

MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH NGHỊCH LƯU CẦU H NHẪM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG DÙNG NGUỒN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

SIMULATE AND ANALYZE DC/AC CONVERTERS TO IMPROVE POWER QUALITY USING SOLAR

Nguyễn Thế Vĩnh^{1*},
Trần Thị Thơm¹, Võ Thành Vinh²

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày bộ nghịch lưu cầu H dùng nguồn quang điện, cho phép cải thiện rõ rệt chất lượng của điện áp ra. Đây là một tính năng được nhiều người quan tâm trong các ứng dụng thực tế vì nó sẽ tạo ra một điện áp ra với độ méo sóng hài rất thấp. Trong đóng góp này, chúng tôi mô tả bộ nghịch lưu DC/AC, sau đó là phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) và thể hiện kết quả qua mô phỏng. Cuối cùng, một số kết quả thử nghiệm được đưa ra để so sánh với phần mô phỏng.

Từ khóa: Bộ nghịch lưu, quang điện, điều chế độ rộng xung, điện áp xoay chiều, biến dạng sóng hài.

ABSTRACT

This paper presents a parallel topology of a modular photovoltaic inverter, allowing a marked improvement in the quality of the output energy signal. This is a feature of much interest in practical applications as it will produce an output signal with very low harmonic distortions. In this contribution, we describe the inverter, then the bipolar pulse width modulation (PWM) strategy, which will be validate by simulation. Finally, some experimental results are exposed to illustrate our work.

Keywords: Inverter, photovoltaic, Pulse Width Modulation PWM, AC voltage, harmonic distortion.

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

²Trường Đại học Đồng Tháp

*Email: vinhnt@qui.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/2/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/3/2020

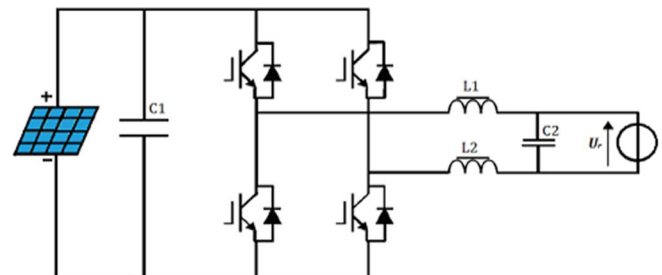
Ngày chấp nhận đăng: 24/4/2020

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện về hệ thống quang điện nhằm để cải tạo chất lượng điện lưới. Trong số các nghiên cứu này, có thể đề cập đến các nghiên cứu về phân loại, cấu tạo của pin mặt trời gồm: vật liệu, tế bào silicon [1,2] và tế bào III-V [3,4], tính chất vật lý và chức năng [5-7] hoặc hiệu quả chuyển đổi điện năng [8-10], công nghệ của các tế bào, như màng mỏng [11,12] hoặc chức

năng [13,14], kỹ thuật đóng gói [15]. Một số vấn đề mới đang được nghiên cứu nhiều như hệ thống lưới điện thông minh, các thuật toán theo dõi điểm công suất tối đa (MPPT) [16-18] và tối ưu hóa sơ đồ bộ biến đổi công suất [19-20].

Bài báo này đề cập đến việc cải thiện sơ đồ cơ bản của bộ nghịch lưu cầu H sử dụng nguồn năng lượng mặt trời như đã được trình bày bởi Gaiddon và cộng sự [21] giới thiệu năm 2010. Chúng tôi chọn sơ đồ bộ biến đổi này vì nó có lợi thế là có thể nối trực tiếp với máy biến áp mà không cần dùng tới bộ chuyển đổi DC/DC.



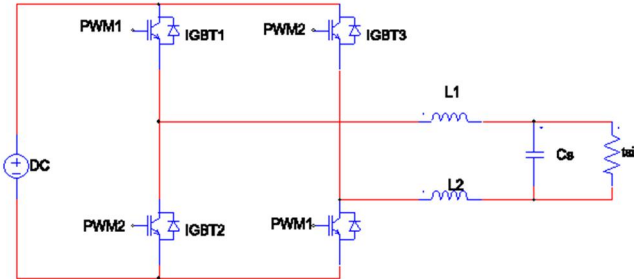
Hình 1. Sơ đồ bộ nghịch lưu quang điện không cần bộ chuyển đổi DC / DC

Trong đề xuất nghiên cứu nguồn điện mặt trời, các mô đun điện mặt trời được kết nối với các đầu vào bộ nghịch lưu thông qua bộ lọc EMI để ngăn chặn nhiễu điện từ. Một cầu IGBT chuyển đổi dòng điện một chiều (DC) được cung cấp bởi bảng điều khiển thành dòng điện xoay chiều (AC), sử dụng phương pháp điều khiển độ rộng xung (PWM). Để phù hợp với quy định hệ thống điện phân phối về tần số, điện áp và sóng hài [34] đầu ra của bộ nghịch lưu DC/AC đạt tới điện áp 220V AC, 50Hz, THD < 3%.

2. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA CẦU H

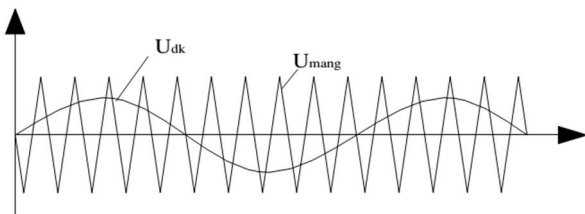
Trong sơ đồ này, mạch điện được thiết kế với cấu trúc liên kết dựa trên sơ đồ cầu đầy đủ cho phép cường độ dòng điện cao ở điện áp thấp [35]. Hình 2 cho thấy cấu trúc liên kết cầu đầy đủ bao gồm nguồn điện áp một chiều, bốn khóa chuyển mạch (IGBT), bộ lọc LC và tải. Bộ lọc LC tạo ra các sóng hài bằng và ngược pha với sóng hài phát sinh trong mạch nhằm triệt tiêu các thành phần sóng hài, tín

hiệu ra bộ nghịch lưu sẽ hình sin tương đối [24]. Bộ chuyển đổi gồm nhiều bóng bán dẫn, mỗi bóng bán dẫn phải điều khiển riêng. Trong mạch của chúng tôi, chúng tôi đã sử dụng bộ ghép quang HCPL3120 với lý do: cách ly chân đế của chuyển đổi tránh đoản mạch, xử lý tín hiệu điều khiển ở một số tần số kHz và dễ dàng giao tiếp với IC vi điều khiển hoặc bất kỳ IC PWM hoặc tương đương.



Hình 2. Bộ biến đổi DC/AC cầu H

Một vi điều khiển được sử dụng điều khiển mạch điện bằng cách tạo tín hiệu PWM. Việc này mang lại tính linh hoạt để thay đổi các thuật toán điều khiển thời gian thực mà không cần thay đổi thêm về phần cứng. Thêm nữa, giá thành thấp trong khi vẫn đáp ứng đủ để điều khiển một bộ DC/AC là ưu điểm của vi điều khiển [26]. Vì vậy, nhóm tác giả đã chọn vi điều khiển PIC18F4431 với một chương trình mà chúng tôi đã phát triển bằng cách sử dụng mã lắp ráp trong môi trường MATLAB.



Hình 3. Điều khiển PWM

Trong phương pháp được sử dụng để tạo tín hiệu PWM mong muốn, hai tín hiệu được so sánh (hình 3): điều chế tín hiệu tham chiếu hình sin của biên độ A_r tại một tần số f_r và sóng mang tam giác A_c tại tần số f_c . Từ hai tín hiệu này, hai tham số thiết yếu được xác định:

• Tỷ lệ giữa A_r và A_c được gọi là hệ số điều chỉnh (r), phương trình (1) cho phép kiểm soát điện áp đầu ra:

$$r = \frac{A_r}{A_c} \tag{1}$$

• Tỷ lệ giữa tần số sóng mang và tần số tham chiếu của sóng, được gọi là chỉ số điều chế (m) được xác định bởi phương trình (2). Sử dụng chỉ số m này, người ta có thể tính tần số lấy mẫu của các tín hiệu lệnh:

$$m = \frac{f_c}{f_r} \tag{2}$$

Các xung điều khiển được tạo ra bằng cách so sánh hai tín hiệu và độ rộng của mỗi xung thay đổi theo tỷ lệ với biên độ của sóng hình sin. Tần số của tín hiệu tham chiếu

cố định tần số đầu ra bộ biến đổi và biên độ đỉnh tham chiếu điều khiển chỉ số điều chế và biên độ của điện áp đầu ra [27].

Việc phân tích bộ biến đổi DC/AC cầu H được trình bày trong hình 2 có tính đến các hoạt động của công tắc điều khiển PWM lưỡng cực vì điện áp đầu ra xen kẽ giữa $+V_{dc}$ với tới $-V_{dc}$ có thể được mô tả bởi các giả định và quy ước sau [29, 35]:

- Q1 và Q4 được mở khi cho $A_r > A_c$ và $V_{AB} = +V_{dc}$;
- Q2 và Q3 được mở khi cho $A_r < A_c$ và $V_{AB} = -V_{dc}$.

Giá trị hiệu dụng (RMS) của điện áp đầu bằng:

$$V_{AB} = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\frac{\pi}{p}-\delta)/2}^{(\frac{\pi}{p}+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

Trong đó: $p = \frac{m}{2} = \frac{f_c}{2f_r}$ là số xung trong nửa chu kỳ với $0 \leq m \leq 1$ và $0 \leq \delta \leq \pi/p$. Do đó, V_{AB} suy ra từ (3) như sau:

$$V_{AB} = V_{dc} \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \tag{4}$$

Điện áp đầu ra tức thời có thể được biểu thị trong chuỗi Fourier:

$$v_{AB(t)} = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \tag{5}$$

Theo phương trình 5, do sự đối xứng dạng sóng theo thời gian, cả a_0 và a_n đều bằng 0. Do đó b_n thu được là:

$$b_n = \sum_{m=1}^{2p} \frac{4V_{dc}}{n\pi} \sin \left[\frac{n\delta}{4} \left(\sin n \left(\alpha_m + \frac{3\delta}{4} \right) - \sin n \left(\pi + \alpha_m + \frac{\delta}{4} \right) \right) \right] \tag{6}$$

Với giá trị của b_n từ phương trình (6), phương trình (5) có thể được viết lại với dạng:

$$v_{AB(t)} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_{dc}}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin(n\omega t) \tag{7}$$

Do đó, dòng điện tức thời thông qua tải điện trở được cho bởi:

$$i_{L(t)} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{R} \frac{4V_{dc}}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin(n\omega t) \tag{8}$$

Khi tải có tính chất điện cảm R-L thì dòng điện tải i_L lệch pha so với điện áp. Trong trường hợp này các diode trích năng lượng tích lũy ở tải trong các khoảng thời gian khi dòng điện tải ngược chiều với điện áp. Do đó, với tải R-L thì dòng tải ra i_L được biểu thị bằng:

$$i_{L(t)} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \frac{4V_{dc}}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin(n\omega t - \theta_n) \tag{9}$$

Với: $\theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{n\omega L}{R} \right)$ (10)

Để xác định chất lượng tín hiệu đầu ra, chúng tôi đã tính tổng độ méo sóng hài (THD) của tín hiệu:

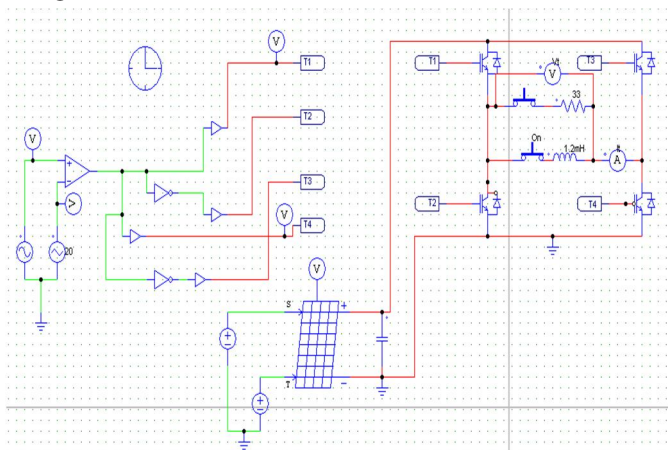
$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N V_i^2}{V_1^2}} \cdot 100\% \tag{11}$$

V_i : Giá trị hiệu dụng của sóng hài điện áp bậc i và N là bậc cao nhất của sóng hài cần đánh giá;

V_1 : Giá trị hiệu dụng của điện áp tại bậc cơ bản (tần số 50Hz).

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG CỦA BỘ BIẾN ĐỔI DC/AC CẦU H

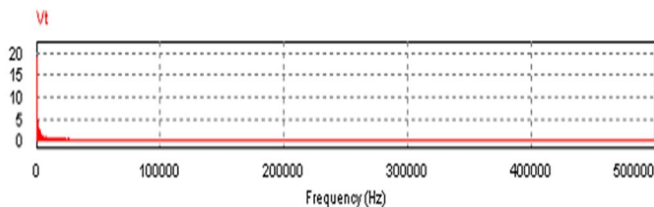
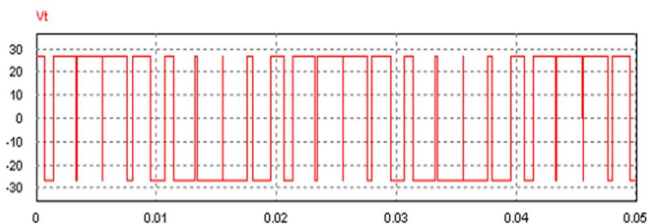
Mô phỏng bộ biến đổi DC/AC được thực hiện với phần mềm PSIM Professional. Sơ đồ mô phỏng được thể hiện trong hình 4.



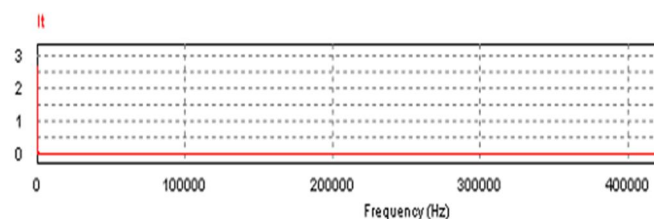
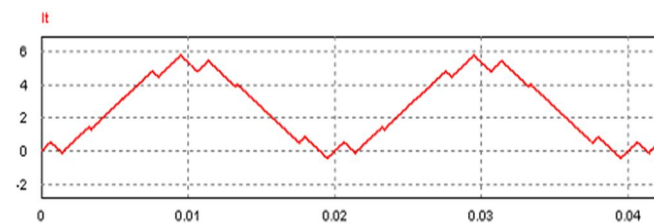
Hình 4. Sơ đồ mô phỏng của bộ biến đổi DC/AC cầu H thực hiện bằng phần mềm mô phỏng PSIM

Phần bên trái của sơ đồ là mạch so sánh. Nó bao gồm một bộ so sánh của tín hiệu sóng mang hình tam giác với tín hiệu điều chế sóng hình sin. Bằng cách đảo ngược đầu ra của bộ so sánh, chúng ta có được bốn tín hiệu điều khiển IGBT. Phần bên phải là mạch điện được tạo thành bởi bốn IGBT. Bộ cầu biến đổi này được cấp nguồn trực tiếp bởi pin năng lượng mặt trời. Trong mô phỏng, các tham số đầu vào là của mô hình pin mặt trời LG 295S1C-A5 trong điều kiện tiêu chuẩn STC 1000W/m², 25°C: dòng điện ngắn mạch $I_{sc} = 10,02A$ và điện áp hở mạch $V_{oc} = 38,60 V$. Nhóm tác giả đã kiểm tra mạch bằng cách sử dụng hai giá trị của chỉ số điều chế ($m = 9$ và $m = 27$) cho hai loại tải: tải thuần trở ($R = 33\Omega$) và tải tính cảm ($R = 33\Omega$ và $L = 1,2mH$). Cả hai giá trị của chỉ số điều chế đã được chọn để đáp ứng điều kiện cần thiết cho phép loại bỏ các hài bậc lẻ trong tín hiệu phản hồi, như được khuyến nghị bởi Gusia [28], để đạt được độ méo sóng hài thấp.

Điện áp tải, dòng tải với thời gian và phản ứng phổ tương ứng của nó lần lượt được thể hiện trong hình 5 và hình 6 với $m = 9$ và $m = 27$. Nhận thấy rằng, đối với chỉ số $m = 9$ (hình 5a), dạng sóng tín hiệu đầu ra có dạng giống như điều khiển tín hiệu và tần số sóng hài đầu tiên khác xa tần số sóng mang 450Hz thu được từ biểu thức 2 ($9 \times 50 = 450Hz$). Tuy nhiên, ở tần số này, khó có thể một mạch phù hợp để lọc sóng hài được tạo ra [26]. Mặt khác, khi quan sát trong hình 5b với tải có tính điện cảm 1,2mH, sóng hài thứ ba và bội số của nó tồn tại xa hơn trong phản ứng phổ và chủ yếu là điều hòa sóng hài ở 450Hz.

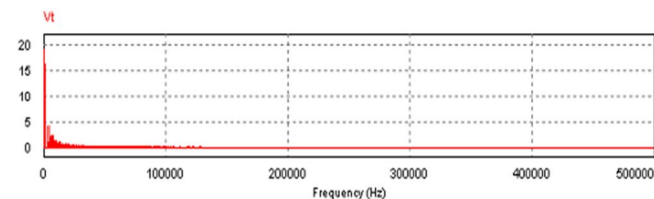
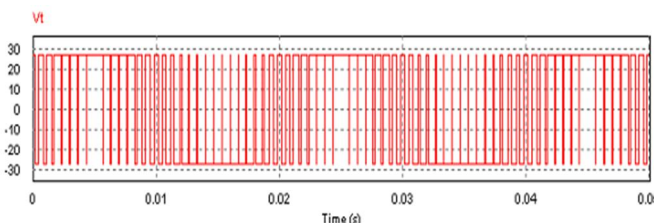


a) Điện áp ra tương ứng $m = 9$

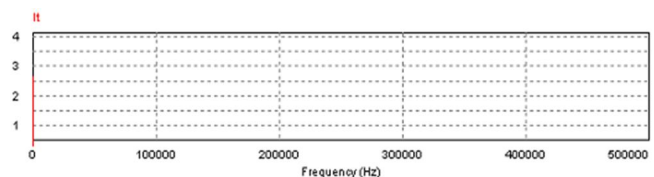
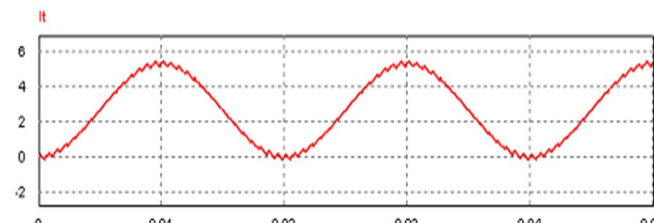


b) Cường độ dòng điện ra tương ứng $m = 9$

Hình 5. Điện áp tải, dòng điện tải và dạng phản ứng phổ tương ứng $m = 9$



a) Điện áp ra tương ứng $m = 27$



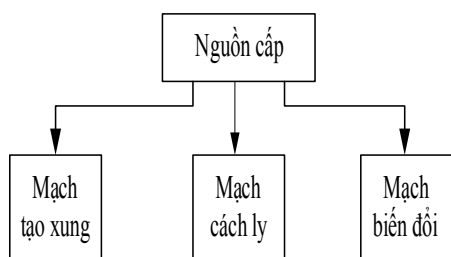
b) Cường độ dòng điện ra tương ứng $m = 27$

Hình 6. Tín hiệu điện áp, dòng điện đầu ra và dạng đáp ứng phổ tương ứng $m = 27$

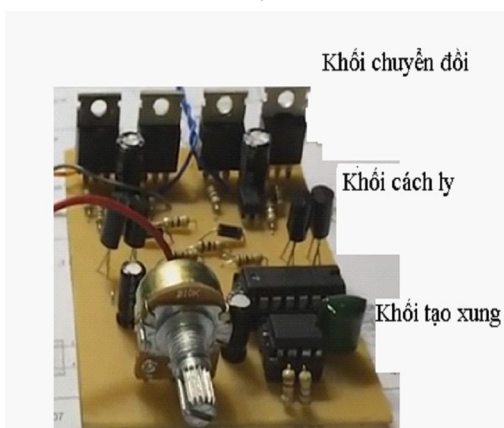
Khi chúng ta sử dụng chỉ số $m = 27$ (hình 6a), các sóng hài bị loại bỏ nhiều hơn so với tần số ở mức 1350Hz. Ở tần số này, việc lọc các sóng hài trở nên dễ dàng hơn nhiều chỉ bằng cách ghép nối thêm một cuộn cảm với giá trị phù hợp ở đầu ra bộ biến đổi. Hình 6b cho thấy các sóng hài thứ tự lẻ được loại bỏ hoàn toàn khi ghép thêm một cuộn cảm có $L = 1,2\text{mH}$ [28,29] ngoại trừ một sóng dư bị hoãn lại ở tần số 1,35kHz, khi chỉ số điều chế bằng 27. Nhóm tác giả đã thực hiện bộ biến đổi cho phép xác nhận các kết quả mô phỏng này. Kết quả này được trình bày trong phần sau.

4. THỰC HIỆN MẠCH CẦU H

Một triển khai thực tế của một nguyên mẫu bộ DC/AC đã được phát triển trong phòng thí nghiệm của chúng tôi, được sử dụng để xác nhận mô phỏng kết quả và để chỉ ra bằng thực nghiệm ảnh hưởng của sóng hài đến hoạt động của nguồn phát. Sơ đồ khái quát của bộ biến đổi được thể hiện trong hình 7a và mạch điện tử tương ứng của nó trong hình 7b.



a)



b)

Hình 7. a) Sơ đồ khối thực hiện,

b) Hình ảnh thiết kế của bộ DC/AC quang điện

Khối tạo xung: PIC18F4431

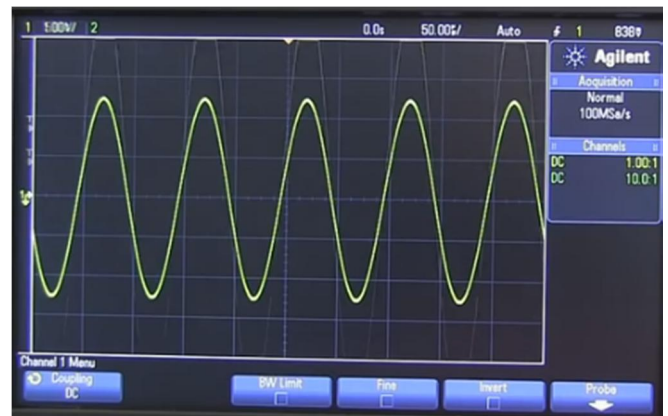
Ghép quang: HCPL3120

Nguồn cấp: LG 295S1C – A5

Bộ nghịch lưu: IGBT đơn FB6R06VL4

Các thử nghiệm tương tự, với cùng tham số so với các tham số được sử dụng trong phần mô phỏng được phát triển với phần cứng mạch của nguyên mẫu. Do đó, trong giai đoạn thử nghiệm, chúng tôi cho điện áp tải và dòng điện theo thời gian và phản ứng phổ tương ứng của chúng

trong hình 8 với $m = 27$. Theo hình 8, hình dạng của tín hiệu hiện tại gần với một sóng hình sin.



Hình 8. Tín hiệu điện áp, dòng điện đầu ra và dạng đáp ứng phổ tương ứng $m = 27$

Chúng tôi đã xác nhận rằng dạng sóng điện áp đầu ra có tổng độ méo sóng hài thấp hơn khi tần số chuyển đổi được chọn ở giá trị cao. Ngoài ra, chúng tôi quan sát thấy rằng tỷ lệ tần số lẻ đảm bảo tính đối xứng của dạng sóng đầu ra. Do đó, tất cả các sóng hài bậc chẵn được loại bỏ, có tác dụng để cải thiện THD phải < 2% [34]. Kết quả thực nghiệm chỉ ra, khi $m = 27$, (THD = 0,37% trong mô phỏng) THD = 1,92%. Sự khác biệt giữa kết quả mô phỏng và thử nghiệm có thể đến từ việc sử dụng nguồn cấp năng lượng là nguồn pin thay vì mô hình pin mặt trời trong PSIM.

Các thử nghiệm cũng cho thấy sự gia tăng của các sóng hài cơ bản khi tăng "m". Tuy nhiên, việc lựa chọn công tắc có liên quan chặt chẽ với m vì việc chuyển đổi công suất cao ở tần số cao thường đưa ra giới hạn về công nghệ [32]. Thường phải lựa chọn việc chuyển đổi công suất cao ở tần số cao với chất lượng tín hiệu đầu ra và tổng méo sóng hài của nó [32,33].

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã tiếp cận thực tế để cải thiện chất lượng tín hiệu điện được sản xuất bởi một pin quang điện. Chúng tôi đã phát triển một bộ DC/AC dựa trên cấu trúc cầu. Chúng tôi đã mô phỏng bộ biến đổi cầu đầy đủ được điều khiển bởi tín hiệu PWM lưỡng cực và so sánh hình dạng của điện áp đầu ra và dòng điện với những kết quả có được bằng thực nghiệm với một nguyên mẫu. Kết quả so sánh thử nghiệm và mô phỏng cho thấy rằng việc điều khiển bộ biến đổi bằng phương pháp PWM lưỡng cực giúp cải thiện rất tốt chất lượng của tín hiệu đầu ra. Với sự đóng góp này, chúng tôi đã chỉ ra rằng sự gia tăng chỉ số điều chế của tín hiệu PWM cho phép dùng mạch lọc đơn giản do các sóng hài đã bị loại bỏ khỏi tần số cơ bản. Chúng tôi dự định mở rộng hơn nữa phạm vi của nghiên cứu này trong tương lai bằng cách sử dụng điều khiển PWM này trong một vòng lái gắn hệ thống, bao gồm một bộ theo dõi điểm công suất tối đa để cải thiện chất lượng của công suất đầu ra trong trường hợp nguồn cấp không ổn định (sản xuất năng lượng trong trường hợp bóng râm).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Guechi, M. Chegaar and M. Aillerie, 2012. *Environmental effects on the performance of Nano-crystalline silicon solar cells*. Energy Procedia 18, 1611–1623.
- [2]. T.Z. Al-Tayyar, N.A. Salman, 2014. *Impact of Variability in the Current Density on the Porous Silicon Characteristics*. Energy Procedia 50, 488–493.
- [3]. C.H. Hsu, E. Yi Chang, H.J. Chang, J.S. Maa, K. Pande, 2015. *The reliability study of III–V solar cell with copper based contacts*. Solid-State Electronics 114, 174–177.
- [4]. M. Theristis, T.S. O'Donovan, 2015. *Electrical-thermal analysis of III–V triple-junction solar cells under variable spectra and ambient temperatures*. Solar Energy 118, 533–546.
- [5]. P. Petit, A. Zegaoui, M. Aillerie, J.P. Sawicki, J.P. Charles, 2012. *The Transistor based Direct and Reverse Mode model for photovoltaic strings and panels*. Energy Procedia 18, 1240–1246.
- [6]. K. Hemici, A. Zegaoui, A.A. Bokhtache, M.O. Mahmoudi, M. Aillerie, 2016. *Three-Phases Flying-Capacitor Multilevel Inverter with Proportional Natural PWM Control*. Energy Procedia 74, 1061–1070.
- [7]. J. Sidawi, R. Habchi, N. Abboud, A. Jaafar, F. Al Allouch, G. El Haj Moussa, M. Aillerie, P. Petit, A. Zegaoui, C. Salame, 2011. *The effect of reverse current on the dark properties of photovoltaic solar modules*. Energy Procedia 6, 743–749.
- [8]. P. Petit, A. Zgaoui, J.P. Sawicki, M. Aillerie, J.P. Charles, 2011. *New architecture for high efficiency DC-DC converter dedicated to photovoltaic conversion*. Energy Procedia 6, 688–694.
- [9]. P. Petit, M. Aillerie, J.P. Sawicki, J.P. Charles, 2012. *Push-pull converter for high efficiency photovoltaic conversion*. Energy Procedia 18, 1583–1592.
- [10]. P. Petit, M. Aillerie, J.P. Sawicki, T.V. Nguyen, J.P. Charles, 2014. *Individual Step-up Converter with Active Recovery Stage for High Efficiency Conversion of Photovoltaic Energy*. Energy Procedia 50, 479–487.
- [11]. A. Bedia, F.Z. Bedia, M. Aillerie, N. Maloufi, B. Benyoucef, 2015. *Morphological and Optical properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell*. Energy Procedia 74, 529–538.
- [12]. Z. Xiao, Y. Yuan, Q. Wang, Y. Shao, Y. Bai, Y. Deng, Q. Dong, M. Hu, C. Bi, J. Huang, 2016. *Thin-film semiconductor perspective of organo-metal trihalide perovskite materials for high-efficiency solar cells*. Materials Science & Engineering R 101, 1–38.
- [13]. R.I. Rabady, 2014. *Optimized multi-junction photovoltaic solar cells for terrestrial applications*. Solar Energy 106, 72–81.
- [14]. M. Moczala, N. Sosa, A. Topol, T. Gotszalk, 2014. *Investigation of multi-junction solar cells using electrostatic force microscopy methods*. Ultramicroscopy 141, 1–8.
- [15]. F. Bougiatioti, A. Michael, 2015. *The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 47, 966–982.
- [16]. A. Zegaoui, M. Aillerie, P. Petit, J.P. Sawicki, A. Jaafar, C. Salame and J.P. Charles, 2011. *Comparison of Two Common Maximum Power Point Trackers by Simulating of PV Generators*. Energy Procedia 6, 678–687.
- [17]. A. Zegaoui, M. Aillerie, P. Petit, J.P. Sawicki, J.P. Charles, A.W. Belarbi, 2011. *Dynamic behavior of PV generator trackers under irradiation and temperature changes*. Solar Energy 85, 2953–2964.
- [18]. B. Bendib, F. Krim, H. Belmili, M.F. Almi, S. Boulouma, 2014. *Advanced Fuzzy MPPT Controller for a stand-alone PV system*. International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14, Energy Procedia 50, 383–392.
- [19]. S. Thamizharasan, J. Baskaran, S. Ramkumar, S. Jeevananthan, 2013. *A new dual bridge multilevel dc-link inverter topology*. Electrical Power and Energy Systems 45, 376–383.
- [20]. L. Kumar, S. Jain, 2013. *A multiple source DC/DC converter topology*. Electrical Power and Energy Systems 51, 278–291.
- [21]. B. Gaidon, T. Tran-Quoc, S. Bacha, C. Duvauchelle, 2010. *Projet ESPRIT - Typologie des onduleurs pour systèmes photovoltaïques*. Etudes Scientifiques Prénormatives Sur Le Raccordement Au Réseau Electrique D'Installations Techniques Photovoltaïques, Décembre 2010.
- [22]. M. Arab, A. Zegaoui, H. Allouache, M. Kellal, P. Petit, M. Aillerie, 2014. *Micro-controlled Pulse Width Modulator Inverter for Renewable Energy Generators*. Energy Procedia 50, 832–840.
- [23]. Y. Pankow, 2004. *Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse tension. Application au générateur photovoltaïque*. Thèse de doctorat, CNRT Lille-France.
- [24]. M. Adouane, M. Haddadi, A. Malek et M. Hadjiat, 2009. *Etude et conception d'un onduleur monophasé autonome géré par microcontrôleur PIC 16F876A*. Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°4, 543–550.
- [25]. A. Qazalbash, A. Amin, A. Manan, M. Khalid, 2009. *Design and implementation of microcontroller based PWM technique for sine wave inverter*. International Conference on power Engineering Energy and Electrical Drives, P 163-167, IEEE.
- [26]. S.M Islam, G.M Sharif, 2009. *Microcontroller based sinusoidal PWM inverter for photovoltaic application*. First International Conference development in renewable energy technology, p 1-4, IEEE.
- [27]. A. Namboodiri, S. Wani, 2014. *Unipolar and Bipolar PWM Inverter*. IJRST -International Journal for Innovative Research in Science & Technology Volume 1 Issue 7.
- [28]. S. Gusia, 2005. *Modélisation des Systèmes Electroniques de Puissance à Commande MLI'*. Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, Bruxelles, Belgique.
- [29]. Y. Jiang and J. Pan, 2009. *Single phase full bridge inverter with coupled filter inductors and voltage doubler for PV module integrated converter system*. Bulletin of The Polish Academy of Sciences Technical Sciences Vol. 57, No. 4, 030048-9.
- [30]. T. M. Chau Le 2012. *Couplage onduleurs photovoltaïques et réseau, aspects contrôle/commande et rejet de perturbations*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- [31]. V.R. Moorthi, 2007. *Power Electronics: Devices, Circuits and Industrial Applications*. Oxford University Press.
- [32]. M. H. Rashid, 2004. *Power Electronics: Circuits, Devices and Applications*. 3rd edition, Pearson.
- [33]. O. Lopez-Santos, 2015. *Contribution to the DC-AC conversion in photovoltaic systems: Module oriented converters*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [34]. Thông tư số 39/2015/TT-BCT của Bộ trưởng Bộ Công Thương Quy định hệ thống điện phân phối.
- [35]. P. Manimekalai, R. Harikumar, R. Rajasekaran, 2015. *H-Bridge Inverter with Sinusoidal Pulse Width Modulation Technique using Unipolar switching for PV applications*. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 13.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen The Vinh¹, Tran Thi Thom¹, Vo Thanh Vinh²

¹Quang Ninh University of Industry

²Dong Thap University