

## SỬ DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN ĐỂ GIẢM SÓNG HÀI CHO NGHỊCH LƯU NỔI LƯỚI

### USING A GENETIC ALGORITHM TECHNIQUE TO REDUCE HARMONICS IN GRID-CONNECTED INVERTERS

Trần Quang Thọ<sup>1</sup>, Trương Việt Anh<sup>1</sup>, Lê Minh Phương<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup> Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

Ngày tòa soạn nhận bài 29/01/2016, ngày phân biện đánh giá 28/02/2016, ngày chấp nhận đăng 10/03/2016

#### TÓM TẮT

*Sự phổ biến của các nguồn điện phân tán (DG) sử dụng năng lượng tái tạo như gió, mặt trời trong hệ thống điện ngày càng tăng. Để hạn chế sóng hài của các DG này, các tiêu chuẩn nổi lưới được ban hành ngày càng nghiêm ngặt nhằm ổn định hệ thống điện. Việc tăng tần số chuyển mạch trong nghịch lưu nổi lưới của DG để giảm sóng hài là một phương pháp phổ biến nhưng cũng làm tăng tổn hao chuyển mạch (THCM). Bài báo này đề xuất một kỹ thuật điều chế với chu kỳ chuyển mạch thay đổi để giảm sóng hài cho nghịch lưu mà không làm tăng tổn hao chuyển mạch dùng giải thuật di truyền. Tính hiệu quả của kỹ thuật đề nghị được khẳng định bằng việc so sánh kết quả với các phương pháp tần số chuyển mạch thay đổi hiện nay.*

**Từ khóa:** nguồn điện phân tán (DG); khử hài lựa chọn (SHE); điều chế độ rộng xung sin (SPWM); tổn hao chuyển mạch; độ méo hài toàn phần (THD); giải thuật di truyền (GA).

#### ABSTRACT

*The penetration of distributed generation (DG) using renewable energy sources - solar and wind power - into grid systems is rapidly increasing worldwide. To limit harmonics of DGs, the increasingly stringent grid standards are imposed by utility companies to maintain grid stability. Increasing the switching frequency of SPWM in inverters is a popular method used in practice for reducing total harmonic distortion (THD); however, this increases switching losses. This paper proposes an SPWM technique with variable switching cycle for reducing the harmonics but without any increase in switching loss using a genetic algorithm technique. To validate the performance of the proposed technique, the results generated by the proposed technique are compared to those of the existing variable switching frequency methods.*

**Keywords:** distributed generation (DG); genetic algorithm (GA); selective harmonic elimination (SHE); sinusoidal pulse-width modulation (SPWM); switching loss; total demand distortion (TDD); total harmonic distortion (THD).

#### 1. GIỚI THIỆU

Các DG sử dụng năng lượng tái tạo như gió, mặt trời ngày càng nhiều vì tính bền vững và thân thiện với môi trường trong khi tiềm năng vô cùng lớn. Nhưng nghịch lưu nổi lưới trong DG lại phát sóng hài đáng kể vào hệ thống điện và ảnh hưởng đến chất lượng điện năng của hệ thống điện. Nhu cầu giảm sóng hài trong nghịch lưu ngày càng tăng để thỏa mãn các tiêu chuẩn nổi lưới [1-3] ngày càng nghiêm ngặt. Việc tăng điện cảm bộ lọc để giảm sóng hài sẽ làm tăng kích thước và chi phí của thiết bị. Việc tăng tần số chuyển

mạch trong các kỹ thuật SPWM [4-7] được sử dụng rất phổ biến để giảm sóng hài. Nhưng điều này lại làm tăng THCM [8] và gây tăng nhiệt độ của linh kiện.

Kỹ thuật SPWM với tần số chuyển mạch thay đổi trong [9] để giảm THCM đòi hỏi phải có mô hình nhiễu hài chính xác của nghịch lưu. Ngoài ra, tính toán phức tạp làm cho đáp ứng động kém và thiếu bền vững. Hơn nữa, dải tần số chuyển mạch cao (16-90 kHz) không phù hợp với linh kiện công suất thực tế của nghịch lưu. Kỹ thuật dựa vào độ

méo dạng nhu cầu (TDD) trong [10] để chọn tần số chuyển mạch. Tuy nhiên, THCM chưa được xem xét và không có khả năng SHE.

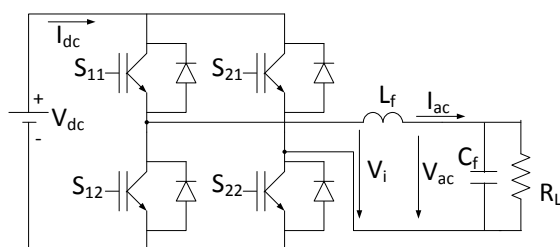
Các nghịch lưu đa bậc [11-12] cũng được dùng để giảm sóng hài nhưng đòi hỏi nhiều linh kiện, nguồn dc, làm tăng chi phí và điều khiển phức tạp. Kỹ thuật điều khiển bão hòa trong [13] phụ thuộc vào sai số cảm biến nên không bền vững.

Bài báo này đề xuất một kỹ thuật SPWM với tần số chuyển mạch thay đổi. Mỗi chu kỳ sóng mang trong mỗi nửa chu kỳ cơ bản (NCKCB) được xác định bằng giải thuật di truyền (GA) với hàm mục tiêu là sóng hài và ràng buộc THCM không tăng so với phương pháp tần số chuyển mạch cố định. Sự can thiệp sâu vào từng chu kỳ chuyển mạch làm tăng hiệu quả SHE. Việc giảm sóng hài mà không làm tăng THCM giúp thỏa mãn tiêu chuẩn nối lưới, giảm kích thước và chi phí bộ lọc.

## 2. NHIỀU HÀI DÒNG ĐIỆN

Cả THD và THCM đều phụ thuộc vào tần số chuyển mạch. Trong kỹ thuật SPWM thông thường với tần số chuyển mạch cố định, tần số chuyển mạch càng cao thì THD càng giảm và THCM càng tăng, và ngược lại [14].

Để kiểm tra kỹ thuật đề xuất, một nghịch lưu cầu H 1 pha điều chế đơn cực được sử dụng như hình 1.



**Hình 1.** Nghịch lưu cầu H một pha

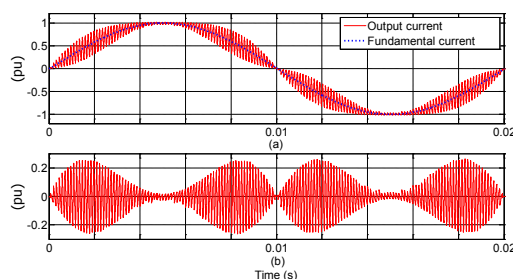
Tổn hao trong linh kiện bao gồm THCM, tổn hao dẫn và tổn hao khác.

Giả sử rằng tổn hao dẫn và tổn hao khác không phụ thuộc tần số chuyển mạch, và THCM phụ thuộc tuyến tính vào tần số chuyển mạch và dòng điện tức thời cơ bản chạy qua nghịch lưu trong mỗi chu kỳ chuyển mạch.

Dựa vào phương pháp xếp chồng, dòng điện ngõ ra nghịch lưu bao gồm dòng cơ bản và nhiều hài dòng điện. Giá trị hiệu dụng (rms)

của nhiều hài từ đỉnh-đỉnh trong một chu kỳ chuyển mạch như (1) theo phương pháp của [15]. Dạng sóng như hình 2 với  $L_f$  là điện cảm bộ lọc và  $T_s$  là chu kỳ sóng mang,  $m$  là chỉ số điều chế, và  $w$  là tần số góc.

$$\Delta I = \frac{T_s \cdot V_{dc}}{L_f 2\sqrt{3}} [1 - m \cdot |\sin(\omega t)] \cdot m \cdot |\sin(\omega t)| \quad (1)$$



**Hình 2.** Dòng điện ngõ ra với  $m=0.97$ . (a) Dòng điện cơ bản và dòng thực; (b) Nhiều hài dòng điện

Khi đó, THD và THCM được tính như sau:

$$THD = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{\sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \Delta I_p^2 d(\omega t)}}{I_1} \quad (2)$$

$$\Delta P_w = C_1 \cdot \frac{I_1 \sqrt{2}}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{|\sin(\omega t)|}{T_s} d(\omega t) \quad (3)$$

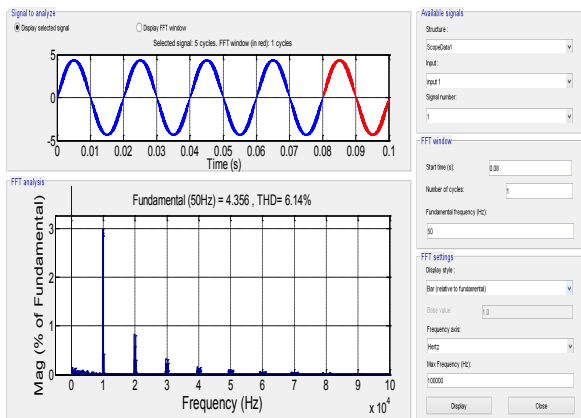
Trong đó:  $I_1$  và  $DI$  là hiệu dụng của dòng cơ bản và nhiều trong mỗi NCKCB tương ứng. Trong trường hợp tần số sóng mang cố định, THCM trong mỗi NCKCB tính như (3) với  $C_1$  là hằng số phụ thuộc vào điện áp dc.

**Bảng 1.** Tham số hệ thống thí nghiệm

Parameter	Symbol	Value
Inductance of filter	$L_f$	4 mH
Resistance of $L_f$	$R_f$	0.3 W
DC voltage value	$V_{dc}$	150 V
Capacitor of filter	$C_f$	1 $\mu$ F
Fundamental frequency	f	50 Hz
Modulation index	m	0.97
Load resistance	$R_L$	32 W

Hằng số  $C_1$  tính được bằng cách dựa vào phương pháp của [16] với sơ đồ ở hình

1 và tham số ở bảng 1. Kết quả thu được  $C_1=1.069 \times 10^{-4}$  và THCM bằng 1.48212 W. Khi tần số chuyển mạch bằng 5 kHz thì THD thu được bằng 6.14% và có hài riêng lẻ cao hơn 3% như hình 3 và có thể gây nhiễu âm.



Hình 3. Phổ hài dòng điện với  $T_s=200$  ms

### 3. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT

#### 3.1 Hàm mục tiêu

Dựa vào hình 2 cho thấy rằng nhiều hài dòng điện thay đổi không đồng đều trong mỗi NCKCB khi tần số sóng mang cố định và làm cho giá trị nhiễu hài hiệu dụng tăng cao đáng kể trong cả chu kỳ cơ bản. Trong các khoảng thời gian dòng điện tức thời cao (đỉnh hình sin) thì THD dòng điện thấp và ngược lại. Đây chính là cơ sở quan trọng để phân bố lại nhiều hài dòng điện sao cho đồng đều hơn nhằm cực tiểu hiệu dụng của THD dòng điện trong mỗi chu kỳ cơ bản. Như vậy, giá trị hiệu dụng của THD dòng điện của nghịch lưu trong mỗi NCKCB có thể giảm được bằng cách thay đổi tần số sóng mang một cách thích hợp. Tần số sóng mang cần phải tăng trong những khoảng thời gian có nhiều hài dòng điện cao để giảm THD dòng điện xuống và giảm trong khoảng có nhiều hài dòng điện thấp để giảm tổn hao chuyển mạch.

Dựa vào công thức (1) và (2) cho thấy rằng THD dòng điện tỉ lệ tuyến tính với DI đối với một dòng điện hiệu dụng cơ bản cho trước như sau:

$$THD \sim \Delta I \quad (4)$$

Cho nên:

$$THD \sim \frac{1}{\pi} \sum_{i_k=0}^{i_k=\pi} \Delta I_k^2 \cdot t_k \quad (5)$$

Mục tiêu của phương pháp đề nghị là cực tiểu THD dòng điện trong (5) bằng cách thay đổi chu kỳ chuyển mạch trong mỗi NCKCB với ràng buộc  $\Delta P_{sw} \leq 1.48212$ . Vì vậy hàm mục tiêu sẽ như (6), trong đó  $i_k$  là dòng điện tức thời và  $i_{1k}$  là dòng điện cơ bản tức thời chảy qua nghịch lưu tại thời điểm lấy mẫu  $t_k$ .

$$Fitness = \sum_{i_k=0}^{i_k=\pi} (i_k - i_{1k})^2 \quad (6)$$

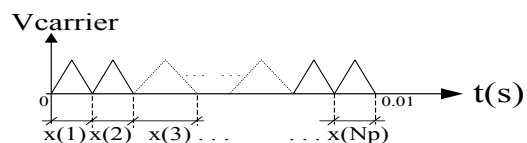
#### 3.2 Xác định chu kỳ chuyển mạch

Giải thuật GA được đề nghị sử dụng để xác định từng chu kỳ chuyển mạch của sóng mang trong mỗi NCKCB. Bởi vì GA còn có khả năng SHE bằng cách đưa vào hàm ràng buộc hoặc hàm mục tiêu thông qua hệ số phạt. Đối với tần số chuyển mạch cố định 5 kHz chỉ có 50 xung tam giác trong mỗi NCKCB với độ rộng bằng nhau và bằng 200 ms. Trong khi phương pháp đề nghị, mỗi chu kỳ của xung tam giác sẽ có độ rộng khác nhau. Số xung  $N_p$  phải được mã hóa như hình 4. Các sóng mang được mã hóa bằng  $N_p$  biến với độ rộng  $x(n)$  và  $n=1$  đến  $N_p$ .

$$\sum_{n=1}^{n=N_p} x(n) = \frac{1}{2} \frac{1}{f} = \frac{1}{2} \frac{1}{50} = 0.01s = 10000\mu s \quad (7)$$

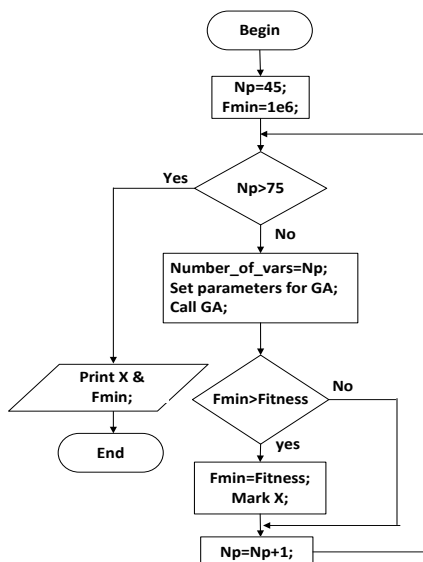
$$\text{Với } x(n) \geq x_{\min} = \frac{1}{f_{\max}} \quad (8)$$

Trong đó  $f_{\max}$  là tần số chuyển mạch tối đa cho phép của linh kiện.

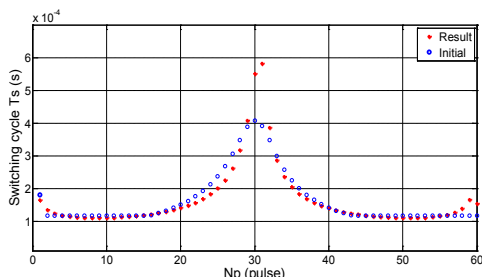


Hình 4. Mã hóa chu kỳ sóng mang

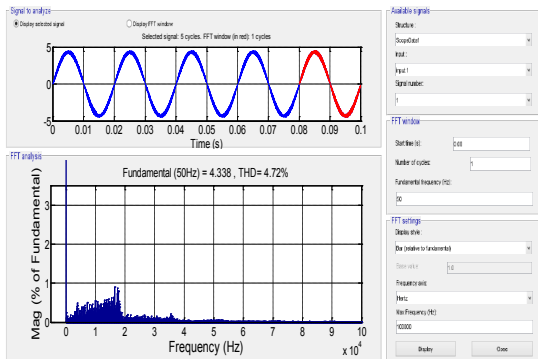
Để đảm bảo sự hội tụ, các giá trị ban đầu được khởi tạo cùng các biên dưới nhỏ hơn 1000ms, và biên trên lớn hơn 1000ms so với giá trị đầu, số cá thể ban đầu bằng 3000 và số thế hệ là 100. Kết quả thu được  $T_{s, \text{var}}$  là các điểm "\*" như hình 6 bằng cách sử dụng công cụ Optimization của MATLAB và nhiễu hài dòng điện như hình 7 cho thấy THD giảm còn 4.72% và phổ trải trong một phạm vi rộng nên không cần bộ lọc nhiễu âm.



Hình 5. Lưu đồ giải thuật GA



Hình 6. Kết quả  $T_{s-var}$  thu được



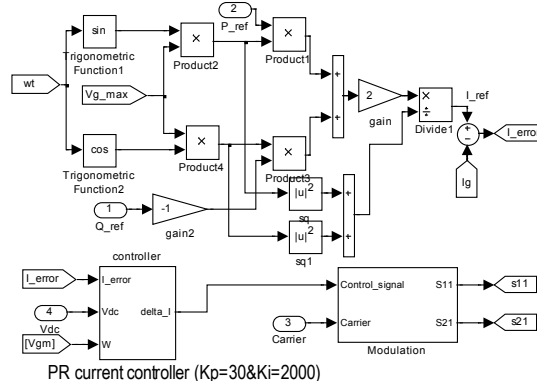
Hình 7. Phổ hài dòng điện

#### 4. NGHỊCH LƯU NỔI LƯỚI

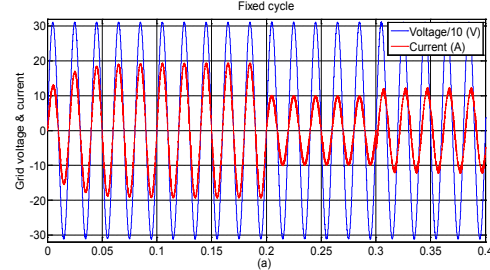
Hệ thống nghịch lưu nổi lưới như hình 8 với tham số ở bảng 2. Phương pháp TDD trong [10], phương pháp nhiều hằng số CR (Constant ripple) trong [17-18] cũng được khảo sát trong bài báo này. Hơn nữa, bài báo cũng thực hiện cải tiến phương pháp trải phổ cho điều chế vector không gian trong [19] áp dụng cho SPWM (MSANS) để có được cùng một điều kiện cài đặt nhằm thuận tiện cho đánh giá tính hiệu quả.

Bảng 2. Thông số nghịch lưu nổi lưới

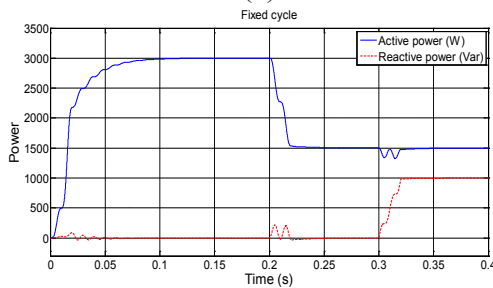
Parameter	Symbol	Value
Inductance of filter	$L_f$	4.7 mH
Resistance of $L_f$	$R_f$	0.3 W
Inductance of grid source	$L_g$	0.01 mH
Resistance of $L_g$	$R_g$	0.01 W
DC voltage value	$V_{dc}$	350 V
Grid source voltage	$V_{ac}$	220V
Constant (350 VDC)	$C_1$	$2.49433 \times 10^{-4}$
Capacitor of filter	$C_f$	1 $\mu$ F



Hình 8. Sơ đồ nguyên lý điều khiển



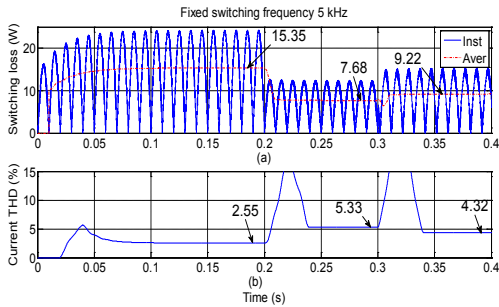
(a)



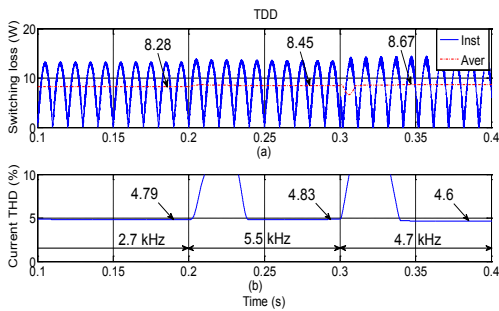
(b)

Hình 9. Đáp ứng của dòng, áp và công suất.  
 (a) Dòng và áp; (b) Công suất

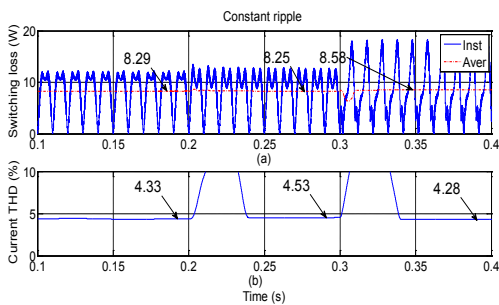
Các kết quả mô phỏng của hệ thống nghịch lưu nối lưới của các phương pháp khảo sát thể hiện trong hình 9-18 và bảng 3.



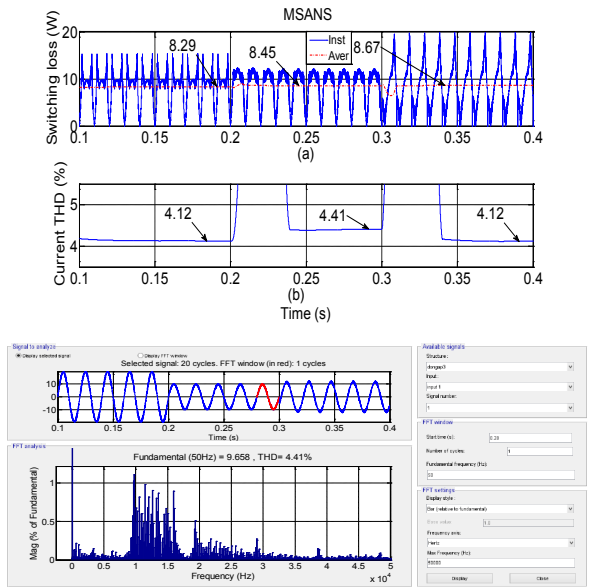
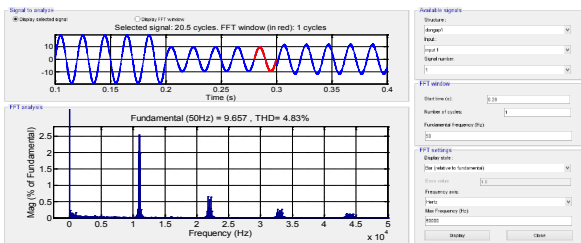
Hình 10. Tần số chuyển mạch cố định



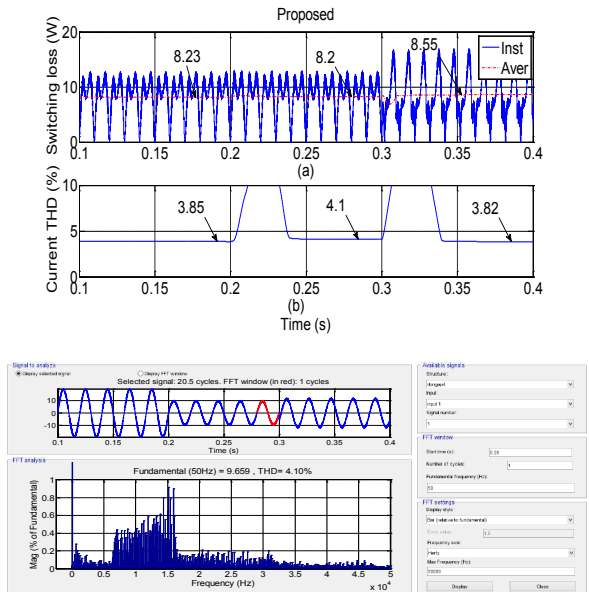
(c) Phổ hài dòng điện khi  $0.2 < t < 0.3s$   
 Hình 11. Phương pháp TDD



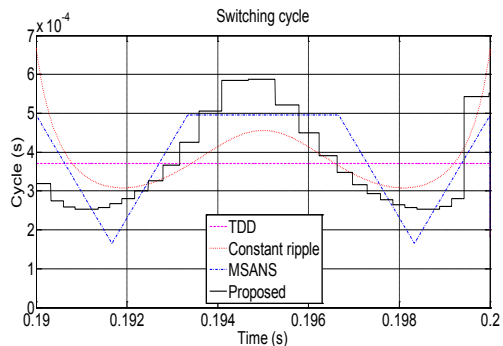
(c) Phổ hài dòng điện khi  $0.2 < t < 0.3s$   
 Hình 12. Phương pháp CR



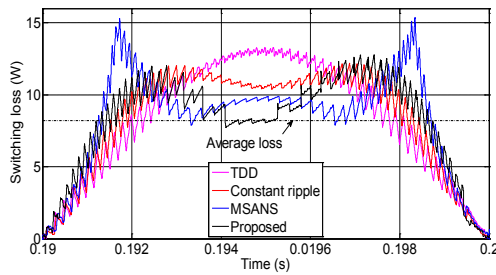
(c) Phổ dòng điện khi  $0.2 < t < 0.3s$   
 Hình 13. Phương pháp trải phổ cải tiến MSANS



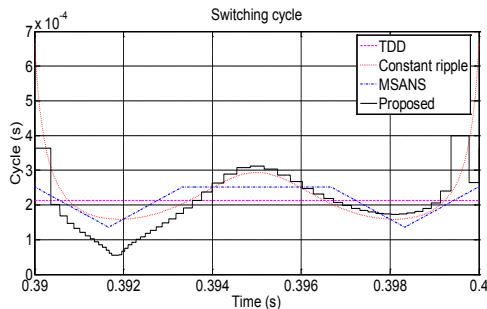
(c) Phổ hài dòng điện khi  $0.2 < t < 0.3s$   
 Hình 14. Phương pháp đề nghị



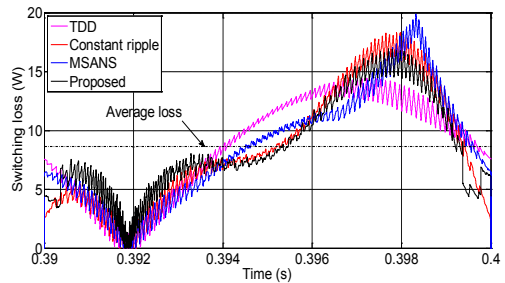
Hình 15. Chu kỳ chuyển mạch khi  $Q=0$



Hình 16. Tổn hao chuyển mạch khi  $Q=0$



Hình 17. Chu kỳ chuyển mạch khi  $Q=0$



Hình 18. Tổn hao chuyển mạch khi  $Q \neq 0$

## 5. NHẬN XÉT

Kết quả mô phỏng được khảo sát trong 3 trường hợp tương ứng với 3 khoảng thời gian. Trong khoảng thời gian thứ nhất: 0-0.2 s, công suất tác dụng bơm vào lưới được cài đặt bằng 3 kW và công suất phản kháng  $Q=0$ . Khi đó, với phương pháp tần số chuyển mạch cố định 5 kHz như hình 10 cho THD rất thấp bằng 2.55% nhưng THCM lại rất cao bằng 15.35 W.

Bảng 3. Tóm tắt tổn hao chuyển mạch và sóng hài của các phương pháp khảo sát.

Switching cycle	$t < 0.2$ s			$0.2$ s $< t < 0.3$ s			$0.3$ s $< t$		
	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)
Constant	15.35	2.55	46.7	7.68	5.33	-10.4	9.22	4.32	6
TDD	8.28	4.79	0	8.45	4.83	0	8.67	4.6	0
Constant ripple	8.29	4.33	9.6	8.25	4.53	6	8.58	4.28	7
MSANS	8.28	4.12	14	8.45	4.41	8.7	8.67	4.12	10.4
Proposed	8.23	3.85	19.6	8.20	4.10	15	8.55	3.82	17

Để giảm THCM xuống 8.28 W ở hình 11(a), phương pháp TDD đề nghị giảm tần số chuyển mạch cố định còn 2.7 kHz. Điều này làm cho THD tăng lên 4.79% nhưng vẫn nhỏ hơn giới hạn cho phép (5%). Trong khi đó, với phương pháp CR và MSANS cũng có THCM tương đương với phương pháp TDD lại cho THD bằng 4.33% và 4.12% ở hình 12(b) và 13(b) tương ứng. Nhưng kết quả ở hình 14(b) của phương pháp đề xuất mới cho THD thấp nhất bằng 3.85%.

Trong khoảng thời gian thứ hai: 0.2-0.3 s, công suất tác dụng bơm vào lưới được cài đặt giảm bằng 1.5 kW (đặc trưng cho năng hoặc gió yếu) và công suất phản kháng  $Q=0$ .

Với phương pháp tần số chuyển mạch cố định thì THCM giảm còn 7.68W nhưng THD bằng 5.33% vượt quá giới hạn cho phép. Để giảm THD xuống còn 4.83%, phương pháp TDD tăng tần số chuyển mạch lên 5.5 kHz và làm tăng THCM lên 8.45 W. Để có THCM tương đương với phương pháp TDD, phương pháp CR và MSANS thu được THD bằng 4.53% và 4.41% tương ứng. Trong khi phương pháp đề nghị lại cho THD thấp nhất bằng 4.1%. Tuy nhiên, phổ hài dòng điện ở hình 11(c) cho thấy biên độ các hài riêng lẻ rất cao. Chính điều này có thể gây ra nhiễu âm trong các thiết bị thông tin và quân sự nên cần phải có bộ lọc phụ. Hơn nữa, phổ hài ở hình 12(c) và 13(c)

cho thấy biên độ hài riêng lẻ thấp hơn so với TDD. Nhưng phổ hài dòng điện ở hình 14(c) của phương pháp đề nghị được trải trong một phạm vi rộng làm cho biên độ các hài riêng lẻ thấp nhất và không gây nhiễu âm nên không cần các bộ lọc phụ.

Trong khoảng thời gian thứ ba: 0.3-0.4 s, công suất kháng 1 kVar được bơm vào lưới và công suất tác dụng vẫn giữ nguyên 1.5 kW. Khi đó, với phương pháp tần số chuyển mạch cố định có THD giảm xuống còn 4.32% nhưng lại làm tăng THCM lên 9.22 W. Phương pháp TDD đề nghị giảm tần số chuyển mạch xuống còn 4.7 kHz để giảm THCM còn 8.67 W, điều này làm tăng THD lên 4.6%. Để có THCM tương đương với phương pháp TDD, phương pháp CR và MSANS cho THD bằng 4.28% và 4.12% tương ứng. Nhưng phương pháp đề nghị lại thu được THD thấp nhất bằng 3.83%. Bảng 3 cũng cho thấy tỉ lệ phần trăm giảm sóng hài của phương pháp đề nghị cao nhất bằng 19.6, 15, và 17 trong 3 khoảng thời gian tương ứng so với phương pháp TDD.

- Trong trường hợp  $\cos\phi=1$ , chu kỳ chuyển mạch tại zero của dòng điện trong kỹ thuật đề nghị ở hình 15 thấp nhất so với các phương pháp khác nên giảm nhiễu hài đáng kể trong khi THCM tức thời ở hình 16 tăng không đáng kể. Ngược lại, tại lân cận đỉnh của dòng điện, chu kỳ chuyển mạch của kỹ thuật đề nghị cao nhất so với các phương pháp khác nên THCM tức thời giảm đáng kể trong khi nhiễu hài tăng không đáng kể. Kết quả là cùng một THCM trung bình nhưng sóng hài dòng điện của phương pháp đề nghị là thấp nhất.
- Hơn nữa, chính sự phân bố lại chu kỳ chuyển mạch của phương pháp đề nghị cũng làm cho THCM tức thời phân bố đồng đều hơn so với các phương pháp khác nên sức nhiệt cũng ít hơn so với các phương pháp khác. Điều này giúp tăng tuổi thọ của linh kiện công suất. Bởi vì, tổn hao tức thời đặc trưng cho sức nhiệt chứ không phải tổn hao trung bình và sức nhiệt càng thấp thì tuổi thọ của linh kiện bán dẫn công suất càng tăng.

- Sự phân bố không đối xứng của chu kỳ chuyển mạch tại lân cận đỉnh dòng điện trong kỹ thuật đề nghị so với các phương pháp khác là một sự khác biệt quan trọng. Lý giải cho sự bất đối xứng này là do sự phi tuyến đáng kể của tín hiệu điều chế trong khi chu kỳ của sóng tam giác là khá lớn.
- Đối với trường hợp hệ số công suất  $\cos\phi < 1$ , chu kỳ chuyển mạch của phương pháp đề nghị giảm nhỏ đáng kể tại lân cận zero của dòng điện ở hình 17 giúp cho nhiễu hài dòng điện giảm nhỏ đáng kể so với các phương pháp khác. Ở hình 18 cho thấy THCM tức thời của phương pháp TDD là tốt nhất và của phương pháp đề nghị là tốt thứ nhì. Nhưng phương pháp đề nghị vẫn cho kết quả sóng hài là thấp nhất.
- Sự khác nhau của  $T_s$  trong mỗi NCKCB làm cho THD theo (1), (2) và tổn hao chuyển mạch theo (3) sẽ khác nhau như bảng 3. Sự phân bố hợp lý nhất của chu kỳ chuyển mạch của phương pháp đề xuất đã tác động đến hiệu quả tối ưu hàm mục tiêu THD hiệu dụng trong mỗi NCKCB.

## 6. KẾT LUẬN

Việc giảm sóng hài dòng điện là một trong những nhiệm vụ tương đối khó khăn để thỏa mãn tiêu chuẩn nối lưới ngày càng nghiêm ngặt đối với người thiết kế nghịch lưu nối lưới. Việc chọn được chu kỳ chuyển mạch tối ưu thật sự là một thách thức bởi sự cân bằng giữa THCM và sóng hài dòng điện.

Kết quả khảo sát cho thấy rằng kỹ thuật SPWM với chu kỳ chuyển mạch thay đổi của phương pháp đề nghị dựa vào GA cho kết quả giảm sóng hài dòng điện đáng kể so với các phương pháp đã công bố gần đây.

Sự xuất sắc của kỹ thuật đề nghị là không những giảm THD mà còn có khả năng khử hài lựa chọn và trải phổ hài trong một phạm vi rộng. Điều này giúp cho các hài riêng lẻ có biên độ giảm đáng kể và không gây nhiễu âm nên phù hợp cho các ứng dụng trong thiết bị thông tin và quân sự.

Các trường hợp phát điện vào lưới với

$\cos\alpha=1$  và  $\cos\alpha<1$  trong cùng một điều kiện cài đặt với những thông số giống với thực tế nhất cũng đã được xem xét một cách định lượng. Việc giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới cũng góp phần làm giảm kích thước bộ lọc, giá thành thiết bị, và cải thiện chất lượng điện năng của hệ thống điện. Từ đó, tạo điều kiện cho việc chế tạo và làm chủ công nghệ với giá thành thấp. Việc chuyển mạch với tần số thấp tại đỉnh của dòng điện cũng góp phần

làm tăng tuổi thọ của linh kiện công suất. Để đáp ứng yêu cầu tải thay đổi trong điều kiện thực tế, các số liệu của chu kỳ chuyển mạch được chuẩn bị offline sẵn với các mức tải khác nhau bằng cách sử dụng phương pháp tra bảng trong Matlab. Hơn nữa, với cách tiếp cận của kỹ thuật đề nghị cũng có thể mở rộng ứng dụng cho các bộ biến đổi công suất 3 pha và các kỹ thuật PWM khác.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*, IEEE Standard 929, 2000.
- [2] *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*, IEEE Application Guide for IEEE Standard 1547™, 2009.
- [3] A. Woyte, K. De Brabandere, D.V. Dommelen, R. Belmans, and J. Nijs, “*International harmonization of grid connection guidelines: adequate requirements for the prevention of unintentional islanding*,” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 11, pp. 407-424, 2003.
- [4] T. G. Habetler and R. G. Harley, “*Power electronic converter and system control*,” in *Proc. IEEE.*, Jun-2001, pp. 913-925.
- [5] Y. Sozer and D. A. Torrey, “*Modeling and Control of Utility Interactive Inverters*,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 11, pp. 2475-2483, 2009.
- [6] L. Wu, Z. Zhao, and J. Liu, “*A Single-Stage Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic System with Modified MPPT Method and Reactive Power Compensation*,” *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 22, no. 4, pp. 881-886, 2007.
- [7] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, “*A Review of the State of the Art of Power Electronics for Wind Turbines*,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 8, pp. 1859-1875, 2009.
- [8] J. H. Lee and B. H. Cho, “*Large time-scale electro-thermal simulation for loss and thermal management of power MOSFET*,” in *Proc. IEEE Power Electron Spec. Conf.*, 2003, pp. 112–117.
- [9] X. Mao, R. Ayyanar, Krishnamurthy, and K. Harish, “*Optimal Variable Switching Frequency Scheme for Reducing Switching Loss in Single-Phase Inverters Based on Time-Domain Ripple Analysis*,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 4, pp. 991-1001, 2009.
- [10] Bo Cao and Liuchen Chang, “*A Variable Switching Frequency Algorithm to Improve the Total Efficiency of Single-Phase Grid-Connected Inverters*,” in *Pro. IEEE APEC.*, 2013, pp. 2310-2315.
- [11] A. Moeini, H. Iman-Eini, and M. Bakhshizadeh “*Selective harmonic mitigation-pulse-width modulation technique with variable DC-link voltages in single and three-phase cascaded H-bridge inverters*,” *IET Power Electron*, vol.7, no. 4, pp. 924–932, 2014.
- [12] I. Colak, E. Kabalci, and R. Bayindir, “*Review of multilevel voltage source inverter topologies and control schemes*,” *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 1114–1128, 2011.
- [13] C. Xiaoju., Z. Hang, and Zhao Jianrong, “*A new Improvement Strategy based on hysteresis*

*space vector control of Grid-connected inverter,”* in Proc. The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection., 2011, pp. 1613-1617.

- [14] R. Seyezhai, B. L. Mathur, “*Performance Evaluation of Inverted Sine PWM Technique for an Asymmetric Cascaded Multilevel Inverter;*” Journal of Theoretical and Applied Information Technology, pp. 91-98, 2009.
- [15] Tran Quang Tho, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “*PWM technique with variable carrier wave frequency to reduce switching loss in grid-connected PV inverter;*” Proc. The 2<sup>nd</sup> International Conference on Green Technology and Sustainable Development, 2014, pp.404-411.
- [16] Tran Quang Tho, Le Thanh Lam, and Truong Viet Anh, “*Reduction of switching loss in grid-connected inverters using a variable switching cycle;*” International journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET), vol. 6, no. 8, 2015, pp. 63-76.
- [17] J. Holtz, “*Pulse width modulation—a survey;*” IEEE Trans. Ind. Electron., 1992, vol. 39, no. 5, pp. 410–420.
- [18] F. Zare and A. Nami, “*A new random current control technique for a single-phase inverter with bipolar and unipolar modulations;*” in Proc. IEEE PCC 2007, pp. 149–156.
- [19] A. C. Binojkumar and G. Narayanan, “*Variable Switching Frequency PWM Technique for Induction Motor Drive to Spread Acoustic Noise Spectrum with Reduced Current Ripple;*” in Proc. IEEE PEDES 2014, pp. 1-6.