

# SỬ DỤNG THUẬT TOÁN TÌM KIẾM SỰ HÀI HÒA GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN BÙ TỐI ƯU CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CHO MẠNG PHÂN PHỐI HÌNH TIA

## USING HARMONY SEARCH ALGORITHM TO SOLVE THE OPTIMAL REACTIVE POWER COMPENSATION FOR RADIAL DISTRIBUTION NETWORK

Phạm Việt Sĩ<sup>1</sup>, Lê Kim Hùng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Công ty thủy điện Sông Tranh; phamvietsi@gmail.com

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; lekimhung@dut.udn.vn

**Tóm tắt:** Thuật toán tìm kiếm sự hài hòa là một thuật toán tối ưu hóa có nguồn gốc từ việc những người nhạc sĩ khi ngẫu hứng chơi các nốt nhạc để tìm ra sự hài hòa âm thanh tốt hơn. Bài báo này trình bày phương pháp tính toán bù tối ưu công suất phản kháng (CSPK) cho mạng phân phối hình tia sử dụng thuật toán tìm kiếm sự hài hòa kết hợp với phương pháp quét trước/sau trong tính trào lưu công suất. Kết quả chạy chương trình trên mạng 34 nút IEEE cho thấy chương trình tính toán tốt hơn so với các thuật toán hiện có. Chương trình xây dựng được áp dụng tính bù tối ưu CSPK cho xuất tuyến 477-E152 (Thăng Bình - Quảng Nam). Kết quả tính toán của chương trình đã thể hiện hiệu quả thông qua việc giảm tổn thất công suất (TTCS), nâng cao chất lượng điện áp, tiết kiệm được khoản chi phí đáng kể và đảm bảo tin cậy để ứng dụng tính toán cho LDPP nói chung.

**Từ khóa:** Thuật toán tìm kiếm sự hài hòa; phương pháp quét trước/sau; bù tối ưu CSPK; mạng phân phối hình tia; giảm tổn thất công suất

### 1. Đặt vấn đề

Thuật toán tìm kiếm sự hài hòa được phát triển bởi Geem và các cộng sự vào năm 2001. Thuật toán có nguồn gốc từ việc những người nhạc sĩ khi ngẫu hứng chơi các nốt nhạc để tìm ra sự hài hòa âm thanh tốt hơn. Trong bước ngẫu hứng để tìm vector hài hòa mới, thuật toán thực hiện việc xem xét lại bộ nhớ hài hòa và điều chỉnh giá trị lân cận các biến, điều này sẽ đảm bảo các giải pháp cục bộ tốt được giữ lại, hơn nữa quá trình lựa chọn ngẫu nhiên các giải pháp và xem xét lại bộ nhớ hài hòa sẽ mở rộng không gian tìm kiếm toàn cục một cách hiệu quả. Ưu điểm của thuật toán là không cần thiết lập ban đầu cho các biến và có thể xử lý cả biến rời rạc và liên tục. Đồng thời, thuật toán này cùng với thuật toán tính trào lưu công suất sử dụng phương pháp quét trước/sau trở nên hiệu quả hơn trong tính toán mạng phân phối hình tia. Phương pháp tính trào lưu công suất này nhiều hứa hẹn với ưu điểm là khối lượng tính toán ít, thời gian tính toán nhanh hơn so với phương pháp lặp Gauss-Seidel và Newton-Raphson.

### 2. Cơ sở lý thuyết thuật toán

#### 2.1. Phương pháp quét trước/sau [1]

Phương pháp này dựa trên hai ma trận: Ma trận quan hệ giữa dòng điện nút với dòng điện nhánh [BIBC] và ma trận quan hệ giữa dòng điện nhánh với điện áp nút [BCBV]. Các dòng điện nhánh [B] có thể được xây dựng từ các dòng điện nút tương ứng [I] dựa vào định luật

**Abstract:** The harmony search algorithm, an optimization algorithm is derived from the improvisational musician to play the notes to find harmony sound better. This paper presents methods of calculating the optimum compensate reactive power for radial distribution network using harmony search algorithm combined with the backward/forward sweep power flow method. The results run the program on the 34 bus IEEE network shows calculation program better than the existing algorithms. Applying this program to calculate the optimal compensation reactive power for feeder 477-E152 of Thangbinh-Quannam Province. Calculation results from the program have shown the efficiency by reducing power losses, improving voltage quality, saving significant costs and ensuring reliability for computing applications of radial distribution networks in general.

**Key words:** Harmony search algorithm; backward/forward sweep power flow; optimum compensate reactive power; radial distribution network; reducing power losses

Kirchhoff I cho mỗi nút. Ma trận BIBC viết dưới dạng tổng quát như biểu thức (1) với các phần tử là 0 và 1.

$$[B] = [BIBC][I] \quad (1)$$

Ma trận BCBV viết dưới dạng tổng quát như biểu thức (2) với các phần tử là 0 và trở kháng các nhánh đường dây.

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2)$$

Mối quan hệ giữa dòng điện nút với điện áp nút như biểu thức (3).

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] = [DLF][I] \quad (3)$$

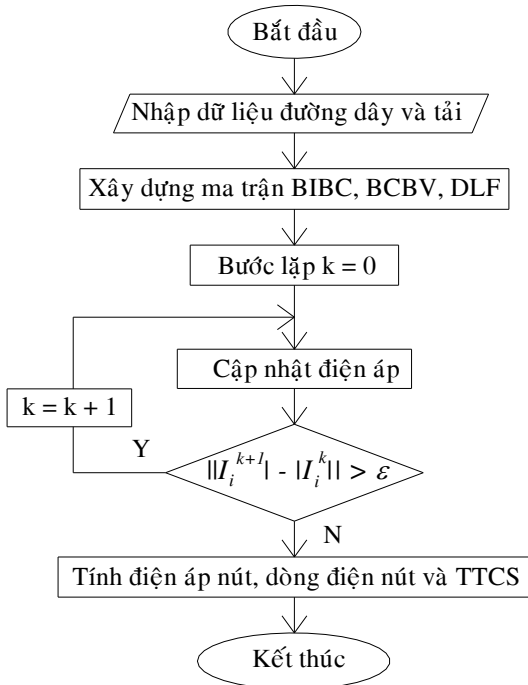
Việc tính toán trào lưu công suất mạng phân phối hình tia thực hiện bằng phương pháp lặp thông qua việc giải phương trình (4), (5):

$$I_i^k = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (4)$$

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF][I^k] \quad (5)$$

$$[V^{k+1}] = [V^0] - [\Delta V^{k+1}] \quad (6)$$

Trong đó:  $I_i^k, V_i^k$  lần lượt là dòng điện và điện áp nút  $i$  ở bước lặp thứ  $k$ ;  $P_i, Q_i$  là CSTD và CSPK phụ tải tại nút  $i$ .



**Hình 1.** Lưu đồ thuật toán tìm trào lưu công suất sử dụng phương pháp quét trước/sau

Với lưu đồ thuật toán như hình 1, chúng tôi xây dựng chương trình kiểm thử phương pháp để so sánh với các phương pháp lặp khác. Kết quả tính trào lưu công suất mạng 34 nút IEEE giữa các phương pháp như bảng 1.

**Bảng 1.** Kết quả tính mạng 34 nút IEEE

| Phương pháp | Gauss-Seidel | Newton-Raphson | Quét trước/sau |
|-------------|--------------|----------------|----------------|
| TTCS (kW)   | 220,62       | 221,70         | 221,73         |
| Số bước lặp | 986          | 3473           | 4              |

Ta thấy phương pháp quét trước/sau có ưu điểm nổi bật là số bước lặp rất nhỏ, thời gian tính toán nhanh hơn phương pháp Gauss-Seidel và Newton-Raphson.

**2.2. Thuật toán tìm kiếm sự hài hòa [2]**

Các bước thực hiện thuật toán tìm kiếm sự hài hòa nhằm giải quyết vấn đề tối ưu hóa là cực tiểu hàm mục tiêu  $f(x)$  của bài toán bù được mô tả như sau:

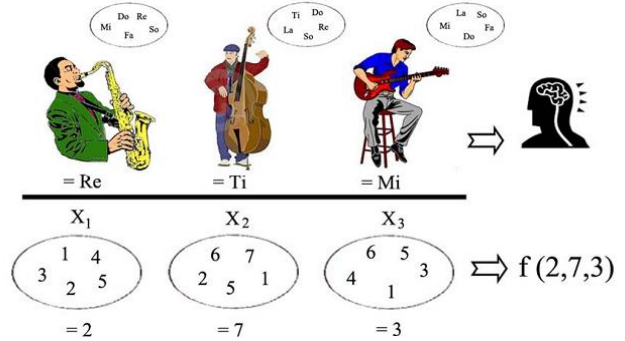
*Bước 1: Khởi tạo các vấn đề tối ưu hóa và các thông số thuật toán*

Các thông số thuật toán: HMS: Kích thước bộ nhớ hài hòa (ma trận HM) hoặc là số vector giải pháp trong bộ nhớ hài hòa; HMCR: Xác suất xem xét bộ nhớ hài hòa; (1-HMCR): Xác suất lựa chọn ngẫu nhiên; PAR: Xác suất thực hiện bước điều chỉnh; N: Số biến; NI: Số vòng lặp tối đa (tiêu chuẩn dừng).

*Bước 2: Khởi tạo bộ nhớ hài hòa (ma trận HM)*

Bộ nhớ hài hòa (ma trận HM) là một ma trận (7), các phần tử gồm HMS số vector giải pháp được tạo ra ngẫu nhiên.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} f(x^{(1)}) \\ f(x^{(2)}) \\ \dots \\ f(x^{(HMS-1)}) \\ f(x^{(HMS)}) \end{matrix} \quad (7)$$



**Hình 2.** Từ hài hòa âm nhạc đến tối ưu hóa trong kỹ thuật

*Bước 3: Ngẫu hứng một vector hài hòa mới*

Một vector hài hòa mới  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  được tạo ra dựa trên ba nguyên tắc: Lựa chọn ngẫu nhiên, xem xét bộ nhớ và bước điều chỉnh.

*Bước 4: Cập nhật ma trận HM*

Nếu vector hài hòa mới  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  là tốt hơn so với vector hài hòa tối thiểu nhất trong ma trận HM, bao gồm cả vector hài hòa mới, ta thực hiện loại trừ vector hài hòa tối thiểu ra khỏi ma trận HM và cập nhật vector hài hòa mới vào ma trận HM.

*Bước 5: Kiểm tra tiêu chuẩn dừng*

Tiêu chuẩn dừng dựa trên số lượng tối đa số vòng lặp, dừng việc tính toán. Nếu không, lặp lại *Bước 3* và *Bước 4*.

Lưu đồ thuật toán như trình bày ở hình 3.

**3. Xây dựng chương trình tính toán bù tối ưu CSPK sử dụng thuật toán tìm kiếm sự hài hòa**

Sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab, tác giả đã xây dựng chương trình với hàm mục tiêu và điều kiện ràng buộc sau:

**3.1. Hàm mục tiêu**

Hàm mục tiêu là cực tiểu chi phí tổn thất điện năng và chi phí lắp đặt tụ bù.

$$F = \min \left\{ P_{loss} \cdot \tau \cdot K_p \cdot T_{tt} + K_c \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^c \right\} \quad (8)$$

Trong đó:

- $P_{loss}$ : Tổn thất công suất tác dụng (CSTD) (kW).
- $\tau$ : Thời gian TTCS lớn nhất (giờ).
- $K_p$ : Giá một đơn vị điện năng (đ/kWh).
- $T_{tt}$ : Thời gian tính toán (năm).
- $K_c$ : Giá một đơn vị dung lượng tụ bù (đ/kVar).
- $Q_i^c$ : Dung lượng tụ bù (kVar).

**3.2. Các điều kiện ràng buộc**

- Ràng buộc điện áp các nút:

$$V_{\min} \leq V_{\text{nút}} \leq V_{\max} \quad (9)$$

Trong đó:  $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$  là giới hạn điện áp nhỏ nhất và lớn nhất mỗi nút.

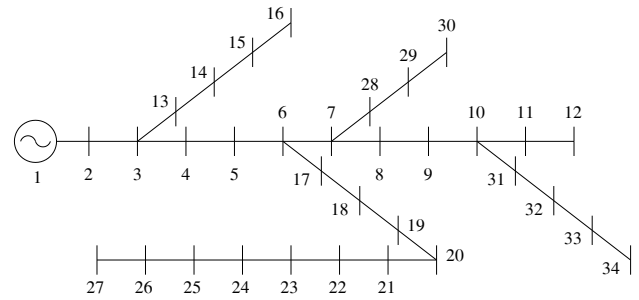
- Ràng buộc giới hạn dung lượng tụ bù mỗi nút:

$$0 \leq Q_i^c \leq Q_{\text{bmax}} \quad (10)$$

$$Q_i^c = Q_{\text{tubù}} \times n \text{ (kVAr)} \quad (11)$$

Với:  $n = 0, 1, 2, \dots, n_{\text{max}}$ .

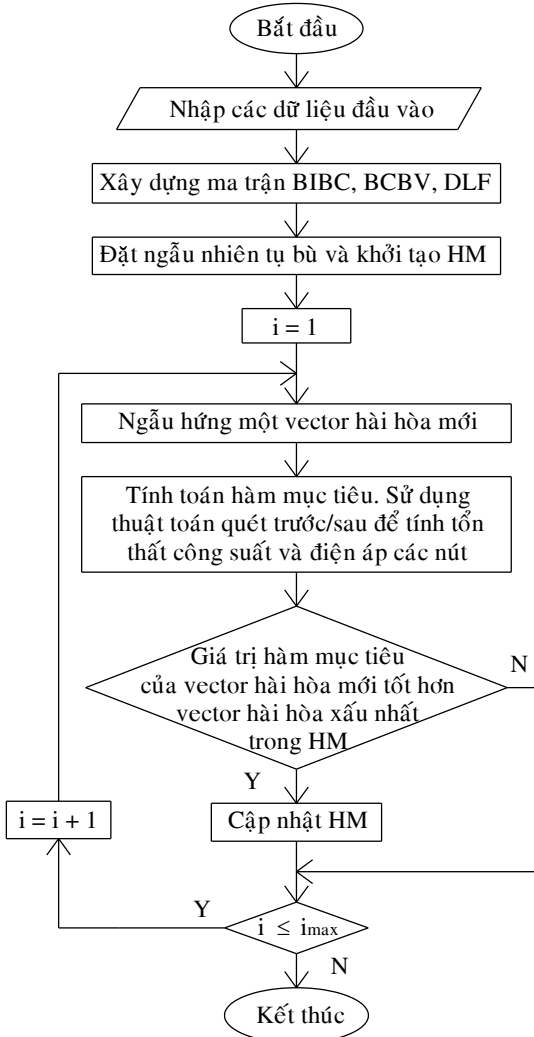
IEEE như hình 4. Kết quả tính toán từ chương trình được so sánh với các thuật toán tối ưu hóa khác đã công bố [3], [4], [5], [6] như bảng 2.



**Hình 4.** Mạng mẫu 34 nút IEEE

**Bảng 2.** So sánh kết quả tính toán bù tối ưu CSPK mạng 34 nút IEEE

| Nội dung so sánh                 | Logic mờ & Di truyền [3]  | Di truyền & Tối ưu bầy đàn [4]  | Tối ưu bầy đàn [5]            | Mô phỏng cây phát triển [6]    | Thuật toán tìm kiếm sự hài hòa   |
|----------------------------------|---|---|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Dung lượng bù tại các nút (kVAr) | 20: 683<br>21: 145<br>22: 144<br>23: 143<br>24: 143<br>25: 143<br>26: 228 | 20: 676<br>21: 121<br>22: 136<br>23: 135<br>24: 113<br>25: 123<br>26: 238 | 19: 781<br>20: 479<br>22: 803 | 19: 1200<br>20: 200<br>22: 639 | 2, 8, 10, 12, 17, 18, 19, 23, 25, 26, 27, 29: 150<br>3, 7, 20, 21, 31: 300 |
| TTCS sau bù (kW)                 | <b>168,95</b>   | <b>165,75</b>   | <b>168,80</b>                 | <b>161,07</b>                  | <b>158,72</b>  |



**Hình 3.** Lưu đồ thuật toán tính bù tối ưu CSPK sử dụng thuật toán tìm kiếm sự hài hòa

Chương trình sẽ không bù khi số tiền tiết kiệm được từ việc giảm tổn thất nhỏ hơn chi phí bỏ ra để lắp đặt tụ bù tính trong thời gian chu kỳ tính toán ( $Z < 0$ ).

$$Z = (P_{\text{loss\_tb}} - P_{\text{loss\_sb}}) \cdot \tau \cdot K_p \cdot T_{tt} - K_c \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^c \quad (12)$$

Trong đó:  $P_{\text{loss\_tb}}$ ,  $P_{\text{loss\_sb}}$  lần lượt là tổn thất CSTD trước và sau khi lắp đặt tụ bù.

**4. Giải bài toán mẫu và đánh giá hiệu quả chương trình**

Sơ đồ lưới điện dùng để tính toán là mạng mẫu 34 nút

Kết quả so sánh cho thấy chương trình tính toán sử dụng thuật toán tìm kiếm sự hài hòa có tổn thất CSTD sau bù nhỏ nhất (158,72 kW), đồng thời thỏa mãn được điều kiện ràng buộc về điện áp các nút  $V_{\text{nút}} \geq 0,9$  (pu) và dung lượng tụ bù theo từng cấp.

**5. Tính toán bù tối ưu CSPK xuất tuyến 477 - E152 (Thăng Bình - Quảng Nam)**

Sơ đồ thu gọn lưới điện 22kV xuất tuyến 477 - E152 gồm 83 nút như hình 5.

Kết quả tính toán như sau:

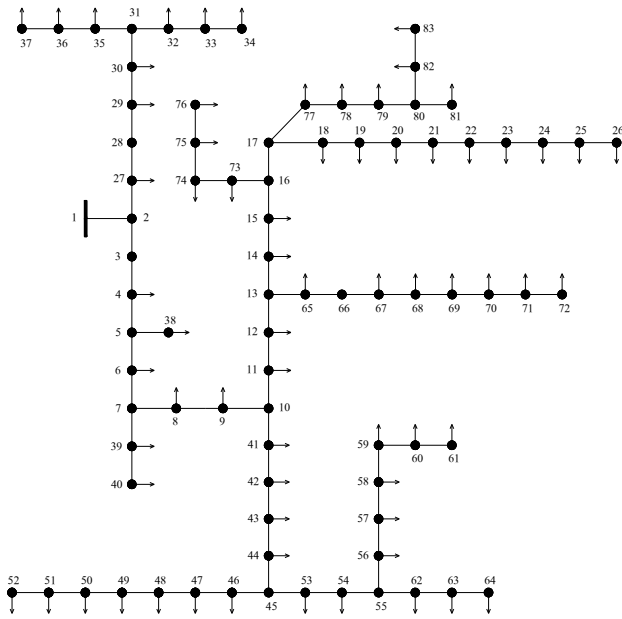
- Lắp đặt tụ bù 150 (kVAr) tại các nút: 8, 9, 12, 17, 41, 42, 54, 60, 62, 63, 64, 67, 70, 73, 77, 81 với tổng dung lượng 2400 (kVAr).

- Tổn thất CSTD sau bù: 133,48 kW.

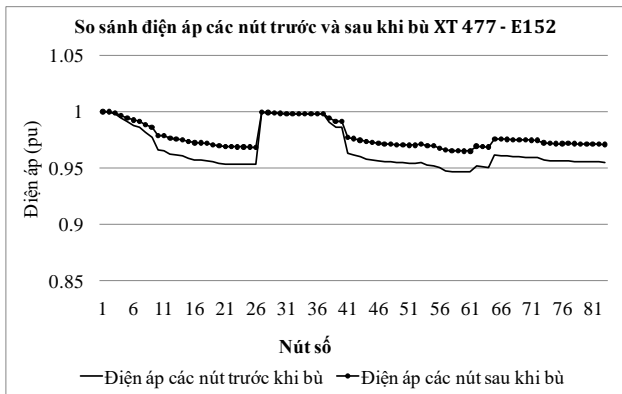
- Số tiền tiết kiệm được trong thời gian tính toán 5 năm: 796.643.544 (đồng).

Kết quả tính toán đã giảm được tổn thất CSTD sau khi bù (giảm 32,07 kW), các nút có điện áp thấp (nút 60, 61) đã tăng từ 0,9467 pu lên 0,9650 pu và tiết kiệm được khoản chi phí đáng kể trong chu kỳ tính toán.

Để đánh giá hiệu quả và độ tin cậy của chương trình xây dựng, tác giả đã so sánh kết quả tính toán xuất tuyến 477-E152 với chương trình PSS/ADEPT như bảng 3.



Hình 5. Sơ đồ thu gọn lưới điện 22kV xuất tuyến 477 - E152



Hình 6. So sánh điện áp trước và sau khi bù XT 477-E152

Bảng 3. So sánh kết quả tính toán XT 477-E152 với chương trình PSS/ADEPT

| Nội dung so sánh              | Chương trình xây dựng | Chương trình PSS/ADEPT |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Tổn thất CSTD sau khi bù (kW) | 133,48                | 132,85                 |
| Tổng dung lượng tụ            | 2400                  | 2400                   |

| bù (kVAr)                           |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| Vị trí và dung lượng bù tại các nút | Đặt tụ bù dung lượng 150 (kVAr) tại các nút sau:<br>8, 9, 12, 17, 41, 42, 54, 60, 62, 63, 64, 67, 70, 73, 77, 81 | Đặt tụ bù dung lượng 150 (kVAr) tại các nút sau:<br>8, 10, 14, 23, 43, 50, 54, 57, 60, 63, 64, 65, 70, 74, 81, 82 |

Kết quả tính toán về tổn thất CSTD sau khi bù và tổng dung lượng bù của 2 chương trình tương đương nhau. Cả 2 chương trình đều sử dụng tụ 150 kVAr để bù cho các nút trên xuất tuyến. Vì phương pháp tính toán và hàm mục tiêu của 2 chương trình khác nhau nên việc lựa chọn vị trí đặt tụ bù sẽ khác nhau. Tuy nhiên, với sơ đồ lưới điện có nhiều nút nên có nhiều cách lựa chọn vị trí để đặt tụ bù nhưng vẫn cho giá trị tổn thất CSTD sau bù đạt cực tiểu và gần như nhau.

### 6. Kết luận

Chương trình tính toán bù tối ưu CSPK sử dụng thuật toán tìm kiếm sự hài hòa kết hợp với phương pháp quét trước/sau cho kết quả tính toán tối ưu hơn so với các thuật toán khác khi tính trên cùng mạng mẫu 34 nút IEEE. Chương trình tính toán có hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc thích hợp cho việc tính toán bù tối ưu CSPK xuất tuyến LDPP nước ta.

Kết quả đạt được khi tính bù CSPK cho xuất tuyến 477-E152 đã phần nào minh chứng tính hiệu quả và tin cậy của chương trình đã xây dựng.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Naveen Sethi, Optimal capacitor placement in radial distribution system using genetic algorithm, Master thesis of Thapar University, Patiala, 2009.
- [2] Kang Seok Lee, Zong Woo Geem, "A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony search theory and practice", Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, 194 (2005) 3902-3933.
- [3] M. Damodar Reddy, V.C. Veera Reddy, "Optimal capacitor placement using fuzzy and real coded genetic algorithm for maximum savings", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, pp: 219-226.
- [4] Esmail Limouzade, "Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a GA-PSO method", Trends in Advanced Science and Engineering, ISSN: 2251-6557, 2012, TASE 5(1) 60-65.
- [5] K. Prakash and M. Sydulu, "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems", Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 24-28, Deemed University, Warangal, 2007, pp: 1-5.
- [6] R. Srinivasas Rao, S.V.L. Narasimham and M. Ramalingaraju, "Optimal capacitor placement in a radial distribution system using plant growth simulation algorithm", Electrical Power and Energy, Systems 33, 2011, 1133-1139.

(BBT nhận bài: 17/04/2014, phản biện xong: 04/05/2014)