

Triệt tiêu sóng hài chọn lọc cho bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô đun ghép tầng áp dụng giải thuật GA và GWO

Nguyễn Thanh Hằng^{1,2}, Phan Quốc Dũng^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Hiện nay, việc nghiên cứu các phương pháp điều khiển bộ nghịch lưu bằng cách vận dụng những giải thuật tối ưu nhằm triệt tiêu các sóng hài bậc cao chọn lọc (Selective Harmonic Elimination) ngày càng dành được nhiều sự quan tâm của giới nghiên cứu. Những nghiên cứu này được phân hóa thành 2 hướng là các thuật toán tiến hóa và trí tuệ bầy đàn, mà trong đó giải thuật gen di truyền (genetic algorithm: GA) đại diện cho nhóm các thuật toán tiến hóa và gần đây là sự xuất hiện giải thuật tối ưu bầy sói xám (Grey Wolf Optimizer: GWO) đại diện cho nhóm các giải thuật trí tuệ bầy đàn. Khi áp dụng cho bài toán loại bỏ sóng hài bậc cao cho bộ nghịch lưu, những giải thuật này đều cho thấy kết quả khả quan. Tuy nhiên, chưa có một sự đánh giá về cả mặt thời gian và tổng độ méo dạng sóng hài (Total Harmonic Distorsion) trên toàn bộ dải tỉ số điều biên giữa 2 phương pháp GA và GWO khi áp dụng cho bộ nghịch lưu đa bậc ghép tầng. Do đó, bài báo đưa ra những đánh giá chi tiết về mặt thời gian, sóng hài của các phương pháp trên để thấy được các ưu điểm và mặt hạn chế của từng giải thuật trên từng phân đoạn của tỉ số điều biên cho bộ nghịch lưu 11 bậc ghép tầng. Bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô đun ghép tầng được mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink để kiểm chứng các giải thuật điều khiển GA và GWO.

Từ khoá: Bộ nghịch lưu đa bậc ghép tầng, kỹ thuật loại bỏ sóng hài chọn lọc (SHE), giải thuật tối ưu bầy sói xám (GWO), giải thuật gen di truyền (GA), tổng độ méo dạng sóng hài (THD)

GIỚI THIỆU

Việc tích hợp nhiều nguồn phân tán từ những nhà máy điện gió, điện mặt trời dẫn đến sự xuất hiện của các bộ chuyển đổi công suất ngày càng nhiều để có thể đáp ứng cho phía người dùng DC, AC, và cho phép hòa lưới điện quốc gia. Trong đó, những bộ nghịch lưu DC/AC gây ra những ảnh hưởng không tốt lên hệ thống vì những thành phần hài bậc cao ở tín hiệu đầu ra sẽ chuyển hóa thành nhiệt năng, có thể làm hư hỏng cách điện, gây nhiễu tín hiệu viễn thông, phát sinh tổn hao và có thể làm hư thiết bị, từ đó gây ra sự kém hiệu quả cho hệ thống, khó khăn cho công tác vận hành, điều khiển, gây mất ổn định và giảm thiểu chất lượng điện năng. Do đó, các bộ lọc sóng hài được sử dụng ở ngõ ra bộ nghịch lưu để loại bỏ các thành phần hài này. Tuy nhiên, việc sử dụng bộ lọc làm gia tăng sự công kênh, giá thành và tổn hao công suất.

Gần đây, những nhà nghiên cứu tập trung nhiều hơn vào việc tìm ra các giải thuật tối ưu cho phép tìm ra các góc đóng cắt khóa bán dẫn trong các bộ chuyển đổi nhằm đáp ứng được yêu cầu về triệt tiêu các thành phần hài bậc cao dựa trên các kỹ thuật metaheuristic. Giải thuật GA được tạo ra bởi J.H.Holland năm 1970 là giải thuật metaheuristic phổ biến nhất nhờ vào tính linh hoạt và khả năng tính toán nhanh¹. Thuật toán

tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization: PSO) hay thuật toán bắt chước tập tính săn mồi của loài sói xám (Grey wolf Optimizer: GWO) cho kết quả tốt hơn các phương pháp truyền thống và không cần thông qua bảng tham chiếu. Khi so sánh PSO và GA với các phương pháp truyền thống, PSO và GA rõ ràng cho kết quả tốt hơn, trong khi các phương pháp cũ cho kết quả là độ méo dạng cao hơn và có thể không hội tụ (không tìm được giá trị góc đóng cắt phù hợp)². GA khi so sánh với PSO có nhiều điểm vượt trội hơn về cả độ chính xác và thời gian tính toán³. GWO cũng cho kết quả tốt hơn GA⁴ khi áp dụng cho bộ nghịch lưu nguồn áp. GWO cũng cho kết quả về mặt sóng hài tốt hơn PSO và các phương pháp truyền thống⁵ cho bộ nghịch lưu đa bậc ghép tầng. Từ những đánh giá trên có thể thấy GA và GWO là 2 giải thuật tiềm năng cho bài toán SHE. Tuy nhiên, chưa có một đánh giá cụ thể về GWO và GA cho bộ nghịch lưu đa bậc ghép tầng. Mặt khác, những kết quả công bố không làm rõ yếu tố thời gian, một yếu tố quan trọng để cho thấy khả năng áp dụng thực tiễn. Do đó, bài nghiên cứu này trình bày chi tiết việc xây dựng và áp dụng giải thuật tối ưu GA và GWO cho bài toán loại bỏ sóng hài chọn lọc đối với bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô-đun ghép tầng.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Phan Quốc Dũng, Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, Việt Nam
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: pqdung@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 28-12-2021
- Ngày chấp nhận: 22-4-2022
- Ngày đăng: 30-6-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.953



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

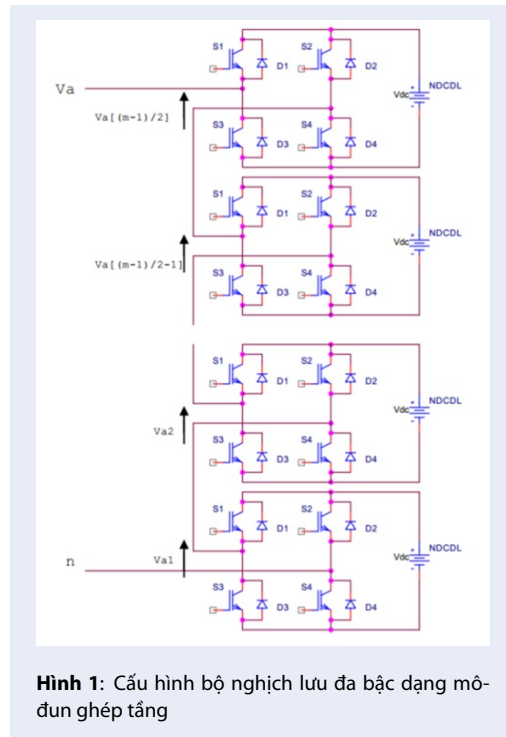


Trích dẫn bài báo này: Hằng N T, Dũng P Q. Triệt tiêu sóng hài chọn lọc cho bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô đun ghép tầng áp dụng giải thuật GA và GWO. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 5(2): 1451-1462 .

Các phần tiếp theo của báo cáo này sẽ trình bày về bộ nghịch lưu đa bậc và bài toán SHE theo phương diện toán học, từ đó tìm ra phương trình toán học của hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu này sẽ được áp dụng cho các giải thuật tối ưu GA và GWO và được trình bày chi tiết ở phần thứ ba. Phần bốn của bài báo trình bày những kết quả mô phỏng từ Matlab/Simulink, đưa ra những đánh giá về mặt sóng hài và thời gian thực thi. Và những kết luận, hướng phát triển tiếp theo được trình bày trong phần cuối của báo cáo.

BỘ NGHỊCH LƯU ĐA BẬC VÀ CƠ SỞ ÁP DỤNG GIẢI THUẬT METAHEURISTIC CHO PHƯƠNG PHÁP SHE

Các bộ nghịch lưu đa bậc được sử dụng ngày càng nhiều và đóng vai trò quan trọng với sự có mặt trong các động cơ công nghiệp, hệ thống chuyển dòng linh hoạt (FACTS), các hệ thống truyền động trong nhà máy,... và đặc biệt từ các trang trại điện gió, điện mặt trời, các mô hình điện mặt trời mái nhà để hòa điện lên lưới nhờ vào các ưu điểm của mô hình này so với bộ nghịch lưu hai bậc và với cấu hình nối tụ hay nối diode. Mô hình một bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô-đun ghép tầng với các nguồn DC độc lập được biểu diễn ở Hình 1.



Hình 1: Cấu hình bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô-đun ghép tầng

Về phương pháp điều khiển, có nhiều cách tiếp cận khác nhau, tuy nhiên trong bài nghiên cứu này áp

dụng phương pháp điều khiển PWM tối ưu, ứng dụng các giải thuật metaheuristic để tìm ra giá trị góc đóng cắt khóa phù hợp, nhằm loại bỏ sóng hài bậc cao không mong muốn ở điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu. Đối với bộ nghịch lưu 11 bậc, điện áp đa bậc ngõ ra được tổng hợp từ 5 thành phần điện áp của các mô-đun ghép nối tiếp với nhau, khi tỉ số điều biên m_a bằng 1 thì điện áp ngõ ra đạt biên độ là $5V_{dc}$, thành phần hài bậc ba và bội ba $3n$ ($n=1,2,3..$) tự triệt tiêu, các thành phần hài bậc cao được biểu diễn là tổng hợp các thành phần $\cos(5\theta), \cos(7\theta), \cos(11\theta), \cos(13\theta)$. Để xác định các thành phần hài này, tiến hành phân tích Fourier dạng sóng điện áp ngõ ra, ta có:

$$V(\omega t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_{DC}}{n\pi} (\cos(n\theta_1) + \cos(n\theta_2) + \dots + \cos(n\theta_m)) \sin(n\omega t) \quad (1)$$

Thành phần biên độ điện áp cơ bản của bộ nghịch lưu 11 bậc:

$$V_{out} = \frac{4V_{dc}}{\pi} \sum_{i=1}^5 \cos(\theta_i) = 5V_{dc}m_a \quad (2)$$

Hệ số méo dạng toàn phần THD được xác định như sau:

$$THD(\%) = \left[\frac{1}{(a_1)^2} \sum_{n=5}^{\infty} (a_n)^2 \right]^{1/2} \times 100 \quad (3)$$

Với a_1 là biên độ của thành phần cơ bản, a_n là biên độ của hài bậc n và có giá trị phụ thuộc vào góc đóng cắt khóa bán dẫn θ :

$$a_n = \left(\frac{4V_{DC}}{n\pi} \right) \sum_{k=1}^m \cos(n\theta_k) = 0 \quad (4)$$

Với $n = 6k \pm 1$ ($k = 1,2,3,\dots$).

Để giảm thiểu THD ở tín hiệu điện áp ngõ ra, hàm mục tiêu $F(\theta) = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ với $0 < \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_m < \pi/2$ phải được tối thiểu với điều kiện ràng buộc của SHE. Về mặt toán học, thực hiện khai triển biểu thức (1) kết hợp mối liên hệ giữa hệ số méo dạng toàn phần và góc kích của các khóa bán dẫn như (3) và (4) với mục tiêu các thành phần hài bậc cao được triệt tiêu ta có điều kiện ràng buộc cho các góc đóng cắt θ như sau:

$$\begin{cases} \cos(\theta_1) + \cos(\theta_2) + \dots + \cos(\theta_m) = \frac{5\pi}{4}m_a \\ \cos(5\theta_1) + \cos(5\theta_2) + \dots + \cos(5\theta_m) = 0 \\ \cos(7\theta_1) + \cos(7\theta_2) + \dots + \cos(7\theta_m) = 0 \\ \dots \\ \cos(n\theta_1) + \cos(n\theta_2) + \dots + \cos(n\theta_m) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Với m_a là tỉ số điều biên.

Thế (5) vào (1), lấy tổng bình phương các số hạng, ta thu được hàm mục tiêu (6), vấn đề đặt ra là tìm ra giá

trị phù hợp cho các góc kích θ_k để thỏa mãn hàm mục tiêu đạt cực tiểu. Do đó, các giải thuật tối ưu GA và GWO được áp dụng để giải quyết bài toán này.

$$F(\theta_1 \dots \theta_5) = \left[\begin{aligned} & \left(\sum_{i=1}^5 \cos(\theta_i) - \frac{5\pi m}{4} \right)^2 + \frac{4}{5\pi} \left(\sum_{i=1}^5 \cos(5\theta_i) \right)^2 \\ & + \frac{4}{7\pi} \left(\sum_{i=1}^5 \cos(7\theta_i) \right)^2 + \frac{4}{11\pi} \left(\sum_{i=1}^5 \cos(11\theta_i) \right)^2 \\ & + \frac{4}{13\pi} \left(\sum_{i=1}^5 \cos(13\theta_i) \right)^2 \end{aligned} \right] \quad (6)$$

Với $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4 < \theta_5 < \frac{\pi}{2}$ (rad)

ÁP DỤNG CÁC GIẢI THUẬT METAHEURISTIC CHO BÀI TOÁN SHE VỚI BỘ NGHỊCH LƯU 11 BẬC

Giải thuật GA

Do tính chất bài toán là việc tìm các giá trị góc kích cho khóa bán dẫn, các góc này nằm trong khoảng giá trị $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ và là các số thập phân. Việc biểu diễn lời giải dưới dạng số thực gây ra những hạn chế về mặt tính toán. Do đó trong bài báo này, các lời giải sẽ được biểu diễn dạng chuỗi bit, các giá trị thực của các góc (radian) sẽ được chuyển đổi thông qua hàm dịch mã (encode) và giải mã (decode). Quá trình xây dựng giải thuật GA được tiến hành như lưu đồ Hình 2.

B1. Khởi tạo quần thể: Đối với việc lựa chọn góc kích, các giá trị được lựa chọn hoàn toàn ngẫu nhiên. Với bộ nghịch lưu 11 bậc, số lượng góc kích cần tìm ứng với mỗi tỉ số điều biến là 5. Do đó lựa chọn kích thước quần thể là $20 \div 30$ nhiễm sắc thể (NST). Do cần chuyển đổi giữa dạng mã nhị phân và số thực, độ chính xác của các giá trị góc này ảnh hưởng đến chất lượng điện áp ngõ ra. Để đạt độ chính xác là 3 chữ số thập phân tương ứng với giá trị nguyên nằm trong khoảng $[0 \div 15708]$, độ dài chuỗi bit của mỗi giá trị góc kích được tính như sau:

$$2^x \geq 15708$$

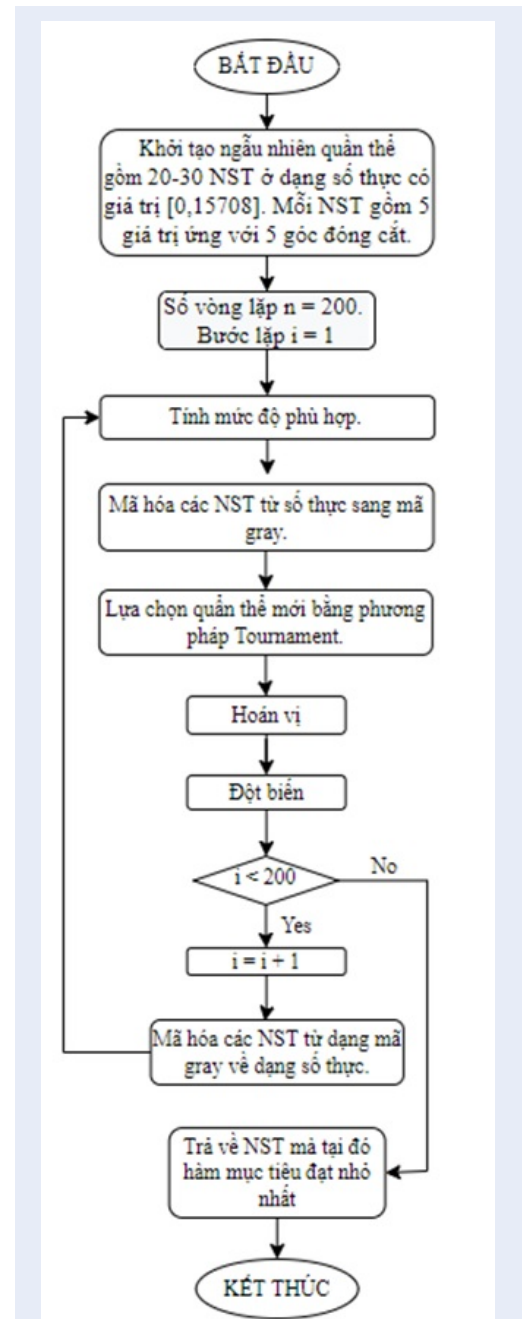
$$x \geq 14$$

Như vậy, mỗi giá trị góc kích có độ dài tối thiểu là 14 bits, mỗi nhiễm sắc thể gồm 5 góc kích nên có độ dài tối thiểu là 70 bits.

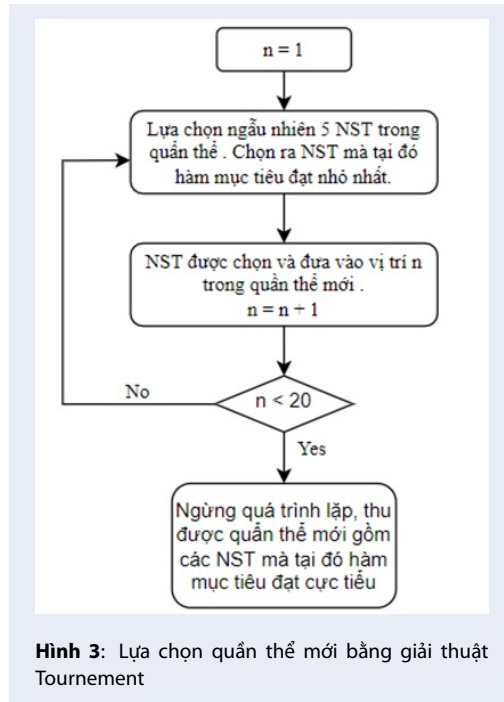
B2. Tính mức độ phù hợp: Qua mỗi vòng lặp, giá trị thực của các góc sau khi khởi tạo được đưa qua hàm fitness (6) để lựa chọn quần thể ở thế hệ tiếp theo, sau đó được mã hóa đưa về dạng chuỗi bit để tiến hành các bước hoán vị và đột biến.

B3. Lựa chọn quần thể mới: Để lựa chọn thế hệ sau cho quần thể các giá trị góc đóng cắt, phương pháp lựa chọn Tournament (giải đấu) và Roulette (bánh xe) được áp dụng, tuy nhiên lựa chọn Tournament cho thấy kết quả tốt hơn. Quá trình cụ thể được mô tả như lưu đồ Hình 3.

Như vậy chỉ cần sau vài lần lặp, những cá thể có điểm cao sẽ xuất hiện ngày càng nhiều.



Hình 2: Tìm góc đóng cắt tối ưu cho khóa bán dẫn bằng giải thuật GA tại một giá trị xác định của tỉ số điều biến



Hình 3: Lựa chọn quần thể mới bằng giải thuật Tournament

B4. Hoán vị: Phương pháp lai ghép lựa chọn là phương pháp thông dụng nhất-lai ghép 1 điểm. Nghĩa là chọn ngẫu nhiên 1 điểm trên một NST, trao đổi và đổi của 2 NST cho nhau tại vị trí điểm chọn. Số phân tử được chọn để hoán vị theo xác suất $p_c = 0.5$. Từ bước này, các giá trị góc được dịch mã để đưa về dạng các bit 0,1.

B5 Đột biến: Có nhiều cách khác nhau để tạo ra đột biến, tương tự như quá trình đột biến NST trong tự nhiên như mất đoạn, lặp đoạn, đảo đoạn hay chuyển đoạn. Tuy nhiên, việc đột biến mà gây thay đổi chiều dài chuỗi bit sẽ gây khó khăn cho việc tính toán. Do đó, bài báo áp dụng phương pháp đảo bit cho bài toán tìm giá trị góc đóng cắt tối ưu. Nghĩa là chọn ra một bit bất kỳ trong quần thể và đảo giá trị tại bit đó (0 thành 1/1 thành 0). Số lượng bit được lựa chọn trong mỗi lần lặp tính theo công thức (7).

$$nbit = 70 * Search\ Agents * p_m \tag{7}$$

Với p_m là xác suất đột biến (rất nhỏ so với p_c), giá trị này được chọn là 0.005. Đầu vào của bước này là quần thể sau khi đã được tiến hành lai ghép ở bước 4. Các giá trị được giải mã để đưa về dạng số thực và đưa về bước 2 để tính mức độ phù hợp. Bài toán có điều kiện dừng là khi đạt số vòng lặp tối đa là 200 vòng lặp (có thể là 250 và 300).

Giải thuật GWO⁵

Tương tự như GA, thuật toán bắt chước tập tính săn mồi của bầy sói GWO cũng cần các bước là khởi tạo

quần thể, tính mức độ phù hợp, cập nhật lại vị trí (tương đương với bước tạo quần thể mới), và điều kiện dừng cũng là khi đạt được số vòng lặp tối đa.

B1. Khởi tạo quần thể: ma trận không gian tìm kiếm được khởi tạo ngẫu nhiên trong khoảng $[0, \pi/2]$ với kích thước 20x5.

B3: Tính mức độ phù hợp: Hàm mục tiêu được chọn như ở công thức (6).

B2. Cập nhật lại vị trí: Sự khác biệt lớn nhất giữa GWO với GA chính là ở bước cập nhật lại vị trí. Để cập nhật lại vị trí, giá trị a ở công thức (8) được giảm từ 2 về 0 khi số vòng lặp tăng dần. Ở mỗi vòng lặp các giá trị A, C, D được tính toán lại theo công thức (8), (9), (10), giá trị X ở vòng lặp thứ t được cập nhật lại từ trung bình của 3 thành phần X_1, X_2, X_3 theo công thức (11).

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \vec{r}_1 - \vec{a} \tag{8}$$

$$\vec{C} = 2 \vec{r}_2 \tag{9}$$

$$\vec{D} = \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t) \tag{10}$$

$$\begin{cases} \vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \vec{D}_\alpha \\ \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \vec{D}_\beta \\ \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \vec{D}_\delta \end{cases}$$

với

$$\begin{cases} \vec{D}_\alpha = |c_1 \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \\ \vec{D}_\beta = |c_2 \vec{X}_\beta - \vec{X}| \\ \vec{D}_\delta = |c_3 \vec{X}_\delta - \vec{X}| \end{cases} \tag{11}$$

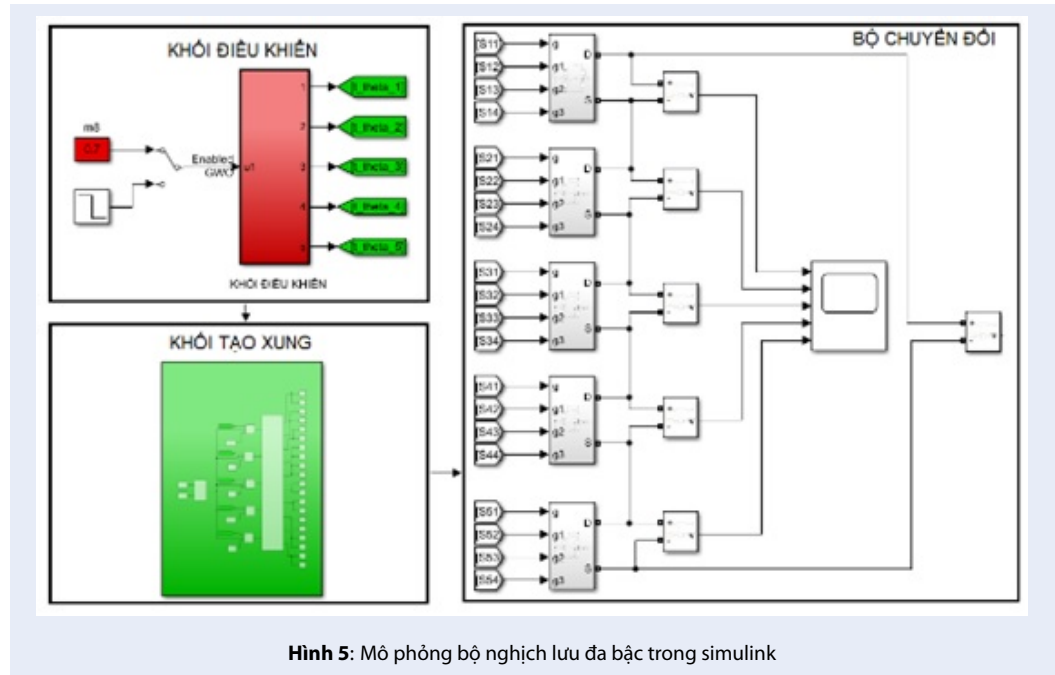
$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}$$

Bài toán có điều kiện dừng tương tự như giải thuật GA là khi đạt số vòng lặp tối đa, với số vòng lặp tối đa được chọn là 200 (250 hoặc 300). Các bước thực hiện thuật toán GWO được tóm tắt như lưu đồ Hình 4.

MÔ HÌNH MÔ PHỎNG TRÊN MATLAB/SIMULINK

Mô hình bộ nghịch lưu 3 pha 11 bậc dạng mô đun ghép tầng và khối điều khiển được mô phỏng trong Matlab/Simulink như mô tả ở Hình 5 bao gồm 3 phần chính là khối điều khiển, khối tạo xung và bộ nghịch lưu 3 pha, mỗi pha gồm 5 mô đun H-bridge được ghép tầng với nhau.

Khối điều khiển được xây dựng trong Simulink để lấy tín hiệu điều khiển cho bộ nghịch lưu và được mô tả như Hình 6. Đầu vào là tỉ số điều biên m_a và đầu ra là các giá trị góc đóng cắt tối ưu đã được tính toán từ giải thuật tối ưu, giải thuật tối ưu này có thể là GA hoặc GWO như đã mô tả trong phần 3.1 và 3.2. Các thuật toán này được thực hiện thông qua các khối m-file.



Hình 5: Mô phỏng bộ nghịch lưu đa bậc trong simulink

Tỉ số điều biên m_a có thể thay đổi trong khoảng từ 0.1 đến 1 với bước nhảy là 0.05, giá trị này sẽ do người mô phỏng tùy chỉnh trong quá trình khảo sát. Ứng với mỗi giá trị điều biên đưa vào, thuật toán điều khiển như GA và GWO sẽ tính toán và cho giá trị 5 góc kích tương ứng với 5 khối trong bộ chuyển đổi. Các giá trị góc này sẽ được đưa qua khối tạo xung để đưa về dạng xung PWM để tương thích với dạng tín hiệu ngõ vào của các khóa bán dẫn. Mỗi giá trị góc từ khối điều khiển thông qua khối tạo xung sẽ cho ra 4 giá trị PWM. Do bộ nghịch lưu ba pha 11 bậc, mỗi pha gồm 5 mô-đun ghép tầng với nhau nên khối tạo xung cần 5 giá trị góc đóng cắt ngõ vào và đầu ra sẽ gồm 20 tín hiệu điều khiển ứng với 5 mô-đun ở khối bộ chuyển đổi. Để áp dụng cho bộ nghịch lưu 3 pha, cần có 3 khối tạo xung với các giá trị góc đóng cắt tương tự nhau và góc pha của mỗi bộ lệch nhau 120° . Mô hình bộ nghịch lưu được mô tả như Hình 7.

Mỗi pha gồm 5 mô-đun ghép tầng với nhau, điện cực S của mô-đun trước được nối với điện cực D của mô-đun liền kề. 3 pha nối chung nhau tại điện cực S của mô-đun cuối. Mô hình H-bridge cơ bản của mỗi mô-đun được xây dựng trong Simulink như Hình 8. Khóa bán dẫn là các MOSFET lý tưởng, g, g1, g2, g3 lần lượt là xung tín hiệu điều khiển đối nghịch được cấp bởi khối tạo xung (chính là các xung S11, S12, S13, S14 của khối tạo xung). Mỗi mô-đun này được cấp nguồn bởi một nguồn áp một chiều 100V. Hiệu điện thế giữa điểm S và điểm D là thành phần điện áp ngõ ra của mỗi khối. Như vậy điện áp ngõ ra một pha của bộ

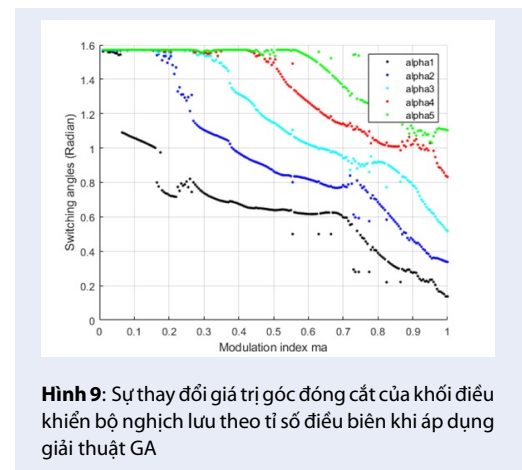
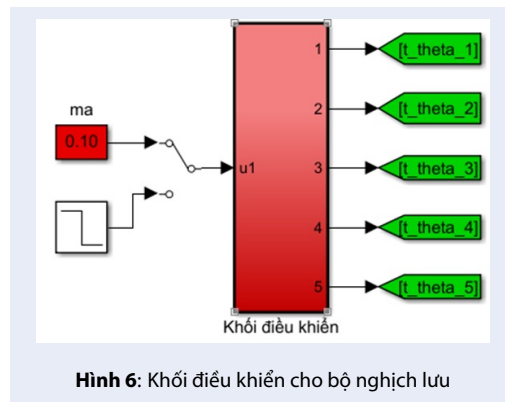
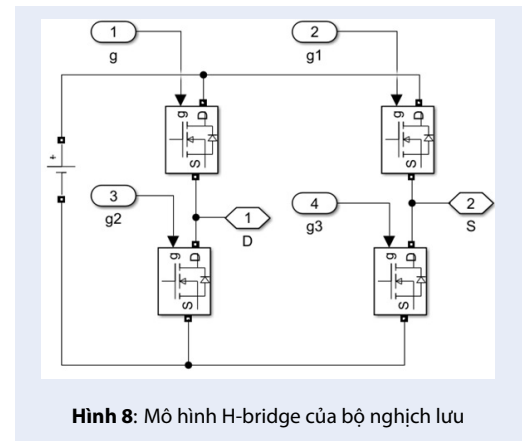
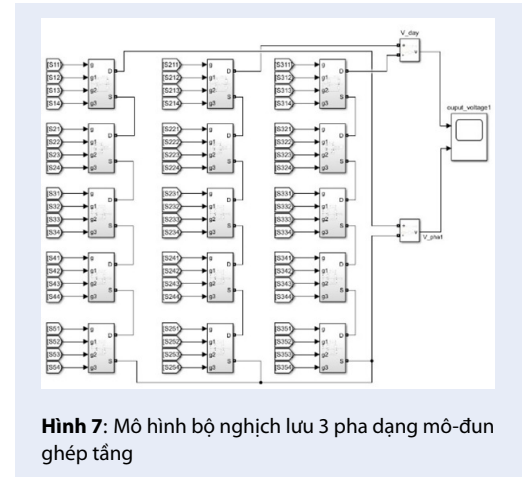
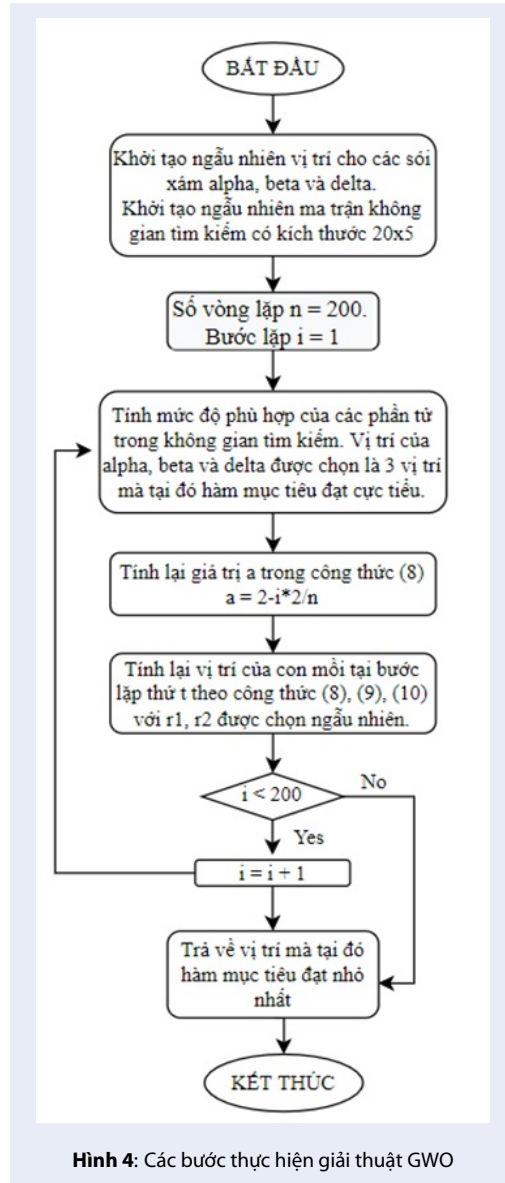
nghịch lưu chính là hiệu điện thế giữa điểm S của mô-đun đầu tiên và điểm D từ mô-đun cuối cùng.

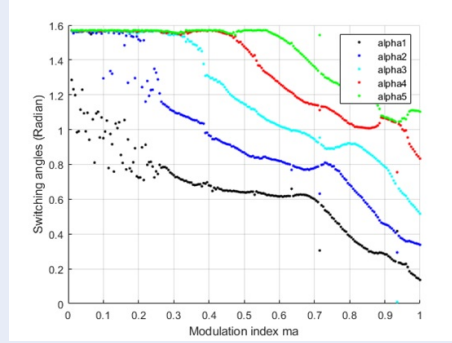
ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Đánh giá về mặt sóng hài

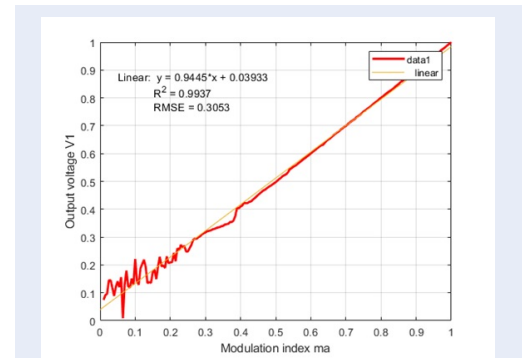
Để khảo sát về mặt sóng hài, bài nghiên cứu tiến hành mô phỏng áp dụng 2 giải thuật GA và GWO cho khối điều khiển của mô hình bộ nghịch lưu trong Hình 5. Giá trị góc đóng cắt từ 2 phương pháp như mô tả trong các đồ thị trong Hình 9 và Hình 10 cho thấy quỹ đạo thay đổi giá trị các góc này khi tỉ số điều biên thay đổi. Quỹ đạo thành phần α_1 và α_2 từ giải thuật GWO bị phân tán và không tuân theo quỹ đạo như kết quả từ giải thuật GA khi tỉ số điều biên nhỏ hơn 0.3. Tuy nhiên, với khoảng tỉ số điều biên trên 0.3 quỹ đạo của các giá trị góc đóng cắt từ giải thuật GA lại tồn tại nhiều điểm nhiễu lệch khỏi quỹ đạo. Về mặt điện áp ngõ ra, thành phần điện áp cơ bản đầu ra của GA (Hình 11) và GWO (Hình 12) cho thấy một số đánh giá như sau:

- Khi tỉ số điều biên thay đổi từ 0.01 đến 0.3, GWO cho thành phần điện áp cơ bản dao động nhiều quanh quỹ đạo tuyến tính (đường màu vàng) và gần như lệch hẳn về phía trên quỹ đạo này, trong khi đó, quỹ đạo điện áp cơ bản từ giải thuật GA cho thấy mức độ sai lệch khỏi quỹ đạo là nhỏ hơn và ít dao động hơn.
- Khi tỉ số điều biên thay đổi từ 0.3 đến 1, cả hai giải thuật cho giá trị điện áp cơ bản bám sát quỹ đạo tuyến tính.



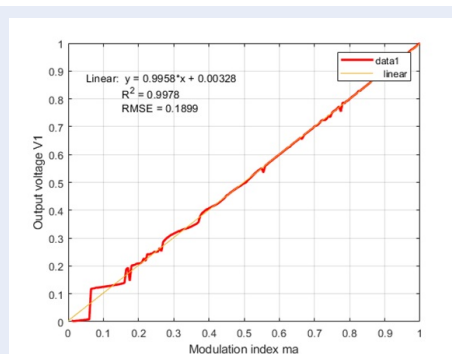


Hình 10: Sự thay đổi giá trị góc đóng cắt của khối điều khiển bộ nghịch lưu theo tỉ số điều biên khi áp dụng giải thuật GWO



Hình 12: Thành phần điện áp cơ bản của bộ nghịch lưu khi áp dụng giải thuật điều khiển GWO

- Mức độ sai lệch của quỹ đạo điện áp quanh đường thẳng tuyến tính được xác định bằng giá trị R^2 và RMSE, kết quả cũng cho thấy R^2 của GA (0.9978) là lớn hơn GWO (0.9937) và RMSE của GA (0.1899) nhỏ hơn GWO (0.3053) càng chứng tỏ rằng GA bám sát quỹ đạo lý tưởng hơn.



Hình 11: Thành phần điện áp cơ bản của bộ nghịch lưu khi áp dụng giải thuật điều khiển GA

Về mặt sóng hài, kết quả mô phỏng trong simulink của bộ nghịch lưu ghép tầng 11 bậc cho độ méo dạng sóng hài của 2 phương pháp ứng với tỉ số điều biên thay đổi từ 0.1 đến 1 được thống kê trong Bảng 1 và biểu diễn ở đồ thị ở Hình 12.

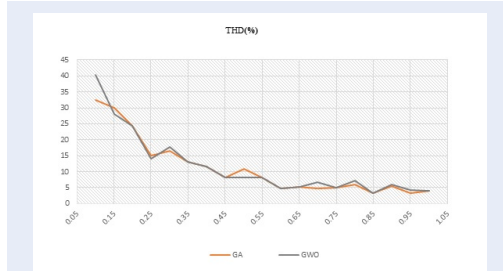
Kết quả thống kê cho thấy GA và GWO cho giá trị THD(%) tương tự nhau, dao động quanh giá trị 5% khi tỉ số điều biên lớn hơn 0.6. Tuy nhiên trong khoảng giá trị này, GA lại cho giá trị THD(%) tương đối thấp hơn so với giá trị tương ứng của giải thuật GWO.

Khi tỉ số điều biên nhỏ hơn 0.6, 2 phương pháp đều cho giá trị THD(%) tương đối lớn, trong khi GWO có

Bảng 1: So sánh về tổng độ méo dạng sóng hài (THD) của GA-original và GWO khi cùng số vòng lặp và tỉ số điều biên

ma	GA(%)	GWO(%)
0.1	32.39	40.21
0.15	29.93	28.05
0.2	24.45	24.47
0.25	14.98	14.09
0.3	16.43	17.75
0.35	13.15	13.15
0.4	11.56	11.56
0.45	8.18	8.18
0.5	10.92	8.18
0.55	8.11	8.11
0.6	4.7	4.63
0.65	5.21	5.21
0.7	4.74	6.72
0.75	5.03	5.03
0.8	5.96	7.27
0.85	3.34	3.34
0.9	5.47	5.92
0.95	3.39	4.37
1	3.91	3.91

giá trị THD(%) lớn nhất là 40.21% khi tỉ số điều biên bằng 0.1 thì GA có giá trị THD(%) nhỏ hơn là 32.39%. Theo tiêu chuẩn IEC 61000, quy định về sóng hài và giới hạn sóng hài cho các cấp điện áp tương ứng, đối với cấp điện áp phân phối 400kV, mức THD(%) cho phép là 5%. Như vậy 2 phương pháp tồn tại các vùng tỉ số điều biên thỏa mãn điều kiện là ma bằng 0.6, 0.85 và [0.95,1].



Hình 13: So sánh THD(%) của 2 phương pháp khi tỉ số điều biên thay đổi từ 0.01 đến 1

Từ Hình 13 có thể thấy, đường màu xám biểu diễn THD(%) theo tỉ số điều biên của phương pháp GWO và đường màu cam biểu diễn THD(%) theo tỉ số điều biên của phương pháp GA. Về tổng quát:

1. Nhìn chung khi tỉ số điều biên thay đổi, giá trị THD(%) của cả 2 phương pháp cho kết quả tương tự nhau.
2. Khi $ma > 0.6$, giá trị THD(%) của 2 phương pháp dao động quanh mức 5%. Và ngược lại, khi $ma \leq 0.6$ giá trị THD(%) của 2 phương pháp tăng dần từ 8 đến khoảng 40%.

Như vậy, xét về mặt sóng hài, GA và GWO cho kết quả tương tự nhau, tuy nhiên, GA có những ưu điểm hơn so với GWO trong những khoảng tỉ số điều biên là [0.6,1]. Bên cạnh đó, GA cho thành phần điện áp cơ bản bám sát quỹ đạo lý tưởng với sai lệch nhỏ hơn GWO với giá trị góc đóng cắt ít bị dao động hơn với tỉ số điều biên nhỏ hơn 0.3.

Đánh giá về mặt thời gian

Mặc dù cho thấy một số ưu thế về mặt sóng hài và giá trị điện áp cơ bản, tuy nhiên về khía cạnh thời gian thực thi GA phải thực hiện các quá trình mã hóa và giải mã trong các vòng lặp, việc này làm thời gian thực thi của phương pháp GA lớn hơn rất nhiều so với GWO. Bảng 2 tổng hợp thời gian tính toán của 2 phương pháp ứng với số vòng lặp lần lượt là 250, 300, 350 và 400 vòng lặp. Trung bình, giải thuật GA-encoded có thời gian thực thi gấp hơn 27 lần so với giải thuật GWO. Cụ thể, từng bước tính, của mỗi

phương pháp cũng như thời gian thực hiện từng bước nhỏ này được đo đạc bằng hàm tính thời gian trong matlab và thể hiện trong Bảng 3.

Như vậy có thể thấy trong 1 vòng lặp, khối lượng tính toán của GA-encoded lớn hơn và thời gian thực hiện bị kéo dài hơn so với GWO ở các bước:

- Khởi tạo (dịch mã)
- Giải mã, tính mức độ phù hợp.
- Dịch mã cho vòng lặp tiếp theo.

Tổng thời gian 3 bước này chiếm 94.88% thời gian chạy của 1 vòng lặp. Do đó để duy trì ưu điểm về mặt sóng hài của phương pháp GA về mặt sóng hài như đã trình bày ở trên, cần tìm ra một phương pháp để giảm thiểu thời gian của các quá trình dịch mã (decimal sang gray) và giải mã (gray sang decimal) nói trên. Bài báo trình bày hướng tiếp cận sử dụng bảng tham chiếu cho bài toán dịch mã và giải mã.

Việc sử dụng bảng tham chiếu nghĩa là tạo ra một bảng ghi lại tất cả các trường hợp có thể xảy ra của các giá trị góc kích trong khoảng xem xét, do đó kích thước bảng phụ thuộc vào số lượng bit được lựa chọn để mã hóa cho các giá trị góc đóng cắt là 11 bit hay 14 bit. Khi số lượng bit càng lớn thì độ chính xác càng cao.

Bảng tham chiếu gồm 2 cột: cột thứ nhất chứa giá trị thực của các giá trị trong không gian tìm kiếm (từ 1 đến 16383 ($2^{14}-1$)) và cột thứ 2 chứa giá trị ở mã gray với chiều dài 14 bit. Cột 1 tương ứng với chỉ số của các giá trị trong cột 2, mỗi giá trị này chỉ xuất hiện 1 lần duy nhất và không trùng lặp nhau như mô tả ở Hình 14.

Giá trị ở mã thập phân	Giá trị ở mã Gray
1	'00000000000001'
2	'00000000000011'
3	'00000000000010'
4	'00000000000110'
5	'00000000000111'
6	'00000000000101'
...	...
16382	'10000000000001'
16383	'10000000000000'

Hình 14: Minh họa cho bảng tham chiếu

Bảng 2: So sánh về thời gian tính toán của GA và GWO khi cùng số vòng lặp

Số vòng lặp	Thời gian thực thi trung bình của GA(s)	Thời gian thực thi trung bình của GWO(s)	TGA/TGWO
250	227	8	28.375
300	271	10	27.1
350	314	12	26.2
400	360	13	27.7

Bảng 3: So sánh về thời gian chạy của từng bước tính toán của 2 phương pháp GA và GWO trong 1 vòng lặp

Bước tính	Thời gian thực thi của GA (s)	Bước tính	Thời gian thực thi của GWO (s)
Khởi tạo (dịch mã)	2.61E-3	Khởi tạo	2.20E-5
Tính mức độ phù hợp	1.20E-4	Tính mức độ phù hợp	7.63E-5
Tạo quần thể mới	1.94E-4	Cập nhật lại vị trí (GWO)	1.11E-4
Hoán vị	6.88E-5		
Đột biến	4.26E-5		
Giải mã, tính mức độ phù hợp	2.45E-3		
Dịch mã	2.83E-3		
Tổng thời gian 1 vòng lặp	8.31E-3	Tổng thời gian 1 vòng lặp	2.10E-4

Khi chưa áp dụng bảng tham chiếu, quá trình tiến hành cần trải qua 2 bước là: (1) bước dịch mã từ dạng số thực thành mã nhị phân + mã nhị phân thành mã Gray và ngược lại (2) từ mã gray thành mã nhị phân + từ mã nhị phân về dạng số thực. Các giá trị thực này được chia cho 10000 để đưa về miền giá trị của bài toán $[0, \pi/2]$. Thông thường, các quá trình dịch mã và giải mã này được thực hiện bằng cách xor các bit để chuyển từ gray sang mã nhị phân và ngược lại, sau đó áp dụng hàm **dec2bin/bin2dec** trong matlab để đưa về miền giá trị tương ứng. Do đó, bảng tham chiếu sẽ thay thế cho bước dịch mã (1) bằng cách tìm kiếm giá trị mã Gray ứng với giá trị thực cần tìm và thay thế cho bước giải mã (2) bằng cách tìm kiếm số thực ứng với giá trị mã Gray cần tìm. Lúc này việc dịch mã hay giải mã được thay thế bằng việc tìm kiếm các giá trị tương ứng trong bảng tham chiếu. Việc áp dụng bảng tham chiếu này khá đơn giản thông qua các hàm tìm kiếm giá trị trong mảng được hỗ trợ từ matlab và kết quả thống kê ở Bảng 4 cho thấy thời gian chạy của bài toán tối ưu trung bình giảm 30% so với việc dịch mã, giải mã thông thường.

Các giá trị này được đo cho giải thuật GA với chiều dài bit là 14 bit và số vòng lặp thay đổi lần lượt là 200, 250 và 300 vòng lặp. Mặc dù giá trị thời gian này có sự giảm thiểu đáng kể so với khi chưa cải tiến, tuy nhiên vẫn lớn hơn thời gian thực thi của giải thuật GWO.

THẢO LUẬN

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm kiểm tra tính khả thi của 2 giải thuật tối ưu là GA và GWO khi áp dụng cho mô hình bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô-đun ghép tầng. Trong thực tế, đã có nhiều bài nghiên cứu về các giải thuật này cho bộ nghịch lưu và cho thấy kết quả khả quan. Tuy nhiên, chưa có một sự đánh giá tổng thể trên toàn bộ dải tỉ số điều biên khi áp dụng cho bộ nghịch lưu đa bậc ghép tầng. Do đó, bài nghiên cứu đưa ra những so sánh, đánh giá chi tiết về mặt thời gian, sóng hài của các phương pháp trên để thấy được các ưu điểm và mặt hạn chế của từng giải thuật trên từng phân đoạn của tỉ số điều biên cho bộ nghịch lưu 11 bậc ghép tầng.

Nghiên cứu đã trình bày cụ thể về lý thuyết cũng như quy trình xây dựng và áp dụng giải thuật điều khiển tối ưu GA và GWO trong matlab cho bộ nghịch lưu 11 bậc dạng mô-đun ghép tầng được mô hình mô phỏng trên simulink.

Từ mô phỏng cho thấy GA và GWO cho những kết quả về mặt sóng hài tương đối bám sát nhau khi tỉ số điều biên thay đổi và GA cho giá trị THD nhỏ hơn khi tỉ số điều biên lớn hơn 0.6. Thời gian thực thi của GWO nhỏ hơn GA nhờ vào khối lượng tính toán ít và cho thấy khả năng ứng dụng trực tuyến. Bên cạnh đó bài nghiên cứu cũng đưa ra những đề xuất cải tiến

Bảng 4: So sánh về thời gian thực thi của phương pháp GA, GA cải tiến và GWO

Lần đo (200 vòng lặp)	GA	GA cải tiến	GWO
1	169.8082	119.1724	5.1048
2	180.6831	119.0008	5.1507
3	176.6025	115.9434	6.8121
4	177.7158	119.877	6.988
5	175.0709	116.7375	6.7315
TB	175.9761	118.14622	6.15742
Lần đo (250 vòng lặp)	GA	GA cải tiến	GWO
1	221.4059	150.298	7.739
2	219.3869	149.895	7.3043
3	216.8684	145.2396	7.5759
4	210.5815	145.688	7.3795
5	220.7699	145.822	6.9229
TB	217.80252	147.38852	7.38432
Lần đo (300 vòng lặp)	GA	GA cải tiến	GWO
1	261.4961	167.1851	8.5522
2	255.8357	171.5901	8.2086
3	248.934	197.3559	7.7856
4	262.2252	173.3495	7.7823
5	253.5297	176.3211	8.5124
TB	256.40414	177.16034	8.16822

phương pháp GA về mặt sóng hài và thời gian, mang lại những kết quả khả quan hơn so với GA truyền thống.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày chi tiết quá trình xây dựng và áp dụng giải thuật điều khiển tối ưu GA và GWO cho bộ nghịch lưu đa bậc dạng mô đun ghép tầng để loại bỏ sóng hài chọn lọc. Từ đó đưa ra những đánh giá chi tiết về mặt sóng hài và thời gian thực thi của 2 phương pháp cũng như đề xuất một số cải tiến trong quá trình xây dựng giải thuật. Kết quả mô phỏng trong Matlab/Simulink cho thấy khi xét về mặt sóng hài, GA và GWO cho giá trị THD(%) tương đối giống nhau khi thay đổi tỉ số điều biên, tuy nhiên, GA cho giá trị THD(%) nhỏ hơn khi tỉ số điều biên lớn hơn 0.6. Về điện áp ngõ ra, GA cho thành phần điện áp cơ bản bám sát quỹ đạo lý tưởng với sai lệch RMSE

nhỏ hơn GWO và giá trị góc đóng cắt ít bị dao động hơn với tỉ số điều biên nhỏ hơn 0.3.

Về khía cạnh thời gian thực thi, GWO cho thấy ưu điểm rõ rệt khi khối lượng tính toán ít và thời gian thực thi nhỏ hơn nhiều so với GA. Nhược điểm này của giải thuật GA được giải thích là do các bước mã hóa và dịch ngược các giá trị góc đóng cắt từ decimal sang gray và từ gray sang decimal. Do đó, bài nghiên cứu đã đề xuất một giải pháp cải tiến là việc sử dụng bảng tham chiếu. Việc áp dụng bảng tham chiếu đã góp phần giảm lược thời gian thực thi của GA xuống khoảng 30% tuy nhiên vẫn tương đối lớn so với GWO.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

BBĐ: Bộ biến đổi
 GA : Genetic Algorithm
 SHE: Selective Harmonic Elimination
 PSO : Particle swarm optimization

THD: Total Harmonic Distortion: hệ số méo dạng toàn phần

NR : Newton Raphson

PWM : Pulse Width Modulation

DE: Differential Revolution

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường ĐH Bách Khoa Tp.Hồ Chí Minh (HCMUT), VNU-HCM đã hỗ trợ về mặt thời gian và phương tiện nghiên cứu cho bài nghiên cứu này.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

PGS.TS Phan Quốc Dũng đưa ra ý tưởng, phương pháp luận, giải thuật điều khiển, tham gia viết bài và hiệu chỉnh hoàn thiện bài báo.

Nguyễn Thanh Hằng đồng đưa ra ý tưởng, đảm nhận lập trình phương pháp GA cải tiến và ứng dụng phương pháp GA, GWO lên mô hình mô phỏng trên simulink, phân tích số liệu và viết bài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Sanchez-Vargas O, et al. Evolutionary Metaheuristic Methods Applied to Minimize the THD in Inverters: A Systematic Review, European journal of Electrical Engineering, 2021;.
2. Estefany S, Calleja H. IEEE, Metaheuristic Optimization Methods Applied to Power Converters: A Review. 2020;p. 1–5.
3. Debnath S, Ray RN. Harmonic elimination in multilevel inverter using GA and PSO: A comparison. in Proc. IEEE Students Conf. Electr., Electron. Comput. Sci. 2012;p. 1–5. PMID: 23085074. Available from: <https://doi.org/10.1109/SCECS.2012.6184789>.
4. Nalcaci G, Ermis M. Effect of Grey Wolf Optimization on THD of 3-Phase Voltage Source Inverter with Selective Harmonic Elimination Base, 4th International Conferencen Power Electronics and their Applications (ICPEA), 25-27 September 2019, Elazig, Turkey ;Available from: <https://doi.org/10.1109/ICPEA1.2019.8911198>.
5. Dzung PQ, Tien NT, Tuyen ND, Lee H. Selective harmonic elimination for cascaded multilevel inverters using Grey Wolf Optimizer algorithm," 2015 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia). 2015;2015:2776–2781. Available from: 10.1109/ICPE.2015.7168164.

Selective harmonic elimination for cascade modular multi-level inverters using GA and GWO algorithms

Thanh Hang Nguyen^{1,2}, Quoc Dung Phan^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Nowadays, the study of methods to control the inverter by applying optimization algorithms to eliminate selective harmonics (Selective Harmonic Elimination (SHE)) is attracting more and more attention of researchers. These studies are divided into two directions: evolutionary algorithms and swarm intelligence, in which genetic algorithm (GA) represents the group of evolutionary algorithms, and one solution recently appeared is the gray wolf algorithm (Grey Wolf Optimizer: GWO) which represents the group of swarm intelligence algorithms. When applied to the SHE problem for the inverter, these algorithms show positive results. However, there has not been an evaluation of both time and total harmonic distortion (THD) over the entire range of modulation index between the two methods GA and GWO when applied to multi-level inverters. Therefore, the article gives detailed evaluations in terms of time and harmonics of the above methods to see the advantages and limitations of each algorithm on each segment of the modulation ratio to the modular 11 -levels cascade inverter. Modular multi-levels cascade inverter is simulated by Matlab/Simulink software to verify GA and GWO control algorithms.

Key words: Modular multi-levels cascade inverter, Selective harmonic elimination (SHE), Grey wolf optimization (GWO), Genetic algorithm (GA), Total harmonic distortion (THD)

¹Faculty of Electronics and Electrical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM), Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Quoc Dung Phan, Faculty of Electronics and Electrical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM), Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: pqdung@hcmut.edu.vn

History

- Received: 28-12-2021
- Accepted: 22-4-2022
- Published: 30-6-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.953



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Nguyen T H, Phan Q D. **Selective harmonic elimination for cascade modular multi-level inverters using GA and GWO algorithms.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology;* 5(2): 1451-1462.