

NGHIÊN CỨU GIẢI THUẬT DI TRUYỀN ÁP DỤNG QUY HOẠCH PHÁT TRIỂN MẠNG TRUYỀN TẢI TRANSMISSION NETWORK PLANNING USING GENETIC ALGORITHM

¹Nguyễn Xuân Vinh, ² Hồ Văn Hiến

¹Trường Cao đẳng Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM

TÓM TẮT

Một trong những bài toán kinh tế – kỹ thuật quan trọng trong hệ thống điện là xác định cấu trúc tối ưu của mạng truyền tải nhằm thỏa mãn mục tiêu đáp ứng sự phát triển của tải đồng thời thỏa mãn yêu cầu về phân phối điện an toàn và kinh tế.

Bài báo đề xuất một ứng dụng của thuật toán di truyền (genetic algorithm-GA) để xác định cấu trúc mạng truyền tải tối ưu cho mục đích thỏa mãn mục tiêu đáp ứng sự phát triển của tải đồng thời thỏa mãn yêu cầu về phân phối điện an toàn và kinh tế, với các ràng buộc như: cân bằng công suất tại các nút, khả năng tải của đường dây, giới hạn góc lệch điện áp của đường dây, số lượng đường dây tối đa lắp đặt mới giữa hai nút. Tính chính xác của giải thuật được kiểm chứng và so sánh thông qua lưới điện ở [2], [5], [6], [7], [8].

Từ khóa: *mạng truyền tải, quy hoạch mạng truyền tải, phân bố công suất, thuật toán di truyền.*

ABSTRACT

One of important economic-technique problem in power systems is to determine the optimal structure of the transmission network to satisfy the objectives that load growth and the requirements of safe-economic electric distribution.

This paper proposed an application of genetic algorithms (genetic algorithm-GA) to determine the optimize structure of transmission network to satisfaction meet load growth and the requirements of an electrical distribution secure and economy, with such constraints: power balance at the nodes, load capacity of the line, limited angle of the line voltage, the maximum number of lines installed last between two nodes. The accuracy of the algorithm was verified through simulation as well as comparions with other results of [2], [5], [6], [7], [8].

Keywords: *transmission network, transmission network planning, power distribution, genetic algorithms.*

I. MỞ ĐẦU

Quy hoạch mạng truyền tải bao gồm: quy hoạch tĩnh và quy hoạch động. Quy hoạch tĩnh là mở rộng mạng truyền tải đáp ứng nhu cầu tải với chi phí thấp nhất, từ đó đưa ra những hướng dẫn mang tính chỉ đạo đối với cấu trúc mạng điện ở tương lai mà không quan tâm đến các vấn đề truyền tải. Quy hoạch động được chia thành nhiều giai đoạn trong đó các vấn đề truyền tải được quan tâm, chẳng hạn giới hạn ổn định, phân bố công suất phản kháng, khả năng ngắn mạch...

Từ trước đến nay đã có rất nhiều phương pháp giải khác nhau cho bài toán quy hoạch phát triển mạng truyền tải: phương pháp tìm kiếm, phương pháp tối ưu toán học... Tuy nhiên, những phương pháp tối ưu truyền thống có một số nhược điểm:

- Quy hoạch mạng truyền tải tìm kiếm trong miền không lồi, do đó sự thành công của các phương pháp trên tùy thuộc vào điểm tìm kiếm ban đầu, nên đôi khi quá trình tối ưu dừng lại ở giải pháp tối ưu cục bộ.
- Số lượng đường dây phải là số nguyên, và tính phi tuyến bài toán do đó vấn đề trở thành quy hoạch nguyên phi tuyến rất phức tạp làm gia tăng số vòng lặp của giải thuật tối ưu và đôi khi gây nên sự không hội tụ.

Trên đây là những lý do để tiếp tục nghiên cứu những phương pháp dựa vào trí tuệ nhân tạo. Trong bài báo này giải thuật di truyền được nghiên cứu, áp dụng vào quy hoạch phát triển mạng truyền tải, đây là công cụ mạnh mẽ với các ưu điểm nổi bật:

- Là phương pháp tìm kiếm ngẫu nhiên nhưng có định hướng.
- Xử lý song song một tập các lời giải, đồng thời có sự trao đổi thông tin giữa các điểm trong không gian tìm kiếm, vì vậy giảm khả năng rơi vào cực trị địa phương.

Bài báo tập trung vấn đề đưa ra cấu trúc tối ưu của mạng truyền tải – quy hoạch tĩnh – mà không quan tâm đến những vấn đề truyền tải, hay chỉ dừng lại ở giai đoạn hình thành cấu trúc mạng truyền tải.

Quy hoạch mạng truyền tải là một nhiệm vụ quan trọng trong quy hoạch hệ thống điện. Mục tiêu của quy hoạch mạng truyền tải là xác định cấu trúc tối ưu của mạng truyền tải đáp ứng sự phát triển của tải và quy hoạch nguồn phát thỏa mãn yêu cầu về phân phối điện an toàn và kinh tế. Nguyên tắc cơ bản của quy hoạch mạng truyền tải là tối ưu chi phí xây dựng và vận hành thỏa mãn yêu cầu phân phối điện an toàn và tin cậy. Yêu cầu về độ tin cậy bao gồm:

- Yêu cầu ở chế độ vận hành bình thường, khi thiết bị điện vận hành trong điều kiện hoàn hảo thì những tiêu chuẩn vận hành được bảo đảm. Ví dụ, công suất truyền tải của đường dây, công suất của máy phát, biên độ điện áp, dự trữ quay... ở trong khoảng định mức.
- Yêu cầu ở chế độ vận hành khẩn cấp, khi thiết bị điện hỏng hay xuất hiện sự cố tải, yêu cầu về độ tin cậy cung cấp điện được thỏa mãn.

Chi phí mạng truyền tải bao gồm chi phí thiết bị truyền tải và biến áp và chi phí vận hành thiết bị, đồng thời khi quy hoạch phải tính đến giá thời thực của vốn đầu tư.

Để giải quyết những khó khăn trên, quy hoạch mạng được chia thành hai giai đoạn: giai đoạn hình thành cấu trúc mạng và giai đoạn đánh giá cấu trúc mạng truyền tải.

Nhiệm vụ của giai đoạn hình thành cấu trúc mạng truyền tải là xác định một hoặc một vài cấu trúc có chi phí đầu tư nhỏ thỏa mãn yêu cầu truyền tải công suất, đồng thời thỏa mãn khả năng tải của đường dây. Hiện nay, quy hoạch phát triển mạng truyền tải

thường được thực hiện dựa vào kinh nghiệm. Sự gia tăng kích thước và quy mô của hệ thống điện, dẫn đến việc áp dụng máy tính để tự động quy hoạch mạng truyền tải. Phương pháp này có thể kết hợp kỹ thuật hiện có, tỷ lệ kinh tế và phương pháp tối ưu để xác định một cấu trúc mạng tốt hơn, từ đó cải thiện chất lượng và tốc độ quy hoạch mạng truyền tải. Tuy nhiên, quy hoạch mạng truyền tải đang ở giai đoạn phát triển, nó không thể thay thế hoàn toàn cho những người thực hiện quy hoạch trong việc ra quyết định.

Nhiệm vụ của giai đoạn đánh giá cấu trúc mạng truyền tải là đánh giá tổng thể về kinh tế và kỹ thuật của cấu trúc mạng đã được thành lập, bao gồm phân bố công suất, phân tích ổn định, khả năng ngắn mạch, độ tin cậy và tính toán kinh tế, và đưa ra cấu trúc tối ưu cuối cùng. Trong giai đoạn đánh giá, cấu trúc của mạng có thể được cải thiện bằng cách sử dụng những thông tin đạt được từ quá trình tính toán.

Quy hoạch tĩnh chỉ quan tâm cấu trúc mạng ở tương lai và không quan tâm đến những vấn đề truyền tải, không xem xét khi nào lắp đặt đường dây mới. Quy hoạch động được chia thành nhiều giai đoạn quy hoạch và trong mỗi giai đoạn những vấn đề truyền tải được quan tâm hay quy hoạch động phải trả lời câu hỏi đường dây mới được lắp đặt ở đâu và khi nào thì lắp đặt.

Quy hoạch phải xem xét vấn đề lựa chọn cấp điện áp, có hay không sử dụng truyền tải một chiều và những vấn đề khác. Chọn lựa cấp điện áp, kết hợp truyền tải xoay chiều và một chiều là một vấn đề phức tạp, không chỉ dựa trên sự phát triển, phân bố tải và mạng truyền tải hiện hữu mà còn dựa trên những nhân tố như sự phát triển của nền kinh tế quốc dân và khả năng sản xuất thiết bị điện, và việc phản ánh những nhân tố này vào mô hình quy hoạch là hết sức khó khăn. Vì vậy,

trong thực tế, cấu trúc mạng được nghiên cứu ở một cấp điện áp cho trước.

II. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

2.1 Mô hình hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu cực tiểu chi phí lắp đặt đường dây mới và chi phí cắt giảm tải:

$$J = \sum C_{ij} \cdot n_{ij} + \sum C_{Ci} \cdot P_{dicur} \Rightarrow \min$$

Trong đó

P_{dicur} công suất tải bị cắt giảm tại nút i.

C_{Ci} chi phí cắt giảm công suất tải tại nút i.

C_{ij} chi phí lắp đặt đường dây giữa hai nút i và j.

n_{ij} số lượng đường dây giữa hai nút i và j.

2.2 Mô hình ràng buộc

a. Cân bằng công suất tại các nút

$$P_{gi} + P_{dicur} - P_{di} - \sum B_{ij} \cdot \theta_{ij} = 0$$

b. Khả năng tải của đường dây

$$|P_k| \leq |P_{kmax}|$$

c. Giới hạn góc lệch điện áp của đường dây

$$|\theta_{ij}| \leq 90^\circ$$

d. Số lượng đường dây tối đa lắp đặt mới giữa hai nút i và j

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ijmax}$$

Trong đó

P_{gi} công suất máy phát tại nút i.

P_{di} công suất tải tại nút i.

P_k công suất truyền tải trên đường dây k.

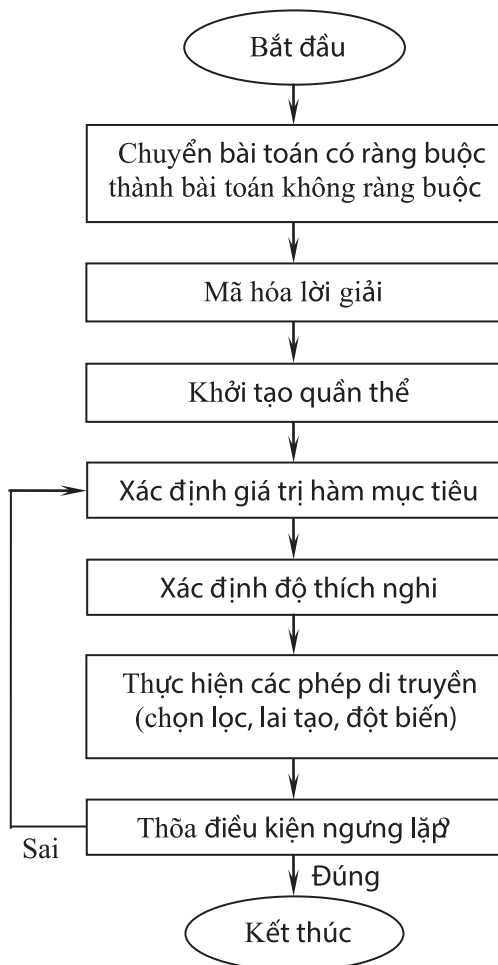
P_{kmax} khả năng truyền tải công suất của đường dây k.

θ_{ij} góc lệch điện áp giữa 2 nút i và j (rad).

$B_{ij} = \frac{1}{X_{ij}}$ x, cảm kháng của đường dây.

III. GIẢI THUẬT

GA là kỹ thuật chung giúp giải quyết vấn đề – bài toán bằng cách mô phỏng sự tiến hóa của con người hay của sinh vật nói chung trong điều kiện quy định sẵn của môi trường. Các thông số của bài toán sẽ được chuyển đổi và biểu diễn lại dưới dạng các chuỗi nhị phân. Các thông số này có thể là các biến của một hàm hoặc hệ số của một biểu thức toán học. Người ta gọi các chuỗi bit này là mã gen ứng với mỗi cá thể, các gen đều có cùng chiều dài và một lời giải sẽ được quy định bằng gen của cá thể đó.



Ban đầu, ta sẽ phát sinh một số lượng lớn, giới hạn các cá thể có gen ngẫu nhiên – nghĩa là phát sinh một tập hợp các chuỗi bit ngẫu nhiên. Tập các cá thể này được gọi là quần

thể ban đầu. Sau đó xác định một giá trị gọi là độ thích nghi. Vì phát sinh ngẫu nhiên nên độ thích của các cá thể trong quần thể ban đầu là không xác định.

Để cải thiện tính thích nghi của quần thể, người ta tìm cách tạo ra quần thể mới. Có hai thao tác thực hiện trên thế hệ hiện tại để tạo ra một thế hệ khác với độ thích nghi tốt hơn.

Thao tác đầu tiên là sao chép nguyên mẫu một nhóm các cá thể tốt từ thế hệ trước rồi đưa sang thế hệ sau. Thao tác này đảm bảo độ thích nghi của thế hệ sau luôn được giữ ở một mức độ hợp lý. Các cá thể được chọn thông thường là các cá thể có độ thích nghi cao nhất.

Thao tác thứ hai là tạo các cá thể mới bằng cách thực hiện các thao tác sinh sản trên một số cá thể được chọn từ thế hệ trước, thông thường cũng là những cá thể có độ thích nghi cao. Có hai loại thao tác sinh sản: một là lai tạo, hai là đột biến. Trong thao tác lai tạo, từ gen của 2 cá thể được chọn trong thế hệ trước sẽ được phối hợp với nhau để tạo thành 2 gen mới.

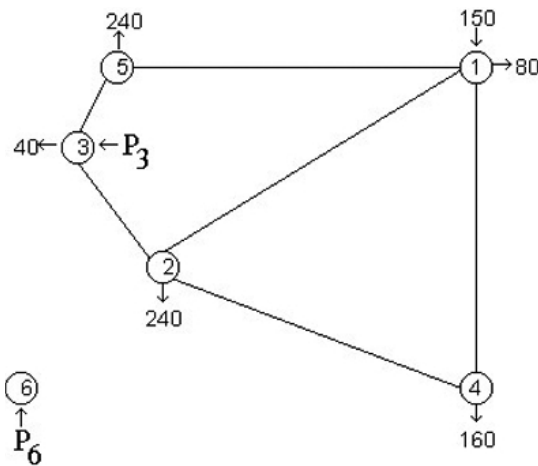
Thao tác chọn lọc và lai tạo giúp tạo ra thế hệ sau. Tuy nhiên, nhiều khi do thế hệ khởi tạo ban đầu có đặc tính chưa phong phú và chưa phù hợp nên các cá thể không rải đều được hết không gian của bài toán. Từ đó, khó có thể tìm ra lời giải tối ưu cho bài toán. Thao tác đột biến sẽ giúp giải quyết được vấn đề này. Đó là sự biến đổi ngẫu nhiên một hoặc nhiều thành phần gen của một cá thể ở thế hệ trước tạo ra một cá thể hoàn toàn mới ở thế hệ sau. Nhưng thao tác này chỉ được phép xảy ra với tần suất rất thấp, vì thao tác này có thể gây xáo trộn và làm mất đi những cá thể đã chọn lọc và lai tạo có tính thích nghi cao, dẫn đến thuật toán không còn hiệu quả.

Thế hệ mới được tạo ra lại được xử lý như thế hệ trước: xác định độ thích nghi và

tạo thể hệ mới, cho đến khi có một cá thể đạt được giải pháp mong muốn hoặc đạt đến thời gian giới hạn.

IV. ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN CHO BÀI TOÁN QUY HOẠCH PHÁT TRIỂN MẠNG TRUYỀN TẢI 6 NÚT

Mạng truyền tải gồm 6 nút [2], [5], [6], [7], [8], công suất máy phát và công suất tải được cho ở bảng 4.1 và thông số đường dây được cho ở bảng 4.2. Công suất máy phát tại các nút 3, 6 là hằng số: $P_3P_3=310.605MW$, $P_6P_6=299.395MW$, nút 1 là nút cân bằng. Nút 6 là nhà máy phát điện mới sẽ được nối vào mạng truyền tải, vì vậy mạng truyền tải hiện hữu không tồn tại đường dây nối giữa nút 6 tới bất kỳ nút nào trong mạng. Ban đầu công suất máy phát cung cấp cho tải thiếu 299.395MW. Trong trường hợp xấu nhất công suất do máy phát ở nút 3 cung cấp là 240MW do giới hạn khả năng tải của đường dây, vì vậy công suất cung cấp cho tải thiếu 370MW thay vì 299.395MW. Số lượng tối đa đường dây lắp đặt mới giữa 2 nút đã tồn tại đường dây là 3, và giữa 2 nút chưa tồn tại đường dây là 4. Áp dụng giải thuật di truyền xác định cấu trúc tối ưu của mạng truyền tải ở tương lai.



Hình 4.1 Mạng truyền tải hiện hữu.

Bảng 4.1 Công suất máy phát và công suất tải tại các nút.

Bus	Công suất máy phát (MW)	Công suất tải (MW)
1	150	80
2	0	240
3	310.605	40
4	0	160
5	0	240
6	299.395	0

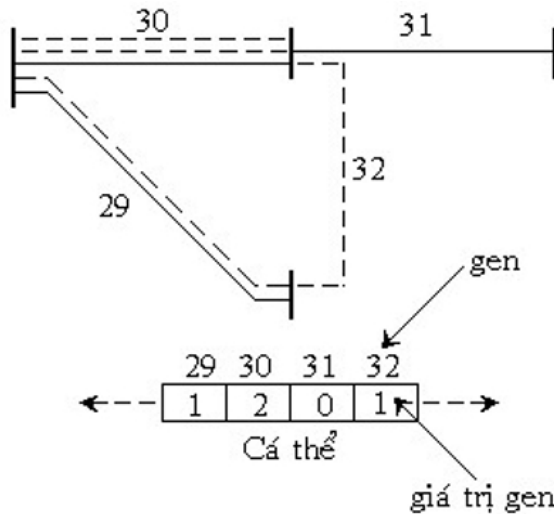
Bảng 4.2 Thông số đường dây.

Thứ tự	Bus → bus	R	X	Khả năng tải (MW)	Chi phí đầu tư (M\$)
1	1 – 2	0	0.40	100	40
2	1 – 3	0	0.38	100	38
3	1 – 4	0	0.60	80	60
4	1 – 5	0	0.20	100	20
5	1 – 6	0	0.68	70	68
6	2 – 3	0	0.20	100	20
7	2 – 4	0	0.40	100	40
8	2 – 5	0	0.31	100	31
9	2 – 6	0	0.30	100	30
10	3 – 4	0	0.59	82	59
11	3 – 5	0	0.20	100	20
12	3 – 6	0	0.48	100	48
13	4 – 5	0	0.63	75	63
14	4 – 6	0	0.30	100	30
15	5 – 6	0	0.61	78	61

4.1 Phương pháp biểu diễn gen

Đối với bài toán quy hoạch mạng truyền tải mỗi cá thể sẽ biểu diễn một giải pháp, nghĩa là kích thước mỗi cá thể sẽ phù hợp với số nhánh của mạng truyền tải. Giá trị mỗi gen trong mỗi cá thể phù hợp với số lượng đường dây mới được lắp đặt.

Ví dụ



4.2 Thành lập bài toán

Vì $P_{dicur}P_{dicur}$ là biến trạng thái không thể xác định trước khi tính toán phân bố công suất, nên thành phần này có mặt trong hàm mục tiêu sẽ tạo khó khăn cho quá trình tính toán. Vì vậy, trong bài toán này $P_{dicur}P_{dicur}$ sẽ không được biểu diễn một cách rõ ràng, mà sẽ được biểu diễn thông qua khả năng truyền tải của đường dây. Bài toán trở thành:

Hàm mục tiêu cực tiểu chi phí lắp đặt đường dây mới

$$J = \sum C_{Lij} \cdot n_j$$

Ràng buộc

$$P_{gi} - P_{di} - \sum B_{ij} \cdot \theta_{ij} = 0$$

$$|P_k| \leq |P_{kmax}|$$

$$|\theta_{ij}| \leq 90^\circ$$

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ijmax}$$

Để có thể áp dụng thuật toán di truyền, bài toán quy hoạch với các ràng buộc ở trên được đưa về bài toán không ràng buộc bằng cách thêm hàm phạt vào hàm mục tiêu.

Hàm mục tiêu mới có dạng như sau

$$J = \left. \begin{aligned} &\sum C_{Lij} \cdot n_{ij} + \sum \lambda_{ij} \cdot (|\theta_{ij}| - 90) + \sum \mu_k \cdot (|P_k| - P_{kmax}) \\ &+ \sum \eta_i \cdot |P_{gi} - P_{di} - \sum B_{ij} \cdot \theta_{ij}| \end{aligned} \right\} \Rightarrow \min \mathbf{T}$$

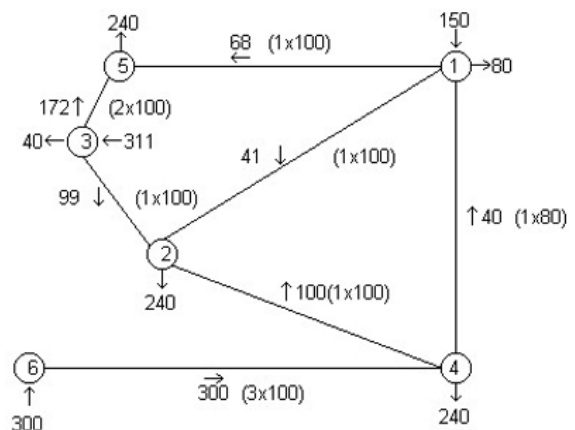
Trong đó

λ hệ số phạt đối với ràng buộc giới hạn góc lệch điện áp.

μ hệ số phạt đối với ràng buộc khả năng tải của đường dây.

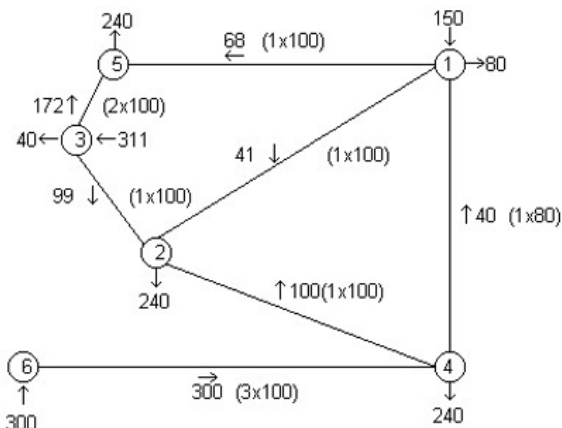
η hệ số phạt đối với ràng buộc cân bằng công suất tại các nút.

4.3 Kết quả quy hoạch mạng truyền tải [2] [5] [6] [7] [8]



Hình 4.2 Mạng truyền tải sau khi quy hoạch.

4.4 Kết quả GA



Hình 4.3 Mạng truyền tải sau khi thực thi chương trình GA.

4.5 Tóm tắt kết quả

Phương pháp	[2] [5] [6] [7] [8]	GA
Cấu trúc mạng truyền tải	Hình 4.2	Hình 4.3
Chi phí đầu tư lắp đặt đường dây mới (M\$)	110	110

V. KẾT LUẬN

Bài báo ứng dụng giải thuật di truyền cho bài toán quy hoạch phát triển mạng truyền tải 6 nút có 17 biến điều khiển 61 ràng buộc. Kết quả đạt được cho thấy với khả năng mạnh mẽ và linh hoạt, giải thuật di truyền có thể đảm bảo giải quyết tốt đẹp các bài toán phức tạp hơn.

Để có được những chọn lựa thích hợp phương pháp xác định độ phù hợp, các thông số điều khiển, các toán tử di truyền và các hệ số phạt, tác giả đã phải thử nghiệm và kiểm tra rất nhiều lần, điều này đòi hỏi không ít thời gian và công sức. Đây chính là những hạn chế của giải thuật di truyền.

Tuy nhiên, nếu kích thước quần thể và xác suất đột biến có giá trị nhỏ thì sự kết hợp trên có thể dẫn đến lời giải tối ưu cục bộ. Điều này có thể được khắc phục bằng cách tăng kích thước quần thể, và tăng giá trị xác suất đột biến cũng chính là tăng sự đa dạng cho quần thể.

Bài báo đã xây dựng được giải thuật chi tiết và hàng loạt các hàm cần thiết để áp dụng cho bài toán quy hoạch phát triển mạng truyền tải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X.Wang, J.R Mc Donald, Modern Power System Planning, London 1994.
- [2] Loi Lei Lai, Intelligent System Applications in Power Engineering, City University, London, UK.
- [3] Hoàng Kiếm, Lê Hoàng Thái, Thuật Giải Di Truyền – Cách Giải Tự Nhiên Các Bài Toán Trên Máy Tính, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [4] Nguyễn Xuân Vinh, Nghiên cứu giải thuật di truyền ứng dụng quy hoạch mạng truyền tải, Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh, 2004.
- [5] R.A. Gallego, A. Monticelli, R. Romero, Transmission System Expansion Planning by

Simulated Annealing, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 1, February 1996.

- [6] G.C. Oliveira, A.P.C. Costa, S. Binato, Large Scale Transmission Network Planning Using Optimization and Heuristic Techniques, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 4, November 1995.
- [7] R. Romeo, A. Monticelli, A Zero-One Implicit Enumeration Method for Optimizing Investments in Transmission Expansion Planning, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994.
- [8] R. Romeo, A. Monticelli, A Hierarchical Decomposition Approach for Transmission Network Expansion Planning, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994.