

## NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ BỘ NGUỒN CẤP CHO TRẠM VIỄN THÔNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

**Đinh Quý Long, Nguyễn Thế Dũng, Phạm Xuân Kiên\***

*Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên*

### TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, cơ sở hạ tầng cho mạng viễn thông tại Việt Nam đang có những bước phát triển vượt bậc. Trong đó các trạm phát sóng BTS đóng vai trò quan trọng trong hệ thống viễn thông, phục vụ thông tin liên lạc. Tuy nhiên, tại các khu vực vùng núi, hải đảo thì việc cấp nguồn cho các hệ thống BTS này gặp nhiều khó khăn, trở ngại. Để khắc phục vấn đề này, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế hệ thống cấp nguồn bằng pin năng lượng mặt trời cho các trạm BTS tại các khu vực trên với công suất giả định là 3KW. Phương pháp nghiên cứu đề tài dựa trên các đặc điểm, yêu cầu công nghệ của trạm BTS để tiến hành lựa chọn, mô hình hóa các thành phần cấu trúc của các bộ biến đổi. Kết quả mô phỏng với các thông số kỹ thuật được tính toán, xác định cho thấy hệ thống đã đạt được hiệu năng ổn định và hứa hẹn sẽ là giải pháp tốt cho cơ sở hạ tầng viễn thông tại Việt Nam trong tương lai.

**Từ khóa:** *Năng lượng mặt trời; tấm pin mặt trời; hệ thống cung cấp điện cho trạm BTS; bộ biến đổi Boost; thuật toán bám điểm công suất tối đa(MPPT); bộ biến đổi cộng hưởng LLC.*

*Ngày nhận bài: 11/3/2020; Ngày hoàn thiện: 25/5/2020; Ngày đăng: 29/5/2020*

## RESEARCHING AND DESIGNING POWER SUPPLIES FOR TELECOMMUNICATIONS STATIONS USING SOLAR ENERGY

**Đinh Quý Long , Nguyễn Thế Dũng, Phạm Xuân Kiên\***

*TNU - University of Information and Communication Technology*

### ABSTRACT

In recent years, the infrastructure for telecommunication networks in Vietnam has been making great progress. In which, BTS broadcast stations play an important role in the telecommunication system, serving communication. However, in mountainous areas and islands, the supply of power to these BTS systems has many difficulties and obstacles. To overcome this problem, the authors have researched and designed a solar battery power supply system for BTSs in the above areas with an assumed capacity of 3KW. The research methodology is based on the characteristics and technical requirements of the BTS to select and model the structural components of the transducers. Simulation results with calculated and determined specifications show that the system has achieved stable performance and promises to be a good solution for telecommunications infrastructure in Vietnam in the future.

**Key words:** *Solar energy; Solar panel; Power supply system for BTS; Boost converter; Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm; LLC resonant converter.*

*Received: 11/3/2020; Revised: 25/5/2020; Published: 29/5/2020*

\* Corresponding author. Email: [pxkien@ictu.edu.vn](mailto:pxkien@ictu.edu.vn)

**1. Giới thiệu**

Hiện nay, với sự phát triển của khoa học - kỹ thuật, các nhà khoa học đã nghiên cứu được rất nhiều giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo và được ứng dụng rộng rãi trên thế giới. Trong đó phổ biến như năng lượng gió, năng lượng mặt trời. Với đặc thù vị trí địa lý nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa nên giải pháp sử dụng công nghệ năng lượng mặt trời tại Việt Nam là rất khả thi. Tuy nhiên, để có thể tận dụng được nguồn năng lượng này, cụ thể là để phục vụ trong trạm viễn thông, cần khắc phục đặc điểm cố hữu của năng lượng tái tạo là sự không ổn định. Do đó, việc nghiên cứu và thiết kế bộ nguồn cấp cho trạm viễn thông hoạt động ở điện áp 48VDC và đảm bảo công suất định mức 3KW như trong nghiên cứu này là hết sức cần thiết.

Khi sử dụng năng lượng mặt trời làm nguồn cho trạm viễn thông yêu cầu điện áp đầu ra của hệ thống năng lượng mặt trời phải ổn định ở 48V và độ nhấp nhô điện áp đầu ra nhỏ khi gặp các biến động về điện áp do điện áp đầu ra của pin mặt trời luôn thay đổi theo cường độ sáng. Vì vậy, cấu trúc bộ biến đổi được nhóm tác giả trình bày trong bài báo này gồm hai tầng chính là bộ biến đổi Boost và thuật toán bám điểm công suất tối đa (MPPT) [1], [2] đảm bảo cho pin mặt trời luôn hoạt động ở điểm công suất cực đại [3]. Nhóm tác giả trình bày chi tiết một hệ thống năng lượng mặt trời sử dụng các bộ biến đổi công suất nhằm ổn định điện áp đầu ra sử dụng trong các trạm viễn thông.

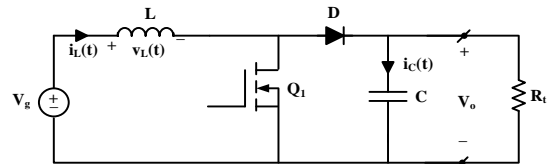
**2. Phương pháp thiết kế**



**Hình 1.** Cấu trúc nguồn DC/DC sử dụng cho trạm viễn thông

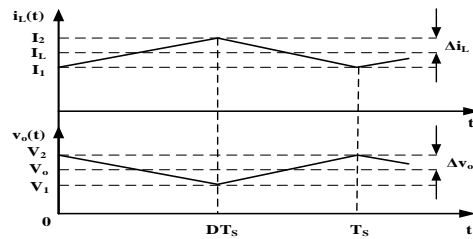
Trong cấu trúc nguồn được mô tả như hình 1, ngay sau hệ thống pin năng lượng mặt trời, một bộ biến đổi DC/DC [4], [5] thông thường

là bộ biến đổi Boost được sử dụng để đưa ra được điện áp cỡ 350V – 400V. Điện áp ngay sau đầu ra bộ biến đổi Boost cần được hạ xuống 48V để phù hợp với cấp điện áp của bus DC. Điện áp đầu ra của bộ biến đổi boost có độ đập mạch và biến thiên trong một dải rộng lên không thể sử dụng các bộ biến đổi hạ áp thông thường ở tầng phía sau. Vì vậy ngay sau bộ biến đổi Boost người ta thường sử dụng một bộ DC – AC – DC hoạt động ở tần số cao. Trong thiết kế này bộ biến đổi DC – AC – DC được lựa chọn là bộ biến đổi cộng hưởng LLC [6], [7] nhằm biến đổi điện áp 400V xuống 48V cung cấp cho bus DC trong hệ thống nguồn của trạm viễn thông. Bởi vì bộ biến đổi LLC có dải đầu vào điện áp rộng và chất lượng điện áp đầu ra tốt.



**Hình 2.** Bộ biến đổi tăng áp Boost

Dạng dòng điện  $i_L(t)$  và điện áp ra  $v_o(t)$  được mô tả như hình 3.



**Hình 3.** Dạng dòng điện qua cuộn cảm và điện áp trên tải

Điện áp nguồn được biểu diễn:

$$V_g = \frac{L(I_2 - I_1)}{T_{ON}} = \frac{2L\Delta I_L}{T_{ON}} \tag{1}$$

Suy ra :

$$\Delta I_L = \frac{V_g T_{ON}}{2L} \tag{2}$$

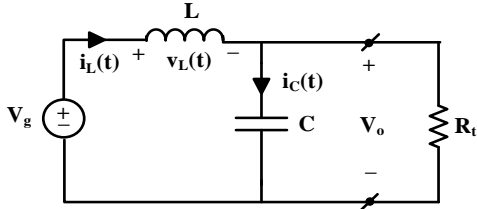
Dòng điện qua tụ điện :

$$i_c = C \frac{V_1 - V_2}{T_{ON}} = C \frac{-2\Delta V_o}{T_{ON}} = \frac{-V_o}{R_t} \tag{3}$$

Suy ra:

$$C = \frac{V_o T_{ON}}{2R_t \Delta V_o} \quad (4)$$

Trong khoảng thời gian  $T_{off}$ : van  $Q_1$  khóa và diode D dẫn



**Hình 4.** Mạch tương đương khi van  $Q_1$  khóa và diode D dẫn

Phương trình cân bằng điện áp:

$$V_g - V_o = L \frac{I_1 - I_2}{T_{OFF}} \text{ hay } V_o - V_g = L \frac{2\Delta I_L}{T_{OFF}} \quad (5)$$

Dòng điện qua tụ:

$$i_C = C \frac{2\Delta V_o}{T_{OFF}} = I_L - \frac{V_o}{R_t} \quad (6)$$

Từ đó rút ra được:

$$\Delta I_L = \frac{(V_o - V_g) T_{OFF}}{2L} \quad (7)$$

Cân bằng  $\Delta I_L$  ở 2 biểu thức (2) và (7) suy ra:

$$\frac{V_g T_{ON}}{2L} = \frac{(V_o - V_g) T_{OFF}}{2L} \quad (8)$$

Với  $D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}}$ , thay vào (8):

$$V_o = \frac{V_g}{1-D} \quad (9)$$

Giả sử tổn thất công suất bằng 0 tức:

$$V_g I_L = V_o I_o \quad (10)$$

Kết hợp (9) với (10) rút ra được:

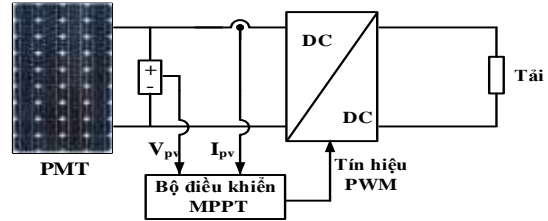
$$I_L = \frac{I_o}{1-D} \quad (11)$$

Từ (2) và (4) suy ra:

$$L = \frac{V_g T_{ON}}{2\Delta I_L} = \frac{V_g T_{ON} D}{2D\Delta I_L} = \frac{V_g T D}{2\Delta I_L} = \frac{V_g D}{2f_s \Delta I_L} \quad (12)$$

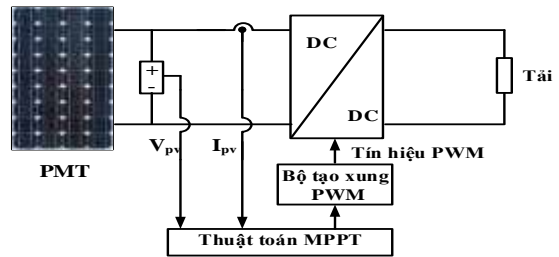
$$C = \frac{V_o D T_{ON}}{2R_t \Delta V_o} = \frac{V_o D T}{2R_t \Delta V_o} = \frac{V_o D}{2f_s R_t \Delta V_o} \quad (13)$$

Trong đó:  $f_s$  là tần số đóng cắt (switching) của van đóng cắt.



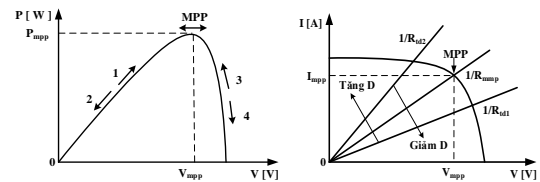
**Hình 5.** Bộ điều khiển bám điểm công suất cực đại trong hệ thống pin mặt trời

Nguyên lý dung hợp tải: Thay đổi vị trí điểm làm việc bằng cách thay đổi góc nghiêng  $\theta_{R_{td}}$  ( $D, R_t$ ) tức thay đổi hệ số điều chế  $D$ . Việc thay đổi  $D$  hợp lý sẽ thu được giao điểm hai đường đặc tính xác lập tại điểm MPP.



**Hình 6.** Pin mặt trời với thuật toán P&O điều khiển trực tiếp hệ số điều chế  $D$

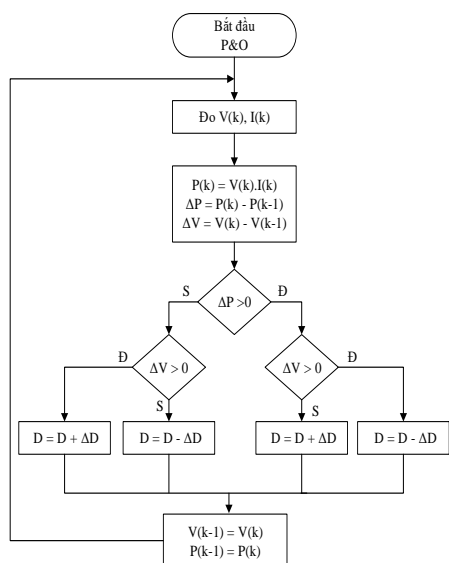
Nguyên lý hoạt động được thể hiện trong các đồ thị đặc tính hình 7.



a) Đặc tính P-V      b) Đặc tính I-V

**Hình 7.** Mô tả thuật toán P&O điều khiển trực tiếp hệ số điều chế  $D$

Từ nguyên lý dung hợp tải của bộ biến đổi tăng áp Boost, theo đó hệ số điều chế  $D$  sẽ được xác định theo nguyên lý này. Từ đó, nhóm tác giả đưa ra lưu đồ thuật toán tại hình 8.



**Hình 8.** Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển trực tiếp hệ số điều chế D

Thuyết minh thuật toán: Đo các giá trị dòng và áp ra tại thời điểm k của pin mặt trời. Tính  $P(k) = V(k) \times I(k)$ ,  $\Delta P = P(k) - P(k-1)$  và  $\Delta V = V(k) - V(k-1)$

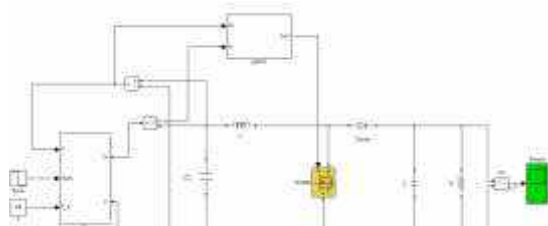
- Nếu  $\Delta P > 0$  và  $\Delta V > 0$  hoặc  $\Delta P < 0$  và  $\Delta V < 0$  thì giảm chu kỳ nhiệm vụ D.

- Nếu  $\Delta P > 0$  và  $\Delta V < 0$  hoặc  $\Delta P < 0$  và  $\Delta V > 0$  thì tăng chu kỳ nhiệm vụ D.

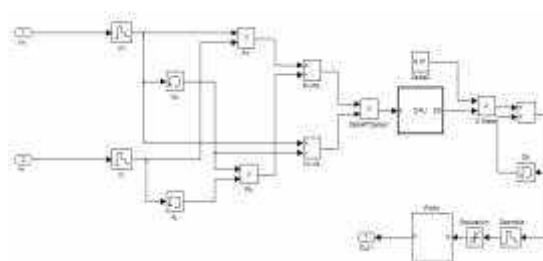
Cập nhật các giá trị dòng điện và công suất rồi thực hiện chu trình tiếp theo.

**3. Hệ thống pin mặt trời và bộ biến đổi boost sử dụng thuật toán MPPT**

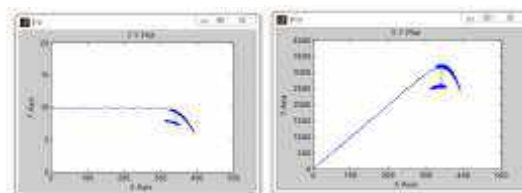
Mô hình mô phỏng hệ thống pin mặt trời và bộ biến đổi Boost sử dụng thuật toán P&O được đưa ra ở hình 9. Thuật toán P&O yêu cầu điện áp và dòng điện đầu ra ngay sau hệ thống pin mặt trời để tính toán được công suất tức thời nhằm đưa ra được giá trị D phù hợp. Thuật toán P&O mô phỏng trên Matlab/Simulink [8] được đưa ra ở hình 10.



**Hình 9.** Mô hình mô phỏng bộ biến đổi Boost và thuật toán P&O

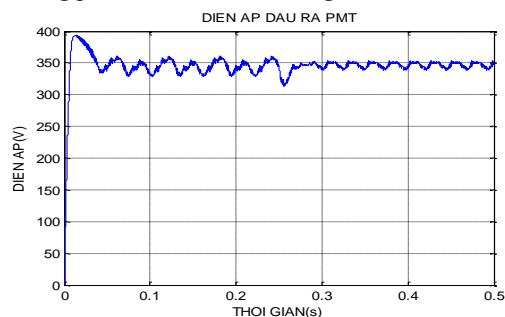


**Hình 10.** Mô hình mô phỏng thuật toán P&O

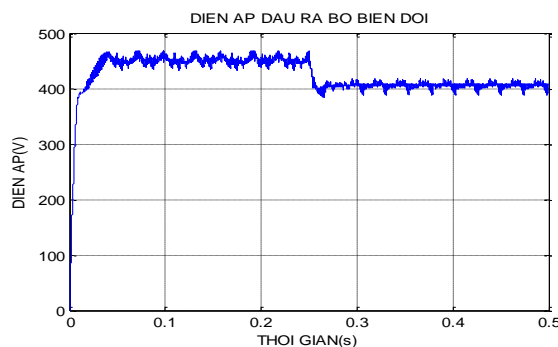


(a) Đặc tính I-V; (b) Đặc tính P-V

**Hình 11.** Đặc tính I-V và đặc tính P-V của hệ thống pin mặt trời khi sử dụng thuật toán P&O

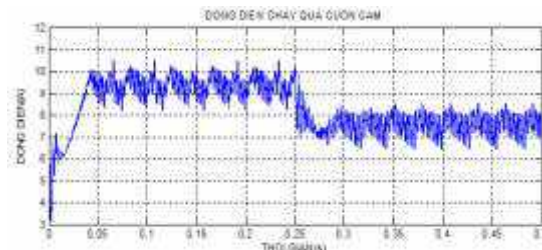


(a) Điện áp đầu vào;

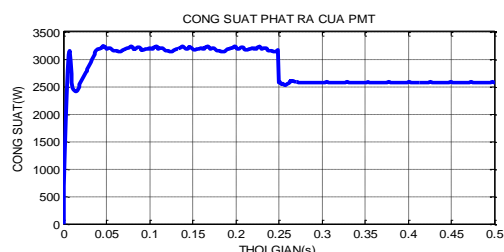


(b) Điện áp đầu ra

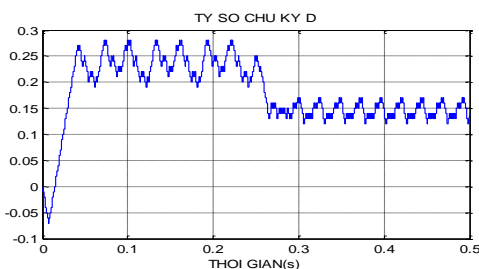
**Hình 12.** Điện áp đầu vào và đầu ra bộ biến đổi



**Hình 13.** Dòng điện chảy qua cuộn cảm



**Hình 14.** Công suất phát ra của pin mặt trời



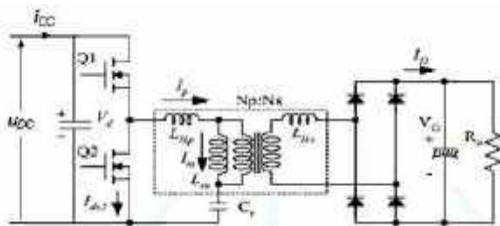
**Hình 15.** Hệ số điều chế D do thuật toán P&O tính toán

Kết quả mô phỏng trong trường hợp này được đưa ra ở hình 11 đến 15. Đặc tính I-V và đặc tính P-V ở hình 11 cho thấy pin mặt trời làm việc ở các điểm công suất cực đại trong cả hai trường hợp cường độ sáng 1000 W/m<sup>2</sup> và 800 W/m<sup>2</sup> chiếu vào. Công suất pin mặt trời phát ra được thể hiện ở hình 14 phù hợp với kết quả tính toán lý thuyết. Điện áp đầu vào và đầu ra bộ biến đổi Boost được đưa ra ở Hình 12, tương ứng với các giá trị điện áp này là giá trị dòng điện chảy qua cuộn cảm như hình 13, giá trị điện áp này tương ứng với giá trị D mà thuật toán P&O tính toán được đưa ra ở hình 15.

**4. Thiết kế bộ biến đổi cộng hưởng LLC**

Giả sử trong thực tế, ta thiết kế một Bộ biến đổi cộng hưởng LLC với các số liệu sau:

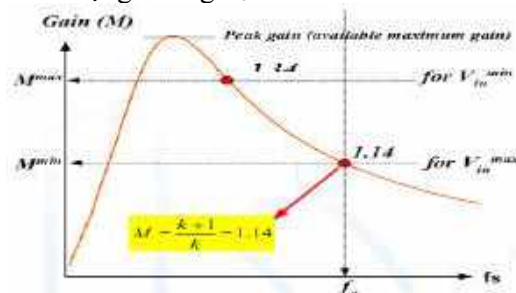
- Điện áp vào danh định : 400 VDC
- Điện áp đầu ra : 48V
- Dòng điện đầu ra : 62,5A
- Công suất bộ LLC : 3000W



**Hình 16.** Sơ đồ mạch lực bộ biến đổi LLC

**4.1. Xác định hệ số điện áp lớn nhất và nhỏ nhất**

Ta thấy ở tần số cộng hưởng  $f_0$  có hệ số khuếch đại điện áp  $K = L_p / L_R$ . Hệ số khuếch đại tại  $f_0$  được xác định bởi K. Người ta thường chọn K từ 3 ÷ 7, điều này sẽ dẫn đến hệ số khuếch đại điện áp đạt từ 1,1 ÷ 1,2 tại tần số cộng hưởng  $f_0$ .



**Hình 17.** Hệ số khuếch đại lớn nhất, nhỏ nhất

Giả thiết hệ số k đưa ra là 7, lắp vào công thức ta có:

$$M^{\min} = \frac{V_{RO}}{V_{in}^{\max}} \cong \frac{k+1}{k} = \frac{7+1}{7} = 1,14$$

$$M^{\max} = \frac{V_{in}^{\max}}{V_{in}^{\min}} M^{\min} \cong \frac{400}{341} \cdot 1,14 = 1,34$$

**4.2. Tính toán các thông số mạch cộng hưởng**

Theo tính toán ở bước trên, ta có tỷ số giữa hệ số điện áp đầu vào lớn nhất ( $V_{in}^{\max}$ ) so với hệ số điện áp đầu vào nhỏ nhất ( $V_{in}^{\min}$ ) là 1,34. Với 10% số dư, hệ số khuếch đại đỉnh được yêu cầu là 1,47. Hệ số k được chọn là 7, hệ số tải Q đạt được là 0,44 từ hệ số khuếch đại đỉnh. Bằng cách chọn tần số cộng hưởng là 85kHz có thể tính được các thành phần cộng hưởng như sau:

$$K = 7, \quad M^{\max} = 1,34$$

Tính toán điện trở tải tương đương:

$$R_{ac} = \frac{8n^2}{\pi^2} \cdot \frac{V_0^2}{P_0} = \frac{8 \cdot 8,6^2 \cdot 48^2}{3,14^2 \cdot 3000} = 46(\Omega)$$

$$\text{Peak gain} = 1,34 \times 110\% = 1,47$$

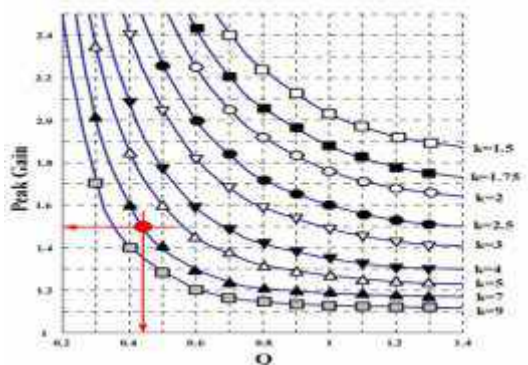
$$C_r = \frac{1}{2\pi \cdot Q \cdot f_0 \cdot R_{ac}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,44 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot 46} = 93 \quad (nF)$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 \cdot C_r} = \frac{1}{(2\pi \cdot 85 \cdot 10^3)^2 \cdot 93 \cdot 10^{-9}} = 38 \quad (\mu H)$$

$$L_p = \frac{(k+1)^2}{(2k+1)} L_r = \frac{(7+1)^2}{(2 \cdot 7+1)} \cdot 38 = 162 \quad (\mu H)$$

Dựa vào tính toán thiết kế, chọn các giá trị  $L_p, L_r$  tích hợp trong MBA theo bảng 1:

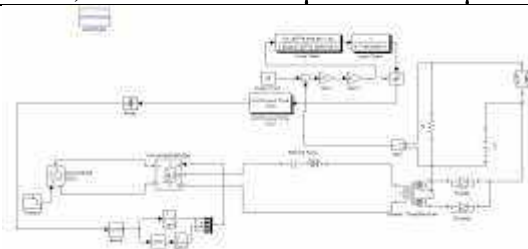
$$L_r = 222 \mu H \quad L_p = 623 \mu H$$



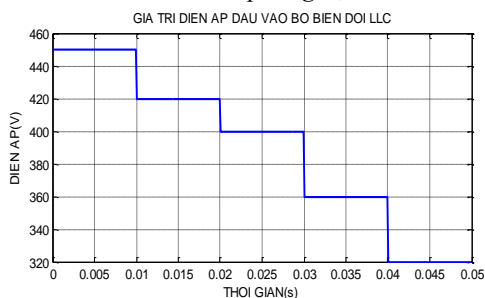
**Hình 18.** Thiết kế mạch cộng hưởng sử dụng hệ số đỉnh với  $k=7$

**Bảng 1.** Lựa chọn giá trị  $L_p$  và  $L_r$

Gap length	$L_p$	$L_r$
0,0 mm	5,669 $\mu H$	237 $\mu H$
0,05 mm	2,105 $\mu H$	235 $\mu H$
0,10 mm	1,401 $\mu H$	233 $\mu H$
0,15 mm	1,065 $\mu H$	230 $\mu H$
0,20 mm	890 $\mu H$	225 $\mu H$
0,25 mm	788 $\mu H$	224 $\mu H$
0,30 mm	665 $\mu H$	223 $\mu H$
<b>0,35 mm</b>	<b>623 <math>\mu H</math></b>	<b>222 <math>\mu H</math></b>



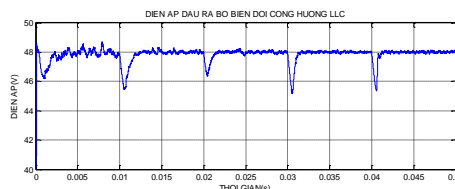
**Hình 19.** Mô hình mô phỏng bộ biến đổi LLC



**Hình 20.** Giá trị điện áp đầu vào bộ biến đổi cộng hưởng LLC

Giá trị điện áp đầu vào LLC biến thiên trong một dải rộng như hình 20 từ 450V đến 360V.

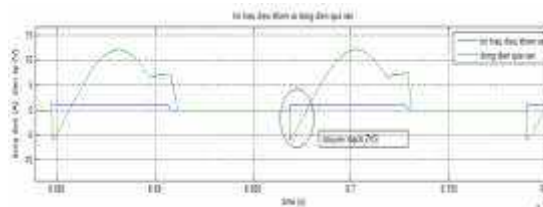
Với giá trị điện áp đầu vào bộ biến đổi như hình 20 thì điện áp đầu ra bộ biến đổi cộng hưởng LLC thu được như hình 21.



**Hình 21.** Điện áp đầu ra bộ biến đổi LLC

Kết quả mô phỏng điện áp đầu ra bộ biến đổi LLC cho ta thấy khi điện áp đầu vào bộ biến đổi thay đổi trong một khoảng rộng thì điện áp đầu ra vẫn giữ được giá trị điện áp đặt mong muốn là 48V. Tại thời điểm  $t=0,01(s)$ , chúng ta cho điện áp đầu vào thay đổi từ 450V xuống 420V như hình 21, thì điện áp đầu ra bộ biến đổi cộng hưởng LLC bị dao động xuống 46V nhưng chỉ sau 1 ms nó đã ổn định quay lại giá trị 48V. Tương tự như thế tại các thời điểm  $t=0,02(s)$ ;  $0,03(s)$ ;  $0,04(s)$  chúng ta cho điện áp đầu vào bộ biến đổi LLC thay đổi lần lượt từ  $420V \rightarrow 400V$ ;  $400V \rightarrow 360V$ ;  $360V \rightarrow 320V$  thì điện áp đầu ra của bộ biến đổi cộng hưởng LLC thay đổi rất nhỏ tầm 2V và rất nhanh cỡ 1 ms là ổn định quay về giá trị 48V mong muốn. Điều này cho thấy hệ thống bộ biến đổi Boost kết hợp với bộ biến đổi cộng hưởng LLC hoàn toàn phù hợp cho cấu trúc pin mặt trời sử dụng cho viễn thông.

Ngoài ra khả năng chuyển mạch mềm của bộ biến đổi LLC khi các van chuyển mạch thu được như hình 22.



**Hình 22.** Đáp ứng dòng điện và điện áp chày qua van  
Quan sát hình 22, dòng điện chày qua khối cộng hưởng rất nhỏ, trễ pha hơn điện áp đặt vào, van Mosfet được mở với chuyển mạch ZVS. Chuyển mạch ZVS có thể đạt được với



dòng điện nhỏ, mà dòng này không liên quan đến dòng tải nên ZVS có thể đạt được cả ở chế độ không tải. Dòng điện này có thể ngắt dòng van Mosfet. Dòng ngắt van có thể nhỏ hơn dòng tải nên tổn thất ngắt mạch có thể giảm. Vậy tổn thất chuyển mạch van rất nhỏ, dòng điện qua van khi bộ biến đổi đã làm việc ổn định cho thấy ta đã đạt được chuyển mạch ZVS.

### 5. Kết quả nghiên cứu

Trong đề tài của mình, nhóm nghiên cứu đã đạt được những kết quả như sau:

- Mô hình hóa pin mặt trời và đưa ra các đường đặc tính của pin mặt trời.

- Nghiên cứu xây dựng hệ thống pin mặt trời, bộ biến đổi Boost và thuật toán MPPT đảm bảo hệ thống năng lượng mặt trời luôn làm việc ở điểm công suất cực đại khi cường độ ánh sáng thay đổi. Điều này được chứng minh qua mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink.

- Xây dựng bộ biến đổi LLC có công suất 3 KW làm tầng thứ hai cho hệ thống bộ biến đổi công suất trong hệ thống năng lượng mặt trời sử dụng trong viễn thông. Qua mô hình mô phỏng ta thấy, điện áp đầu ra của bộ biến đổi LLC được ổn định ở 48V khi điện áp đầu vào thay đổi phù hợp với lý thuyết đề ra.

### 6. Kết luận

Khi sử dụng năng lượng mặt trời làm nguồn cho trạm viễn thông yêu cầu điện áp đầu ra của hệ thống năng lượng mặt trời phải ổn định ở 48V và độ nhấp nhô điện áp đầu ra nhỏ khi gặp các biến động về điện áp do điện áp đầu ra của pin mặt trời luôn thay đổi theo cường độ sáng. Vì vậy, cấu trúc bộ biến đổi được nghiên cứu trong bài báo này gồm hai tầng chính là bộ biến đổi Boost và thuật toán MPPT đảm bảo cho pin mặt trời luôn hoạt động ở điểm công suất cực đại. Tuy nhiên, do điện áp đầu ra ngay sau bộ biến đổi Boost biến động liên tục và ở cấp điện áp 400V nên không thể sử dụng trực tiếp cho nguồn viễn thông, do đó sử dụng tiếp tầng biến đổi thứ hai sử dụng bộ biến đổi cộng hưởng LLC đảm bảo điện áp đầu ra ở 48V khi đầu vào thay đổi.

Ý tưởng mạch hai tầng gồm bộ Boost và một bộ biến đổi cộng hưởng LLC là cách đơn giản để tiếp cận vấn đề tạo nguồn ổn định trong trạm viễn thông từ hệ thống pin mặt trời

nhưng hệ thống hai bộ biến đổi liên tiếp như thế tương đối công kềnh. Chúng ta cũng có thể xây dựng một hệ thống Boost tích hợp trong hệ thống bộ biến đổi cộng hưởng LLC một cách trực tiếp để giảm tối đa các tổn hao không cần thiết.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. R. F. Coelho, W. M. Dos Santos, and D. C. Martins, *Influence of Power Converter on PV Maximum Power Point Tracking Efficiency*, Federal University of Santa Catarina- Electrical Engineering Department, July 2010.
- [2]. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, "Analysis and simulation of the P&O MPPT algorithm using a linearized PV array model," 10th Brazilian Power Electronics Conference (COBEP), 2009.
- [3]. R. Rawat, and S. S. Chandel, "Hill climbing techniques for tracking maximum power point in solar photovoltaic systems - a review," *Special Issue of International Journal of Sustainable Development and Green Economics (IJSDEG)*, vol. 2, no. 1, pp. 2315-4721, 2013.
- [4]. R. F. Coelho, F. M. Concer, and D. C. Martins, "Analytical and Experimental Analysis of DC-DC Converters in Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Applications," IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Nov. 2010.
- [5]. M. H. Loksha, and S. G. Srivani, "LLC resonant converter design and development" 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON), February 2015.
- [6]. J. Jang, M. Joung, and B. Choi, "Dynamic analysis and control design of optocouplerisolated LLC series resonant converters with wide input and load variations," *IET Power Electron.*, vol. 5, no. 6, pp. 755-764, Mar 2012.
- [7]. Z. Zhao, Q. Xu, and Y. Dai, "Efficiency optimization design of LLC resonant converter for battery charging," Conference: 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), May 2018.
- [8]. S. Panwar, and R. P. Saini, "Development and Simulation of Solar Photovoltaic model using Matlab/ simulink and its parameter extraction," International Conference on Computing and Control Engineering (ICCCE 2012), April 2012.