

# THIẾT KẾ TỐI ƯU HOÁ ĐA MỤC TIÊU CHO MẠCH LỌC TÍCH CỰC DẠNG LAI GHEP SỬ DỤNG GIẢI THUẬT PSO

## MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION DESIGN FOR HYBRID ACTIVE POWER FILTER USING PSO ALGORITHM

Châu Văn Bảo<sup>1</sup>, Võ Công Phương<sup>2</sup>, Châu Minh Thuyên<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Điện-Điện tử viễn thông, Đại Học Giao Thông Vận Tải Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam, baodhcn@gmail.com

<sup>2</sup>Khoa Điện-Điện tử viễn thông, Đại Học Giao Thông Vận Tải Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam, phuongvc\_dv@hcmutrans.edu.vn

<sup>3</sup>Khoa Điện, Đại Học Công Nghiệp Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam chauminhthuyen@iuh.edu.vn

**Tóm tắt:** Bài báo này đưa ra một hướng tiếp cận mới cho thiết kế mạch lọc tích cực dạng lai ghép. Đầu tiên, một phân tích ổn định cho HAPF được thực hiện để tìm ra miền ổn định của từng thông số trong hệ thống HAPF. Sau đó một phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu dựa vào thuật toán Particle Swarm Optimization (PSO) sẽ được sử dụng để tìm ra giá trị tốt nhất của các thông số nằm trong miền ổn định và những ràng buộc mà vẫn thỏa mãn được các hàm mục tiêu. Quá trình thực hiện tìm kiếm bộ thông số tốt nhất được thực hiện bằng phương pháp nhúng giữa chương trình tối ưu hóa đa mục tiêu viết bằng Mfile và mô hình Simulink của hệ thống HAPF. Tiếp cận này cho ta tìm được giá trị tối ưu của cả phần mạch động lực và mạch điều khiển của HAPF. Được so sánh hiệu quả làm việc của mô hình HAPF theo thiết kế truyền thống, mô hình HAPF theo thiết kế mới đã chứng tỏ được các ưu điểm vượt trội trong việc giảm hài, cực tiểu sai số bù và cực đại công suất phản kháng bù vào hệ thống.

**Từ khóa:** Mạch lọc tích cực dạng lai ghép, mạch lọc thụ động, lọc hài, hệ số công suất, tối ưu hoá đa mục tiêu.

**Chỉ số phân loại:** 2.2

**Abstract:** This paper proposes a new approach in the design of Hybrid Active Power Filter (HAPF). First, a stable analysis for HAPF was performed to find the stable domain of HAPF system. Then a multi-objective optimization method based on Particle Swarm Optimization algorithm will be used to select a set of the best parameters in the stable domain and constraints that are still satisfied the objective function. The process of finding the best set of parameters for HAPF was done by embedding between the multi-objective optimization program written in Mfile and the Simulink model of the HAPF system. This approach provides the optimal values of both the passive circuit and the active circuit of the HAPF. By comparing the performance of the HAPF model with traditional design, the HAPF model with new design has demonstrated superior advantages in reducing harmonics, minimum error compensation and maximum reactive power compensate into the system.

**Keywords:** Hybrid active power filter, passive power filter, harmonic filter, power factor, multi-objective optimization.

**Classification number:** 2.2

### 1. Giới thiệu

Ngày nay, vấn đề chất lượng điện năng đã trở thành một trong những tiêu chí quan trọng trong hệ thống điện. Nguyên nhân dẫn đến chất lượng điện năng kém (méo dạng hài, độ méo dạng hài tổng lớn và hệ số công suất nhỏ) là do có ngày càng nhiều các tải phi tuyến được kết nối vào lưới điện. Hiện nay, trên hệ thống điện thường dùng tụ để nâng cao hệ số công suất. Tuy nhiên phương pháp dùng tụ bù

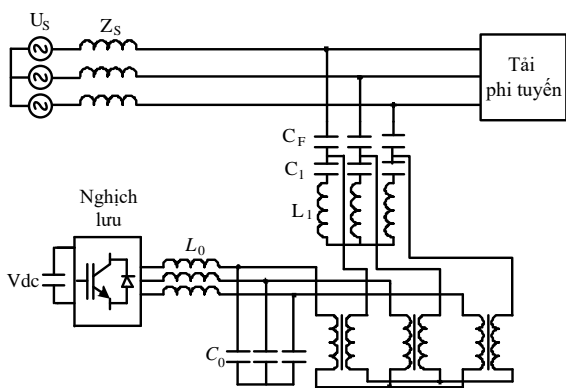
hiệu quả không cao, không có khả năng cải thiện độ méo dạng hài, không linh hoạt trong bù công suất phản kháng, dễ gây mất ổn định trong hệ thống điện [1 - 3]. Theo đó, để giải quyết các vấn đề trên thì các mạch lọc tích cực ra đời là một tất yếu, trong đó mạch lọc tích cực dạng lai ghép là dạng cải tiến của nó [4 - 6]. Bởi vậy, nghiên cứu về mạch lọc tích cực dạng lai ghép có ý nghĩa cấp thiết góp phần nâng cao điện năng trong hệ thống điện.

Xác định đúng các thông số của mạch lọc tích cực dạng lai ghép đóng vai trò quyết định đến hiệu quả làm việc của nó. Hiện nay, các thông số của mạch lọc này đa phần được xác định dựa vào kinh nghiệm và mang tính cục bộ [4 - 7], không có cơ sở khoa học. Do đó kết quả đạt được có thể sẽ không thỏa mãn điều kiện ổn định hệ thống. Hơn nữa, trong các nghiên cứu đa mục tiêu trước đây chỉ tính toán cho phần mạch thụ động [8 - 15], còn các thông số mạch điều khiển thì chưa có nghiên cứu nào. Để khắc phục nhược điểm trên, trong bài báo này một phân tích ổn định trên hệ thống mạch lọc tích cực dạng lai ghép được thực hiện để tìm ra điều kiện ổn định của hệ thống. Sau đó sử dụng phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu Particle Swarm Optimization (PSO) nhằm xác định bộ thông số tốt nhất cho mạch lọc tích cực dạng lai ghép. Như vậy kết quả đạt được sẽ mang tính tối ưu toàn cục như là cực tiểu sai số bù ở xác lập, cực tiểu độ méo dạng hài tổng, cực đại công suất phản kháng bù vào hệ thống và thỏa mãn điều kiện ổn định. Điều này có tác dụng nâng cao hiệu quả làm việc của mạch lọc tích cực dạng lai ghép và góp phần cải thiện chất lượng điện năng.

Cấu trúc bài báo được trình bày gồm năm phần: Phần 1 trình bày tổng quan về vấn đề cần nghiên cứu, phân tích ổn định mạch lọc tích cực dạng lai ghép được đưa ra ở phần 2, phần 3 đưa ra một tiếp cận mới trong thiết kế mạch lọc tích cực dạng lai ghép, các kết quả mô phỏng kiểm chứng được trình bày ở phần 4 và phần 5 là các kết luận của bài báo.

**2. Phân tích ổn định cho mạch lọc tích cực dạng lai ghép**

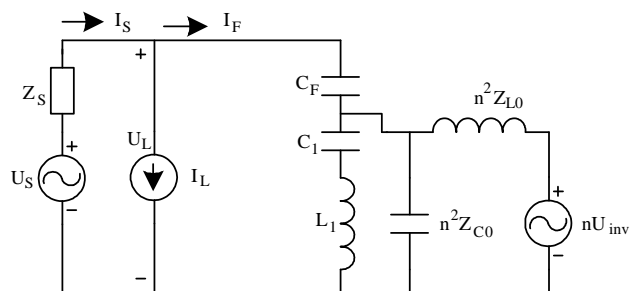
Mô hình của HAPF được biểu diễn như ở hình 1.



Hình 1. Mô hình HAPF.

Trong H. 1,  $U_s$  và  $Z_s$  là điện áp và trở kháng của lưới.  $C_F, C_1, L_1, C_p, L_p, L_0$  và  $C_0$  là điện dung thêm vào, điện dung cộng hưởng tần số cơ bản, điện cảm cộng hưởng tần số cơ bản, điện dung và điện cảm của các mạch lọc thụ động, điện dung và điện cảm của mạch lọc đầu ra. Một nhánh thêm vào  $C_F - C_1 - L_1$ .  $C_1$  và  $L_1$  cộng hưởng tại tần số cơ bản và mắc nối tiếp với  $C_F$ . Tải phi tuyến được xem như nguồn tạo ra hài.

Mạch điện tương đương một pha của HAPF thì được biểu diễn như hình 2.



Hình 2. Mạch điện tương đương một pha của HAPF.

Trong đó:

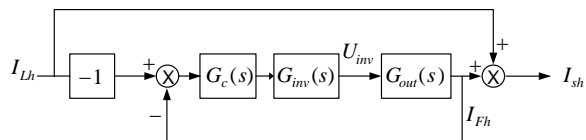
$$Z_s = R_s + L_s s; \quad Z_1 = Z_{L1} C_1 // n^2 Z_{C0};$$

$$Z_2 = \frac{1}{C_F s}; \quad Z_{L0} = R_0 + L_0 s$$

Hàm truyền của dòng hài bù  $I_{Fh}$  theo nguồn điện áp điều khiển  $U_{inv}$  là  $G_{out}(s)$

$$G_{out}(s) = \frac{i_{Fh}}{U_{inv}} = \frac{n \cdot Z_2}{Z_2 (Z_1 + Z_s) + n^2 Z_{L0} (Z_1 + Z_2 + Z_s)} \tag{1}$$

Giản đồ khối điều khiển của HAPF được biểu diễn như hình 3. Trong đó  $G_c(s)$  và  $G_{inv}(s)$  là hàm truyền của bộ điều khiển PI truyền thống và của bộ nghịch lưu nguồn áp.



Hình 3. Sơ đồ khối điều khiển của HAPF.

Hàm truyền của bộ điều khiển PI truyền thống:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \tag{2}$$

Trong đó  $K_p$  là hệ số tỉ lệ và  $T_i$  là hằng số tích phân.

Hàm truyền của VSI được biểu diễn theo thực nghiệm [11]:

$$G_{inv}(s) = \frac{K_{inv}}{T_{inv}s + 1} \quad (3)$$

Với  $K_{inv}$  là hệ số khếch đại của VSI và  $T_{inv}$  là hằng số thời gian của VSI. Dựa vào sơ đồ khối của HAPF ở H. 3, hàm truyền điều khiển của dòng tải  $I_{Lh}$  theo tín hiệu dòng hài nguồn  $I_{sh}$  của hệ thống HAPF là:

$$G(s) = \frac{I_{sh}}{I_{Lh}} = \frac{1}{1 + G_c(s).G_{inv}(s).G_{out}(s)} \quad (4)$$

Từ (4), phương trình đặc trưng của hàm truyền điều khiển của hệ thống điều khiển là một hàm bậc 6 như sau:

$$D(s) = a_0s^6 + a_1s^5 + a_2s^4 + a_3s^3 + a_4s^2 + a_5s^1 + a_6s^0 + a_7 \quad (5)$$

Trong đó các hệ số từ  $a_0$  đến  $a_7$  là các hệ số của phương trình đặc trưng (5). Từ các hệ số của phương trình (5) chúng ta có thể thành lập bảng Routh để chứng minh sự ổn định của hệ thống HAPF như ở bảng 1.

**Bảng 1. Tiêu chuẩn ổn định Routh**

$s^6$	$a_0$	$a_2$	$a_4$	$a_6$
$s^5$	$a_1$	$a_3$	$a_5$	$a_7$
$s^4$	$b_0$	$b_2$	$b_4$	$b_6$
$s^3$	$b_1$	$b_3$	$b_5$	$b_7$
$s^2$	$c_0$	$c_2$	$c_4$	
$s^1$	$c_1$	$c_3$		
$s^0$	$d_0$			

Bởi vậy, để hệ thống ổn định thì tất cả các phần tử ở cột thứ nhất phải dương. Chúng ta có:

$$\begin{cases} a_1a_2 - a_0a_3 > 0 \\ b_0a_3 - a_1b_2 > 0 \\ b_1b_2 - b_0b_3 > 0 \\ c_0b_3 - b_1c_2 > 0 \\ c_1c_2 - c_0c_3 > 0 \end{cases} \quad (6)$$

### 3. Thiết kế tối ưu hoá đa mục tiêu mạch lọc tích cực dạng lai ghép

#### 3.1. Các ràng buộc và hàm mục tiêu

Khi thiết kế mạch lọc tích cực dạng lai ghép thì tất cả các ràng buộc sau đây cần phải được xem xét:

+ *Ràng buộc về ổn định hệ thống*: Để hệ thống HAPF ổn định thì điều kiện (6) phải được thoả mãn.

+ *Ràng buộc về điều kiện cộng hưởng ở các PPF*: Các thống số  $L$  và  $C$  trong một nhánh cộng hưởng phải cộng hưởng tại một tần số nhất định.

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} \quad (7)$$

+ *Ràng buộc các giá trị mạch thụ động*: các giá trị mạch thụ động phải có giá trị dương và thoả mãn điều kiện ổn định hệ thống và điều kiện cộng hưởng.

$$\begin{cases} 0 < R_i \leq R_{max} \\ 0 < L_i \leq L_{max} \\ 0 < C_i \leq C_{max} \end{cases} \quad (8)$$

Các giá trị  $R_{max}$ ,  $L_{max}$  và  $C_{max}$  được xác định theo điều kiện ổn định (6).

+ *Cực đại dung lượng bù vào bởi PPFs nhưng không được vượt quá giới hạn lớn nhất cần bù*:

$$Q_{bmin} \leq Q_{bi} \leq Q_{bmax} \quad (9)$$

+ *Ràng buộc giá trị điện áp bus DC*:

$$V_{ac} < V_{dc} < V_{dc-max} \quad (10)$$

Trong đó:  $V_{ac}$  là biên độ điện áp xoay chiều ở đầu ra của VSI.

+ *Ràng buộc các thông số bộ điều khiển*: các giá trị mạch thụ động phải có giá trị dương và thoả mãn điều kiện ổn định hệ thống (6).

$$\begin{cases} 0 < K_p < K_{pmax} \\ 0 < K_i < T_{imax} \end{cases} \quad (11)$$

+ *Hàm mục tiêu*: Ở đây ta xét ba hàm mục tiêu chính như sau

$$\begin{cases} \min THDi_s \\ \max Q_{bi} \\ \min Error \end{cases} \quad (12)$$

### 3.2. Thiết kế tối ưu hoá đa mục tiêu cho mạch lọc tích cực dạng lai ghép

Để thiết kế tối ưu hoá đa mục tiêu cho mạch lọc tích cực dạng lai ghép, một thuật toán tối ưu đa mục tiêu được sử dụng trên hệ thống HAPF là Particle Swarm Optimization (PSO). Lấy ý tưởng từ cách đàn chim tìm thức ăn, nguồn nước.

Theo giả thuyết của bài toán, các cá thể ban đầu được dựng lên trong không gian đó. Mỗi cá thể có một vận tốc ban đầu, và giữa các cá thể cũng có kênh liên lạc. Các cá thể sau đó di chuyển trong không gian lời giải, mỗi cá thể sẽ được đánh giá bằng một hay nhiều tiêu chuẩn thích nghi, dần dần các cá thể này sẽ di chuyển về phía những cá thể tốt hơn trong phạm vi của chúng.

Thuật toán PSO đặt vào bài toán thiết kế tối ưu hoá đa mục tiêu cho HAPF được biểu diễn như ở lưu đồ hình 4. Bắt đầu khởi tạo kích thước quần thể, trọng số quán tính và kiểm tra điều kiện ổn định, nhập các ràng buộc ở các công thức từ (6) đến (11).

Kiểm tra hội tụ là kiểm tra hàm mục tiêu (12) với một sai số cho phép nhỏ nhất có thể. ở đây thuật toán chọn min các hàm mục tiêu với giá trị  $\varepsilon = 0$ . Tuy nhiên, trong quá trình chạy nếu kết quả tốt rồi thì ta có thể dừng bất cứ lúc nào. Theo [16] thì ta chọn  $THDis\% = 3\%$  và  $\varepsilon = \pm 5$ .

### 4. Các kết quả mô phỏng và thảo luận

Để so sánh hiệu quả của phương pháp thiết kế mới so với phương pháp truyền thống. Chúng ta hãy xét một mô hình HAPF như ở hình 1.

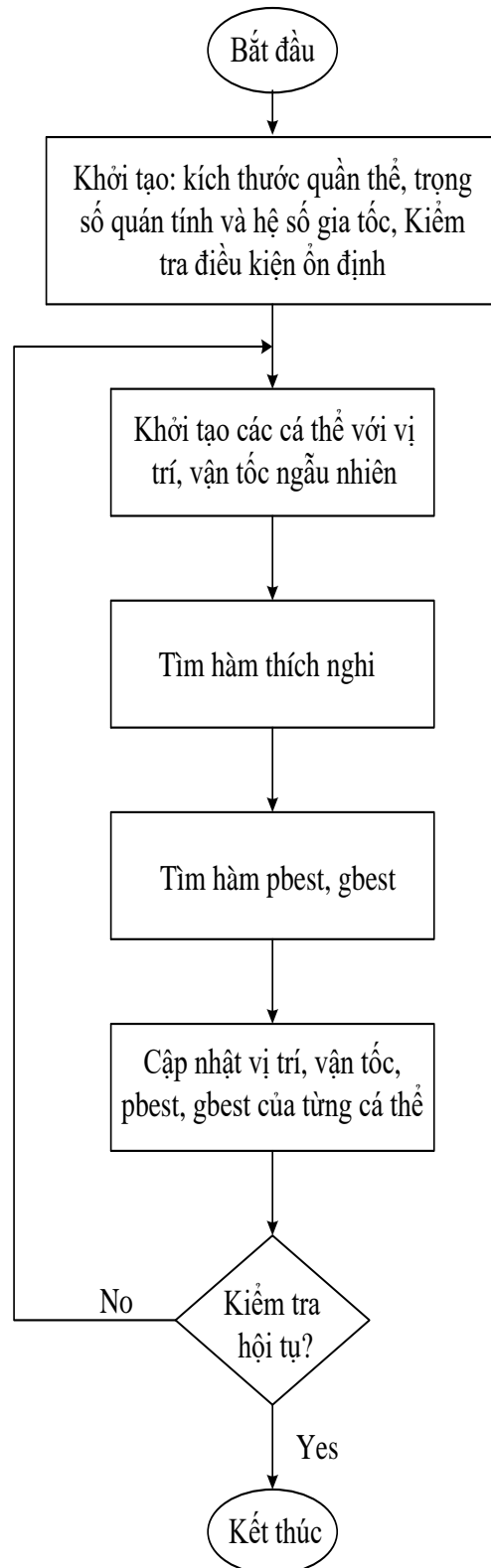
Tải phi tuyến ở đây được tạo thành bởi một bộ chỉnh lưu không điều khiển cầu ba pha với tải  $R_L = 3\Omega$  nối tiếp với  $L_L = 0.3mH$ . Điện áp nguồn ba pha 380V-50Hz.

Theo [10 - 11] các thông số của hệ thống HAPF xác định theo phương pháp truyền thống được như sau:

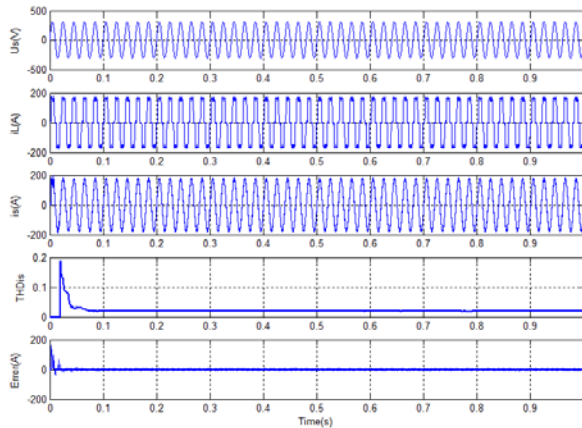
$C_F = 116,8\mu F$ ;  $C_1 = 349,2\mu F$ ;  $L_1 = 29,77mH$ ;  $R_1 = 0,01\Omega$ ;  $L_0 = 0,2mH$ ,  $C_0 = 80\mu F$ ;  $V_{dc} = 535V$ . Kết quả đo được:  $THDis\% = 1,963\%$ ;  $Q_{bù} = 3330Var$ ; sai số bù (error) =  $\pm 8A$ .

Cùng với đó là các thông số điều khiển được chọn ngẫu nhiên với bộ thông số tốt nhất

của  $K_p = 100$  và  $K_i = 0.1$ , tần số chuyển mạch  $f = 10kHz$ . Các dạng sóng của HAPF với phương pháp truyền thống được thể hiện ở hình 5.

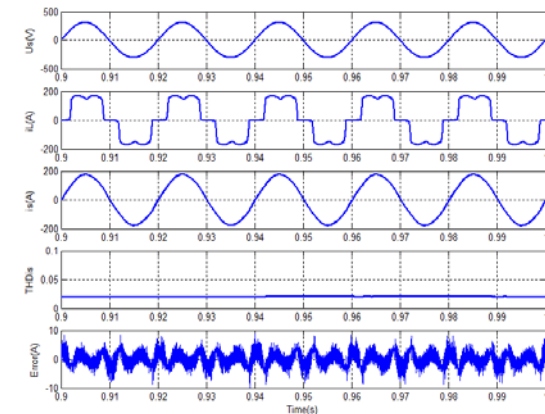


Hình 4. Lưu đồ giải thuật PSO ứng dụng cho HAPF.



**Hình 5.** Đáp ứng động của HAPF với các thông số được xác định theo truyền thống.

Các dạng sóng ở xác lập của HAPF với các thông số được xác định theo truyền thống được biểu diễn như ở hình 6.



**Hình 6.** Các dạng sóng ở xác lập của HAPF với các thông số được xác định theo truyền thống.

Từ hình 6, ta nhận thấy rằng: THD của  $i_s$  giảm từ 32,13% xuống còn 1.963%. trong khi đó dung lượng phản kháng giảm từ 4820Var xuống còn 1490Var, tức là dung lượng bù vào là 3330Var. Sai số bù ở xác lập giảm xuống còn  $\pm 8A$ .

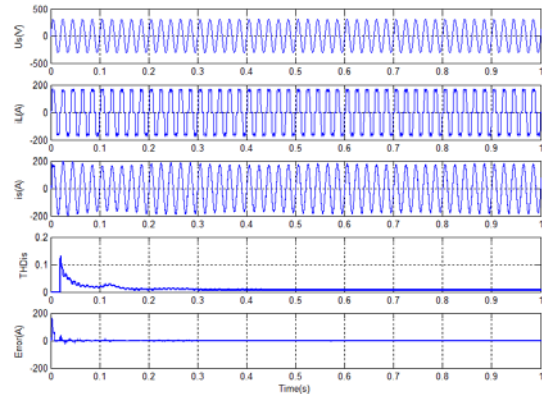
Với cùng tần số chuyển mạch  $f=10kHz$ , phương pháp tối ưu đa mục tiêu sẽ tìm ra tất cả các thông số của hệ thống HAPF, bao gồm các thông số mạch động lực và các thông số mạch điều khiển thì lời giải sẽ thỏa mãn được nhiều ràng buộc và đạt được nhiều mục tiêu.

Trong đó các thông số cần tính toán là:  $C_F$ ,  $R_1$ ,  $L_1$ ,  $C_1$ ,  $L_0$ ,  $C_0$ ,  $V_{dc}$ ,  $K_p$  và  $K_i$  lần lượt tương ứng với các biến cần tìm là  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ ,  $f_5$ ,  $f_6$ ,  $f_7$ ,  $f_8$  và  $f_9$ .

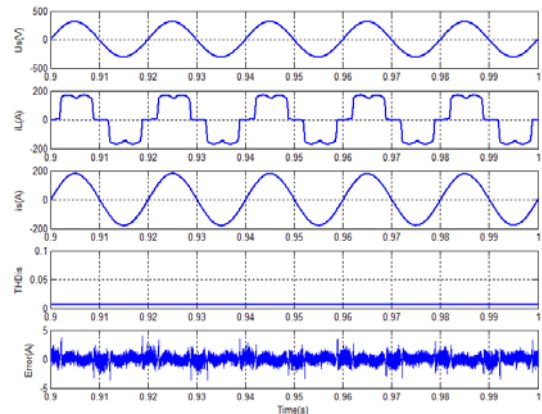
Bảng tổng hợp các kết quả tìm được với phương pháp tối ưu hoá đa mục tiêu qua 100 lần lặp. Kết quả như sau:  $C_F = 170,32\mu F$ ;  $C_1$

$= 383,3\mu F$ ;  $L_1 = 25,92mH$ ;  $R_1 = 0,035\Omega$ ;  $L_0 = 1,31mH$ ,  $C_0 = 60,74\mu F$ ;  $V_{dc} = 687,2V$ . Kết quả đo được:  $THDi_s\% = 0,93\%$ ;  $Q_{bù} = 4040Var$ ; sai số bù (error) =  $\pm 3A$ .

Cùng với đó là các thông số điều khiển tốt nhất của  $K_p=59,9$  và  $K_i=0.86$ . Các dạng sóng của HAPF với phương pháp PSO được thể hiện ở hình 7.



**Hình 7.** Đáp ứng động của HAPF với các thông số được xác định theo PSO.



**Hình 8.** Các dạng sóng ở xác lập của HAPF với các thông số được xác định theo PSO.

Từ H. 8, ta nhận thấy rằng: THD của  $i_s$  giảm từ 32,13% xuống còn 0.93%. trong khi đó dung lượng phản kháng giảm từ 4820Var xuống còn 780Var, tức là dung lượng bù vào là 4040Var, sai số bù giảm xuống còn  $\pm 3A$ .

## 5. Kết luận

Bài báo này đã đưa ra được một cách tiếp cận mới trong thiết kế tối ưu hoá đa mục tiêu mạch lọc tích cực dạng lai ghép.

Cách tiếp cận này cho phép chúng ta xác định được tất cả các thông số của cả mạch động lực và mạch điều khiển của mạch lọc tích cực dạng lai ghép.

Kết quả đạt được vừa mang tính tối ưu toàn cục vừa thoả mãn được điều kiện ổn định hệ thống. Nghiên cứu này có ý nghĩa thiết thực góp phần nâng cao chất lượng điện năng trong hệ thống.

### Tài liệu tham khảo

- [1] M, M, Ertay, S, Tosun, and A, Zengin (2012), "Simulated annealing based passive power filter design for a medium voltage power system", International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications , pp. 1-5.
- [2] Lin Li, Yuanbo Guo, and Xiaohua Zhang (2015), "Analysis and application of passive damping LCL filter in active power filter", IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), pp. 751 – 755.
- [3] M Chau, A Luo, F Ma, Z Shuai, T Nguyen, and W Wang (2012), "Online control method with time-delay compensation for hybrid active power filter with Injection Circuit", *IET Power Electronics*. Volume 5, Issue 8, pp. 1472–1482.
- [4] Veselý V, and Ilka A (2015), "Robust Gain-Scheduled PID Controller Design for Uncertain Lpv Systems," *Journal of Electrical Engineering*. Volume 66, Issue 1, pp. 19-25.
- [5] MinhThuyen Chau, An Luo, and VanBao Chau, (2012), "PID-Fuzzy Control Method with Time Delay Compensation for Hybrid Active Power Filter with Injection Circuit," *International Journal of Computer Applications*. Volume 36, Issue 7, pp. 15-21.
- [6] Panigrahi R, Subudhi B, and Panda P C (2015), "Model predictive-based shunt active power filter with a new reference current estimation strategy," *IET Power Electronics*. Volume 8, Issue 2, pp. 221 – 233.
- [7] Suresh, Y, Panda, A, K, and Suresh, M (2012), "Real-time implementation of adaptive fuzzy hysteresis-band current control technique for shunt active power filter, *IET Power Electronics*, Volume 5, Issue 7, pp. 1188-1195.
- [8] Nien-Che Yang., and Minh-Duy Le (2015), "Multi-objective bat algorithm with time-varying inertia weights for optimal design of passive power filters set," *IET Generation, Transmission & Distribution*. Volume 9, Issue 7, pp. 644 – 654.
- [9] Hamid Reza Imani, Azah Mohamed, Hussain Shreef and Mahdiyeh Eslami, Multi-objective optimization based approaches for hybrid power filter design, 21<sup>st</sup> Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 1-5, 2013.
- [10] Nien-Che Yang, and Minh-Duy Le, Multi-objective bat algorithm with time-varying inertia weights for optimal design of passive power filters set, *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 7, pp. 644 – 654, 2015.
- [11] kumar, Ramesh reddy and Archana, The application of pso to hybrid active power filter design for 3 phase 4-wire system with balanced & unbalanced loads, *International journal of advances in engineering & technology*, vol. 2, no. 1, pp. 32-42, 2012.
- [12] Shengqing Li, Yongan Li, Xiaodong Luo, Lilin Zeng and Zhengping He, Multi-objective optimal design for passive power filters in hybrid power filter system based on multi-island particle swarm optimization, 7th International Conference on Power Electronics and Motion Control , pp. 2859 – 2863, 2012.
- [13] Suresh kumar, and K. Ramesh, The application PSO hybrid active power filter design for 3phase 4-wire system with variable load, *International journal of engineering inventions*, vol. 1, no. 4, pp. 39-46, 2012.
- [14] R. Imanijajarmi, and Mohamed, Active power filter design by a novel approach of multi-Objective optimization, *Journal of operation and automation in power engineering*, vol. 1, no. 1, pp 45-52, 2013.
- [15] Hamid Reza Imanil, Azah mohamed, Hussain shareef and Mahdiyeh eslami, Multi-objective optimization based approaches for active power filter design- a comparison, *Przegład elektrotechniczny*, vol. 2, no.1, pp.35-42, 2013.
- [16] IEEE Std. 519-1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1993.

**Ngày nhận bài: 22/03/2018**

**Ngày chuyển phản biện: 01/04/2018**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 28/04/2018**

**Ngày chấp nhận đăng: 02/05/2018**