

## Kỹ thuật – Công nghệ

# HỆ THỐNG PHOTOVOLTAIC KẾT NỐI LƯỚI ĐIỆN MỘT PHA KHÔNG SỬ DỤNG MÁY BIẾN ÁP

Phạm Hữu Thái \*, Lê Chí Kiên \*\*, Vũ Thế Đăng \*\*\*

## TÓM TẮT

Cấu trúc Neutral Point Clamped (NPC) do có hiệu suất cao, dòng rò và nhiễu điện từ thấp nên nó được sử dụng một cách rộng rãi trong các hệ thống phát điện phân tán. Tuy nhiên nhược điểm chính của bộ nghịch lưu NPC là không cân bằng phân bố tổn thất ở các linh kiện bán dẫn, dẫn đến không cân bằng phân bố nhiệt. Bằng cách sử dụng cấu trúc NPC tích cực, vấn đề phân bố tổn thất công suất được giảm bớt. Do đó chiến lược điều khiển cấu trúc này là điểm mấu chốt. Bài báo này trình bày kỹ thuật điều khiển một bộ nghịch lưu ANPC 3 bậc kết nối giữa giàn Pin năng lượng mặt trời với lưới điện 1 pha không sử dụng máy biến áp mới để sự phân bố tổn thất tốt hơn. Đồng thời thực hiện một phần nhỏ của việc hòa đồng bộ giữa PV-lưới sử dụng kỹ thuật vòng khóa pha và bộ điều chỉnh PI. Hệ thống đề xuất được kiểm tra bằng việc mô phỏng sử dụng Simulink/Matlab nhằm xem xét, đánh giá khả năng của bộ nghịch lưu nối lưới.

**Từ khóa:** ANPC, PV-lưới, không sử dụng máy biến áp...

## A 3LEVEL\_ANPC INVERTER FOR TRANSFORMERLESS SINGLE PHASE GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

## ABSTRACT

The Neutral Point Clamped topology due to high efficiency, low leakage current and electromagnetic Interference (EMI), its integration is widely used in the distributed generation (DG) systems. However the main disadvantage of the NPC inverter is given by an unequal distribution of the losses in the semiconductor devices, which leads to an unequal distribution of temperature. By using the Active NPC (ANPC) topology, the power losses distribution problem is alleviated. Therefore, the control strategy is a key issue in this topology. This paper presents a new technique to control for 3Level – ANPC inverter, which connected Photovoltaic array with a single phase grid transformerless, for better losses distribution. Also, performs a small part of the PV-grid synchronization using a phase lock loop (PLL) and PI regulator. The proposed system has been tested by simulation using Simulink/Matlab to consider and evaluate the ability of the grid-connected inverter.

**Key word:** PV-grid, ANPC, transformerless,...

\* ThS. GV. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

\*\* TS. GV. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

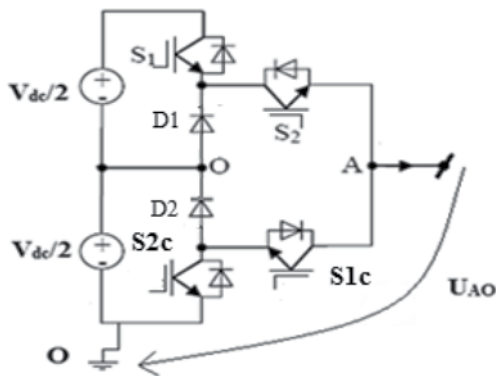
\*\*\* ThS. GV. Trường ĐH Kinh tế Kỹ Thuật Bình Dương

**1. GIỚI THIỆU:**

Với việc gia tăng công suất năng lượng tái tạo, các hệ thống Photovoltaic (PV) kết nối lưới, đặc biệt các hệ thống điện một pha công suất thấp (từ 1kW đến 10kW), đang trở thành một trong những thành phần quan trọng nhất trong hệ thống phát điện phân tán (DG). Trong khi đó, hệ thống PV công suất thấp thường là hệ thống của tư nhân, mà cần phải cung cấp cho người sử dụng lợi nhuận tối đa thông qua hiệu suất cao, tuổi thọ lâu dài, giá thành thấp, nhỏ và an toàn.

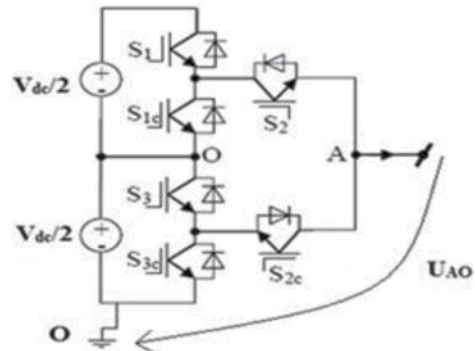
Để cải thiện hiệu suất của các bộ nghịch lưu và giá cả hệ thống thấp hơn, các biến áp cách ly lưới điện thường được loại bỏ (chúng hay được sử dụng để bảo vệ người và tránh dòng rò giữa hệ thống PV và đất). Do đó, nhiều ứng dụng không máy biến áp được đề xuất [2], bao gồm cấu trúc HERIC, cấu trúc FB với DC Bypass, cấu trúc H5, cấu trúc NPC, cấu trúc Conergy NPC. Cấu trúc NPC được giới thiệu bởi Nabae, Takahashi và Akagi vào năm 1981, nó là một trong những cấu trúc bộ nghịch lưu kết nối đến lưới không sử dụng bất kỳ máy biến áp nào. So sánh với các cấu trúc khác, NPC vẫn có thể cho tổn thất chuyển mạch, sóng hài và dòng common mode thấp hơn, cải thiện đáng kể hiệu suất của bộ nghịch lưu và làm cho nó hấp dẫn hơn trong các ứng dụng quang điện (PV).

Trong khi đó nhược điểm chính của bộ nghịch lưu NPC là cho sự phân bố không đều tổn thất ở các thiết bị bán dẫn, mà nó sẽ dẫn đến không cân bằng phân bố nhiệt và giới hạn công suất ngõ ra của bộ nghịch lưu.



**Hình 1:** Cấu trúc 3L-NPC một nhánh

Để giải quyết vấn đề trên bài báo đã thực hiện việc chọn cấu trúc NPC tích cực 3 bậc 2 nhánh (3L – ANPC), như hình 2, để thực hiện việc kết nối lưới điện 1 pha.



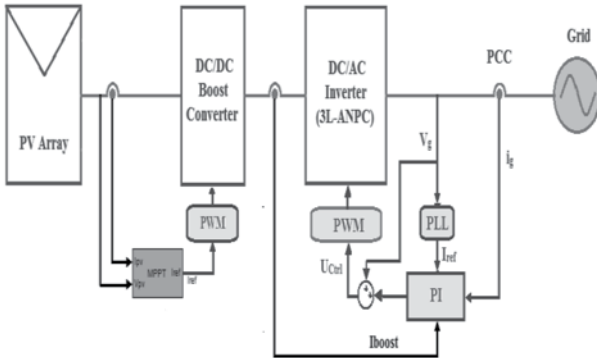
**Hình 2:** Một nhánh của 3L – ANPC

Các diode kẹp D1 và D2 của cấu trúc NPC được thay thế bằng 2 switch  $S_{1c}$  và  $S_{3c}$ , đây là các active switches với các anti-parallel diode ở cấu trúc ANPC, cho phép dòng điện qua 2 chiều. Bằng cách này, các khóa bổ sung sẽ cho phép nhiều hơn các trạng thái chuyển mạch và đảo mạch so với cấu trúc NPC. Vì số lượng các trạng thái chuyển mạch và đảo mạch được gia tăng mà có thể đạt được với cấu trúc ANPC so với NPC, nên nhiều chiến lược điều chế có thể thực hiện để điều khiển bộ nghịch lưu ANPC, [3]. Do đó, bằng cách sử dụng các kỹ thuật điều chế thích hợp, cân bằng tổn thất giữa các thiết bị bán dẫn có thể đạt được.

Đây cũng chính là lý do bài báo đề xuất một chiến lược điều khiển mới sử dụng kỹ thuật đa sóng mang với điện áp common mode trung bình để điều khiển bộ nghịch lưu 3L-ANPC nhằm giải quyết vấn đề tổn thất công suất cũng như đảm bảo yêu cầu kết nối lưới điện 1 pha, [4]. Đồng thời tác giả giới thiệu một kỹ thuật đơn giản để bộ nghịch lưu hòa đồng bộ với lưới sử dụng kỹ thuật vòng khóa pha PLL và bộ điều chỉnh PI. Tất cả sẽ được mô phỏng bằng Simulink/Matlab.

## 2. ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG

Sơ đồ khối toàn bộ hệ thống PV kết nối lưới điện 1 pha không sử dụng máy biến áp được thể hiện ở hình 3.

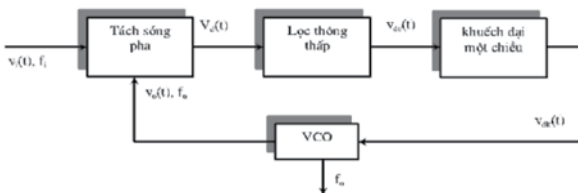


Hình 3: Sơ đồ khối hệ thống đề xuất

Hệ thống bao gồm giàn PV, bộ tăng áp (DC/DC Boost converter), bộ nghịch lưu 3L-ANPC, lưới và các bộ điều khiển. Để đảm bảo dòng công suất từ giàn PV đến lưới thì thật sự cần thiết khi sử dụng bộ tăng áp để đẩy điện áp DC lên cao, đặc biệt là khi không sử dụng máy biến áp. Hệ thống chỉ có thể vận hành khi điện áp DC-bus  $V_{dc}$  lớn hơn biên độ điện áp lưới [5].

### 2.1. Khối PLL

Vòng khóa pha PLL là hệ thống vòng kín hồi tiếp, trong đó tín hiệu hồi tiếp dùng để khóa tần số và pha của tín hiệu ra theo tần số và pha của tín hiệu vào [6], với tín hiệu vào là điện áp lưới, có sơ đồ khối như hình:



Hình 4: Sơ đồ khối của khối PLL

Chức năng của các khối:

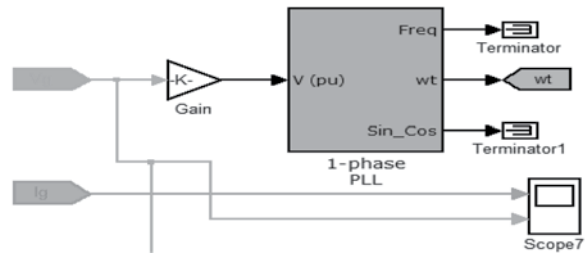
+ Tách sóng pha: so sánh pha giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra của VCO để tạo ra tín hiệu sai lệch  $V_d(t)$ .

+ Lọc thông thấp: lọc gợn của điện áp  $V_d(t)$  để trở thành điện áp biến đổi chậm và đưa vào mạch khuếch đại 1 chiều.

+ Khuếch đại một chiều: khuếch đại điện áp 1 chiều  $V_{dk}(t)$  để đưa vào điều khiển tần số của mạch VCO.

+ VCO (Voltage Controlled Oscillator): bộ dao động mà tần số ra được điều khiển bằng điện áp đưa vào.

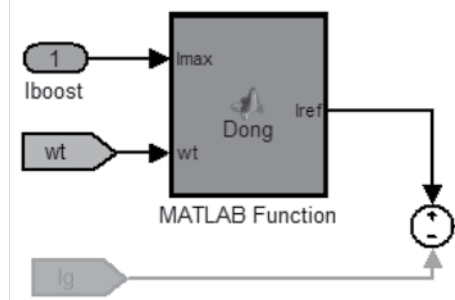
Trong đề tài này, tác giả muốn sử dụng kỹ thuật PLL để thực hiện việc khóa pha và tần số của điện áp lưới để đáp ứng nhu cầu kết nối lưới, đặc biệt là bám theo tần số lưới với ngõ vào là điện áp lưới  $V$ .



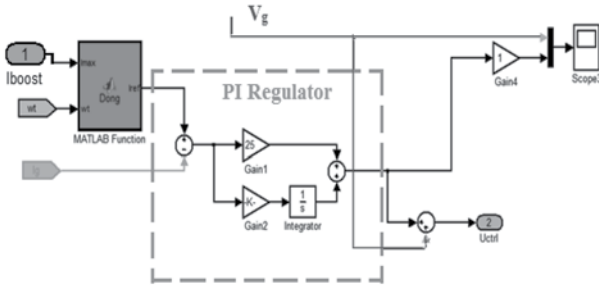
Hình 5: Sơ đồ khối của khối PLL trong Simulink/Matlab

### 2.2. Khối bộ điều chỉnh PI (PI regulator):

Để thực hiện việc đồng bộ kết nối lưới của bộ PV 1 pha lên lưới, ngoài việc sử dụng kỹ thuật PLL, ta phải kết hợp với bộ điều chỉnh PI để thực hiện việc điều khiển bộ nghịch lưu cho phù hợp nhằm sai số giữa dòng tham chiếu và dòng nối lưới. Ngõ ra PLL là  $wt$  được đưa vào khối tạo dòng tham chiếu trước khi được đưa vào bộ điều chỉnh PI, với đoạn code ở phụ lục A.



Hình 6: Khối dòng tham chiếu  $I_{ref}$



**Hình 7:** Khối PI Regulator

Dòng của bộ nghịch lưu  $I_g$  được đo và feed back đến bộ so sánh với dòng tham chiếu  $I_{ref}$ . Dòng  $I_{ref}$  đạt được bằng cách đo điện áp lưới và chuyển đổi qua PLL và đưa về khối tạo dòng tham chiếu. Điều này được thực hiện đảm bảo rằng  $I_g$  luôn bám theo lưới và luôn đồng bộ giữa PV và lưới. Sai lệch dòng tức thời  $e$  được đưa đến bộ điều khiển tích phân – tỷ lệ. Khâu tích phân (I) trong bộ PI cải thiện việc dò tìm, bằng cách giảm sai số tức thời giữa dòng tham chiếu và dòng thực tế [7], Phân phối của khâu tích phân (đôi khi còn gọi là *reset*) tỉ lệ thuận với cả biên độ sai số lẫn quãng thời gian xảy ra sai số. Tổng sai số tức thời theo thời gian (tích phân sai số) cho ta tích lũy bù đã được hiệu chỉnh trước đó. Tích lũy sai số sau đó được nhân với độ lợi tích phân và cộng với tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển. Biên độ phân phối của khâu tích phân trên tất cả tác động điều chỉnh được xác định bởi độ lợi tích phân,  $K_p$ . Khâu tỷ lệ (P) hay còn gọi là độ lợi làm thay đổi giá trị đầu ra, tỷ lệ với giá trị sai số hiện tại. Đáp ứng tỷ lệ có thể

So sánh sóng mang  $C_1, C_2$  với các  $u_{dk1}$  để tạo xung kích cho các cặp switch, cụ thể:

$$s_1 = \begin{cases} 1 & \text{nếu } u_{dk1} > C_2 \\ 0 & \text{nếu } u_{dk1} > C_2 \end{cases}, s_2 = \begin{cases} 1 & \text{nếu } u_{dk1} > C_1 \\ 0 & \text{nếu } u_{dk1} > C_1 \end{cases}, s_3 = \begin{cases} 1 & \text{nếu } u_{dk1} > C_2 \\ 0 & \text{nếu } u_{dk1} > C_2 \end{cases}$$

Dễ dàng chứng minh rằng:

$$\text{Nếu } 0 \leq u_{dk1} < 1 \rightarrow U_{AO} = \frac{V_{dc}}{2} \cdot u_{dk1}$$

$$\text{Nếu } 1 \leq u_{dk1} < 2 \rightarrow U_{AO} = \frac{V_{dc}}{2} \cdot u_{dk1}$$

Việc so sánh này thể hiện ở hình 8.

được điều chỉnh bằng cách nhân sai số đó với hằng số  $K_p$ .

Như [7], bằng cách chọn tần số điều chế là 10KHz, độ lợi trước khâu tích phân được chọn là  $150\text{MHz}/10\text{KHz} = 15000$  và độ lợi khâu tỷ lệ là 25. Với tần số đồng hồ (Clock frequency) là 150MHz.

### 2.3. Giải thuật PWM đề xuất điều khiển 3L-ANPC:

Để khắc phục nhược điểm của các chiến lược điều khiển xem xét ở [3] ta sử dụng kỹ thuật điều khiển đa sóng mang với điện áp common mode trung bình.

Do bộ nghịch lưu được chọn là cấu trúc 3 bậc nên ta chọn 2 sóng mang để điều khiển bộ nghịch lưu 2 nhánh [1]. Để thuận tiện cho việc điều khiển chỉ chọn một nhánh như hình 2 để thực hiện chiến lược điều khiển, nhánh còn lại tương tự.

Quy tắc điều khiển, kích đổi nghịch:

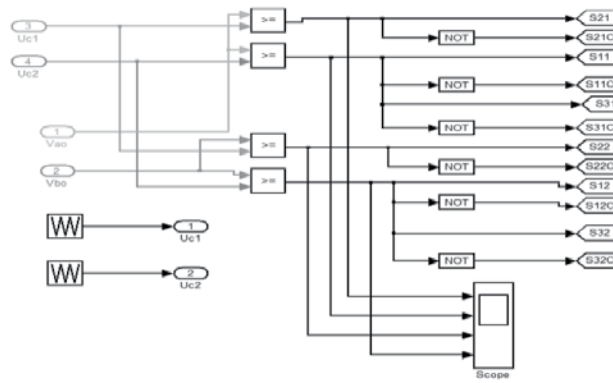
$$S_1 + S_{1C} = 0; S_2 + S_{2C} = 0; S_3 + S_{3C} = 0$$

Ba trạng thái áp nghịch lưu của pha A như bảng sau:

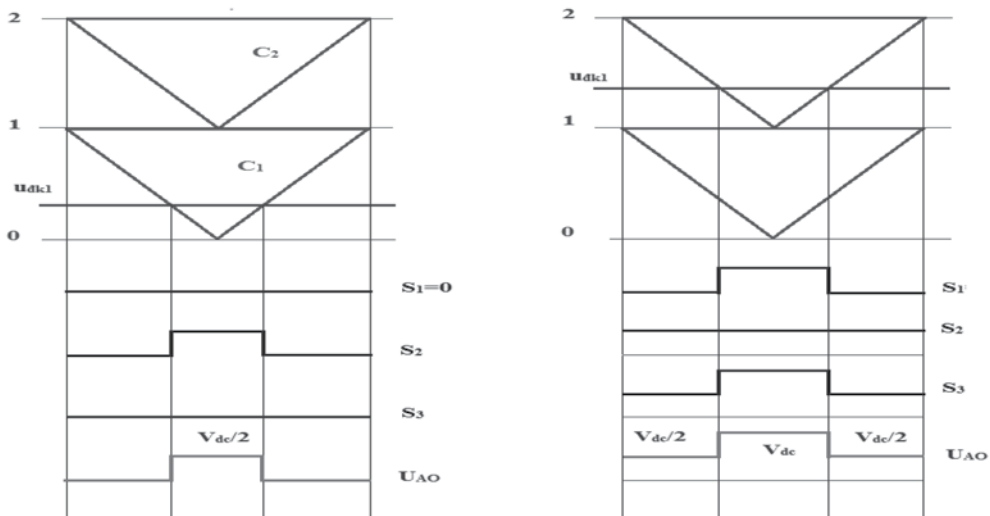
**Bảng 1:** Trạng thái đóng cắt của các switch

$V_{AO}$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_{1C}$	$S_{2C}$	$S_{3C}$
$V_{dc}$	1	1	1	0	0	0
$V_{dc}/2$	0	1	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	1

Từ bảng trạng thái, ta xét điện áp điều khiển nằm trong hai khoảng  $0 \leq u_{dk1} < 1$  và  $1 \leq u_{dk1} < 2$  được trình bày ở hình 9.

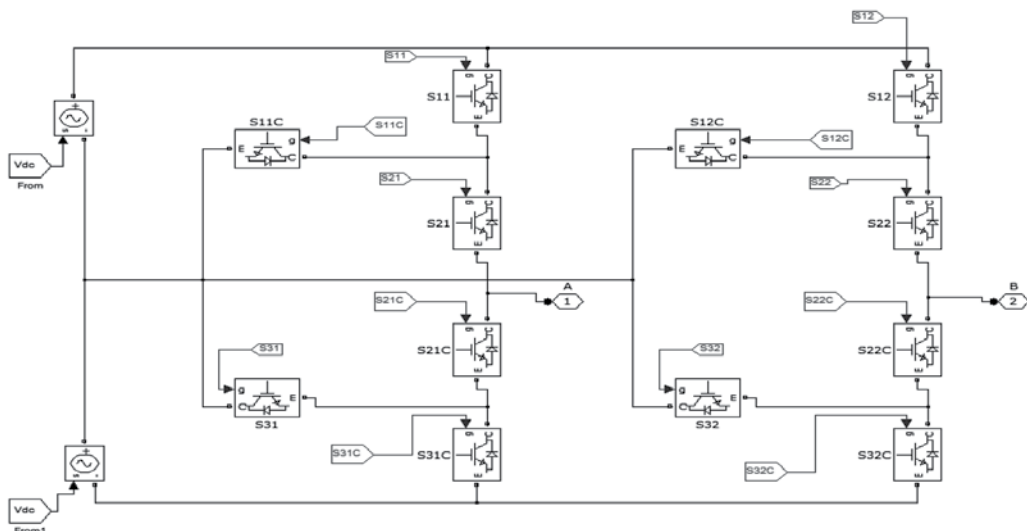


Hình 8 : Khối so sánh giữa sóng mang và tín hiệu điều khiển cho nhánh A và B trong Simulink/Matlab



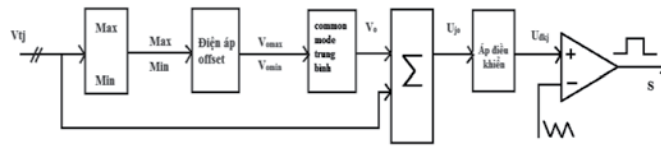
Hình 9: So sánh sóng điều khiển với sóng mang

+ Giải thuật tính toán  $u_{dkj}$  cho bộ nghịch lưu một pha 2 nhánh 3L – ANPC:  
 Cấu trúc 3L-ANPC 2 nhánh sử dụng trong đề tài xét như hình 10.



Hình 10: Cấu trúc 3L-ANPC 2 nhánh trong Simulink/Matlab

Với cấu trúc như trên để tìm áp điều khiển ta có giải thuật tổng quát như sau:



**Hình 11:** Giải thuật tìm áp điều khiển

Ta có thể phân tích điện áp tải của bộ nghịch lưu áp một pha dạng 2 nhánh (mạch cầu) tương tự như bộ nghịch lưu áp ba pha

- Giá trị điện áp 2 pha tải:

Ở trong đề tài này giá trị điện áp 2 pha tải chính là giá trị điện áp  $U_{ctrl}$  sau bộ PI mà chúng ta sẽ được xem xét ở chương kế tiếp.

$$V_{t1} = m \times 220\sqrt{2} \cos(100\pi t) \quad (1)$$

$$V_{t2} = -m \times 220\sqrt{2} \cos(100\pi t) \quad (2)$$

Với  $m$  là hệ số điều chế

- Tìm điện áp offset:

$$V_{0max} = V_{dc} - \max(V_{t1}, V_{t2}) \quad (3)$$

$$V_{0min} = -\min(V_{t1}, V_{t2}) \quad (4)$$

- Điện áp common mode trung bình:

$$V_0 = \frac{(V_{0max} + V_{0min})}{2} \quad (5)$$

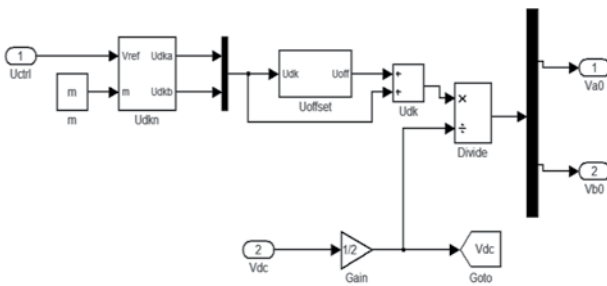
$$V_{A0} = V_{t1} + V_0 \quad (6)$$

$$V_{B0} = V_{t2} + V_0 \quad (7)$$

- Điện áp điều khiển:

$$V_{dk1} = \frac{V_{A0}}{V_{dc}/(n-1)} = \frac{2V_{A0}}{V_{dc}} \quad (8)$$

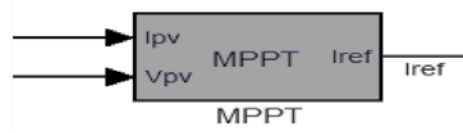
$$V_{dk2} = \frac{V_{B0}}{V_{dc}/(n-1)} = \frac{2V_{B0}}{V_{dc}} \quad (9)$$



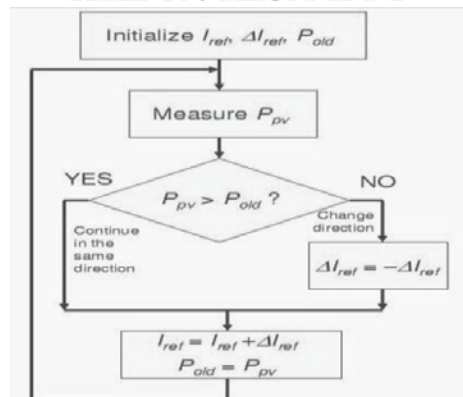
**Hình 12:** Giải thuật tìm áp điều khiển trong Simulink/Matlab

#### 2.4. Bộ MPPT cải tiến:

Nhằm để thực hiện việc dò tìm công suất điểm làm việc cực đại trong đề tài này sử dụng giải thuật MPPT cải tiến, với lưu đồ giải thuật như sau:

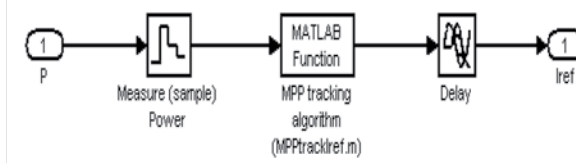


**Hình 13:** Khối MPPT



**Hình 13:** Lưu đồ giải thuật P&O cải tiến.

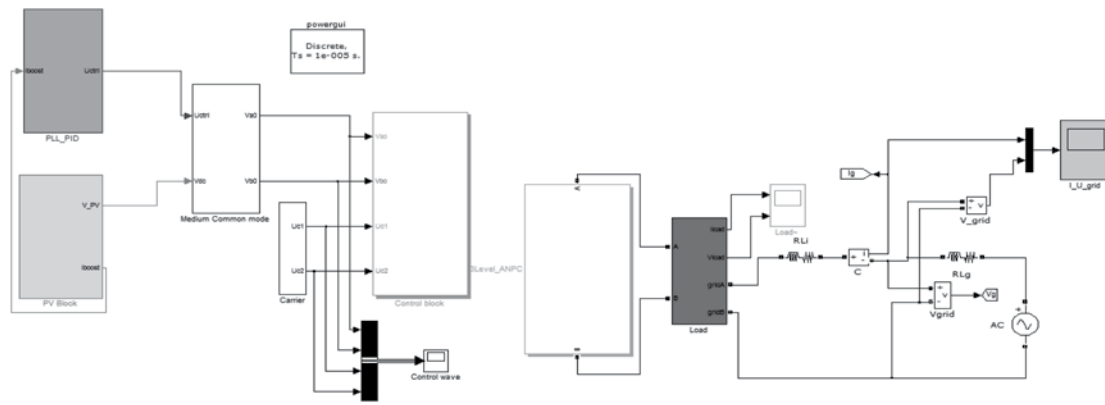
- Mô hình Simulink cải tiến như sau:



Hình 14: Mô hình Simulink của khối MPPT cải tiến.

### 3. MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

#### 3.1. Chọn thông số mô hình:



Hình 15: Hệ thống PV-lưới đề xuất

Để tiến hành thực hiện mô phỏng hệ thống PV kết nối lưới điện 1 pha sử dụng cấu trúc 3L-ANPC với giải thuật đề xuất, các giá trị được chọn như bảng 2 và 3.

**Bảng 2: Thông số lưới, bộ nghịch lưu**

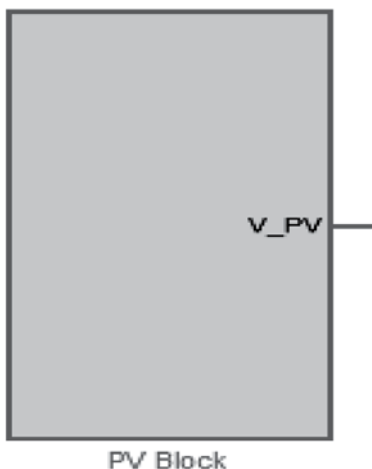
Thông số	
Điện áp lưới $V_g$	$U_{RMS} = 220V$
Dòng lưới $I_g$ (Khi cường độ chiếu sáng $1000W/m^2$ , hệ số điều chế bằng 1)	$I_{RMS} = 6A$
Tần số lưới	$f = 50Hz$
Điện áp ngõ ra bộ DC/DC	$V_{dc} = 311V$
$R_i$	$0.01\Omega$
$L_i$	$5e-3H$
$R_g$	$0.05\Omega$
$L_g$	$1e-4H$
Tần số đóng cắt	$10kHz$

Thông số	Ký hiệu	Độ lớn	Đơn vị
Công suất tại MPP	$P_p$	110	W
Điện áp tại MPP	$V_p$	17	V
Dòng điện tại MPP	$I_p$	6,47	A
Điện áp hở mạch	$V_{oc}$	21,3	V
Dòng điện ngắn mạch	$I_{sc}$	7,48	A
Số cell trong 1 môđun	n	72	cell
Nhiệt độ cơ bản	T	25	$^{\circ}C$

**Bảng 3: Thông số môđun PV EC-110-G.**

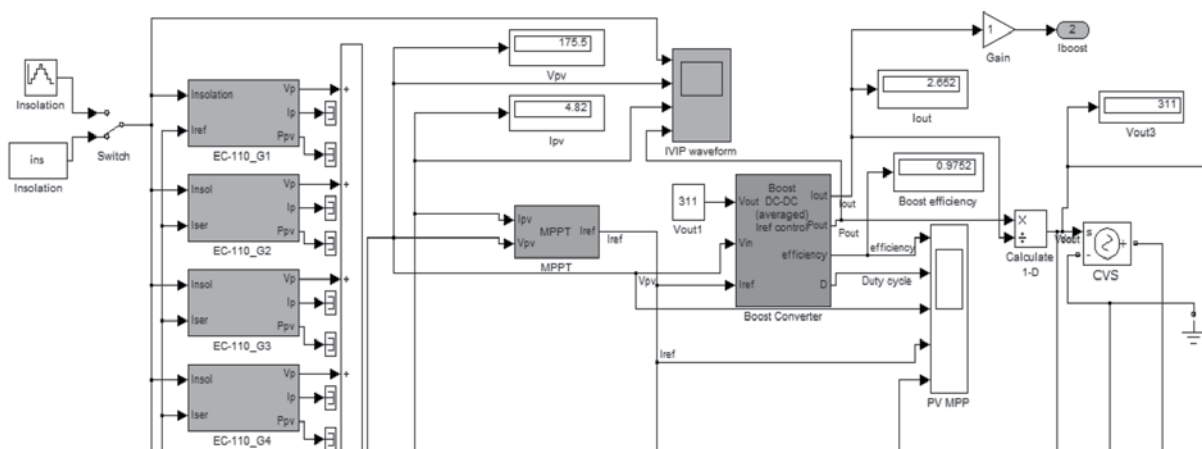
Ta chọn 12 môđun PV EC-110-G để mô phỏng hệ thống.

### 3.2. Mô hình các khối của PV Block trong Matlab/Simulink:



**Hình 16:** Khối PV Block

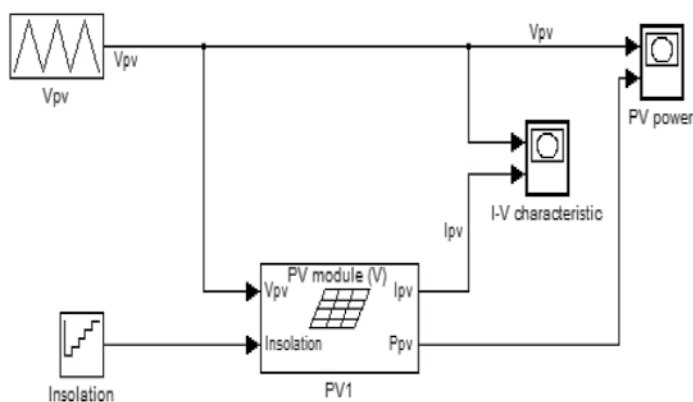
Bên trong khối này như sau:



**Hình 17:** Các khối bên trong của PV Block

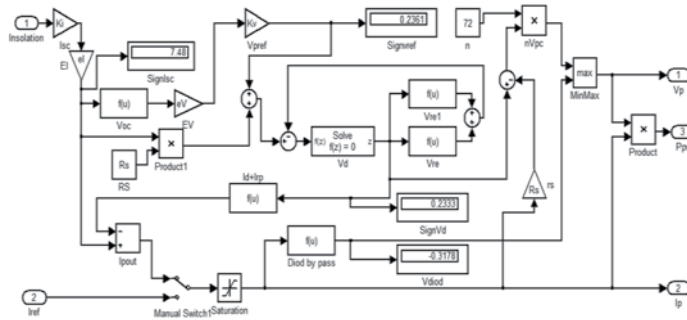
### 3.3. Mô hình PV:

Được viết dưới dạng Model



**Hình 18:** Sơ đồ khối mô hình mô phỏng PV module

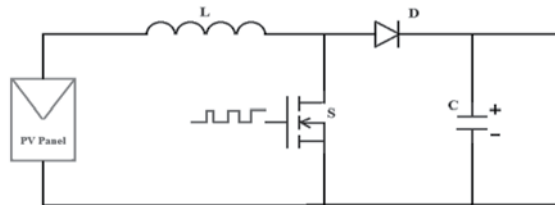




Hình 19: Chi tiết bên trong sơ đồ khối mô hình mô phỏng PV module

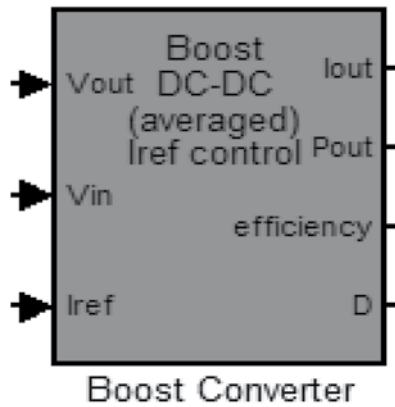
3 Sơ đồ và mô hình DC-DC converter

+ Sơ đồ mạch:



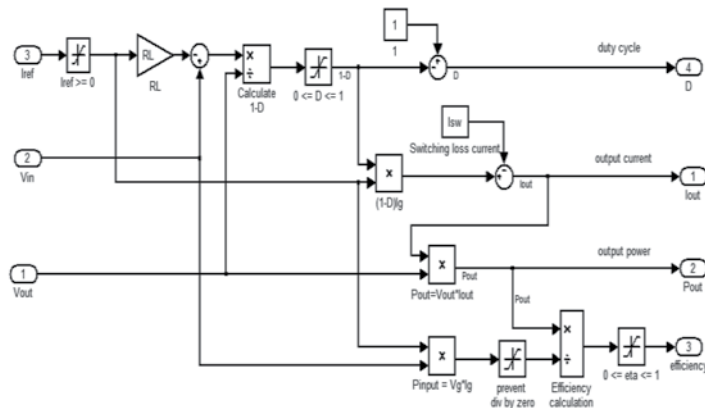
Hình 20: Sơ đồ mạch DC-DC boost converter kết nối PV panel

+ Mô hình của DC –DC boost converter lý tưởng trong Matlab



Hình 21: Khối boost converter

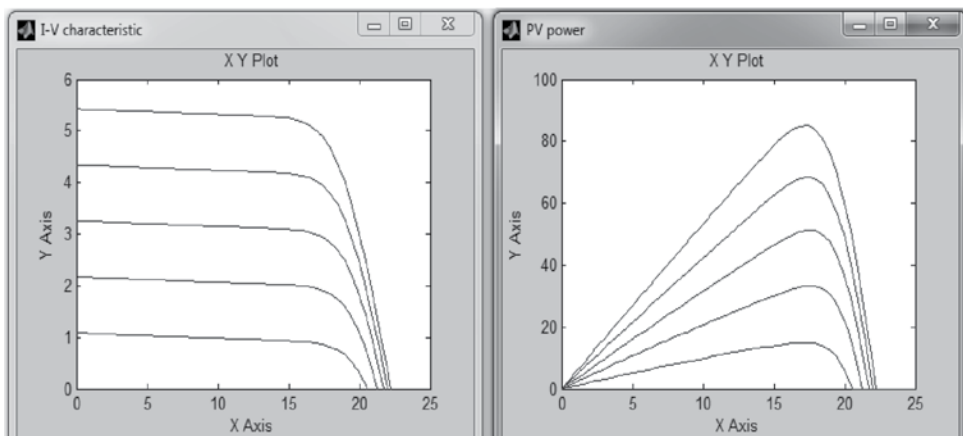
Bên trong khối Boost DC – DC:



Hình 22: Bên trong khối boost converter

## 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRÊN MATLAB/SIMULINK

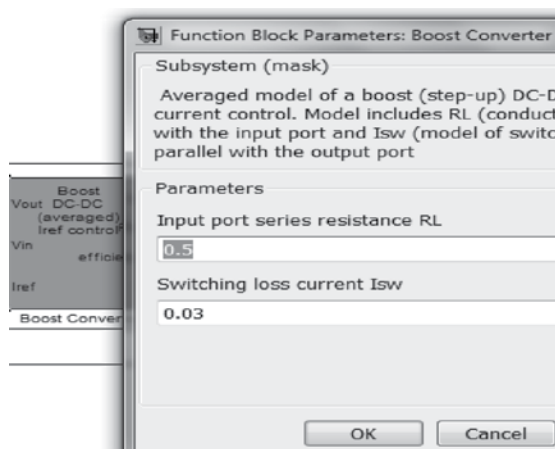
### 4.1. PV module



**Hình 23:** Đường đặc tính  $I-V$  và  $P-V$

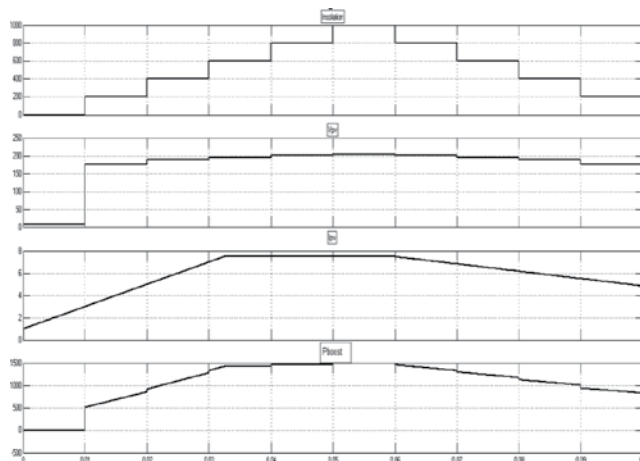
### 4.2. Boost DC – DC converter

Với việc chọn các thông số như trong hình bên dưới:



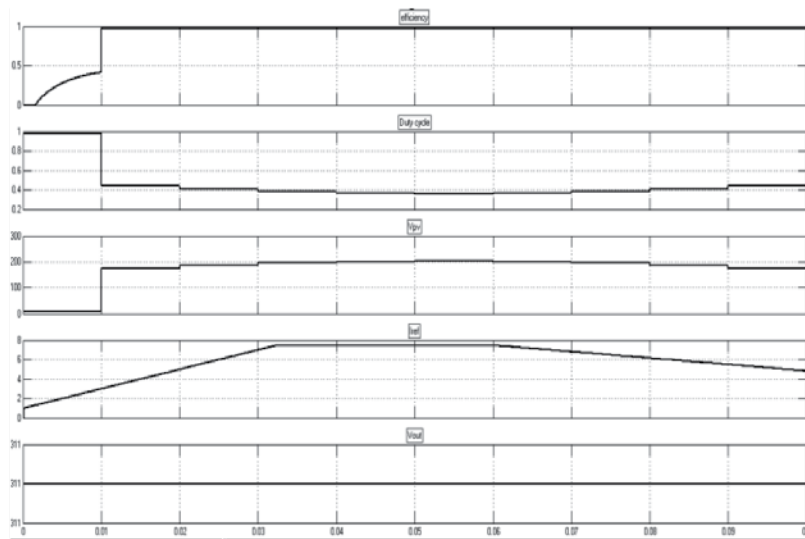
**Hình 24:** Chọn thông số cho bộ DC/DC

Ta có dạng sóng: Insolation (chiều độ) 200, 400, 600, 1000;  $V_{PV}$ ;  $I_{PV}$ ;  $P_{boost}$  với giải thuật MPPT cải tiến:



**Hình 25:** Dạng sóng  $Insolation$ ;  $V_{PV}$ ;  $I_{PV}$ ;  $P_{boost}$

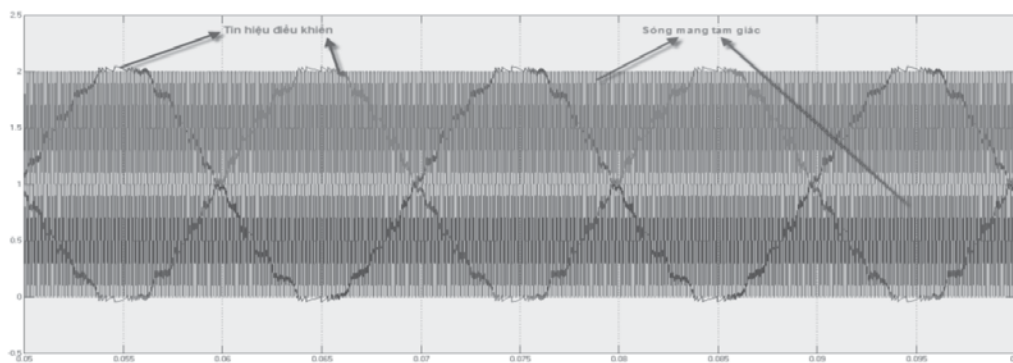
Hiệu suất, Duty cycle,  $V_{pv}$ ,  $I_{ref}$ ,  $V_{out}$  của bộ Boost converter:



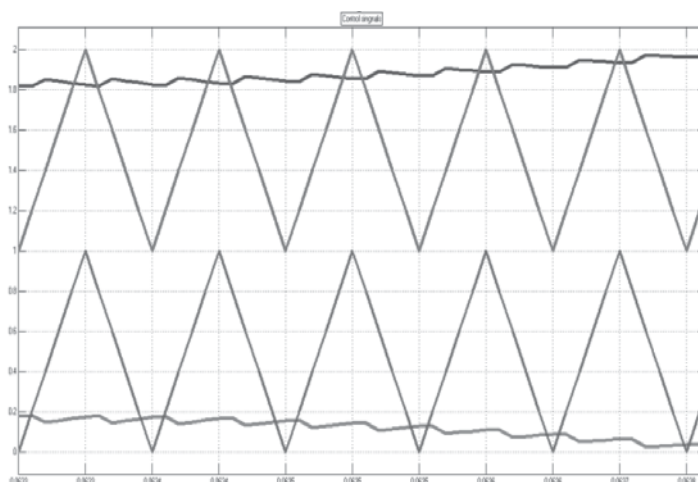
Hình 26: Hiệu suất, Duty cycle,  $V_{pv}$ ,  $I_{ref}$ ,  $V_{out}$  boost converter

### 4.3. Tín hiệu điều khiển và sóng mang

Với hệ số điều chế là 1 ta được:



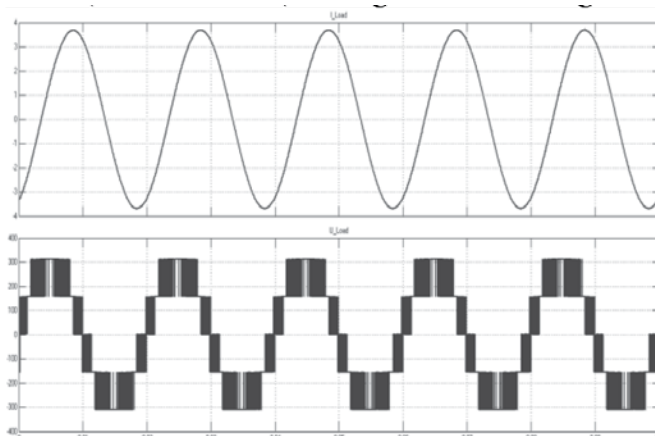
Hình 27: Dạng sóng tín hiệu điều khiển



Hình 28: Dạng sóng tín hiệu điều khiển khi phóng to

#### 4.4. Dòng và áp tải của bộ 3L-ANPC:

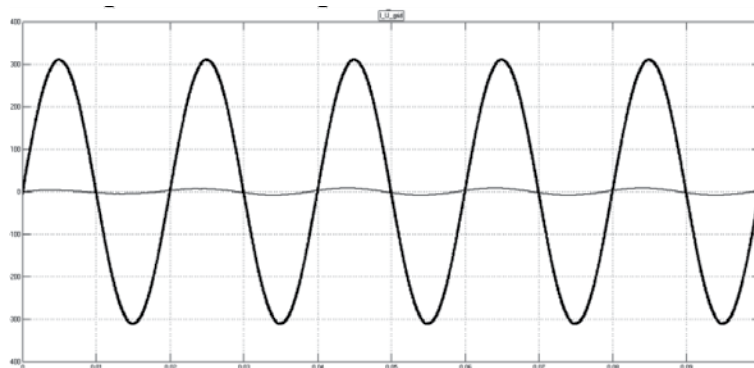
Với tải RL:  $R = 13.8 \Omega$ ;  $L = 0.1194H$ , cường độ chiếu sáng  $1000 W/m^2$



Hình 29: Dạng sóng áp tải và dòng tải với hệ số điều chế  $M=1$

#### 4.5. Dòng và áp của bộ nghịch lưu hòa đồng bộ:

+ Hệ số điều chế 1, cường độ chiếu sáng  $1000 W/m^2$



Hình 30: Dạng sóng dòng và áp bộ nghịch lưu khi hòa đồng bộ với  $M=1$

Phân tích FFT đối với dòng bộ nghịch lưu hòa lưới:

Bảng 4: Tổng méo dạng sóng hài của dòng điện,  $M=1$ ,  $1000 W/m^2$

FFT analysis		
Sampling time	=	1e-005 s
Samples per cycle	=	2000
DC component	=	0.9001409
Fundamental	=	8.509 peak (6.017 rms)
Total Harmonic Distortion (THD) = 3.76%		
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 49900.00 Hz (998th harmonic)		
0 Hz (DC):	0.00%	270.0°
50 Hz (Fund):	100.00%	-72.9°
100 Hz (h2):	0.04%	-29.7°
150 Hz (h3):	1.36%	100.7°
200 Hz (h4):	0.26%	-33.1°
250 Hz (h5):	0.56%	100.8°
300 Hz (h6):	0.29%	54.6°
350 Hz (h7):	0.29%	254.2°
400 Hz (h8):	0.26%	241.3°
450 Hz (h9):	0.33%	253.7°
500 Hz (h10):	0.12%	143.3°
550 Hz (h11):	0.24%	265.3°
600 Hz (h12):	0.45%	178.6°
650 Hz (h13):	1.23%	256.5°

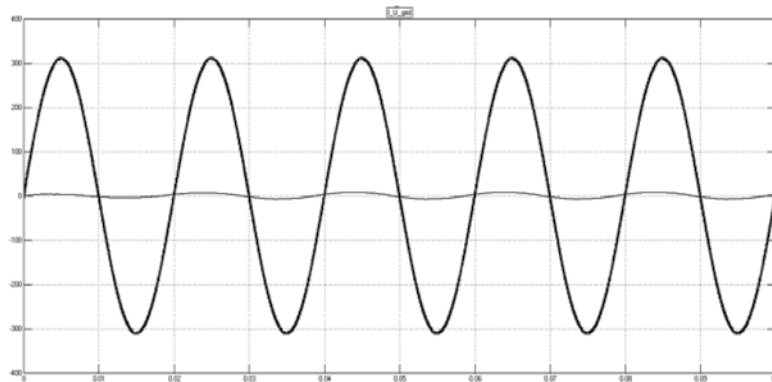
Tổng méo dạng sóng hài: 3.76%

Phân tích FFT đối với áp bộ nghịch lưu hòa lưới:

**Bảng 5:** Tổng méo dạng sóng hài của áp,  $M=1$ ,  $1000\text{ W/m}^2$

FFT analysis			
Sampling time	=	1e-005 s	
Samples per cycle	=	2000	
DC component	=	1.8e-006	
Fundamental	=	311.8 peak (220.5 rms)	
Total Harmonic Distortion (THD) = 0.54%			
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 49900.00 Hz (998th harmonic)			
0 Hz (DC):	0.00%	270.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	269.9°	
100 Hz (h2):	0.00%	219.2°	
150 Hz (h3):	0.00%	156.6°	
200 Hz (h4):	0.00%	88.7°	
250 Hz (h5):	0.00%	166.9°	
300 Hz (h6):	0.00%	10.9°	
350 Hz (h7):	0.00%	-47.4°	
400 Hz (h8):	0.00%	221.7°	
450 Hz (h9):	0.00%	-22.8°	
500 Hz (h10):	0.00%	45.8°	
550 Hz (h11):	0.00%	3.9°	
600 Hz (h12):	0.00%	160.3°	
650 Hz (h13):	0.01%	-1.9°	

Tổng méo dạng sóng hài: 0.54%  
 + Hệ số điều chế 1, cường độ chiếu sáng  $300\text{ W/m}^2$



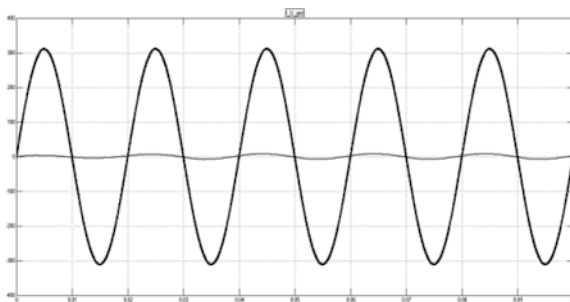
**Hình 31:** Dạng sóng dòng và áp bộ nghịch lưu khi hòa đồng bộ với  $M=1$ , cường độ chiếu sáng  $300\text{ W/m}^2$

Phân tích FFT đối với dòng bộ nghịch lưu hòa lưới:

**Bảng 6:** Tổng méo dạng sóng hài của dòng điện,  $M=1$ ,  $300\text{ W/m}^2$

FFT analysis			
DC component	=	5.185e-005	
Fundamental	=	7.815 peak (5.526 rms)	
Total Harmonic Distortion (THD) = 4.13%			
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 49900.00 Hz (998th harmonic)			
0 Hz (DC):	0.00%	270.0°	
50 Hz (Fnd):	100.00%	-71.3°	
100 Hz (h2):	0.10%	257.9°	
150 Hz (h3):	1.55%	95.4°	
200 Hz (h4):	0.22%	12.1°	
250 Hz (h5):	0.65%	107.4°	
300 Hz (h6):	0.39%	147.6°	
350 Hz (h7):	0.33%	-47.0°	
400 Hz (h8):	0.04%	-20.6°	
450 Hz (h9):	0.69%	224.2°	
500 Hz (h10):	0.37%	65.5°	
550 Hz (h11):	0.29%	-84.3°	
600 Hz (h12):	0.08%	176.0°	
650 Hz (h13):	1.20%	237.9°	

Tổng độ méo dạng dòng bộ nghịch 4.13%  
 + Hệ số điều chế 0.8, cường độ chiếu sáng  $600\text{ W/m}^2$



**Hình 32:** Dạng sóng dòng và áp bộ nghịch lưu với  $M=0,8$ ;  $600 \text{ W/m}^2$

Phân tích FFT đối với áp bộ nghịch lưu hòa lưới:

**Bảng 7:** Tổng méo dạng sóng hài của áp,  $M=0.8$ ;  $600 \text{ W/m}^2$

FFT analysis		
Sampling time	=	1e-005 s
Samples per cycle	=	2000
DC component	=	4.459e-005
Fundamental	=	7.689 peak (5.437 rms)
<b>Total Harmonic Distortion (THD) = 4.90%</b>		
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 49900.00 Hz (998th harmonic)		
0 Hz (DC):	0.00%	90.0°
50 Hz (Fnd):	100.00%	-76.0°
100 Hz (h2):	0.11%	177.4°
150 Hz (h3):	1.63%	79.4°
200 Hz (h4):	0.13%	-73.6°
250 Hz (h5):	0.99%	117.9°
300 Hz (h6):	0.54%	161.4°
350 Hz (h7):	0.05%	-28.7°
400 Hz (h8):	0.39%	-36.7°
450 Hz (h9):	0.69%	249.4°
500 Hz (h10):	0.38%	8.2°
550 Hz (h11):	0.44%	-76.8°
600 Hz (h12):	0.09%	43.6°
650 Hz (h13):	1.54%	229.3°

Tổng méo dạng sóng hài: 4.9%

Theo tiêu chuẩn kết nối lưới như *bảng 7*, cũng như *bảng 8*, thì ta thấy dùng bộ nghịch lưu 3L-ANPC dùng để kết nối lưới điện 1 pha hoàn toàn khả dụng với độ méo dạng sóng hài rất nhỏ. Điều này chứng tỏ với chiến thuật đề xuất là phù hợp.

**Bảng 8:** Phần trăm méo dạng cho phép

Harmonic order h (odd harmonics) <sup>a</sup>	Distortion limits <sup>b</sup>
THD	5%
3 <sup>rd</sup> through 9 <sup>th</sup>	<4.0%
11 <sup>th</sup> through 15 <sup>th</sup>	<2.0%
17 <sup>th</sup> through 21 <sup>st</sup>	<1.5%
23 <sup>rd</sup> through 33 <sup>rd</sup>	<0.6%
above 33 <sup>rd</sup>	<0.3%

*a:* Thậm chí các sóng hài được giới hạn đến 25% của các giới hạn hài bậc lẻ (odd harmonic) trên.

*b:* Tất cả các giới hạn được cho như phần trăm của tỉ số thành phần dòng cơ bản.

**Bảng 9:** Tóm tắt các tiêu chuẩn kết nối PV với lưới

ISSUE	IEC61727 [3]	IEEE1547 [5]	EN61000-3-2 [4]
Nominal power	10 kW	30 kW	16 A × 230 V = 3.7 kW
Harmonic currents (Order – h) Limits	(3-9) 4.0% (11-15) 2.0% (17-21) 1.5% (23-33) 0.6%	(2-10) 4.0% (11-16) 2.0% (17-22) 1.5% (23-34) 0.6% (> 35) 0.3%	(3) 2.30 A (5) 1.14 A (7) 0.77 A (9) 0.40 A (11) 0.33 A (13) 0.21 A (15-39) 2.25/h
	Even harmonics in these ranges shall be less than 25% of the odd harmonic limits listed.		Approximately 30% of the odd harmonics -see standard.
Maximum current THD	5.0%		-
Power factor at 50% of rated power	0.90	-	
DC current injection	Less than 1.0% of rated output current.	Less than 0.5% of rated output current.	< 0.22 A -corresponds to a 50 W half-wave rectifier.
Voltage range for normal operation	85% - 110% (196 V – 253 V)	88% - 110% (97 V – 121 V)	-
Frequency range for normal operation	50 ± 1 Hz	59.3 Hz to 60.5 Hz	-

### 5. KẾT LUẬN

Với việc chọn bộ nghịch lưu 3L-ANPC đã khắc phục được nhược điểm cố hữu của bộ nghịch lưu NPC đó là đảm bảo cân bằng phân bố tổn thất công suất cũng như phân bố về nhiệt trên các thiết bị bán dẫn. Ngoài ra đề tài này đã đề xuất một giải thuật điều khiển cấu trúc ANPC thực hiện việc kết nối giàn PV với lưới một cách thành công, thể hiện qua độ méo dạng sóng hài của bộ nghịch lưu bơm vào lưới rất thấp, đạt được tiêu chuẩn kết nối lưới đề ra. Đặc biệt đề tài này cũng giới thiệu một

cách cơ bản kỹ thuật hòa đồng bộ nối PV với lưới thông qua kỹ thuật PLL và bộ điều chỉnh PI khi có sự sai lệch về dòng bơm lên lưới và dòng tham chiếu. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu tiếp theo cần giải quyết tốt hơn nữa giải thuật điều chế bộ nghịch lưu ANPC bằng các giải thuật cao hơn, chẳng hạn: giải thuật triệt tiêu sóng hài chọn lọc (Selective Harmonic Elimination –SHE) kết hợp với giải thuật gen (Genetic Algorithm). Và nâng cao hơn nữa kỹ thuật hòa đồng bộ giữa PV và lưới khi có nhiều yếu tố tác động lên hệ thống PV, cũng như lưới.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Nhờ, Điện tử công suất 1, Nhà xuất bản ĐHQG, 2009, 300 trang
- [2]. Kereles, *Transformerless photovoltaic Inverters Connected to the grid*, IEEE 2006.
- [3]. D. Floricau, E.Floricau and M.Dumitrescu, *Natural Doubling of the Apparent Switching Frequency using Three-level ANPC Converter*, Nonsinusoidal Currents and Compensation, 2008. ISNCC 2008. International School on 10-13 June 2008 Page (s): 1 – 6
- [4]. Soeren Baekhoej Kjaer, *A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules*, IEEE Transactions On Industry Applications, VOL. 41, NO. 5, September/October 2005.
- [5]. J.Selvaraj, *Digital PI Current Control for Grid Connected PV Inverter*, IEEE 2008.
- [6]. Mihai Ciobotaru , *Offset rejection for PLL based synchronization in grid-connected converters*, IEEE 2008
- [7]. J.Selvaraj, *Digital PI current control for grid connected PV inverter*, IEEE 2