

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN TỐI ƯU BẦY ĐÀN (PSO) ĐỂ TỐI ƯU DUNG LƯỢNG VÀ VỊ TRÍ TỤ BÙ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

APPLICATION OF PSO ALGORITHM TO OPTIMIZE THE SIZE AND LOCATION OF CAPACITOR BANK IN POWER SYSTEMS

Trương Đình Nhơn, Lê Đặng Minh Trường

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh; nhontd@hcmute.edu.vn

Tóm tắt - Bù công suất phản kháng là một trong những vấn đề quan trọng trong hệ thống điện nhằm duy trì tính ổn định, giảm tổn hao trong hệ thống. Tuy nhiên, làm thế nào để xác định được dung lượng và vị trí tối ưu để lắp đặt thiết bị bù là một bài toán cần phải quan tâm. Bài báo này trình bày cách áp dụng thuật toán tối ưu hóa phân tử bầy đàn (PSO) để thực hiện việc xác định dung lượng và vị trí tối ưu của bộ tụ bù công suất phản kháng trong hệ thống điện. Kết quả mô phỏng được thực hiện trên hệ thống điện chuẩn 3 máy 9 nút (bus). Để kiểm chứng điều này, các kết quả mô phỏng được thực hiện trong miền thời gian sử dụng phần mềm Matlab/Simulink trong trường hợp điều kiện vận hành của máy phát bị thay đổi đột ngột. Có thể kết luận từ kết quả mô phỏng rằng thuật toán PSO là phù hợp cho bài toán xác định vị trí và dung lượng bù cho hệ thống điện.

Từ khóa - tối ưu bầy đàn (PSO); tụ bù; hệ thống điện; ổn định; dung lượng và vị trí.

1. Giới thiệu

Trong thời gian gần đây, có nhiều công trình nghiên cứu về việc xác định dung lượng và vị trí tối ưu cho các thiết bị bù trong hệ thống điện như các phương pháp tối ưu hóa truyền thống được trình bày trong [1] và [2]. Tuy nhiên, hạn chế của các phương pháp này là thường bị rơi vào các giá trị cực tiểu địa phương cũng như khối lượng tính toán lớn. Để khắc phục các nhược điểm này, kỹ thuật tính toán tiến hóa đã được vận dụng để giải quyết vấn đề bố trí tối ưu cho thiết bị truyền tải xoay chiều linh hoạt (FACTS) như giải thuật di truyền (GA) đã được nghiên cứu [3-5]. Bên cạnh đó, thuật toán tối ưu hóa phân tử bầy đàn (PSO) cũng đã được áp dụng để giải quyết các vấn đề phức tạp như điều phối điện hiệu quả và tiết kiệm [6], vấn đề mở rộng cung cấp điện [7], hay dự báo phụ tải ngắn hạn [8] rất thành công. Với những ưu điểm của thuật toán PSO, trong bài báo này, nhóm tác giả muốn nghiên cứu ứng dụng vào việc giải quyết bài toán tối ưu về vị trí và dung lượng bù cho bộ tụ điện trong hệ thống điện nhằm nâng cao ổn định cho hệ thống điện. Tiêu chí được sử dụng để đánh giá giải pháp tốt nhất là giải pháp đó phải tối ưu hóa độ lệch điện áp của hệ thống tại mỗi bus không vượt quá giá trị định sẵn.

2. Hệ thống nghiên cứu

2.1. Giới thiệu hệ thống nghiên cứu

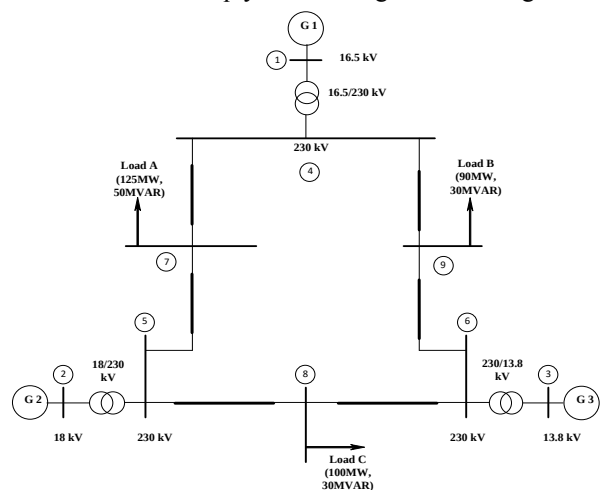
Để thuận tiện trong vấn đề so sánh, hệ thống điện trong nghiên cứu này được chọn là hệ cơ bản bao gồm 3 máy phát và 9 bus, như trình bày trong Hình 1 [9].

Các thành phần phân bố và sử dụng của hệ thống được biểu thị bởi các tải phụ tương ứng tại bus, nơi chúng được kết nối. Trong một mạng lưới như vậy, độ lệch điện áp lý tưởng phải được giữ không được lệch quá $\pm 5\%$ điện áp định mức, để tránh sụp đổ điện áp trong điều kiện quá tải.

Abstract - Reactive power compensation is one of the important issues in power grids to maintain the stability and reduce power loss of the system. However, how to estimate the optimal size and location of the compensation devices is still an open question. This paper proposes a Partical Swarm Optimization (PSO) algorithm to find the optimize size and location of the capacitor bank for compensating for reactive power in power systems. The power system is modelled as a well-known three-machine nine-bus system. For checking the results, time-domain simulation results using Matlab/Simulink in case of sudden change in the operating condition in one generator are presented. It can be concluded from these simulation results that PSO algorithm is suitable for optimizing the size and location of the capacitor bank in power systems.

Key words - Partical Swarm Optimization (PSO); capacitor bank; power systems; stability; size and location.

Nói chung, nếu yêu cầu tải điện gia tăng, thì điện áp tại bus tương ứng có thể sụt xuống dưới 0,95 p.u, và do đó cần có hỗ trợ điện áp bổ sung tại chính bus đó. Trong nghiên cứu này, điện áp hỗ trợ sẽ được cung cấp bởi một bộ tụ bù cố định và vị trí, cũng như là dung lượng tối ưu của bộ tụ này sẽ được tính toán và quyết định bằng cách sử dụng PSO.



Hình 1. Hệ thống điện 3 máy phát 9 bus

2.2. Giới thiệu thuật toán PSO

Thuật toán tối ưu hóa phân tử bầy đàn (PSO) được phát triển bởi Eberhart và Kennedy vào năm 1995. Cho đến nay, thuật toán được ứng dụng rất nhiều trong các hệ thống điều khiển [10-12]. Trong đó, quỹ đạo của mỗi cá thể trong không gian tìm kiếm được hiệu chỉnh bằng cách thay đổi vận tốc của từng cá thể, thông qua kinh nghiệm bay của nó và kinh nghiệm bay của những cá thể khác trong không gian tìm kiếm. Véc-tơ vị trí và véc-tơ vận tốc của một cá thể thứ i trong không gian đa chiều là:

$$X_i = (x_{i1}; x_{i2}; \dots; x_{in}); V_i = (v_{i1}; v_{i2}; \dots; v_{in}) \quad (1)$$

Tại mỗi lần lặp, vận tốc của một phần tử được xác định bởi cả kinh nghiệm cá nhân cũng như kinh nghiệm của cả nhóm:

$$V_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 \cdot \text{rand}_1(pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 \cdot \text{rand}_2(gbest_{id}^k - x_{id}^k) \quad (2)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (3)$$

Trong đó:

V_{id}^{k+1} là véc-tơ vận tốc của cá thể thứ id .

X_{id}^{k+1} là vị trí của cá thể thứ id .

$pbest_{id}^k$ là chỉ số tối ưu nhất trước đó của mỗi cá thể.

$gbest_{id}^k$ là chỉ số tối ưu nhất giữa các cá thể trong quần thể.

k là số lần di chuyển của các cá thể trong quần thể.

c_1, c_2 là các hằng số gia tốc.

$\text{rand}_1, \text{rand}_2$ là hai số ngẫu nhiên với phân bố đồng đều trong khoảng $[0, 1]$.

Trong phương trình (2), phần đầu tiên đại diện cho vận tốc trước đó, để tạo đà cho cá thể tiếp tục đi lang thang trong không gian tìm kiếm. Thành phần thứ 2 được xem là thành phần nhận thức, đại diện cho suy tính nhân tạo của các cá thể. Chính thành phần này sẽ hướng các cá thể đến vị trí tốt nhất của nó. Thành phần thứ 3 được xem là thành phần xã hội, nó đại diện cho hiệu ứng kết hợp của cá thể trong quá trình tìm kiếm lời giải tối ưu toàn cục, chính thành phần xã hội sẽ lôi kéo các cá thể hướng đến giá trị tối ưu toàn cục. Ban đầu, các cá thể được tạo ra với 1 vị trí ngẫu nhiên, sau đó các vận tốc ngẫu nhiên được ấn định cho từng cá thể. Sự phù hợp của các cá thể được ước lượng thông qua hàm mục tiêu. Ở mỗi thời điểm, vận tốc của từng cá thể được tính toán thông qua và vị trí trong lần ước lượng tới được cập nhật lại bằng phương trình (3). Sau mỗi khoảng thời gian, nếu các cá thể tìm ra vị trí tối ưu hơn vị trí trước thì vị trí của nó được lưu vào bộ nhớ.

3. Áp dụng thuật toán PSO cho hệ 3 máy 9 bus

Việc áp dụng thuật toán PSO sẽ được trình bày trong phần dưới và sẽ được minh họa bởi lưu đồ như Hình 2.

Để áp dụng giải thuật PSO, ta cần tiến hành các bước sau:

Bước 1: Định nghĩa phần tử.

Phần tử được định nghĩa là một véc-tơ có chứa số vị trí của bộ tụ và dung lượng của nó được biểu thị như (4).

$$\text{Particle}:[\lambda; \eta] \quad (4)$$

Trong đó:

λ : Số vị trí của bộ tụ;

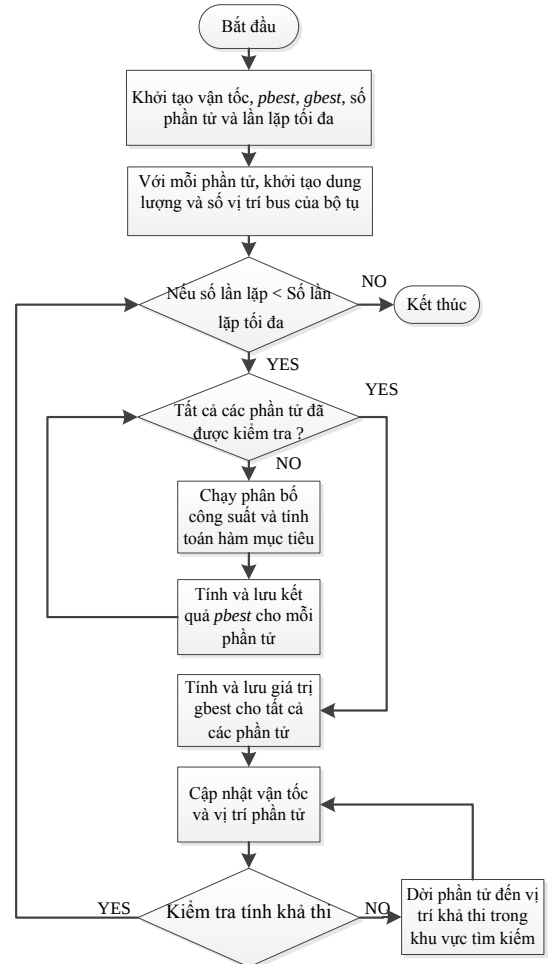
η : Dung lượng của bộ tụ tính theo Mvar.

Bước 2: Hàm thích nghi.

Hàm thích nghi PSO được dùng để đánh giá hiệu suất của mỗi phần tử ứng với hàm mục tiêu trình bày ở (6).

Bước 3: Các tham số của PSO.

Việc chọn các tham số sẽ tuân theo chiến lược là xem xét các kết quả khác nhau cho mỗi một tham số cụ thể và đánh giá mức độ ảnh hưởng đối với độ hiệu quả của PSO. Các giá trị khác nhau cho các tham số PSO được thể hiện trong phần phụ tiếp theo và việc đánh giá độ hiệu quả sẽ được thể hiện trong phần kết quả.



Hình 2. Lưu đồ ứng dụng PSO

Bước 4: Số phần tử.

Do mỗi giá trị thích nghi phải được đánh giá thông qua việc sử dụng giải pháp phân bố công suất tại mỗi lần lặp, do đó, phần tử không nên quá lớn vì công sức tính toán bỏ ra có thể tăng lên rất nhiều. Các bầy gồm 5 và 10 phần tử được chọn là kích thước mật độ hợp lý.

Bước 5: Khối lượng quán tính.

Từ những kết quả trước đó, khối lượng quán tính sẽ giảm tuyến tính. Mục đích là để cải thiện sự hội tụ của bầy đàn bằng cách giảm khối lượng quán tính từ giá trị ban đầu 0,9 xuống còn 0,1 qua nhiều bước đều nhau trên tổng số lần lặp tối đa, như được biểu diễn ở phương trình sau đây:

$$w_i = 0.9 - 0.8 \cdot \frac{\text{iter} - 1}{\text{Max}_{\text{iter}} - 1} \quad (5)$$

Trong đó:

w_i : Khối lượng quán tính tại lần lặp i ;

iter : Số lần lặp;

Max_{iter} : Tổng số lần lặp tối đa.

Bước 6: Hằng số gia tốc.

Một bộ ba giá trị của các hằng số gia tốc cá nhân sẽ được đánh giá nhằm nghiên cứu hiệu ứng của việc coi trọng giá trị tốt nhất của cá thể hoặc giá trị tốt nhất của bầy đàn: $c = \{1,5, 2, 2,5\}$.

Giá trị cho hằng số gia tốc cộng đồng được định nghĩa là: $c_2 = 4 - c_1$.

Bước 7: Số lần lặp.

Số lần lặp khác nhau $\{10, 20, 30, 40, 50\}$ được xem xét nhằm đánh giá tác động của tham số này với hiệu quả của PSO.

Bước 8: Giá trị vận tốc tối đa.

Trong trường hợp này, với mỗi phần tử thành phần thì giá trị vận tốc tối đa phải được lựa chọn. Dựa trên kết quả từ trước, giá trị 6 được coi là vận tốc tối đa cho các số lần cận. Đối với dung lượng bộ tụ, giá trị $\{20, 25, 50\}$ sẽ được xem xét.

Bước 9: PSO số nguyên.

Vị trí của các phần tử được xác định phải là một số nguyên (vị trí bus và dung lượng bộ tụ). Do đó, chuyển động của các phần tử được biểu diễn bởi (2) sẽ được làm tròn đến số nguyên gần nhất. Ngoài ra, số vị trí không được phép là các bus máy phát. Nếu kết quả của (2) bao hàm một bus máy phát thì phần tử thành phần ở vị trí λ sẽ được chuyển tới vị trí bus gần nhất không có máy phát.

Bảng 1. Tổng kết về các giá trị được thử nghiệm ở mỗi tham số

Tham số	Giá trị thử nghiệm
Số phần tử	$\{6,9\}$
Khối lượng, quán tính	Khối lượng quán tính giảm tuyến tính
Hằng số gia tốc	$\{1,5, 2, 2,5\}$
Số lần lặp	$\{10, 20, 30, 40, 50\}$
Gia tốc tối đa cho bộ tụ tại bus 6	
Gia dung lượng bộ tụ	$\{20, 25, 50\}$

Bước 10: Hàm mục tiêu.

Hàm mục tiêu J được biểu thị ở phương trình (6) là một tổng trọng số của các số liệu chênh lệch điện áp và dung lượng của bộ tụ. Dung lượng của bộ tụ sẽ được tính sao cho giá trị của hai thuật ngữ trong hàm mục tiêu có thể so sánh được và được xác định bằng cách thử và sai. Độ lệch điện áp được tính bằng đơn vị tương đối (p.u.) và dung lượng của bộ tụ được tính bằng Mvar.

$$J = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^9 (V_i - 1)^2\right)} + \frac{\eta}{100} \quad (6)$$

Điều kiện:

$$|V_i - 1| \leq 0,05 \text{ cho } i = 1, \dots, 9,$$

Trong đó:

J : Giá trị hàm mục tiêu;

V_i : Giá trị của điện áp tại bus i tính theo p.u;

$V_i - 1$: Giá trị chênh lệch điện áp tại bus i tính theo p.u;

$\sqrt{\left(\sum_{i=1}^9 (V_i - 1)^2\right)}$: Tổng số liệu chênh lệch điện áp;

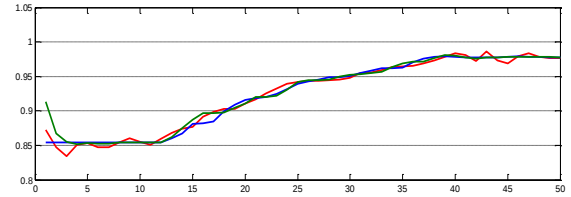
$\frac{\eta}{100}$: Dung lượng của bộ tụ tính theo Mvar.

Vì hệ thống điện đa máy có 3 máy phát và điện áp của mỗi bus tại máy phát lại bị kiểm soát bởi chính máy phát đó nên các bus tương ứng với các máy phát sẽ bị loại bỏ khỏi quá trình tìm kiếm, do đó, còn lại 6 vị trí khả thi cho bộ tụ.

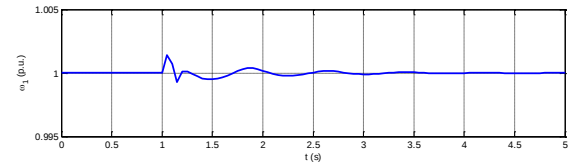
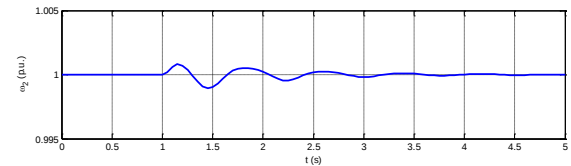
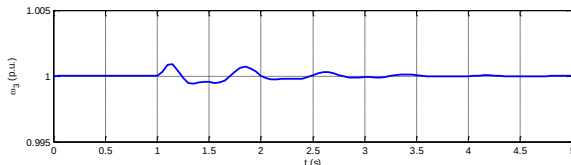
Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, hệ thống hội tụ tại **bus 7** và thông số cho bộ tụ được xác định là **20 Mvar**.

4. Kết quả mô phỏng

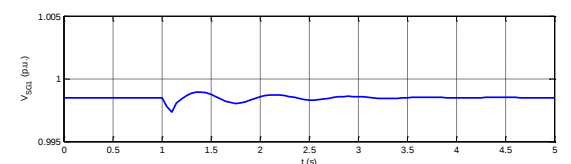
Sau khi cài đặt các thông số tối ưu cho thuật toán PSO, sau 50 lần lặp ta thấy, điện áp các bus tải đạt 0,97 trong khoảng cho phép $\pm 5\%$ điện áp định mức, như trong Hình 3.

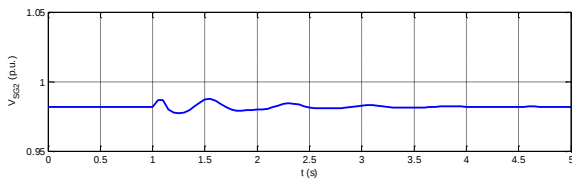
**Hình 3.** Điện áp các bus tải sau 50 lần lặp

Các thông số của tốc độ rotor của máy phát 1, 2 và 3 khi sự cố tăng đột ngột công suất cơ của máy phát 1 lên 20% được trình bày trong Hình 4 đến Hình 6. Từ các kết quả này có thể nhận thấy rằng, tốc độ rotor của các máy phát có sự dao động không đáng kể và giảm dần sau 1s.

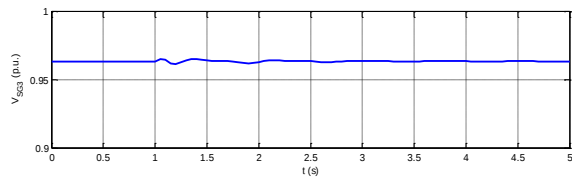
**Hình 4.** Tốc độ rotor của máy phát 1**Hình 5.** Tốc độ rotor của máy phát 2**Hình 6.** Tốc độ rotor của máy phát 3

Để kiểm tra mức độ đáp ứng của điện áp tại các bus khi lắp đặt bộ tụ bù đã xác định vị trí và dung lượng nhờ thuật toán PSO, ta tiến hành đo đặc thông số điện áp tại máy phát 1, 2 và 3 cũng như điện áp tại các bus tải. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở Hình 7 đến Hình 12. Có thể dễ dàng nhận thấy được độ dao động điện áp là rất nhỏ trên các bus tải.

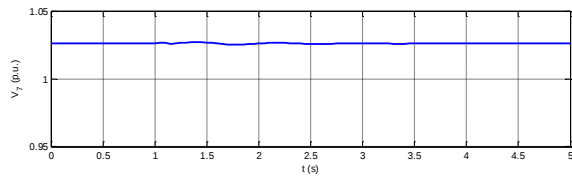
**Hình 7.** Điện áp tại máy phát 1



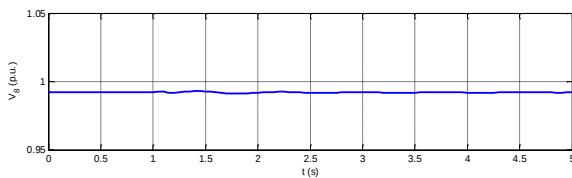
Hình 8. Điện áp tại máy phát 2



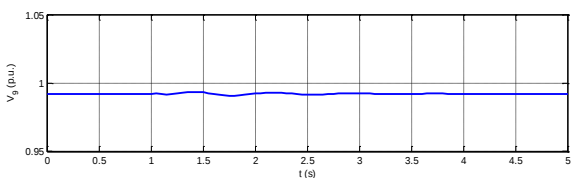
Hình 9. Điện áp tại máy phát 3



Hình 10. Điện áp tại bus tải 7



Hình 11. Điện áp tại bus tải 8



Hình 12. Điện áp tại bus tải 9

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc ứng dụng PSO trong việc xác định dung lượng và vị trí của một bộ tụ trong hệ thống điện khi xem xét điều kiện chênh lệch điện áp tại mỗi bus. Các kết quả mô phỏng được thực hiện trên hệ thống 3 máy phát tiêu chuẩn đã cho thấy thuật toán PSO có thể được ứng dụng để tìm ra giải pháp tối ưu cho việc xác định dung lượng và vị trí của thiết bị bù với mức độ hội tụ cao. Ngoài

việc tính toán phân bổ công suất, các kết quả mô phỏng trong miền thời gian cũng được thực hiện với các tác động từ các nguồn nhiễu từ máy phát kiểm tra tính ổn định của hệ thống sau khi tiến hành bù. Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu, chỉ có các chỉ tiêu kỹ thuật được đề cập mà chưa xét đến các chỉ tiêu khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Mori, and Y. Goto, *A parallel tabu search based method for determining optimal allocation of FACTS in power systems*, Proc. of the International Conference on Power System Technology (PowerCon 2000), Vol. 2, 2000, pp. 1077-1082.
- [2] N. Yorino, E.E. El-Araby, H. Sasaki, and S. Harada, "A new formulation for FACTS allocation for security enhancement against voltage collapse", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 18, No. 1, Feb. 2003, pp. 3-10.
- [3] L.J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtsis, *Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms*, Proc. of the IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Vol. 1, 2004, pp. 201-207.
- [4] S. Gerbex, R. Cherkaoui, and A.J. Germond, "Optimal location of multitype FACTS devices in a power system by means of genetic algorithms", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 16, No. 3, Aug. 2001, pp. 537-544.
- [5] S. Gerbex, R. Cherkaoui, and A.J. Germond, *Optimal location of FACTS devices to enhance power system security*, Proc. of the Power Tech Conference, Vol. 3, 2003, pp. 7-13.
- [6] J.B. Park, K.S. Lee, J.R. Shin, and K.Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 20, No. 1, Feb. 2005, pp. 34-42.
- [7] S. Kannan, S. Slochanal, and N.P. Padhy, "Application and Comparison of Metaheuristic Techniques to Generation Expansion Planning Problem", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 20, No. 1, Feb. 2005, pp. 466-475.
- [8] C. Huang, C.J. Huang, and M. Wang, "A Particle swarm optimization to identifying the ARMAX model for short-term load forecasting", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 20, No. 2, May 2005, pp. 1126-1133.
- [9] P. M. Anderson and A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*, Iowa: The Iowa State University Press, Ames, 1977.
- [10] J. Kennedy and R. Eberhart, *Particle swarm optimization*, Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, Vol. 4, 1995, pp. 1942-1948.
- [11] N. Gupta and T. Agarwal, *Design of optimal power system stabilizer using GA and PSO: A comparative study*, Proc. International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), 2016, pp. 1-5.
- [12] P. Kaur, V. Kumar and R. Sharma, *Speed control of hybrid electric vehicle using PSO based fractional order PID controller*, Proc. Of the 1st India International Conference on Information Processing (IICIP), 12-14 Aug. 2016.

(BBT nhận bài: 13/9/2017, hoàn tất thủ tục phân biên: 18/10/2017)