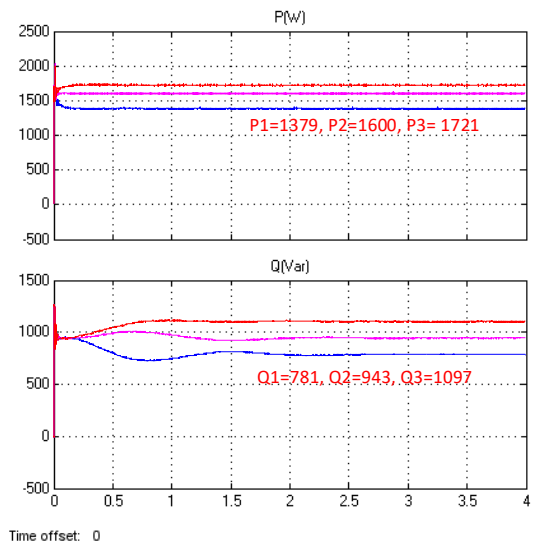
	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.19%	0.00%	0.04%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.66%	0.10%	0.21%

Bảng 5b. Sai số chia công suất sơ đồ truyền thống.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	76.1%	2.12%	26.7%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	66.2%	0.28%	22.1%



Hình 8a. Kết quả mô phỏng của sơ đồ đề xuất.



Hình 8b. Kết quả mô phỏng của sơ đồ truyền thống.

Trái với trường hợp 1, ở sơ đồ truyền thống với tỷ lệ công suất 1:2:3, khả năng chia tải của giải thuật rất kém với sai số chia P lên đến 76% và sai số chia Q lớn nhất là 66%. Điều này đã chứng minh sự hạn chế của giải thuật điều khiển truyền thống khi sự chênh lệch tỷ lệ công suất định mức và trở kháng đường dây giữa các bộ nghịch lưu lớn. Sơ đồ đề xuất sẽ tìm cách khắc phục điều này.

Trong trường hợp này, sơ đồ đề xuất tiếp tục chạy ở Mode 1, nhưng công suất P và Q được chia ở tỷ lệ 1:2:3, có sự chênh lệch lớn công suất giữa các bộ nghịch lưu với nhau. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu lần lượt là 799W, 1595W, 2392W, và công suất phản kháng là 476Var, 947Var, 1415Var.

Chính điều này là nguyên nhân dẫn đến vọt lố gia tăng dù thời gian xác lập vẫn nhanh chóng. Tuy nhiên sai số chia công suất P lớn nhất vẫn nhỏ với 0.2% và chia công suất Q lớn nhất là 0.66%. Với kết quả đạt được, sơ đồ đề xuất hoàn toàn có khả năng đáp ứng tốt khi tỷ lệ công suất định mức thay đổi sang giá trị khác giá trị 1:1:1 ban đầu.

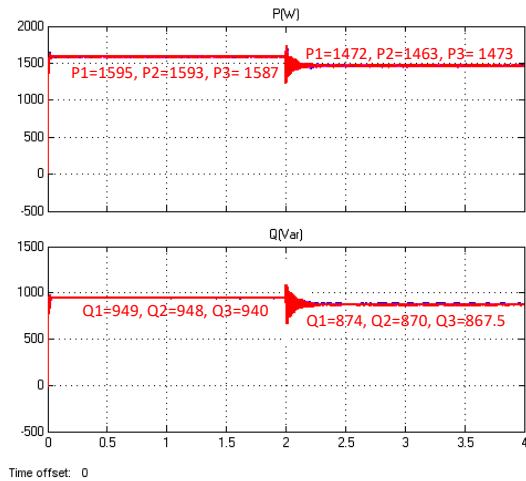
4.3. Trường hợp 3- Tỷ lệ công suất 1:1:1, Mode 1 trước sau đó chuyển sang Mode 0 ở 2s.

Bảng 6. Sai số chia công suất Mode 1.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.19%	0.06%	0.31%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.32%	0.21%	0.63%

Bảng 7. Sai số chia công suất Mode 0.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.20%	0.41%	0.27%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.39%	0.02%	0.37%

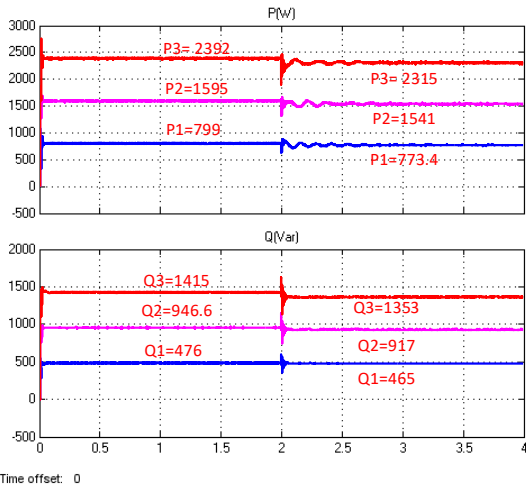


Hình 9. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 3.

Ở trường hợp 3, ta cho hệ thống chạy Mode 1 trong 2 giây đầu tiên và chạy Mode 0 ở 2 giây tiếp theo, tỷ lệ chia công suất P và Q là 1:1:1. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 1 giống với trường hợp 1 và Mode 0 lần lượt là 1472W, 1463W, 1473W, và công suất phản kháng là 874Var, 870Var, 868Var.

Ở Mode 0, từng bộ nghịch lưu sẽ tự điều chỉnh công suất theo tỷ lệ định trước, hoàn toàn không cần tín hiệu từ trung tâm điều khiển. Trong 2 giây đầu tiên, kết quả giống như trong trường hợp 1. Khi chuyển từ Mode 1 sang 0 ở giây thứ 2, ta nhận thấy vọt lố xảy ra nhiều, thời gian xác lập khoảng 0.2s, và sau khi xác lập, điện áp của hệ thống bị sụt giảm một chút so với Mode 1. Nguyên nhân là do ở chế độ tự vận hành, ta áp dụng giải thuật Droop Control, điều này gây sụt giảm một ít điện áp. Sai số chia công suất P và Q lớn nhất vào khoảng 0.4%. Với sai số trung bình nhỏ, giải thuật điều khiển đã đạt được yêu cầu đặt ra.

4.4. Trường hợp 4- Tỷ lệ công suất 1:2:3, Mode 1 trước sau đó chuyển sang Mode 0 ở 2s.



Hình 10. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 4.

Bảng 8. Sai số chia công suất Mode 1.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.19%	0.00%	0.04%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.66%	0.10%	0.21%

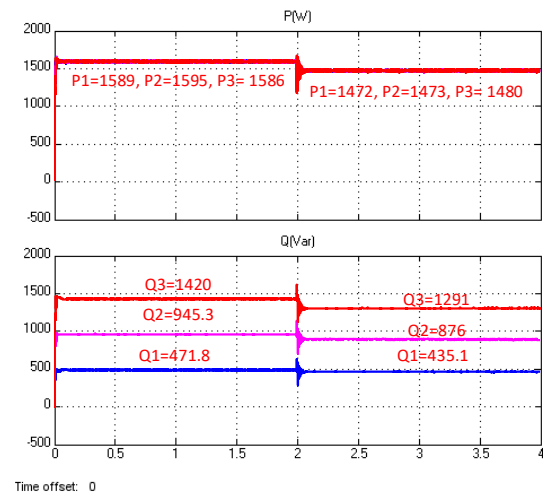
Bảng 9. Sai số chia công suất Mode 0.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.25%	0.13%	0.04%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	2.00%	0.60%	1.02%

Ở trường hợp 4, ta cho hệ thống chạy Mode 1 trong 2 giây đầu tiên và chạy Mode 0 ở 2 giây tiếp theo, tỷ lệ chia công suất P và Q là 1:2:3. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 1 giống với trường hợp 2 và Mode 0 lần lượt là 774W, 1541W, 2315W, và công suất phản kháng là 465Var, 917Var, 1353Var.

Trong 2 giây đầu tiên, kết quả giống như trong trường hợp 2. Khi chuyển từ Mode 1 sang 0 ở giây thứ 2, ta nhận thấy vọt ló xảy ra nhiều giống như trường hợp 3, thời gian xác lập của P dài hơn (khoảng 0.6s), giảm đáng kể so với trường hợp 3 và sau khi xác lập, điện áp của hệ thống cũng bị sụt giảm một chút so với Mode 1. Sai số chia công suất P lớn nhất vào khoảng 0.3%. và Q tăng lên đến 2%. Do tác động của sự tăng chênh lệch tỷ lệ công suất giữa các bộ nghịch lưu, sai số chia công suất cũng sẽ tăng lên cao hơn so với tỷ lệ 1:1:1, nhưng hệ thống vẫn giữ được sai số trong giới hạn.

4.5. Trường hợp 5- Tỷ lệ công suất P là 1:1:1, tỷ lệ công suất Q là 1:2:3, Mode 1 trước sau đó chuyển sang Mode 0 ở 2s.



Hình 11. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 5.

Bảng 10. Sai số chia công suất Mode 1.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.06%	0.31%	0.25%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.23%	0.05%	0.07%

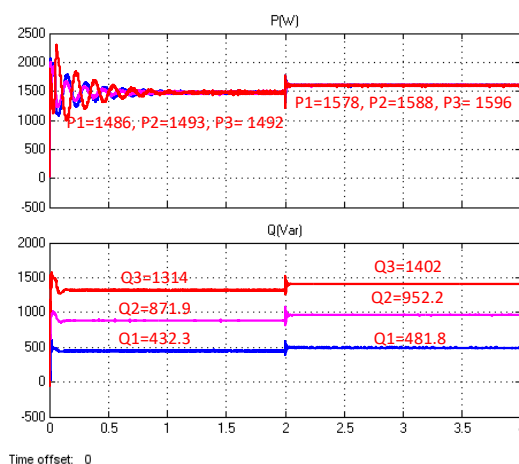
Bảng 11. Sai số chia công suất Mode 0.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.20%	0.14%	0.34%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	1.93%	0.67%	1.07%

Trường hợp 5, hệ thống chạy Mode 1 trong 2 giây đầu tiên và chạy Mode 0 ở 2 giây tiếp theo, tỷ lệ chia công suất P và Q lần này khác biệt chứ không đồng thời như các trường hợp trước, chia P ở tỷ lệ 1:1:1 và chia Q ở tỷ lệ 1:2:3. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 1 lần lượt là 1589W, 1595W, 1586W, và công suất phản kháng là 471Var, 945Var, 1420Var. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 0 lần lượt là 1472W, 1473W, 1480W, và công suất phản kháng là 436Var, 876Var, 1291Var.

Trong 2 giây đầu tiên, hệ thống thể hiện hiệu năng rất tốt khi vọt lố thấp, sai số cao nhất khoảng 0.3%. Khi chuyển từ Mode 1 sang 0 ở giây thứ 2, ta nhận thấy vọt lố xảy ra nhiều, thời gian xác lập khoảng 0.2s, khá giống với trường hợp 3. Sau khi xác lập, điện áp của hệ thống cũng bị sụt giảm một chút so với Mode 1. Sai số chia công suất P vào khoảng 0.3% ở Mode 1 và 0.35% ở Mode 0. Sai số chia công suất Q là 0.25% ở Mode 0 và 2% ở Mode 1. Việc chia Q gặp nhiều khó khăn một phần do ảnh hưởng trở kháng đường dây và thiếu thông tin hiệu chỉnh từ trung tâm.

4.6. Trường hợp 6- Tỷ lệ công suất P là 1:1:1, tỷ lệ công suất Q là 1:2:3, Mode 3 trước sau đó chuyển sang Mode 2 ở 2s.



Hình 12. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 6.

Bảng 12. Sai số chia công suất Mode 3.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.27%	0.20%	0.13%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.94%	0.10%	0.38%

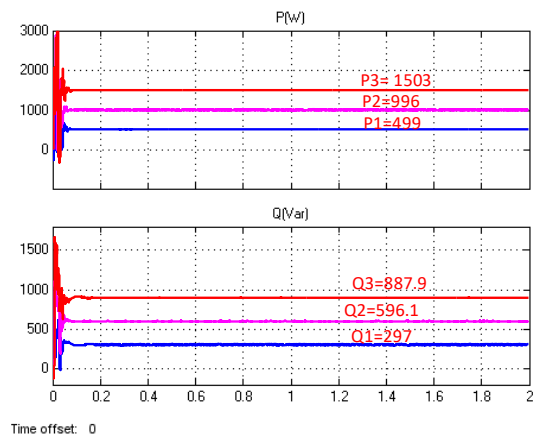
Bảng 13. Sai số chia công suất Mode 2.

	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.63%	0.00%	0.50%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	1.93%	0.73%	1.13%

Trường hợp 6, hệ thống chạy Mode 3 trong 2 giây đầu tiên và chạy Mode 2 ở 2 giây tiếp theo, tỷ lệ chia công suất P và Q giống với trường hợp 5, chia P ở tỷ lệ 1:1:1 và chia Q ở tỷ lệ 1:2:3. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 3 lần lượt là 1486W, 1493W, 1492W, và công suất phản kháng là 433Var, 872Var, 1314Var. Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở Mode 2 lần lượt là 1578W, 1588W, 1596W, và công suất phản kháng là 482Var, 953Var, 1402Var.

Trong 2 giây đầu tiên, hiệu năng hệ thống khá tệ khi vọt lố lớn, thời gian xác lập dài (khoảng 0.9s), sau 1s thì hệ thống ổn định dần. Điện áp cũng bị sụt giảm một chút do mất tín hiệu công suất P từ trung tâm điều khiển. Ở chế độ này chúng ta cần cải thiện hơn khả năng đáp ứng của hệ thống. Khi chuyển từ Mode 3 sang 2 ở giây thứ 2, ta nhận thấy vọt lố có xảy ra nhưng ít, lúc này tín hiệu P được cung cấp trở lại và tín hiệu Q bị ngắt đi. Thời gian để hệ thống xác lập lần nữa khoảng 0.2s rất nhanh. Sai số chia công suất P vào khoảng 0.3% ở Mode 3 và 0.6% ở Mode 2. Sai số chia công suất Q là 1% ở Mode 3 và 2% ở Mode 2. Việc chia Q gặp nhiều khó khăn một phần do ảnh hưởng trở kháng đường dây, thiếu thông tin hiệu chỉnh từ trung tâm. So sánh giữa hai chế độ ta nhận thấy độ sụt áp ở Mode 3 (khi mất tín hiệu hiệu chỉnh P) là lớn hơn so với Mode 2 (khi mất tín hiệu hiệu chỉnh Q).

4.7. Trường hợp 7- Đặt công suất P vào các bộ nghịch lưu lần lượt là 500W, 1000W, 1500W, đường truyền liên tục, Mode 1.



Hình 13. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 7.

Bảng 14. Sai số chia công suất Mode 1.

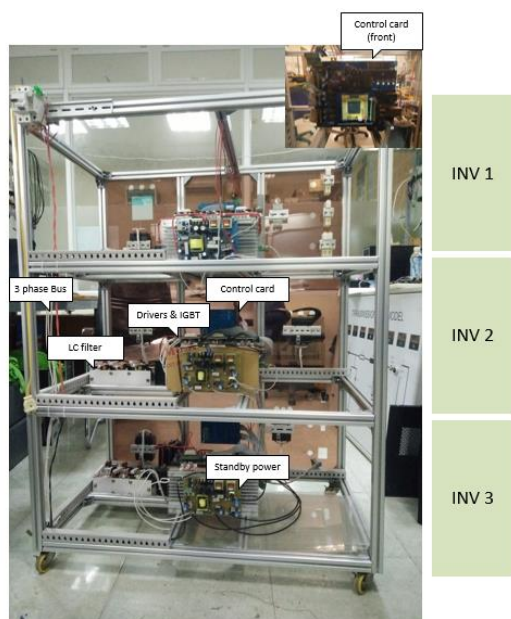
	P ₁	P ₂	P ₃
Sai số	0.2%	0.4%	0.2%
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Sai số	0.07%	0.40%	0.29%

Công suất tác dụng của các bộ nghịch lưu ở trường hợp này lần lượt là 499W, 996W, 1503W, và công suất phản kháng là 297Var, 597Var, 888Var.

Khi ta đặt công suất tác dụng vào từng bộ nghịch lưu và chạy ở mode 1 với sự hiệu chỉnh từ trung tâm điều khiển kết hợp. Ban đầu công suất vọt lên giá trị tối đa của nó, sau đó dần ổn định. Thời gian xác lập là 0.2s. Sai số công suất lớn nhất khoảng 0.5%. Kết quả đạt được rất khả thi với thời gian xác lập ngắn, độ chính xác cao bất chấp tỷ lệ công suất hay sự chênh lệch trở kháng đường dây giữa các bộ nghịch lưu. Tuy nhiên vọt lố cao có thể ảnh hưởng chất lượng hệ thống ban đầu, cần phải cải thiện hơn.

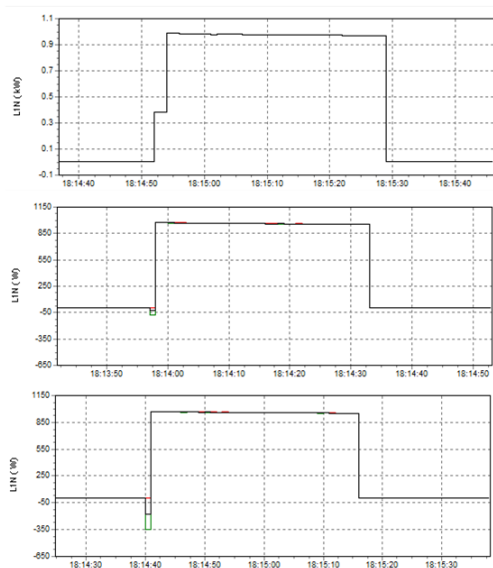
4.8. Thử nghiệm thực tế dùng DSP 28335.

Thử nghiệm này được thực hiện trong phòng thí nghiệm điện tử công suất với ba bộ nghịch lưu 3 pha, driver của Semikron, LEM HX 20P và LX-25P, cùng với các đồng hồ cảm biến đo dòng điện và điện áp ngõ ra. Mô hình thí nghiệm được chụp lại như hình 14 bên dưới. Bộ điều khiển trong từng inverter dùng DSP TMS320F28335 và kết quả điện áp và dòng điện được lưu lại bằng máy oscilloscope Tektronix TDS2014B và đồng hồ đo Fluke 345. Đường truyền thông tin được dùng ở đây là RS485, đảm bảo độ tin cậy hệ thống. Trong quá trình thực nghiệm, tỷ lệ công suất P,Q là 1:1:1 giữa các bộ nghịch lưu và Mode 1 đang bật. Kết quả đo đạc được thể hiện như sau:



Hình 14. Mô hình thực nghiệm lưới Microgrid độc lập.

4.8.1 Trường hợp 1: Tỷ lệ $P_1:P_2:P_3 = 1:1:1$, $Q_1:Q_2:Q_3 = 1:1:1$, Tải cố định.

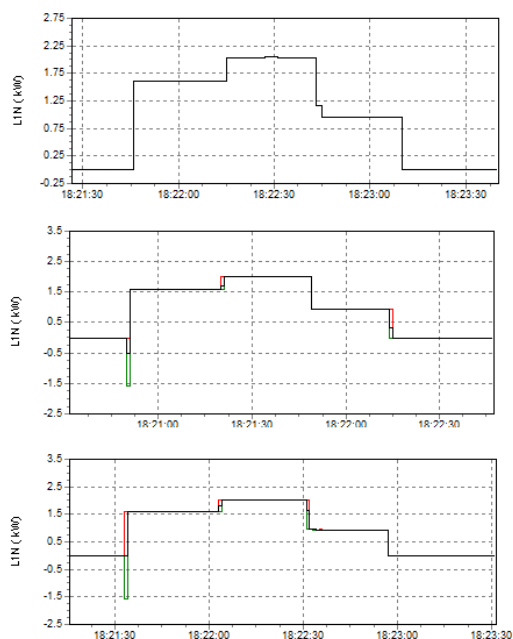


Hình 15. Công suất tác dụng của ba bộ nghịch lưu trong trường hợp 1.

Trong trường hợp 1, ta chia công suất tác dụng của ba bộ nghịch lưu ở tỷ lệ 1:1:1. Trong

đó tải được cố định với giá trị cho trước. Công suất tác dụng của ba bộ nghịch lưu lần lượt là $P_1 = 945 \text{ W}$, $P_2 = 935 \text{ W}$, $P_3 = 945 \text{ W}$. Sai số chia công suất tác dụng giữa ba bộ nghịch lưu không đáng kể.

4.8.2 Trường hợp 2: Tỷ lệ $P_1:P_2:P_3 = 1:1:1$, $Q_1:Q_2:Q_3 = 1:1:1$, Tải thay đổi theo hàm bước.



Hình 16. Công suất tác dụng của ba bộ nghịch lưu trong trường hợp 3.

Trong trường hợp này tỷ lệ công suất P của các bộ nghịch lưu là 1:1:1 và tỷ lệ công suất Q là 1:1:1. Khác với trường hợp 1, ta cho tải thay đổi theo bước với giới hạn như sau: $P_{1\max} = 2050 \text{ W}$, $P_{2\max} = 2045 \text{ W}$, $P_{3\max} = 2045 \text{ W}$, $P_{1\min} = 120 \text{ W}$, $P_{2\min} = 115 \text{ W}$, $P_{3\min} = 115 \text{ W}$. Công suất tác dụng của ba bộ nghịch lưu được thể hiện ở hình 16. Kết quả đã cho thấy được khả năng đáp ứng của hệ thống khi tải thay đổi liên tục vẫn giữ được tỷ lệ công suất tác dụng 1:1:1 trong sai số cho phép.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày giải thuật điều khiển Droop cải tiến cho phép chia công suất chính xác tỷ lệ với công suất định mức của các bộ nghịch lưu áp ba pha kết nối song song trong lưới độc lập theo thứ tự ưu tiên. Sơ đồ đề xuất không yêu cầu điều kiện bằng nhau của điện áp ngõ ra hay tỷ lệ công suất giống nhau giữa các bộ nghịch lưu. Kết quả mô phỏng cho nhiều bộ nghịch lưu cho thấy ưu điểm vượt trội của sơ đồ đề xuất so với sơ đồ truyền thống đặc biệt được thể hiện trong trường hợp thông số trở kháng đường dây của các bộ nghịch lưu khác nhau. Trong thử nghiệm thực tế, ngay cả khi tải thay đổi liên tục theo thời gian thực, giải thuật vẫn có

thể chia công suất cho từng bộ nghịch lưu chính xác trong giới hạn của chúng. Việc hạn chế ảnh hưởng đường truyền thông tin giữa các bộ nghịch lưu được giải quyết góp phần tăng tính ổn định khi sự cố xảy ra. Những điều này đã tạo nên một hệ thống điều khiển nhanh chóng, hiệu quả, linh động mà vẫn duy trì được độ ổn định ở mức cao. Tiếp theo vọt lố ở khoản thời gian đầu kết nối và hạn chế độ sụt áp sẽ là những vấn đề tiếp theo cần được quan tâm và giải quyết.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số B2014-20-06

A New Adaptive Control Strategy of active and reactive power sharing in Islanded Microgrids

- Le Minh Phuong
- Hoang Vo Duc Duy
- Pham Thi Xuân Hoa
- Nguyen Minh Huy
- Vo Ngoc Dieu

Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT

This paper proposes a new control sharing method for parallel three-phase inverters in an islanded microgrid. The proposed technique uses adaptive PIDs combined with the communication among the parallel inverters to

accurately share active power and reactive power among the inverters via adjusting the desired voltage if there is a distinct difference between line impedance and the load change in the microgrid. Moreover, the paper also

presents the response ability of the inverters to maintain the error within the allowed limits as the transmission line is interrupted. The proposed technique has been verified in a microgrid with three parallel distributed generation-inverter units using Matlab/Simulink. In the simulation, as the droop control using the communication information among the inverters, the sharing errors for active power and reactive power are around 0.2% and 0.6%, respectively. As the connection

between the microgrid and transmission line is interrupted, the sharing errors for active power and reactive power increase to 0.4% and 2%, respectively. The simulation results have indicated that the proposed technique is superior to the traditional droop control in terms of the accuracy and stability. Therefore, the new proposed technique can be a favor alternative model for active power and reactive power sharing control of parallel inverters in an islanded microgrid.

Keywords: Active power sharing, droop control, low-bandwidth synchronization signals, microgrid, reactive power sharing.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. Deng, W. Pei, and Z. Qi, "Impact and improvement of distributed generation on voltage quality in micro-grid," in *Proc. 3rd Int. Conf. Electric Utility Deregulation Restruct. Power Technol.*, Apr. 2008, pp. 1737–1741.
- [2]. R. H. Lasseter, "Microgrids," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, New York, NY, USA, 2002, pp. 305–308.
- [3]. J. A. Peas Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining control strategies for microgrids islanded operation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.
- [4]. Y.W. Li, D. M. Vilathgamuwa, and P. C. Loh, "Design, analysis, and realtime testing of a controller for multibus microgrid system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1195–1204, Sep. 2004.
- [5]. Y. Mohamed and E. F. El-Saadany, "Adaptive decentralized droop controller to preserve power sharing stability of paralleled inverters indistributed generation microgrids," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 6, pp. 2806–2816, Nov. 2008.
- [6]. J. M. Guerrero, J. C. V´asquez, J. Matas, M. Castilla, and L. G. Vicu˜na, "Control strategy for flexible microgrid based on parallel lineinteractive UPS systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 726–736, Mar. 2009.
- [7]. J. M. Guerrero, J. C. V´asquez, J. Matas, L. Garcia de Vicu˜na, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach towards standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, Jan. 2010.
- [8]. M. C. Chandorkar, D. M. Divan, and R. Adapa, "Control of parallel connected inverters in standalone AC supply systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 29, no. 1, pp. 136–143, Jan./Feb. 1993.

- [9]. J. M. Guerrero, J. Matas, L. G. de Vicuña, M. Castilla, and J. Miret, "Wireless-control strategy for parallel operation of distributed generation inverters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1461–1470, Oct.2006.
- [10].K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van Den Keybus, A. Woyte, J. Driesen, and R. Belmans, "A voltage and frequency droop control method for parallel inverters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 4, pp. 1107–1115, Jul. 2007.
- [11].J. M. Guerrero, L. G. Vicuña, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret, "Output impedance design of parallel-connected UPS inverters with wireless loadsharing control," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 4, pp. 1126–1135, Aug. 2005.
- [12].Y. W. Li and C.-N. Kao, "An accurate power control strategy for power-electronics-interfaced distributed generation units operating in a low-voltage multibus microgrid," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 12, pp. 2977–2988, Dec. 2009.
- [13].J. M. Guerrero, J. Matas, L. Garcia de Vicuna, M. Castilla, and J. Miret, "Decentralized control for parallel operation of distributed generation inverters using resistive output impedance," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 994–1004, Apr. 2007.
- [14].J. M. Guerrero, L. G. Vicuña, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret, "A wireless controller to enhance dynamic performance of parallel inverters in distributed generation systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1205–1213, Sep. 2004.
- [15].A. Tuladhar, H. Jin, T. Unger, and K.Mauch, "Control of parallel inverters in distributed AC power systems with consideration of line impedance effect," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 131–137, Jan./Feb.2000.
- [16].[J. He and Y.W. Li, "An enhanced microgrid load demand sharing strategy," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 9, pp. 3984–3995, Sep. 2012.
- [17].C. K. Sao and P. W. Lehn, "Autonomous load sharing of voltage source converters," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 2, pp. 1009–1016, Aug.2005.
- [18].A. Moawwad, V. Khadkikar, J. L. Kirtley, "A new P-Q-V droop control method for an interline photovoltaic (I-PV) power system," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 2, pp. 658–668, Apr. 2013.
- [19].E. A. A. Coelho, P. C. Cortizo, and P. F. D. Garcia, "Small-signal stability for parallel connected inverters in stand-alone AC supply systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 38, no. 2, pp. 533–542, Mar./Apr. 2002.
- [20].N. Pogaku, M. Prodanović, and T. C. Green, "Modeling, analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 2, pp. 613–625, Mar. 2007.
- [21].H. Mahmood, D. Michaelson, and J. Jiang, "Accurate reactive power sharing in an islanded microgrid using adaptive virtual impedances," *IEEE Trans. Power*

- Electron.*, vol. PP, no. 99, pp. 1, 1, Apr. 2014.
- [22].Q.-C. Zhong, “Robust droop controller for accurate proportional load sharing among inverters operated in parallel,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 1281–1290, Apr. 2013.
- [23].C. N. Rowe, T. J. Summers, R. E. Betz, D. J. Cornforth, and T. G. Moore, “Arctan power–frequency droop for improved microgrid stability,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 8, pp. 3747–3759, Aug. 2013.
- [24].Hisham Mahmood, Dennis Michaelson, Jin Jiang, “Accurate reactive power sharing in an islanded microgrid using adaptive virtual impedances”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 3, Mar. 2015.
- [25].M. C. Chandorkar, D. M. Divan, and R. Adapa, “Control of parallel connected inverters in standalone AC supply systems,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 29, no. 1, pp. 136–143, Jan. 1993.
- [26].F. Katiraei and M. R. Iravani, “Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1821–1831, Nov. 2006.
- [27].Y. W. Li and C.-N. Kao, “An accurate power control strategy for powerelectronics- interfaced distributed generation units operating in a lowvoltage multibus microgrid,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 12, pp. 2977–2988, Dec. 2009.
- [28].J. He and Y. W. Li, “An enhanced microgrid load demand sharing strategy,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 9, pp. 3984–3995, Sep. 2012.
- [29].J. Kim, J. M. Guerrero, P. Rodriguez, R. Teodorescu, and K. Nam, “Mode adaptive droop control with virtual output impedances for an inverterbased flexible AC microgrid,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 3, pp. 689–701, Mar. 2011.
- [30].Q.-C. Zhong, “Robust droop controller for accurate proportional load sharing among inverters operated in parallel,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 1281–1290, Apr. 2013.
- [31].J. He, Y. W. Li, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, and F. Blaabjerg, “An islanded microgrid reactive power sharing scheme enhanced by programmed virtual impedances,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Power Electron. Distrib. Gener. Syst.*, 2012, pp. 229–235.
- [32].J. He, Y. W. Li, J. M. Guerrero, F. Blaabjerg, and J. C. Vasquez, “An islanding microgrid power sharing approach using enhanced virtual impedance control scheme,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 11, pp. 5272–5282, Nov. 2013.