

# NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP RA NGHỊCH LƯU CẦU H NHỜ GIẢM TỔNG LƯỢNG SÓNG HÀI BẰNG CÁCH THAY ĐỔI THỜI GIAN PHÂN BỐ TRẠNG THÁI ĐIỆN ÁP 0 VÀ KHÁC 0

Lê Đức Tiệp<sup>1</sup>, Lương Thị Thanh Hà<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Thị Ngọc Mai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Viện Kỹ thuật điều khiển, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn*

## Tóm tắt

Bài báo trình bày một phương án nâng cao chất lượng điện áp xoay chiều đầu ra nghịch lưu cầu H dựa trên cơ sở thay đổi quy luật phân bố trạng thái điện áp 0 và khác 0 của nghịch lưu khi điều khiển chuyển mạch nghịch lưu cầu H. Các kết quả được khảo sát, phân tích, so sánh và đánh giá bằng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink. Trong đó, chỉ số mức hài cơ bản và tổng lượng sóng hài bậc cao (THD) được dùng để so sánh, phân tích và đánh giá chất lượng các điện áp ra nghịch lưu cầu H ở các chế độ chuyển mạch khác nhau như điều chế độ rộng xung theo quy luật sin (sinPWM), điều chỉnh rộng xung (SIR) và luật điều chế độ rộng xung cải tiến đề xuất. Kết quả thu được đã chỉ ra dạng điện áp xoay chiều đầu ra nghịch lưu cầu H với luật chuyển mạch tuần tự cải tiến cho chất lượng tốt hơn so với ban đầu. Điều này có ý nghĩa thực tiễn trong nghiên cứu thiết kế các mạch biến đổi nguồn cho các hệ truyền động điện xoay chiều.

**Từ khóa:** Điều chỉnh độ rộng xung; SinPWM; SIR; nghịch lưu cầu H; tổng lượng sóng hài TDH.

## 1. Đặt vấn đề

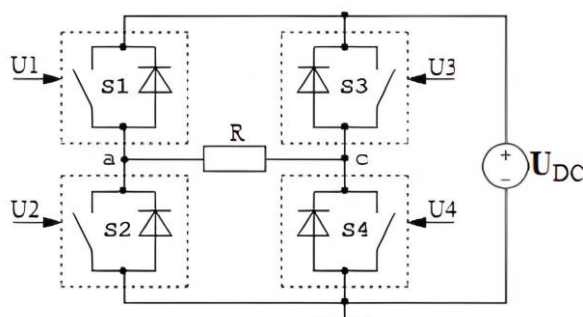
Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các bộ biến đổi bán dẫn, các khóa chuyển mạch tần số cao như IGBT, MOSFET, BJT thì công nghệ inverter được sử dụng rất rộng rãi và phổ biến trong công nghiệp trong các hệ truyền động điện một chiều, xoay chiều. Đặc biệt, trong lĩnh vực quân sự quốc phòng, các thiết bị biến đổi nguồn theo công nghệ cũ (chủ yếu là biến đổi điện cơ) đang dần được thay thế bởi các bộ biến đổi nguồn ứng dụng công nghệ điện tử công suất. Các bộ biến đổi này có nhiều ưu điểm vượt trội về kích cỡ, giá thành, dễ dàng thay thế, sản xuất, cùng với đó tính ổn định ngày càng được nâng cao. Thực tế, có rất nhiều kỹ thuật chuyển mạch khác nhau cho các dạng nghịch lưu cầu một pha (cầu H), cầu nghịch lưu ba pha... Trong đó, nổi bật với các chế độ điều chế độ rộng xung PWM khác nhau như điều chế độ rộng xung theo luật sin (SinPWM), điều chỉnh độ rộng xung (SIR), điều chế độ rộng xung theo mô đun vectơ không gian (SvPWM) [1, 2]; các luật chuyển mạch số như luật chuyển mạch đối xứng, luật chuyển mạch tuần tự, luật chuyển mạch tuần tự tiết kiệm năng lượng, luật chuyển mạch không đối xứng [3]... Đặc điểm chung của các kỹ thuật chuyển mạch này là dạng điện áp đầu ra

\* Email: ha.luongthanh@lqdtu.edu.vn  
DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v19.n01.720

là các xung vuông với các kiểu biên độ khác nhau, trong đó các trạng thái điện áp 0 và khác 0 được phân bố theo những quy luật nhất định. Với các dạng điện áp này thì tổng lượng sóng hài (Total Harmonic Distortion) có ảnh hưởng lớn tới hiệu năng của hệ thống, giá trị hiệu dụng, giá trị đỉnh và dạng dòng điện cũng như điện áp [4-6]. Trong đó, việc phân bố các trạng thái điện áp 0 và khác 0 của cầu nghịch lưu có ảnh hưởng to lớn tới chất lượng xung điện áp [1, 7, 8]. Từ những ảnh hưởng này dẫn tới các vấn đề như làm tăng đáng kể nhiệt độ các thiết bị tải như động cơ và dây dẫn, ảnh hưởng đến độ bền cách điện của vật liệu, ảnh hưởng đến sự hoạt động của các thiết bị bảo vệ như cầu chì, các thiết bị đo đếm có thể nhận sai dữ liệu, ảnh hưởng tới các thiết bị viễn thông, tổn hao công suất trên đường truyền, dao động tốc độ hay độ ổn định của hệ thống. Vì vậy, việc cải thiện chất lượng điện áp đầu ra bằng cách giảm tổng lượng sóng hài có ý nghĩa to lớn và giá trị thực tiễn cao.

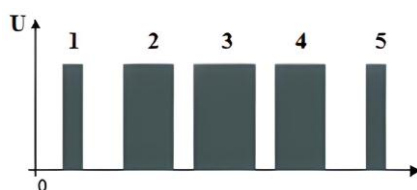
## 2. Đề xuất thuật toán chuyển mạch và phân tích so sánh

Sơ đồ đấu nối nghịch lưu cầu H với tải điện trở có dạng như hình 1 [1, 5]. Trong đó  $U_1, U_2, U_3, U_4$  là các tín hiệu điều khiển đóng cắt các khóa bán dẫn  $S_1, S_2, S_3, S_4$  của nghịch lưu cầu H,  $R$  là tải điện trở đầu ra nghịch lưu cầu H.



Hình 1. Sơ đồ đấu nối nghịch lưu cầu H với tải [1, 5].

Thực tế, việc điều khiển nghịch lưu cầu H thường ở các chế độ điều chế độ rộng xung SinPWM hoặc SIR. Với chế độ điều chế độ rộng xung SinPWM thì dạng điện áp đầu ra ở bán kỳ dương sẽ có dạng như hình 2 với trường hợp có 5 xung điện áp và có dạng tương tự với trường hợp có số xung áp nhiều hơn; ở bán kỳ âm dạng điện áp hoàn toàn tương tự nhưng với dấu đảo chiều.



Hình 2. Dạng điện áp ra nghịch lưu cầu H trên nửa bán kỳ dương ở chế độ SinPWM.

Trong chế độ điều chế độ rộng xung SinPWM, tọa độ tâm của các xung sẽ được xác định theo các công thức sau:

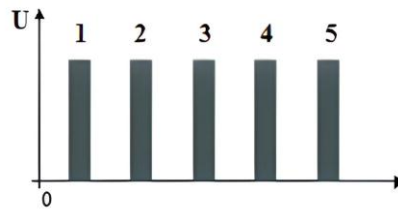
$$d_i = \frac{T(i-0.5)}{2p} \quad (1)$$

trong đó:  $T$  - chu kỳ của điện áp hình sin chuẩn mong muốn đầu ra;  $p$  - số lượng xung trong nửa chu kỳ  $T/2$ ;  $i = 0, 1, 2 \dots, p$ . Độ rộng của xung thứ  $i$  được xác định theo công thức:

$$\delta_{pi} = \frac{k_p T \sin(\omega d_i)}{2p} \quad (2)$$

trong đó,  $k_p$  - hệ số điều chỉnh điện áp trong khoảng từ 0 tới 1,  $\omega = 2\pi/T$  là tần số góc điện áp sin chuẩn mong muốn.

Với kỹ thuật điều chỉnh rộng xung SIR thì các xung điện áp đầu ra khác 0 có độ rộng xung bằng nhau, các xung điện áp 0 cũng có độ rộng xung bằng nhau, với các luật chuyển mạch số dạng điện áp đầu ra cũng tương tự theo nguyên tắc điều chỉnh rộng xung SIR [1, 3, 7]. Dạng điện áp đầu ra trên nửa bán kỳ dương sẽ có dạng như hình 3, với nửa bán kỳ âm cũng tương tự nhưng xung áp có giá trị đổi dấu âm.



Hình 3. Dạng điện ra nghịch lưu cầu H trên nửa bán kỳ dương ở chế độ SIR hoặc một số luật chuyển mạch số.

Để nâng cao chất lượng điện áp đầu ra, nhóm tác giả đề xuất phương án mới để phân bố trạng thái điện áp khác 0 và điện áp 0 như sau: Giả sử ta cần điều chế điện áp xoay chiều dạng xung có chu kỳ  $T$  giây với hệ số điều chỉnh điện áp  $k_p$ . Như vậy, tổng thời gian lưu giữ các trạng thái điện áp khác 0 trên một chu kỳ  $T$  sẽ là  $k_p.T$  giây, tổng thời gian lưu giữ các trạng thái điện áp 0 sẽ là  $T - k_p.T = (1 - k_p)T$  giây. Với  $p$  là số các xung điện áp khác 0 cần điều chế trong một bán kỳ thì độ rộng xung điện áp thứ  $i$  của nó sẽ được xác định theo công thức sau [6]:

$$\delta_{pi} = \frac{k_p T \sin(i\pi / (p+1))}{2 \sum_{i=1}^p \sin(i\pi / (p+1))} \quad (3)$$

Để đảm bảo tính đối xứng trong quy luật phân bố các trạng thái điện áp 0 và khác 0, ta điều chế số xung điện áp 0 là  $p + 1$ , khi điện áp trung bình nhỏ hơn điện áp định mức,

tức là  $k_p > 0$  thì thứ tự điều chế sao cho trong một nửa chu kỳ điện áp xoay chiều luôn bắt đầu và kết thúc là giá trị điện áp 0, khi đó độ rộng xung của xung điện áp 0 thứ  $i$  sẽ được xác định như sau [6]:

$$\delta_{0i} = \frac{(1-k_p)T |\cos(i\pi / (p+2))|}{2 \sum_{i=1}^{p+1} |\cos(i\pi / (p+2))|} \quad (4)$$

Nhận thấy:

- Với biểu thức (3), ta thấy rằng tỉ lệ độ rộng xung giữa các điện áp khác 0 sẽ được phân bố tỉ lệ với hàm sin của các góc tương ứng là  $i\pi / (p+1)$  với  $i = 1, 2, \dots, p$ .

- Với biểu thức (4), ta thấy rằng tỉ lệ độ rộng xung giữa các điện áp 0 sẽ được phân bố tỉ lệ với trị tuyệt đối của hàm cosin của các góc tương ứng là  $i\pi / (p+2)$  với  $i = 1, 2, \dots, p+1$ .

Như vậy, với quy luật phân bố điện áp khác 0 và điện áp 0 như trên, ta có thể gọi phương án đề xuất là chế độ điều chế độ rộng xung theo quy luật sincos, viết tắt là SincosPWM.

So sánh với chế độ SinPWM, xét biểu thức (1) và (2), thấy rằng độ rộng xung của các xung điện áp khác 0 được phân bố tỉ lệ với hàm sin của các góc có tỉ lệ tương ứng theo phép chia là 0,5 : 1,5 : 2,5..., nghĩa là các góc của hàm sin xung thứ  $i$  sẽ lớn hơn góc hàm sin của xung đầu tiên với bội số theo quy luật lần lượt là 1, 3, 5, 7,... và tâm của các xung áp khác 0 được phân bố đều trên trục thời gian cách nhau một khoảng là  $T/2p$ . Như vậy, thời gian lưu giữ các trạng thái điện áp 0 ở giữa hai trạng thái điện áp khác 0 thứ  $i$  và  $i+1$  là:

$$\frac{T}{2p} - \frac{k_p T [\sin(\omega d_{i+1}) - \sin(\omega d_i)]}{2p} \quad (5)$$

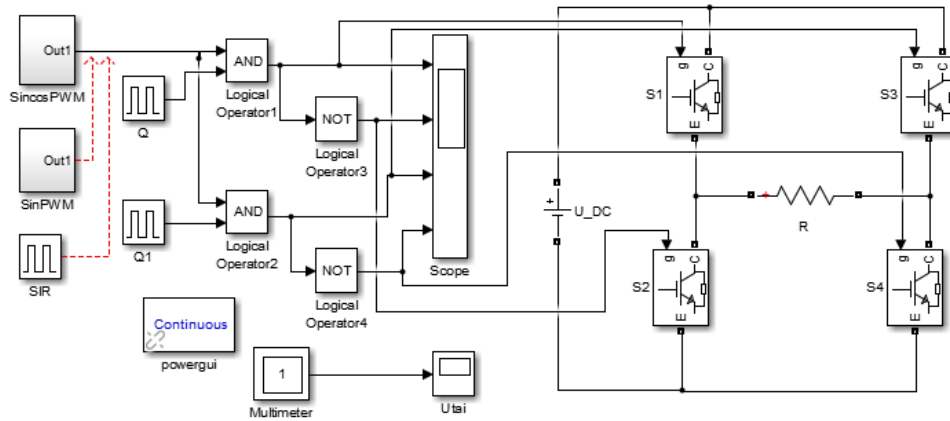
Còn ở chế độ SincosPWM được đề xuất thì bội số này theo thứ tự là 1, 2, 3, 4,..., tâm của các xung áp khác 0 phân bố không đều trên trục thời gian, đồng thời ở chế độ SinPWM việc phân bố thời gian lưu giữ trạng thái điện áp 0 không theo quy luật của hàm cosin.

### 3. Mô phỏng đánh giá, so sánh kết quả

Để kiểm tra, đánh giá, so sánh chế độ điều chế độ rộng xung SincosPWM được đề xuất trong nội dung bài báo với các phương pháp thường dùng trước đây, ta sử dụng công cụ Matlab với các mô hình mô phỏng với tải thuần trở như hình 4, với tải RL như hình 5.

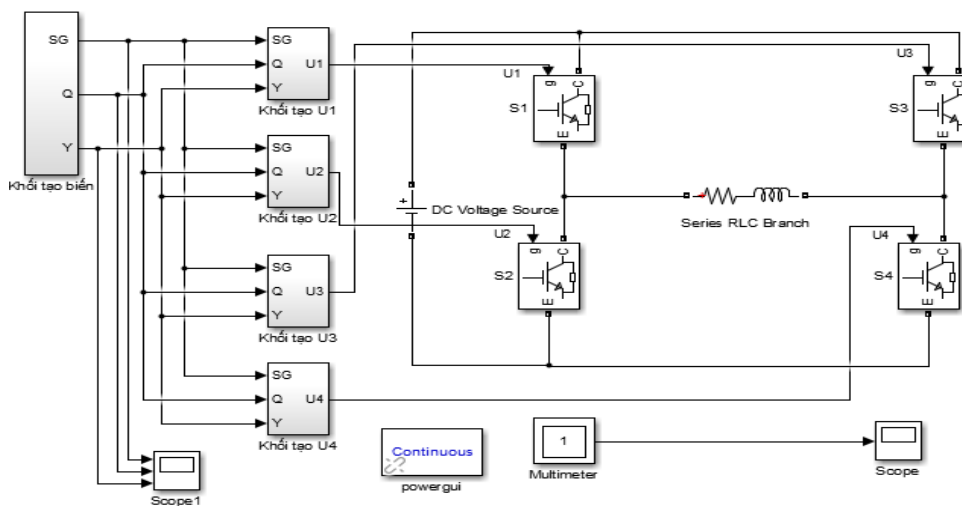
Mô hình mô phỏng bao gồm các khối sau:

- Các khóa bán dẫn IGBT S1, S2, S3, S4 của nghịch lưu cầu H;
- U\_DC là nguồn điện một chiều cấp cho nghịch lưu cầu H với giá trị 100 V;
- SincosPWM là khối mô phỏng thuật toán điều chế độ rộng xung đề xuất;
- SinPWM là khối mô phỏng thuật toán điều chế độ rộng xung theo luật sin;
- SIR là khối tạo tín hiệu điều chỉnh bề rộng xung SIR;
- Utai là khối hiện sóng điện áp đầu ra nghịch lưu đặt trên tải.

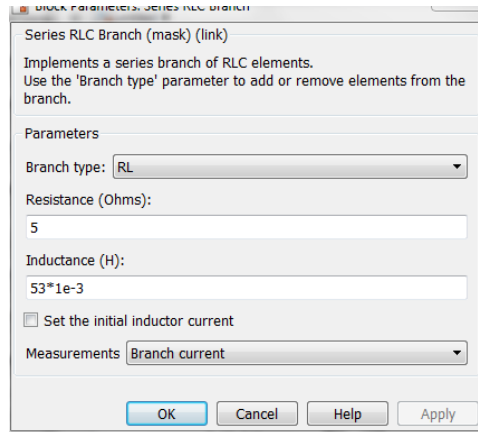


Hình 4. Mô hình mô phỏng điều khiển chuyển mạch nghịch lưu cầu H ở các chế độ điều chế độ rộng xung khác nhau với tải thuần trở.

Kết quả mô phỏng với trường hợp riêng tải thuần trở khi tần số điện áp mong muốn là 50 Hz, số xung điều chế trên một bán kỳ là 9, tần số định mức cho tải là 60 Hz được thể hiện trên các hình 5-8.

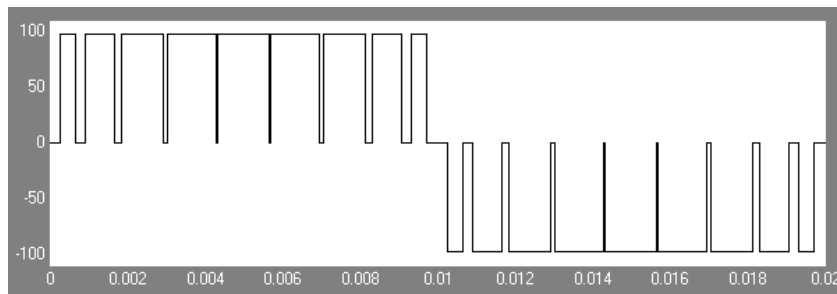


(a)

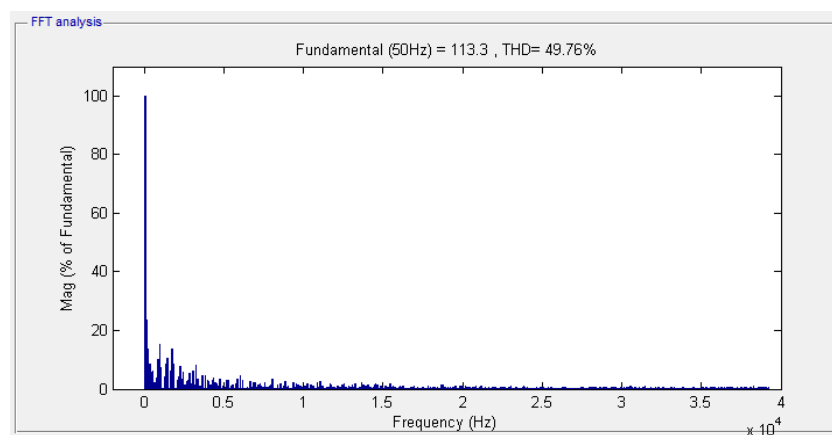


(b)

Hình 5. Mô hình mô phỏng (a) điều khiển chuyển mạch nghịch lưu cầu H ở các chế độ điều chế độ rộng xung khác nhau với tải RL có thông số (b).

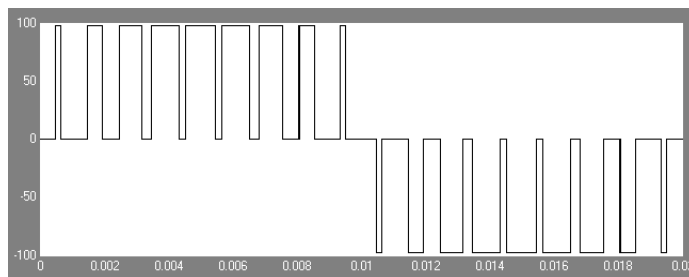


(a)

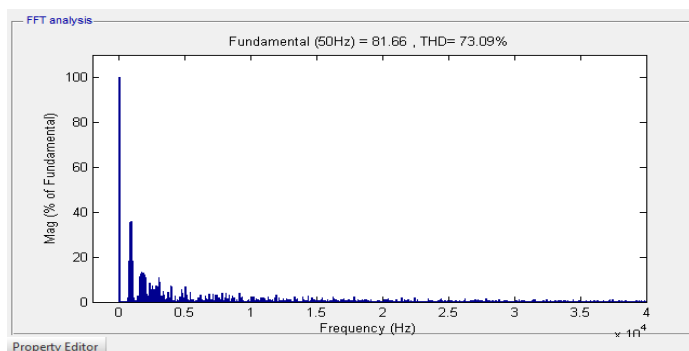


b)

Hình 6. Dạng điện áp (a) và phổ điện áp ra (b) của nghịch lưu cầu H ở chế độ SincosPWM đề xuất trong trường hợp tải thuần trở.

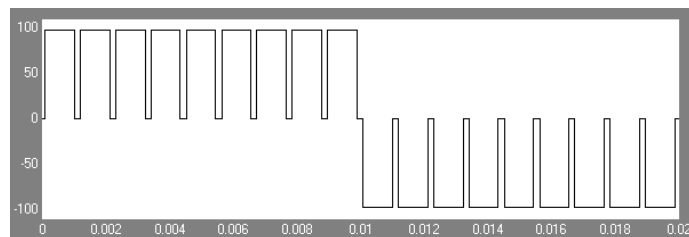


(a)

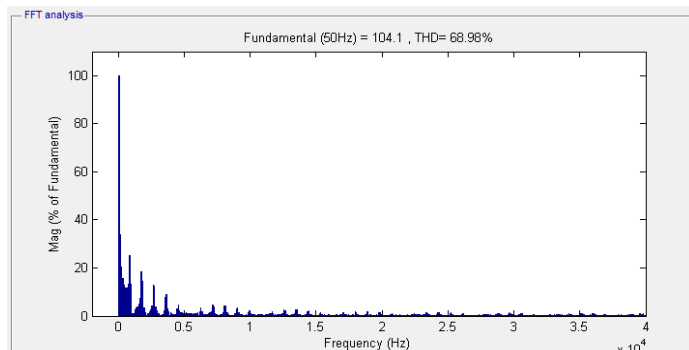


(b)

Hình 7. Dạng điện áp (a) và phổ điện áp ra (b) của nghịch lưu cầu H ở chế độ SinPWM trong trường hợp tải thuần trở.



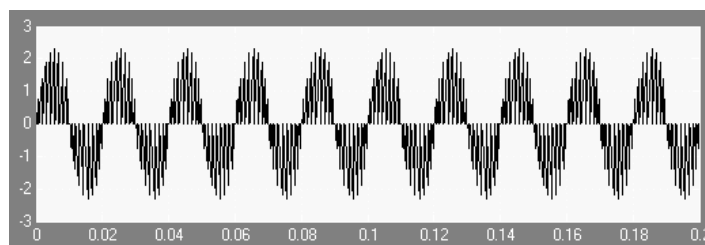
(a)



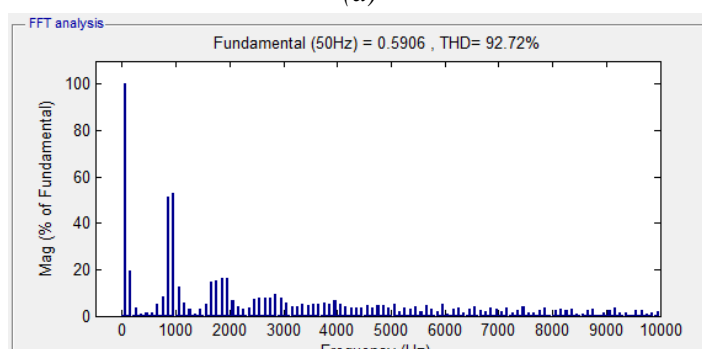
(b)

Hình 8. Dạng điện áp (a) và phổ điện áp ra (b) của nghịch lưu cầu H ở chế độ SIR trong trường hợp tải thuần trở.

Kết quả mô phỏng với trường hợp riêng tải RL khi tần số điện áp mong muốn là 50 Hz, số xung điều chế trên một bán kỳ là 9, tần số định mức cho tải là 60 Hz được thể hiện trên hình 9 và 10.

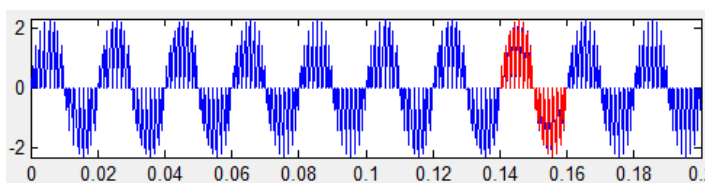


(a)

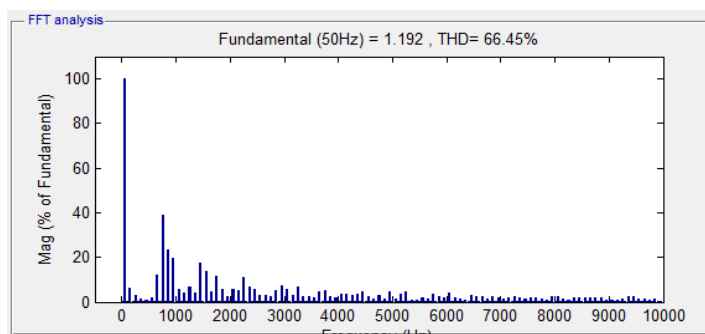


(b)

Hình 9. Dạng điện áp (a) và phổ điện áp ra (b) của nghịch lưu cầu H ở chế độ SinPWM trong trường hợp tải RL.



(a)



(b)

Hình 10. Dạng điện áp (a) và phổ điện áp ra (b) của nghịch lưu cầu H ở chế độ SincosPWM trong trường hợp tải RL.



Trong trường hợp tải thuần trở, từ kết quả mô phỏng thu được trên các hình 6, 7, 8 thấy rằng ở cùng hệ số điều chỉnh điện áp  $k_p$  và số xung vuông trên mỗi bán kỳ điện áp xoay chiều mong muốn bằng 9 thì với phương pháp điều chế độ rộng xung SincosPWM đề xuất cho chất lượng điện áp tốt nhất theo các chỉ tiêu mức hài cơ bản và tổng sóng hài lần lượt là 113,3 và 49,76. Trong khi đó, với hai phương pháp còn lại là SinPWM và SIR cho các chỉ số chất lượng điện áp theo các tiêu chí trên là kém hơn. Mô phỏng tương tự như trên với các trường hợp số xung khác nhau, ta thu được bảng so sánh, đánh giá kết quả dưới đây, trong đó  $F$  là ký hiệu chỉ số hệ số hài cơ bản tại  $f = 50$  Hz.

Bảng 1. Các chỉ số hài cơ bản ( $F$ ) và tổng lượng hài (THD) của các dạng điện áp đầu ra nghịch lưu với số lượng xung khác nhau ở các chế độ SincosPWM, SinPWM và SIR

Số xung $P$	3		5		7		9		27	
	F	THD	F	THD	F	THD	F	THD	F	THD
SincosPWM	114,90	45,89	113,80	48,50	113,40	49,43	113,30	49,76	112,80	50,72
SinPWM	82,96	75,70	81,68	74,45	81,46	73,67	81,66	73,09	81,59	72,99
SIR	105,40	66,26	104,50	68,23	104,20	68,75	104,10	68,98	103,9	69,32

Từ bảng so sánh kết quả, thấy rằng các chỉ tiêu chất lượng điện áp mức hài cơ bản và tổng sóng hài ở phương pháp SincosPWM đề xuất thì điện áp ra nghịch lưu cầu H với cùng hệ số điều chỉnh điện áp  $k_p$  và số xung vuông trên mỗi bán kỳ xung điện áp xoay chiều điều chế giống nhau đều tốt hơn so với hai phương pháp kinh điển là SinPWM và SIR.

Trên thực tế, sóng hài của điện áp nghịch lưu còn phụ thuộc vào trở kháng hệ thống và sự biến dạng của dòng điện. Trường hợp tổng quát, xét kết quả mô phỏng của phương pháp mới với trường hợp tải RL, kết quả được thể hiện trên các hình 9 và 10 cho thấy ở cùng hệ số điều chỉnh điện áp  $k_p$  và số xung trên mỗi bán kỳ điện áp xoay chiều mong muốn thì với phương pháp điều chế độ rộng xung SincosPWM đề xuất cho chất lượng điện áp tốt hơn rất nhiều theo các chỉ tiêu mức hài cơ bản và tổng sóng hài lần lượt là 1,192 và 66,45 so với phương pháp SinPWM các thông số tương ứng là 0,59 và 92,72. Tổng lượng hài cơ bản cao hơn xấp xỉ 2 lần, tổng sóng hài bậc cao giảm 26,27%.

## 4. Kết luận

Bài báo đã trình bày một phương pháp mới để phân bố tính toán độ rộng các xung điện áp 0 và khác 0 đầu ra của nghịch lưu cầu H và được gọi là SincosPWM. Trên cơ sở lý thuyết được trình bày, nhóm tác giả đã tiến hành lập trình mô hình mô phỏng trên Matlab-Simulink, từ đó phân tích đánh giá, so sánh chất lượng xung điện áp ra thông qua các chỉ số hệ số hài cơ bản và tổng lượng sóng hài bậc cao trên các phổ điện áp thu được với dạng điện áp của các phương pháp kinh điển như SinPWM và SIR. Kết quả mô phỏng bước đầu đã khẳng định, với phương pháp đề xuất với cùng chỉ số điều chỉnh điện áp  $k_p$  đã xác định và số xung vuông trên mỗi chu kỳ xung điện áp xoay chiều được điều chế, dạng điện áp đầu ra cho chỉ số hài cơ bản và tổng hài bậc cao tốt hơn so với các phương pháp thông dụng trước đây.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Ле Дык Тъеп, “*Инверторы в режиме векторной шим для управления асинхронными двигателями*”, Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Москва, МАИ 2018, 175 с.
- [2] И. А. Баховцев, “*Разработка энергооптимальных способов управления автономными инверторами напряжения и их микропроцессорная реализация*”, Диссертация на соискание степени кандидата технических наук: 27.12.98 / Баховцев Игорь Анатольевич. Новосибирск, НГТУ, 1998, 302 с.
- [3] Б. Н. Попов, “*Методы проектирования микропроцессорных устройств управления мехатронными модулями систем приводов*”, Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, МАИ 2000, 481 с.
- [4] С. В. Хухтиков, “*Исследование и разработка инверторов напряжения с ШИМ с пассивной фазой*”, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: МЭИ, 2013, 210 с.
- [5] Р. Л. Горбунов, “*Импульсный преобразователь переменного напряжения с улучшенными энергетическими показателями*”, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Томск: ТПУ, 2016, 245 с.
- [6] В. В. Крючков, “*Разработка инвертора в режиме широтно-импульсной модуляции по синусоидальному закону*”, *Практическая силовая электроника*, № 2 (27), с. 23-27, 2007.
- [7] Lê Đức Tiệp, Đỗ Thị Loan, Dương Quốc Dũng, Đặng Tiến Trung, “*Cải tiến thuật toán điều chỉnh độ rộng xung SIR điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha*”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ năng lượng - Trường Đại học Điện lực*, Số 25, 2021.
- [8] С. В. Аверин, Ле Дык Тъеп, “*Анализ алгоритмов перехода результирующих векторов при реализации векторной ШИМ*”, *Практическая силовая электроника*, № 1 (69), с. 19-23, 2018.

## POWER QUALITY ENHANCEMENT OF H-BRIDGE INDIRECT OUTPUT VOLTAGE BY CHANGING TIME DISTRIBUTION OF VOLTAGE STATUS 0 AND DIFFERENT 0

**Abstract:** *This article proposes a plan to improve the quality of the output AC voltage of the H-bridge inverter based on the change of the law of distribution of zero and non-zero voltage states of the inverter when controlling the H-bridge inverter. The results were surveyed, analyzed, compared, and evaluated by simulation model on Matlab-Simulink software. In which the fundamental harmonic level index and the total harmonic distortion (THD) are used to compare, analyze and evaluate the quality of H-bridge inverter output voltages in different switching modes such as pulse width modulation according to sine law (sinPWM), pulse width adjustment (SIR) and the proposed improved pulse width modulation law. The results show that the H-bridge inverter output voltage form with improved sequential switching law gives better quality than the original. This result has practical significance in the research and design of power conversion circuits for AC power transmission systems.*

**Keywords:** Pulse width adjustment; SinPWM; SIR; H-bridge invert; total harmonic distortion (THD).

*Nhận bài: 22/09/2023; Hoàn thiện sau phản biện: 22/02/2024; Chấp nhận đăng: 05/04/2024*

