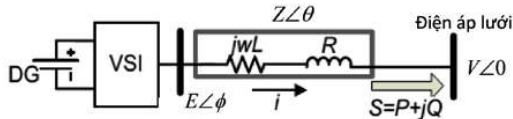


điều khiển thứ 1, dùng để điều khiển giữa tải với bộ nghịch lưu, sử dụng phương pháp điều khiển theo độ trượt (độ dốc). Tầng điều khiển thứ 2, dùng để đồng bộ với lưới và đưa tín hiệu độ lệch tần số ($\delta\omega$), độ lệch điện áp (δE) đến tầng điều khiển thứ 1. Tầng điều khiển thứ 3, dùng để trao đổi giữa công suất của nguồn pin mặt trời với công suất của lưới, đồng thời đưa tín hiệu biên độ tần số (ω_{ref}) và biên độ điện áp (E_{ref}) đến tầng điều khiển thứ 2.

2.1. Điều khiển công suất trao đổi giữa phụ tải với bộ nghịch lưu

2.1.1. Tính toán công suất tác dụng và phản kháng trao đổi

Phương pháp điều khiển theo độ trượt thường sử dụng trong điều khiển cho các nguồn điện phân tán, trong đó có nguồn điện pin mặt trời như: Điều khiển giữa tải với bộ nghịch lưu, trong phương pháp điều khiển này công suất tác dụng (P) được điều khiển theo độ trượt của tần số (f) và công suất phản kháng (Q) được điều khiển theo độ trượt của biên độ điện áp (V). Ưu điểm của phương pháp theo độ trượt là giảm các sóng hài bậc cao, điều này có ý nghĩa lớn đến việc nâng cao chất lượng điện năng. Sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu nguồn áp kết nối nguồn pin mặt trời như Hình 2.



Hình 2: Sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu kết nối nguồn pin mặt trời

Ở đây: và $E\angle\phi$: dòng điện và điện áp ra của bộ nghịch lưu; $V\angle 0$: điện áp lưới; $Z\angle\theta$: trở kháng của đường dây và bộ nghịch lưu. Từ sơ đồ hình 2, chúng ta xác định được mối quan hệ giữa công suất tác dụng và góc lệch pha, công suất phản kháng phụ thuộc vào độ lệch điện áp khi chuyển sang hệ tọa độ dq như sau [5,6]:

$$\begin{cases} p = v_{od} i_{od} + v_{oq} i_{oq} \\ q = v_{od} i_{od} - v_{oq} i_{oq} \end{cases} \quad (1)$$

Phương trình của mạch lọc thông thấp:

$$\begin{cases} P = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} p \\ Q = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} q \end{cases} \quad (2)$$

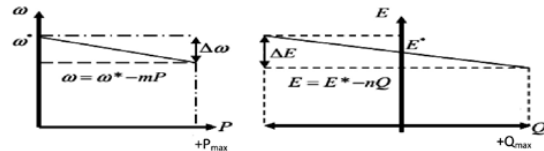
Từ đó, công suất tác dụng và công suất phản kháng kết hợp với mạch lọc thông thấp được tính như sau:

$$\begin{cases} P = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_d i_d + v_q i_q) \\ Q = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_q i_d - v_d i_q) \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: ω_c : tần số cắt của bộ lọc thông thấp; v_{od} , v_{oq} : là điện áp của v_{odq} ở hệ trục tọa độ dq; i_{od} , i_{oq} : là dòng điện của i_{odq} ở hệ trục tọa độ dq. Theo [3], Tần số và điện áp ra điều khiển sử dụng phương pháp điều khiển trượt được tính như sau:

$$\begin{cases} \omega = \omega^* - m.P \\ E = E^* - n.Q \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: ω^* : là giá trị hằng số của tần số; E^* : là giá trị hằng số của điện áp; $m = \Delta\omega/P_{max}$; $n = \Delta E/2Q_{max}$: là hệ số của tần số và biên độ điện áp khi điều khiển theo phương pháp điều khiển trượt, như Hình 3.



Hình 3: Điều khiển P, Q theo độ trượt của tần số và điện áp

2.1.2. Bộ điều khiển điện áp và dòng điện

Theo [2], Phương trình của điện áp và dòng điện điều khiển theo mạch vòng khi chuyển sang hệ tọa độ dq được tính như sau:

* Phương trình điều khiển mạch vòng ngoài của điện áp sử dụng bộ điều khiển PI

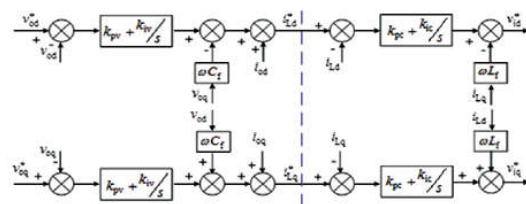
$$\begin{cases} i_{Ld}^* = i_{od} - \omega C v_{oq} + (v_{od}^* - v_{od})(k_{vp} + k_{vi}/s) \\ i_{Lq}^* = i_{oq} + \omega C v_{od} + (v_{oq}^* - v_{oq})(k_{vp} + k_{vi}/s) \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó: i_{Ld}^* , i_{Lq}^* : là dòng điện của i_{Ldq}^* ở hệ trục tọa độ dq; v_{od}^* , v_{oq}^* : là điện áp của v_{odq}^* ở hệ trục tọa độ dq; ω : tần số góc; k_{vp} , k_{vi} : các thông số của bộ điều khiển; s : toán tử Laplace; C : điện dung mạch lọc.

* Phương trình điều khiển mạch vòng trong của dòng điện sử dụng bộ điều khiển PI

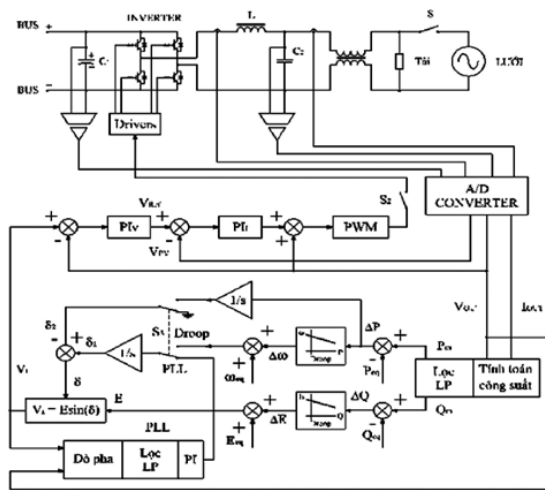
$$\begin{cases} v_{id}^* = v_{od} - \omega L i_{Lq} + (i_{Ld}^* - i_{Ld})(k_{ip} + k_{ii}/s) \\ v_{iq}^* = v_{oq} + \omega L i_{Ld} + (i_{Lq}^* - i_{Lq})(k_{ip} + k_{ii}/s) \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó: v_{id}^* , v_{iq}^* : là điện áp của v_{idq}^* ở hệ trục tọa độ dq; i_{Ld}^* , i_{Lq}^* : là dòng điện của i_{Ldq}^* ở hệ trục tọa độ dq; k_{ip} , k_{ii} : các thông số của bộ điều khiển; L : điện cảm mạch lọc. Sơ đồ điều khiển mạch vòng của điện áp và dòng điện, như Hình 4.



Hình 4. Điều khiển mạch vòng của điện áp và dòng điện

Qua phân tích trên, điều khiển giữa tải với bộ nghịch lưu (điều khiển tầng 1) sẽ thu được sơ đồ như Hình 5.



Hình 5: Điều khiển tầng 1 cho nguồn pin mặt trời

2.2. Bộ điều khiển sai lệch điện áp và tần số

Bộ điều khiển sai lệch điện áp và tần số (tầng thứ 2) dùng để điều khiển tần số và biên độ, cũng như độ lệch điện áp khi tải nối với lưới thay đổi. Đồng thời thực hiện đồng bộ với lưới, phương trình giới hạn độ lệch tần số và điện áp được tính như sau:

$$\begin{cases} \delta\omega = k_{p\omega}(\omega_{ref} - \omega^*) + k_{i\omega} \int (\omega_{ref} - \omega^*) dt + \Delta\omega_z \\ \delta E = k_{pE}(E_{ref} - E^*) + k_{iE} \int (E_{ref} - E^*) dt \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó: $k_{p\omega}$, $k_{i\omega}$, k_{pE} và k_{iE} : là các thông số của bộ điều khiển tầng thứ 2; $\Delta\omega_z$: hệ số đồng bộ lưới theo tần số lấy từ tín hiệu PLL; $\delta\omega$ và δE : là tín hiệu điều khiển tầng 1.

2.3. Điều khiển công suất giữa nguồn pin mặt trời với công suất của lưới điện

Điều khiển công suất giữa nguồn pin mặt trời với công suất của lưới điện (tầng thứ 3) bằng cách điều chỉnh tần số (hoặc độ lệch pha) và biên độ điện áp. Phương trình tần số và biên độ điện áp được tính như sau:

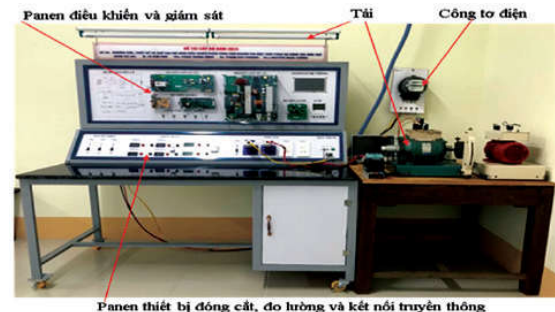
$$\begin{cases} \omega_{ref} = k_{pP}(P_{ref} - P_G) + k_{iP} \int (P_{ref} - P_G) dt \\ E_{ref} = k_{pQ}(Q_{ref} - Q_G) + k_{iQ} \int (Q_{ref} - Q_G) dt \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: k_{pP} , k_{iP} , k_{pQ} và k_{iQ} : là các thông số của bộ điều khiển tầng thứ 3; P_G và Q_G : công suất tác dụng và công suất phản kháng của lưới; P_{ref} và Q_{ref} : công suất đặt; ω_{ref} và E_{ref} : là tín hiệu để điều khiển tầng thứ 2.

3. VẬN HÀNH THỬ NGHIỆM

3.1. Lắp đặt mô hình điều khiển phân tải cho nguồn pin mặt trời

Trong bài viết này, tác giả lựa chọn nguồn điện 1 pha, số lượng 8 tấm pin loại Poly, công suất mỗi tấm là 325W. Mô hình điều khiển phân tải cho nguồn pin mặt trời gồm các bộ phận chính: bộ biến đổi DC/DC, bộ biến đổi DC/AC, bộ điều khiển vận hành độc lập và vận hành nối lưới, bộ điều khiển giám sát hệ thống, tài,... sơ đồ điều khiển như Hình 6.



Hình 6. Mô hình điều khiển cho nguồn pin mặt trời

3.2. Vận hành thử nghiệm mô hình

Việc vận hành và giám sát hệ thống điều khiển cho nguồn pin mặt trời ở hai chế độ làm việc: vận hành độc lập với lưới và vận hành nối lưới.

* Vận hành độc lập với lưới:

- Khi hệ thống vận hành không tải:

Điện áp Pin không tải, không Boost	Điện áp pin, Boost không tải	Thông số giám sát của hệ thống
<p>VOLTPv</p> <p>328</p> <p>VOLTbst</p> <p>0.19</p>	<p>VOLTPv</p> <p>327</p> <p>VOLTbst</p> <p>376</p>	




- Nhận xét: Điện áp pin PV khi không tải $V_{pv} = 328V$; ở chế độ Boost $V_{pv} = 327V$, $V_{bst} = 376V$. Màn hình giám sát: Thông số pin PV: $V_{pv} = 329,9V$, $P_{pv} = 35W$, thông số inverter: $V_{inv} = 230V$, $f_{inv} = 50Hz$, công suất ngõ ra: $P_{L00} = 2W$, $S_{L00} = 2VA$.

- Kết luận: Điện áp pin PV ổn định; Khi Boost điện áp pin giảm trong phạm vi cho phép; Điện áp trên

màn hình giám sát và vôn kế của pin có sự sai lệch do điện áp pin PV thay đổi theo cường độ chiếu sáng của mặt trời nên việc thiết bị đo, thiết bị giám sát và người thu thập không thu thập kịp đồng thời cùng thời điểm; Tần số và điện áp ra của inverter ổn định; Công suất tổn hao hệ thống điều khiển là $P_{L00} = 2W$, $S_{L00} = 2VA$.

Nghiên cứu & Triển khai

- Khi hệ thống vận hành có tải:

Điện áp Pin, Boost	Điện áp, tần số inverter	Thông số giám sát
<p>VOLTPV</p>  <p>VOLTBST</p> 	<p>VOLT - HZINV</p> 	






- Nhận xét: Điện áp pin PV có tải $V_{PV} = 317V$, ở chế độ Boost $V_{BST} = 380V$, $V_{INV} = 236V$, $f_{INV} = 50Hz$. Màn hình giám sát: Thông số pin PV: $V_{PV} = 316,5V$, $P_{PV} = 289W$, thông số inverter: $V_{INV} = 238,4V$, $f_{INV} = 50Hz$, Công suất ngõ ra: $P_{LO} =$

$160W$, $S_{LO} = 263VA$.

- Kết luận: Điện áp pin PV ổn định; Khi boost điện áp, điện áp trong phạm vi cho phép; tần số và điện áp ra của inverter ổn định khi mang tải.

* Vận hành nối lưới:

- Khi hệ thống vận hành không tải:

Điện áp Pin, Boost	Điện áp, tần số inverter, lưới	Thông số giám sát của hệ thống
<p>VOLTPV</p>  <p>VOLTBST</p> 	<p>VOLT - HZINV</p>  <p>VOLT - HZGR</p> 	

- Nhận xét: Ở chế độ boost $V_{PV} = 279V$, $V_{BST} = 403V$; Thông số inverter: $V_{INV} = 230V$, $f_{INV} = 50Hz$; Thông số lưới: $V_{GR} = 230V$, $f_{GR} = 50Hz$. Màn hình giám sát: Thông số pin PV: $V_{PV} = 278,4V$, $P_{PV} = 459W$; Thông số lưới: $V_{GR} = 230,5V$, $f_{GR} = 50Hz$; Thông số inverter: $V_{INV} = 230,5V$, $f_{INV} = 50Hz$; Công suất ngõ ra: $P_{LO0} = 0W$, $S_{LO0} = 23VA$.

- Kết luận: Điện áp pin PV ổn định trong phạm vi cho phép; Điện áp boost trong phạm vi cho phép;

Tần số và điện áp ra của inverter ổn định; Tần số và điện áp ra của lưới ổn định; Đủ điều kiện hoà lưới giữa nguồn pin và nguồn lưới, hệ thống làm việc ổn định; Công suất tổn hao hệ thống điều khiển là $P_{HT0} = 0W$, $S_{HT0} = 23VA$; Nguồn pin mặt trời phát lên lưới công suất là 459W.

- Khi hệ thống vận hành có tải:

Điện áp Pin, Boost	Điện áp, tần số inverter, lưới	Thông số giám sát của hệ thống
<p>VOLTPV</p>  <p>VOLTBST</p> 	<p>VOLT - HZINV</p>  <p>VOLT - HZGR</p> 	

- **Nhận xét:** Ở chế độ Boost $V_{PV} = 149V$, $V_{BST} = 361V$; Thông số Inverter: $V_{INV} = 226V$, $f_{INV} = 50Hz$; Thông số lưới: $V_{GR} = 226V$, $f_{GR} = 50Hz$. Màn hình giám sát: Thông số pin PV: $V_{PV} = 146,1V$, $P_{PV} = 2115W$; Thông số lưới: $V_{GR} = 225V$, $f_{GR} = 50,1Hz$; Thông số inverter: $V_{INV} = 225V$, $f_{INV} = 50,1Hz$; Công suất ngõ ra: $P_{LO} = 1006W$, $S_{LO} = 1282VA$.

- **Kết luận:** Điện áp pin PV ổn định trong phạm vi cho phép; Điện áp boost trong phạm vi cho phép;

Tần số và điện áp ra của inverter ổn định; Tần số và điện áp của lưới ổn định; Điều kiện hoà lưới giữa nguồn pin và nguồn lưới, hệ thống làm việc ổn định; Công suất tải làm việc $P_{LO} = 1006W$, $S_{LO} = 1282VA$; Công suất phát lên lưới là 1109W.

V. KẾT LUẬN

Thiết kế và chế tạo mô hình điều khiển nguồn pin mặt trời đã phát huy đối đa công suất phát ra của hệ thống, phù hợp với các kịch bản phụ tải tải nối với lưới điện. Công suất của pin mặt trời thu được luôn đạt giá trị cực đại. Tần số và độ lệch điện

áp luôn đạt giá trị ổn định. Kết quả cho thấy: việc điều khiển nguồn pin mặt trời theo mô hình điều khiển phân tầng nhằm hướng đến việc phát triển lưới điện thông minh và điều khiển nối lưới linh hoạt cho các nguồn năng lượng tái tạo❖



Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ Đề tài cấp Bộ Công Thương theo Hợp đồng số 057.19.ĐT.BO/HĐKHCN. Tác giả chân thành cảm ơn Bộ Công Thương đã tạo điều kiện giúp đỡ để hoàn thành tốt kết quả nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Đình Thống (2012), Công nghệ Pin mặt trời bài học kinh nghiệm từ Việt Nam, Trung tâm nghiên cứu năng lượng mới, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
2. K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen and R. Belmans (2004), A Voltage and Frequency Droop Control Method for Parallel Inverters, IEEE.
3. Lê Kim Anh (2013), Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều kiện nối lưới cho tuabin gió và nguồn pin mặt trời. *Tạp chí Kinh tế Kỹ thuật, Trường đại học Kinh tế Kỹ thuật Bình Dương*, số 3 (T9), 57-68.
4. Lê Kim Anh (2013), Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới các nguồn phân tán. *Tạp chí khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, số (28), 1-8.
5. Lê Kim Anh (2018), Điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng. *Tạp chí khoa học, Đại học Khánh Hòa*, số 1 (2), 2-8.
6. Lê Kim Anh (2018), Nghiên cứu hệ thống điều khiển nối lưới sử dụng nguồn pin mặt trời. *Tạp chí khoa học, Đại học Thủ Dầu Một*, số 5 (30), 90-97.
7. Chaoyong Hou, Xuehao Hu, Dong Hui (2010), Hierarchical Control Techniques Applied in Microgrid, IEEE.
8. Bidram A, Davoudi (2012), Hierarchical Structure of Microgrids Control System, *IEEE Transaction on smart grid*, 3(4), 1963-1975.

Ngày nhận bài: 7/3/2020; Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 13/3/2020; Ngày chấp nhận đăng bài: 27/3/2020

Thông tin tác giả:

LÊ KIM ANH

Trường Cao đẳng Công Thương miền Trung

APPLYING OF HIERARCHIAL METHOD IN DESIGN AND MANUFACTURE OF CONTROLLER MODEL FOR SOLAR ENERGY SOURCES

ABSTRACT:

The research of using effectively solar energy sources to generate electricity is meaningful to reduce the dependance on fossil energy sources. Nowadays, converting thermal energy to electrical energy technology of photoelectric cells still has low efficiency. This paper splying of hierarchial method in Design and manufacture of controller model for solar cells will ensure capacities of photoelectric cells are always at maximum. This control model has advantages of stable operating frequency, voltage magnitude and voltage deviation.

Keyword: Solar energy source; solar cells; Maximum Power Point Tracking.