

SỬ DỤNG THUẬT TOÁN GSA ĐỂ TÍNH TOÁN ĐIỀU PHỐI TỔ MÁY PHÁT ĐIỆN

USING GSA ALGORITHM TO CALCULATE COORDINATION OF ELECTRICITY GENERATORS

Tôn Ngọc Triều¹, Huỳnh Văn Bé², Lại Hoàng Hải¹

¹Trường Cao đẳng Công nghệ Thủ Đức; tonngoctrieu@gmail.com, hoanghailai10@gmail.com

²Tổng công ty Phát điện 2; tonnhatnphu@gmail.com

Tóm tắt - Hiện nay có nhiều giải thuật tiến hóa được áp dụng để tính toán các vấn đề khác nhau trong hệ thống điện nhằm tối ưu hóa trong hệ thống điện. Các phương pháp tính toán điều phối công suất kinh tế cho các tổ máy phát điện có công suất khác nhau giúp đưa ra các kết quả phù hợp với yêu cầu và điều kiện tối ưu của các nguồn phát. Bài báo trình bày một phương pháp tính toán điều phối công suất kinh tế các tổ máy phát điện có công suất khác nhau trong một nhà máy nhiệt điện bằng giải thuật tìm lực hấp dẫn (GSA). Giải thuật đề xuất được áp dụng tính toán điều phối công suất cho một nhà máy có 6 tổ máy. Kết quả của giải thuật này được kiểm chứng và cho thấy tốt hơn so với giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (PSO).

Từ khóa - giải thuật tìm lực hấp dẫn (GSA); giải thuật bầy đàn (PSO); điều phối công suất; máy phát điện; hệ thống điện.

1. Đặt vấn đề

Bài toán điều phối công suất phát của các tổ máy trong một nhà máy nhiệt điện là một vấn đề quan trọng trong việc vận hành kinh tế các nhà máy phát điện. Mục tiêu của điều phối công suất là sắp xếp công suất ngõ ra của các tổ máy phát nhằm đáp ứng nhu cầu phụ tải với mức chi phí nhiên liệu thấp nhất, đồng thời mỗi tổ máy phát này chịu sự ràng buộc về công suất phát tối thiểu và tối đa. Vấn đề này được các nhà khoa học trong và ngoài nước nghiên cứu theo nhiều hướng khác nhau. Trước đây, mỗi tổ máy phát nhiệt điện phát công suất theo sự điều động của trung tâm điều độ quốc gia. Ngày nay, ngành Điện chuyển sang giai đoạn phát điện cạnh tranh, nên yêu cầu của vận hành kinh tế hệ thống điện là đảm bảo an toàn tuyệt đối cho hệ thống, đảm bảo chất lượng phục vụ, chi phí sản xuất, truyền tải và phân phối thấp nhất. Do đó, việc giảm tối thiểu chi phí sản xuất là mục tiêu hàng đầu của các nhà máy điện nói chung và các nhà máy nhiệt điện nói riêng. Chi phí ảnh hưởng lớn nhất trong các loại chi phí là nhiên liệu. Để giảm chi phí nhiên liệu trong các nhà máy nhiệt điện thì phải có một phương pháp tính toán công suất phát ra với chi phí thấp nhất. Để giải quyết bài toán này, thường sử dụng phương pháp cơ bản là áp dụng tính toán theo giải tích toán học và áp dụng giải thuật tiến hóa. Bài báo này trình bày một phương pháp tính toán điều phối công suất kinh tế các tổ máy phát điện có công suất khác nhau trong một nhà máy nhiệt điện bằng giải thuật tìm lực hấp dẫn (GSA). Kết quả của giải thuật này được kiểm chứng và cho thấy tốt hơn so với giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (PSO) [1, 2], [6-8].

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

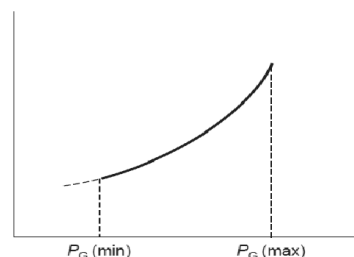
2.1. Bài toán điều phối công suất tối ưu [4], [8]

Lập kế hoạch là quá trình phân bổ hệ giữa các đơn vị phát điện khác nhau. Lập kế hoạch kinh tế cho việc chọn

Abstract - Now many evolutionary algorithms are applied to the calculation of various problems in the electrical system in order to optimize the electrical system. The calculation methods of economic capacity coordination of generating units with different capacities will give results consistent with requirements and optimal conditions of sources. This paper presents a calculation method of coordinating economic capacity of generating units with different capacities in a thermal power plant with Gravitational Search Algorithm (GSA). The proposed algorithm is applied to the coordinator calculation for a plant capacity with 6 units. The result of this algorithm is verified and proves better than that with Particle Swarm Optimization (PSO).

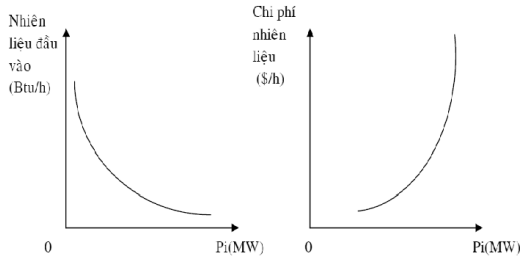
Key words - Gravitational Search Algorithm (GSA); Particle Swarm Optimization (PSO); Coordinating capacity; Generators; Power systems.

chi phí nhiên liệu hiệu quả với từng máy phát khác nhau sẽ dẫn đến tổng chi phí phát điện của hệ thống giảm đến mức tối thiểu. Tổng công suất tải trên lưới bằng tổng công suất phát của hệ thống phát.



Hình 1. Đặc tính vào - ra

Các vấn đề tối ưu hóa là phân bổ công suất phát của mỗi tổ máy với chi phí nhỏ nhất, sao cho tổng công suất phân bổ trên từng tổ máy cộng lại bằng với công suất tải yêu cầu, cho $P_{G1}, P_{G2}, P_{G3}, \dots, P_{Gn}$ là công suất phát của mỗi tổ máy (1, 2, 3, ..., n) cung cấp cho tải nhu cầu P_D . Để giải quyết vấn đề này cần phải biết được đặc tính công suất đầu vào và ra của mỗi tổ máy. Đặc tính công suất vào và ra được thành lập dựa trên năng lượng đầu vào cấp cho tuabin và năng lượng phát ra từ máy phát. Năng lượng cấp vào tuabin được trình bày trên trục tung và nó có đơn vị đo là đơn vị đo nhiệt lượng (BTU/h hay Kcal/h) hoặc tổng chi phí nhiên liệu mỗi giờ đơn vị tính là Rs/h. Đầu ra thường là năng lượng điện được đo bằng đơn vị kW, MW. Ngõ vào của các nhà máy điện thông thường được đo bằng đơn vị BTU/h và ngõ ra được đo bằng đơn vị MW. Đường đặc tính vào, ra được đơn giản hóa là đường đặc tính tỉ lệ nhiệt. Hình 2 cho thấy sự chuyển đổi thông thường từ đơn vị BTU/h sang đơn vị \$/h của đường cong tỷ lệ nhiệt trong đường đặc tính chi phí nhiên liệu. Trong tất cả những trường hợp thực tế, chi phí nhiên liệu của một tổ máy có thể được mô tả như một phương trình bậc hai theo công suất tác dụng phát.



Hình 2. Đặc tính nhiên liệu và chi phí đầu vào

$$C = c + bP + aP^2 \quad (1)$$

Xây dựng hàm mục tiêu cho một tổ máy:

$$F = c + bP + aP^2 \Rightarrow \text{Min} \quad (2)$$

Hàm mục tiêu cho một hệ thống có tổ máy:

$$F = \sum_{j=1, k=1}^{N, M} F_{jk}(P_{jk}) \Rightarrow \text{Min} \quad (3)$$

$$F_{ik}(P_{ik}) = \begin{cases} a_{j1}P_{j1}^2 + b_{j1}P_{j1} + c_{j1} \\ a_{j2}P_{j2}^2 + b_{j2}P_{j2} + c_{j2} \\ a_{jk}P_{jk}^2 + b_{jk}P_{jk} + c_{jk} \end{cases} \Rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

Như đã trình bày ở phần đặc tính của máy phát nhiệt điện, khi tính toán tối ưu phải xét đến các điều kiện ràng buộc:

- Ràng buộc công suất phát của từng tổ máy nằm trong giới hạn đối đa và tối thiểu. Trong đó, $P_{jk}^{\min}$ là công suất tối thiểu, $P_{jk}^{\max}$ là công suất tối đa của từng tổ máy ứng với từng đoạn nhiên liệu.

$$P_{jk}^{\min} \leq P_{jk} \leq P_{jk}^{\max} \quad (5)$$

- Ràng buộc về công suất phát và tải. Đối với cân bằng công suất, điều kiện ràng buộc cân bằng cần thỏa mãn phương trình (6). Trong đó: P_D mô tả tổng nhu cầu của lưới (tải) cần cung cấp, P_{jk} là tổng công suất tối ưu của hệ thống.

$$\sum_{j=1}^N P_{jk} - P_D = 0 \quad (6)$$

Thuật toán tìm lực hấp dẫn (GSA) được giới thiệu bởi Esmat Rashedi [3, 4]. GSA là một thuật toán tối ưu hóa heuristic được các nhà khoa học ứng dụng trong những năm gần đây. GSA là thuật toán lấy cảm hứng dựa trên định luật Newton về luật hấp dẫn và định luật về sự chuyển động. Khi xem xét một hệ thống với N tác nhân (khối lượng), ta xác định vị trí của tác nhân thứ i bằng cách nhân thứ i ở chiều hướng thứ d vào thời điểm cụ thể " t ", ta xác định lực tác động lên khối lượng " i " từ khối lượng j .

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \text{ với } i=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$F_{ij}^d(t) = \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (8)$$

Trong đó: x_i^d là vị trí của các thành phần thứ d của lực tác động từ các tác nhân khác; M_{aj} là khối lượng hấp dẫn hữu công của tác nhân j , M_{pi} là khối lượng hấp dẫn vô công của tác nhân i , $G(t)$ là hằng số hấp dẫn vào thời điểm t , ε

là hằng số nhỏ, và R là khoảng cách Euclidian giữa hai tác nhân i và j .

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (9)$$

Để đưa ra tính ngẫu nhiên của thuật toán này, giả định rằng lực tác động lên tác nhân i theo hướng d là một tổng khối lượng ngẫu nhiên của các thành phần thứ d của lực tác động từ các tác nhân khác.

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}_i F_{ij}^d(t) \quad (10)$$

Trong đó rand_i là một con số ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$. Vì vậy, theo luật chuyển động, gia tốc của tác nhân i vào thời điểm t và hướng thứ d , $a_i^d(t)$ được xác định như công thức (11) và M_{ii} là quán tính hạt thứ i . Hơn nữa vận tốc tiếp theo của một hạt được tính bằng phân số của vận tốc tức thời thêm gia tốc.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (11)$$

Vì vậy, vị trí và vận tốc được tính:

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t), \quad (12)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1), \quad (13)$$

Với rand là 1 biến ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$, dùng biến ngẫu nhiên này để đưa ra tính chất ngẫu nhiên của phép khảo sát. Hằng số hấp dẫn (G) được xác định giá trị từ đầu và sẽ được giảm đi theo thời gian để đảm bảo tính chính xác của khảo sát. Nói cách khác, G là một hàm số có giá trị ban đầu G_0 và thời gian t .

$$G(t) = G(G_0, t) \quad (14)$$

Khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn được tính bằng cách ước lượng hợp lý. Khối lượng nặng hơn là tác nhân có hiệu lực cao hơn. Tức là tác nhân tốt hơn sẽ có lực hút mạnh hơn và di chuyển chậm hơn. Giả định rằng khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn bằng nhau, các giá trị của khối lượng được tính bằng cách sử dụng sơ đồ phù hợp. Cập nhật khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn bằng những phương trình sau:

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, \text{ với } i=1, 2, \dots, N \quad (15)$$

$$m_i(t) = \frac{\text{fit}_i(t) - \text{worst}(t)}{\text{best}(t) - \text{worst}(t)} \quad (16)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)}, \quad (17)$$

Trong đó: $\text{fit}_i(t)$ là giá trị thích hợp của tác nhân i vào thời điểm t và $\text{worst}(t)$ và $\text{best}(t)$ được xác định như sau (cực tiểu hóa):

$$\text{best}(t) = \min_{j \in \{1, \dots, N\}} \text{fit}_j(t), \quad (18)$$

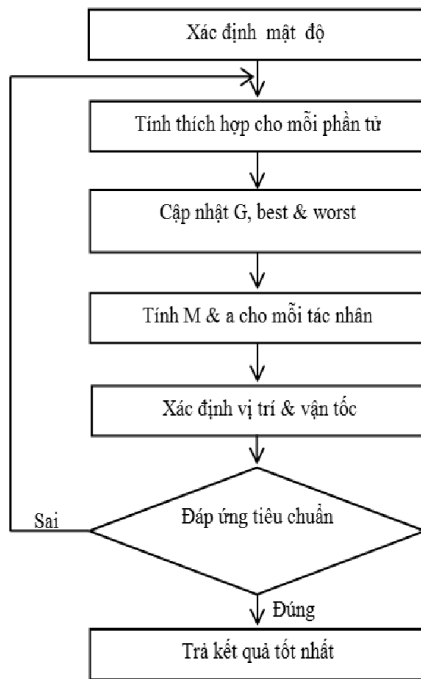
$$\text{worst}(t) = \max_{j \in \{1, \dots, N\}} \text{fit}_j(t), \quad (19)$$

2.2. Đề xuất sử dụng thuật toán GSA để tính toán điều phối tổ máy phát điện [3], [5]

Thực hiện sự hài hòa giữa khảo sát và tính toán là giảm

số lượng tác nhân theo thời gian, vì vậy đề ra chỉ có 1 chuỗi tác nhân với khối lượng lớn có tác động lực lên tác nhân khác. Tuy nhiên chúng ta nên cẩn thận khi sử dụng cách này bởi vì nó có thể làm giảm khả năng khảo sát và tăng khả năng khai thác. Để tránh tình trạng mắc lỗi ở điều kiện tối ưu cục bộ, thuật toán phải dùng phép khảo sát từ đầu, do sai sót trong những lần lặp lại, khảo sát dần biến mất và khai thác phải hình thành. Để cải thiện kết quả của GSA bằng cách điều khiển sự khảo sát và khai thác chỉ có những tác nhân K_{best} sẽ hút tác nhân khác. K_{best} là một hàm số thời gian, với giá trị ban đầu K_0 và giảm theo thời gian. Theo cách đó, từ đầu tất cả các tác nhân tác động lực và khi thời gian trôi qua, K_{best} giảm xuống. Cuối cùng chỉ có một tác nhân tác động lực lên tác nhân khác.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in K_{best}, j \neq i} rand_j F_{ij}^d(t) \quad (20)$$



Hình 3. Nguyên lý giải thuật GSA

Trong đó K_{best} là một chuỗi các tác nhân K đầu tiên với giá trị tương ứng cao nhất và khối lượng lớn nhất. Các bước của thuật toán GSA bao gồm:

- Khảo sát vùng nhận dạng;
- Giá trị hóa ngẫu nhiên;
- Ước lượng tương thích cho các tác nhân;
- Cập nhật $G(t)$, $best(t)$, $worst(t)$ và $M(t)$ cho $i=1,2,...,N$;
- Tính tổng lực tác động từ nhiều hướng khác nhau;
- Tính gia tốc và vận tốc;
- Cập nhật vị trí của tác nhân;
- Lặp lại bước 3 đến khi cho kết quả tốt;
- Kết thúc.

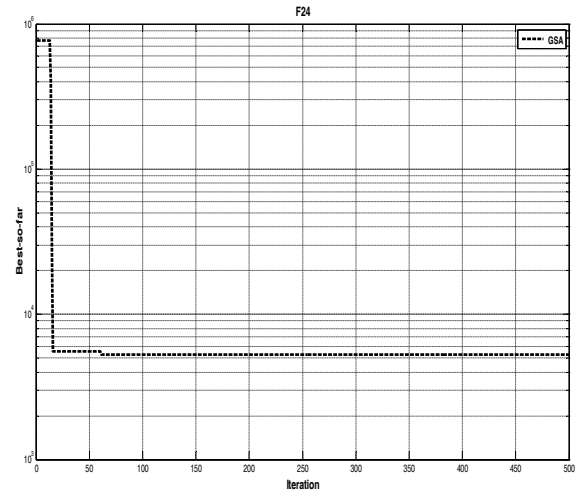
3. Bàn luận

- Thực hiện tính toán điều phối công suất của một nhà máy gồm 3 tổ máy phát với dữ liệu các tổ máy được ghi lại trong Bảng 1 [9].

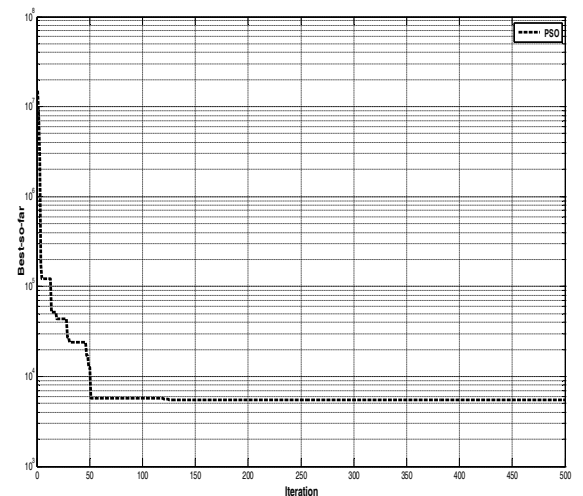
Bảng 1. Dữ liệu 3 tổ máy phát

Unit No	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)	A (\$/hr)	B (\$/MWhr)	C (\$/MW ² hr)
1	600	150	561	7.92	0.001562
2	400	100	310	7.85	0.001940
3	200	50	93.6	9.564	0.005784

Áp dụng giải thuật GSA và PSO tính toán điều phối cho nhà máy có 3 tổ máy phát này ở mức tải điện hình là 500 MW, như trong Bảng 2. Kết quả được thể hiện ở hai đồ thị Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Kết quả sử dụng GSA



Hình 5. Kết quả sử dụng PSO

Bảng 2. Dữ liệu tải

Hour	1	2	3	4	5	6
Load (MW)	1200	1200	1150	1100	1000	900
Hour	7	8	9	10	11	12
Load (MW)	800	600	550	500	500	500
Hour	13	14	15	16	17	18
Load (MW)	500	500	600	800	850	900
Hour	19	20	21	22	23	24
Load (MW)	950	1000	1050	1100	1200	1200

Dựa trên kết quả có được từ hai giải thuật đã tính toán,

nhìn chung hai giải thuật vẫn cho ra kết quả tối ưu, nhưng ở giải thuật GSA cho thấy tính hội tụ của giải thuật cao hơn ở giải thuật PSO.

- Thực hiện tính toán điều phối công suất của một nhà máy gồm 6 tổ máy phát có số liệu của các tổ máy được thể hiện trong Bảng 3 [10].

Tương tự, áp dụng hai giải thuật GSA và PSO nêu trên để tính toán điều phối công suất của 6 tổ máy phát cho nhà máy này ở mức tải yêu cầu là 800MW, kết quả có được thể hiện trong Bảng 4.

Số liệu ở Bảng 4 không xét tính hội tụ của hai giải thuật, mà xem xét và so sánh kết quả chi phí tính toán và công suất phát của mỗi tổ máy. Với Hình 4 và Hình 5 thì xét đến tính hội tụ của hai giải thuật, với GSA thì hội tụ nhanh hơn so với PSO. Như vậy, chúng ta dễ dàng đưa ra kết luận về tính chất của hai giải thuật này khi áp dụng vào tính toán điều phối công suất tối ưu của các máy phát điện.

Bảng 3. Dữ liệu của 6 tổ máy phát

Tổ máy phát số	P _{min} (MW)	P _{max} (MW)	a (\$/hr)	b (\$/MWhr)	c (\$/MW2hr)
1	100	500	240	7.0	0.0070
2	50	200	200	10.0	0.0095
3	80	300	220	8.5	0.0090
4	50	150	200	11.0	0.0090
5	50	200	220	10.5	0.0080
6	50	120	190	12.0	0.0075

Bảng 4. Kết quả tính toán điều phối theo 2 giải thuật

Giải thuật	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	Chi Phí (\$)
PSO	385.6786	52.1139	139.0605	1.1642e+004
GSA	240.7879	122.6131	138.4834	9.6336e+003
Giải thuật	P ₄ (MW)	P ₅ (MW)	P ₆ (MW)	Chi Phí (\$)
PSO	52.7439	61.8160	108.5871	1.1642e+004
GSA	101.0320	113.4305	83.6532	9.6336e+003

4. Kết luận

Bài báo đã dựa trên đặc tính công suất xây dựng hàm

chi phí cho các tổ máy phát điện, đồng thời sử dụng mô hình toán học để giải bài toán phân bổ công suất tối ưu bằng hai giải thuật PSO và GSA. Từ đó so sánh và chọn thuật toán GSA làm công cụ tính toán cho kế hoạch vận hành các tổ máy phát điện dựa vào điều kiện ràng buộc về thông số chi phí tổ máy phát điện và ràng buộc về giới hạn phát công suất của từng tổ máy. Ở đây không xét đến chi phí khởi động máy vì lý do tổ máy nhiệt điện tua bin hơi khởi động mất rất nhiều thời gian và chi phí. Nếu xét về điểm này thì không thể đáp ứng được nhu cầu phụ tải tức thời, do vậy ở đây chúng ta chỉ xét trạng thái máy phát đang hòa lưới và sẵn sàng đáp ứng nhu cầu tải tức thời.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quyền Huy Ánh, Trương Việt Anh, Vy Thị Thanh Hương, “Phương pháp HEURISTIC tối ưu phân bổ công suất trong hệ thống điện”, *Science & Technology Development, Vol 13, No.K2- 2010*.
- [2] Lê Chí Kiên, Nguyễn Đức Minh Cường, “Giải bài toán phối hợp các tổ máy phát điện đa nhiên liệu trong nhà máy nhiệt điện sử dụng lý thuyết nhân tử Lagrange”, *Science & Technology Development, Vol 16, No.K2- 2013*.
- [3] GSA: A Gravitational Search Algorithm Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour*, Saeid Saryazdi Department of Electrical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, P.O. Box 76169-133, Kerman, Iran.
- [4] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, “Improving the precision of CBIR systems by color and texture feature adaptation using GSA”, *Intelligent systems in Electrical engineering*, vol. 4 (3), pp. 43-56, 2013.
- [5] M.K.C.Marwali, S.M.Shahidehpour, Coordination between long-term and short-term generation scheduling with network constraints, *IEEE Transactions on Power System*, Vol.5.No.3, August 2000.
- [6] R. Srinivasa Rao, S.V.L. Narasimham- A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution, *International Journal of Applied Science, Engineering and Technology* 5:1, pp 15-21, (2009).
- [7] Calvin Jin San Chan. Development of a profit maximisation Unit commitment program. The University of Manchester institute of Science and Technology, September 2000.
- [8] Jaswanti, T. Thakur-A New Heuristic Network Reconfiguration Algorithm for Radial Distribution System, *The Global Community for Sustainable Energy Professionals*, (2006).
- [9] APPENDIX A. Test Systems - Description and Data - <http://prh.hec.gov.pk/chapters/910s-r.pdf>
- [10] M. Kondalu et. al. /International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(11), 2010, 6140-6148.

(BBT nhận bài: 05/01/2016, phản biện xong: 28/04/2016)