

## ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN

### Hồ Đắc Lộc

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 04 tháng 05 năm 2012, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 12 tháng 12 năm 2012)

**TÓM TẮT:** Hệ thống điện phân phối là một phần quan trọng của hệ thống điện thể hiện liên kết giữa nhà máy điện và tải. Mỗi liên kết có ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế của lưới điện trong việc chuyển tải công suất từ nguồn đến nơi tiêu thụ. Các công ty điện lực luôn mong muốn tìm ra một cấu trúc lưới phân phối hiệu quả nhất mà sẽ mang lại một lợi ích to lớn, đó là tìm ra được một cấu trúc có tổn thất công suất thấp nhất trong lưới điện phân phối.

Bài báo này đề xuất một ứng dụng của thuật toán di truyền để xác định cấu trúc lưới điện phân phối tối ưu cho mục đích giảm tổn thất công suất với các ràng buộc như: tải không bị cô lập, giới hạn công suất trên đường dây và trạm biến áp và sụt áp nhỏ nhất. Tính chính xác của giải thuật được kiểm chứng thông qua lưới điện ở [3], và kết quả bài toán được so sánh với các kết quả khác ở [1, 3, 6, 8].

**Từ khóa:** lưới điện phân phối, tái cấu trúc lưới điện, tổn thất công suất, thuật toán di truyền.

### 1. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện phân phối truyền tải năng lượng đến các khách hàng từ những trạm phân phối. Trong khi các đường dây truyền tải và trạm truyền tải được xây dựng như một mạng lưới, còn các tuyến dây phân phối có cấu trúc hình tia. Lý do chính để lưới điện vận hành hình tia: đơn giản trong vận hành, có dòng ngắn mạch bé nên đơn giản hóa các thiết bị đóng cắt và bảo vệ trên các phát tuyến,.... Thông thường, việc tái cấu trúc lưới điện cần thiết để phục hồi việc cung cấp điện cho các khách hàng sau sự cố, hoặc trong quá trình cắt điện để sửa chữa, giảm tổn thất của hệ thống và cân bằng tải để tránh quá tải trên lưới,.... Việc khôi phục lưới điện được thực hiện thông qua các thao tác đóng cắt các cặp khóa điện nằm trên các mạch vòng, do đó trên lưới phân phối có rất nhiều khóa điện. Một hệ thống phân phối

vận hành có chi phí thấp nhất, khi phải thoả các điều kiện sau:

- Hình tia.
- Tất cả các tải đều làm việc.
- Các thiết bị bảo vệ quá dòng được phối hợp với nhau.
- Đường dây, máy biến áp và các thiết bị khác vận hành ở giới hạn cho phép.
- Điện áp rơi ở mức cho phép...

Hiện nay, tổn thất năng lượng trên lưới phân phối luôn cao hơn so với lưới truyền tải (5% - 7% so với 2%- 3%). Vấn đề giảm tổn thất điện năng trên lưới phân phối cũng đã được nghiên cứu và ứng dụng vào trong lưới điện chẳng hạn như: bù công suất phản kháng, nâng cao điện áp vận hành lưới điện phân phối (15 kV nâng lên 22 kV), hoặc tăng tiết diện dây dẫn,.... Tuy

nhiên các biện pháp này có khuyết điểm lớn là phải tốn các chi phí đầu tư và lắp đặt thiết bị.

Có một biện pháp tận dụng thiết bị có sẵn trên lưới điện để thực hiện việc giảm tổn thất, đó là tái cấu trúc lưới điện thông qua việc chuyển tải bằng cách đóng/mở các cặp khoá điện để thay đổi cấu trúc mạng. Khi đó lưới điện sẽ vận hành với chi phí thấp, trong khi vẫn thoả mãn các ràng buộc trên.

Hiện nay có rất nhiều giải thuật khác nhau dùng để tái cấu trúc lưới điện để thoả một hay nhiều mục tiêu khác nhau như tổn thất công suất thấp nhất, tổn thất năng lượng thấp nhất, chi phí vận hành thấp nhất,.... Chẳng hạn như Goswami và các cộng sự [6] trình bày giải thuật Heuristic dùng để tối ưu hóa dòng công suất để cực tiểu tổn thất của lưới điện. Hay như ở [1], sử dụng giải thuật Heuristic mờ để giảm tổn thất công suất tác dụng. Ngoài ra, còn một số các giải thuật khác có thể kể đến như ở [3-8], [11-14].

Việc tái cấu trúc lưới bằng cách đóng/mở các khoá điện là một vấn đề phức hợp được kết hợp nhiều vấn đề tối ưu lại với nhau. Thuật toán di truyền gần đây được sử dụng để giải quyết nhiều vấn đề liên quan đến kỹ thuật và đặc biệt

hiệu quả trong việc giải quyết những vấn đề tìm kiếm rộng và phức hợp [10].

Thuật toán di truyền làm việc dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên, được dùng để giải quyết những vấn đề tuyến tính, không tuyến tính, để tìm ra lời giải thỏa hàm mục tiêu đề ra. GA làm việc song song nhiều tập lời giải để tìm ra một lời giải tối ưu hay gần tối ưu. Trong bài báo, thuật toán di truyền được áp dụng để tái cấu trúc lưới điện thỏa hàm một mục tiêu và các ràng buộc kèm theo. Kết quả của trường hợp nghiên cứu phù hợp với các kết quả nghiên cứu khác và mang tính ứng dụng cao.

## 2. XÂY DỰNG HÀM MỤC TIÊU CỦA BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN

### 2.1. Hàm mục tiêu

Xét cấu trúc lưới điện hình tia như hình 1.

Trong đó:

$n$ : số lượng các thanh cái (bus).

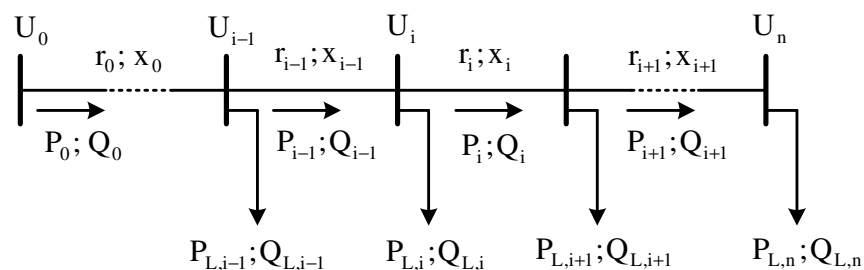
$U_0$ : điện áp tại nút cân bằng của hệ thống.

$U_i$ : điện áp tại nút thứ  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

$r_i, x_i$ : điện trở, cảm kháng của nhánh thứ  $i$ .

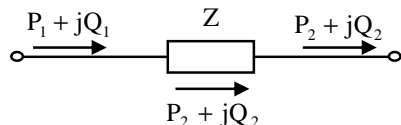
$P_i, Q_i$ : dòng công suất tác dụng và phản kháng chạy trên nhánh thứ  $i$ .

$P_{Li}, Q_{Li}$ : Công suất tác dụng và phản kháng do tải thứ  $i$  tiêu thụ.



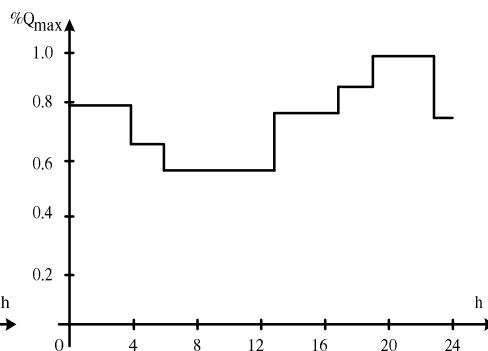
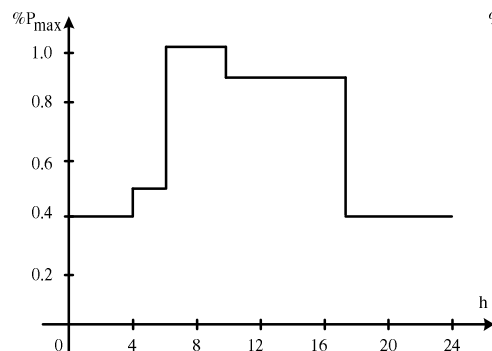
Hình 1. Cấu trúc mạng điện hình tia đơn giản

Để xác định tổn thất công suất trên đường dây phân phối, ta đưa đường dây về dạng sơ đồ thay thế như hình 2, ở sơ đồ thay thế tổng dẫn đường dây được bỏ qua.



**Hình 2.** Sơ đồ thay thế đường dây phân phối

Khi có dòng điện chạy qua tổng trở  $Z = R + jX$  ( $Z$ : tổng trở đường dây) thì tổn thất công suất là:



**Hình 3.** Đồ thị phụ tải công suất

Do đó, trong bậc thứ  $M$ , dòng công suất nhánh tự nhiên thứ  $i$  có  $P_{im}$ ,  $Q_{im}$  ( $i = 1 \dots n$ ) không đổi nên lưới điện có tổn thất công suất là:

$$\Delta P_m = \sum_{i=1}^n P_{im}^2 R_i + \sum_{i=1}^n Q_{im}^2 R_i \quad (3)$$

Khi đó lưới điện có tổn thất năng lượng  $\Delta A$  của lưới điện trong thời gian khảo sát  $T$ ,

$$T = \sum_{m=1}^M t_m \text{ là:}$$

$$\Delta P = 3I^2 R = \frac{S^2}{U_{dm}^2} R = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{dm}^2} R \quad (1)$$

Để đơn giản tính toán ta giả thiết điện áp tại các nút tải gần bằng điện áp nguồn nên:  $U_i = U_{dm}$  và trong hệ đơn vị tương đối  $U_{dm} = 1$ , do đó công thức (1) có thể được viết lại như sau:

$$\Delta P = 3I^2 R = S^2 R = P_2^2 R + Q_2^2 R \quad (2)$$

Giả sử ta có đồ thị phụ tải công suất tác dụng và phản kháng trong thời gian  $T$  ( $T = 24h$ ) của tất cả các phụ tải trên lưới điện (hình 1) như hình 3. Đồ thị có thể chia thành  $M$  bậc mà trong thời khoảng  $t_m$  ( $m = 0, \dots, 24$ ) các giá trị công suất tải không đổi.

$$\Delta A = \sum_{m=1}^M \Delta P_m t_m = \sum_{m=1}^M \left( \sum_{i=1}^n P_{im}^2 R_i \right) t_m + \sum_{m=1}^M \left( \sum_{i=1}^n Q_{im}^2 R_i \right) t_m \quad (4)$$

Tuy nhiên, theo [1]: “Có thể xác định cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất năng lượng  $\Delta A$  bằng giải thuật tái cấu trúc lưới giảm  $\Delta P$  khi công suất tại các nút tải là công suất trung bình trong thời gian khảo sát”.

Hiện nay, hầu hết các thông số về công suất trên đường dây ở nước ta hay các nước trên thế giới đều là công suất trung bình trong thời gian

khảo sát, do việc cập nhật các thông số về công suất và đồ thị phụ tải liên tục là rất khó khăn.

Công suất trung bình trong thời gian khảo sát có thể xác định dễ dàng trong thực tế thông qua các điện năng kế hay hệ thống hóa đơn tiền điện. Do vậy công suất tính toán chính được đề cập trong bài báo này sẽ là công suất trung bình trong thời gian khảo sát.

## 2.2. Các điều kiện ràng buộc

Không phải mọi cấu trúc mới tạo ra từ cấu trúc lưới ban đầu đều có thể chấp nhận bởi vì cấu trúc phù hợp phải thoả mãn các ràng buộc, đó là:

- Ràng buộc về cấu trúc lưới: Lưới hình tia, tải không bị cô lập.

- Ràng buộc về vận hành và tải: yêu cầu biên độ điện áp phải thoả mãn tại mỗi nút phụ tải  $i$  là:  $0.95 < |V_i| < 1.05$ .

- Ràng buộc về độ cân bằng công suất trên đường dây và trạm biến áp: Để đảm bảo ràng buộc này, hàm mục tiêu được sử dụng:

$$S_{idm}^2 \geq P_i^2 + Q_i^2.$$

## 2.3. Các giả thiết ban đầu

Để giảm tính phức tạp của bài toán, cần phải đưa ra một số giả thiết ban đầu là:

- Bỏ qua các thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới khi giải bài toán xác định cấu trúc lưới điện phân phối.

- Thao tác đóng/cắt để chuyển tải, không gây mất ổn định của hệ thống điện.

- Độ tin cậy cung cấp điện của lưới điện phân phối được xem là không đổi khi cấu trúc lưới thay đổi.

- Lưới điện có cấu trúc tải là cân bằng giữa các pha, không xét đến trường hợp lưới điện không cân bằng.

## 3. THUẬT TOÁN

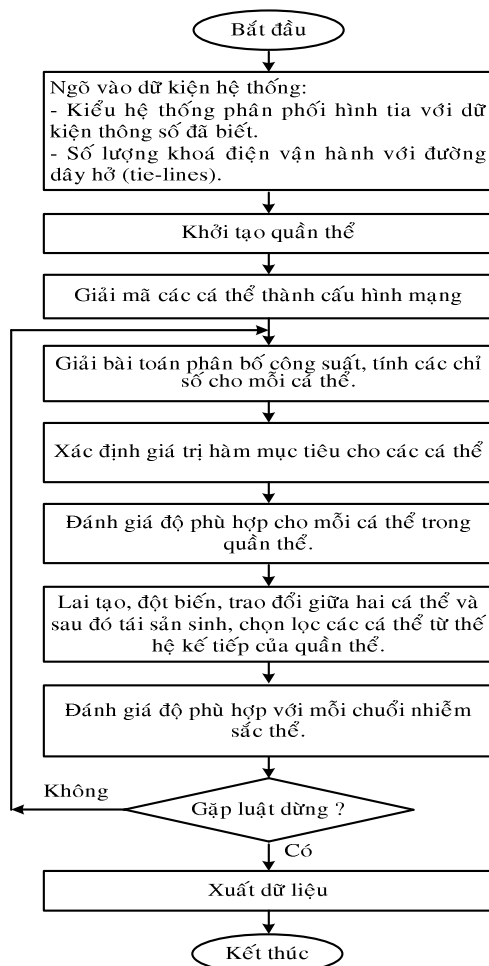
Thuật toán di truyền là một phần của một lĩnh vực rộng lớn gọi là tính toán tiến hóa (evolutional computation), là thuật toán tìm kiếm dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên, di truyền và tiến hóa. Khi tìm kiếm lời giải tối ưu, thuật toán di truyền cũng thực hiện các bước tương tự như quá trình tiến hóa chung của sự vật. Đó là quá trình chọn lọc tự nhiên những cá thể có độ phù hợp kém hay những cá thể xấu sẽ bị loại bỏ, những cá thể có độ phù hợp cao hay cá thể tốt nhất sẽ được giữ lại. Trong thuật toán, một chuỗi các nhiễm sắc thể (chromosomes) được tạo ra và xử lý trong suốt quá trình tính toán. Hoạt động của GA khá đơn giản, nó chỉ sao chép các chuỗi và trao đổi các phần khác nhau của chuỗi bằng ba thuộc tính cơ bản của di truyền là tái sản sinh (reproduction), lai tạo (crossover), và đột biến (mutation) [2].

Quá trình đánh giá dân số được thực hiện bằng cách tái sản sinh những cá thể con với độ phù hợp (fitness) của các cá thể cha. So với các phương pháp truyền thống, GA làm việc với các thông số cần xác định dưới dạng mã hóa chứ không phải là bản thân trực tiếp của thông số đó. Việc thay đổi chuỗi sử dụng quá trình chọn lọc tự nhiên và toán tử di truyền như đột biến, lai tạo. Sau khi hội tụ, chuỗi được mã hóa thành giá trị của lời giải ban đầu và quá trình tính toán đã thực hiện xong.

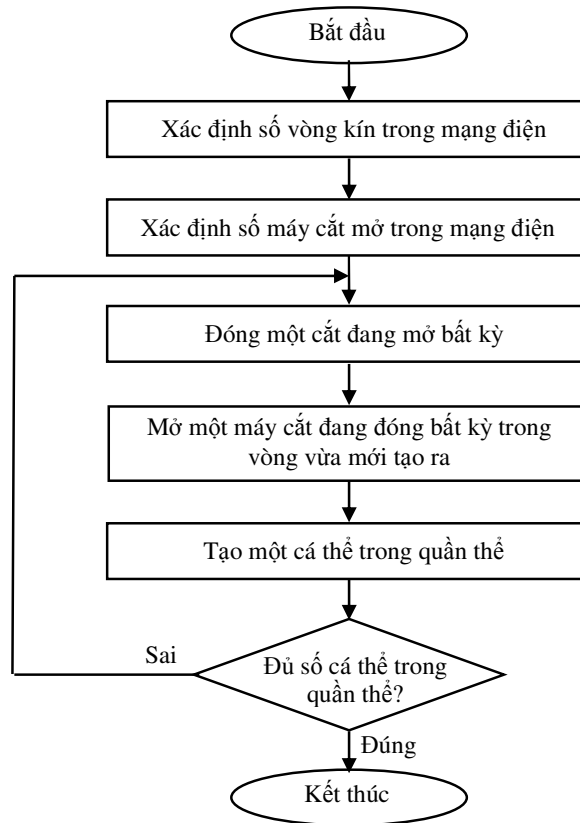
GA áp dụng vào bài toán tái cấu trúc lưới điện được tóm tắt thành lưu đồ giải thuật được trình bày ở hình 4. Phần quan trọng của lưu đồ chính là sử dụng GA, việc xử lý chính thông qua các toán tử lai tạo, đột biến,...

Để GA làm việc ta phải mã hóa lời giải của bài toán. Trong một mạng điện, nếu giữa hai nút có liên kết (giữa hai nút có máy cắt đang đóng), bit được mã hoá tương ứng sẽ là 1 và ngược lại nếu hai nút không liên kết với nhau

(giữa hai nút có máy cắt đang mở), bit được mã hoá tương ứng sẽ là 0. Mỗi cá thể được mã hoá sẽ tương ứng cho một cấu trúc của mạng. Chiều dài của mỗi nhiễm sắc thể được quyết định bởi số lượng máy cắt có trong mạng. Thuật toán dùng để tạo ra dân số được trình bày ở hình 5.



Hình 4. Lưu đồ giải thuật của GA áp dụng vào bài toán tái cấu trúc lưới điện



Hình 5. Lưu đồ giải thuật tạo ra cá thể trong quần thể

Trong quá trình tái sản sinh, một tập chuỗi cũ được lựa chọn để sản sinh ra một chuỗi mới phụ thuộc vào xác suất lựa chọn bằng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên.

Trong quá trình lai tạo, hai chuỗi nhiễm sắc thể được lựa chọn ngẫu nhiên đồng thời từ dân số. Vị trí ngẫu nhiên được chọn lựa trong hai nhiễm sắc thể và vị trí này sẽ thực hiện quá trình trao đổi bit cho nhau. Quá trình lai tạo sử dụng là theo phương pháp lai tạo đa điểm.

Để tạo ra nhiều cá thể đa dạng trong quần thể ta phải tiến hành đột biến cá thể đó. Trong quá trình đột biến, một bit ngẫu nhiên trong cá thể

được thay đổi (từ “0” thành “1” hoặc từ “1” thành “0”).

Trong bài toán tái cấu trúc lưới, bắt buộc phải tiến hành giải bài toán phân bố công suất. Phương pháp được lựa chọn để giải bài toán phân bố công suất là theo phương pháp lặp Newton – Raphson. Lý do chính để chọn là:

-Để có thể đạt độ chính xác và độ tin cậy cao.

-Do trong chương trình việc giải bài toán phân bố công suất được thực hiện rất nhiều lần nên sẽ tốn nhiều bộ nhớ, do vậy việc sử dụng phương pháp chiếm ít bộ nhớ là cần thiết.

-Mạng điện sử dụng là tương đối lớn, từ chương trình có thể mở rộng cho bài toán có cấu trúc lớn hơn.

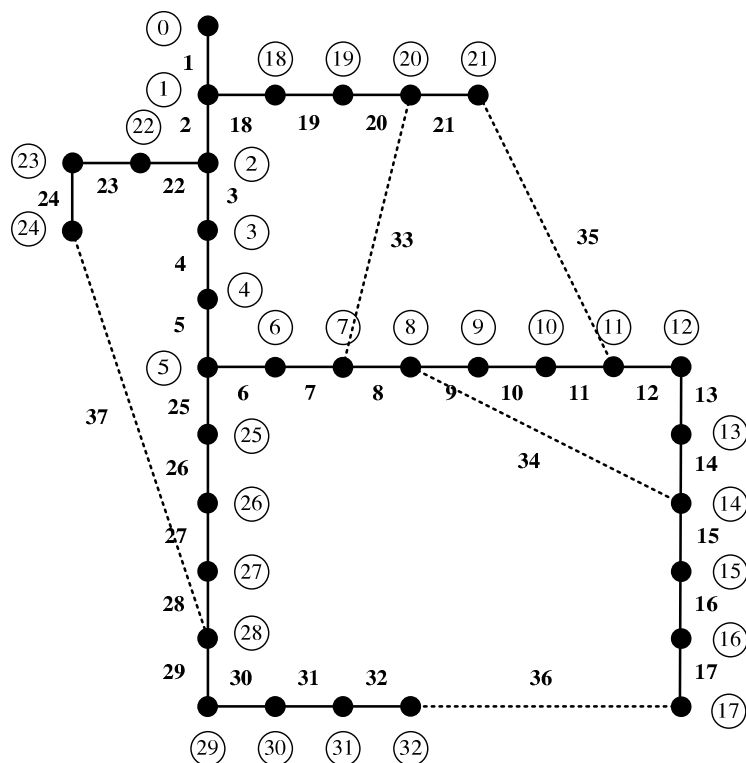
-Tính hội tụ của phương pháp này cao, có thể đạt được chỉ sau một số lần lặp.

#### 4. ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT ĐƯỢC ĐỀ XUẤT GIẢI BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN 32 NÚT

Hệ thống lưới điện có cấu trúc 1 nguồn, 32 nút và 37 nhánh được sử dụng [3]. Lưới điện

này thường được nhiều nhà nghiên cứu làm ví dụ mẫu để kiểm tra độ chính xác của các giải thuật tái cấu trúc lưới vì đây là lưới điện phân phối có độ phức tạp cao, gồm 5 vòng lồng nhau, có cấu trúc sâu. Nên nếu giải thuật không đủ mạnh, quá trình tìm kiếm rất dễ bị rơi vào cực trị địa phương.

Dữ liệu của hệ thống được lấy từ [3]. Cấu trúc lưới ban đầu được trình bày ở hình 6. Các vòng trong lưới được trình bày tại bảng 1.



Ghi chú:

① : Nút nguồn

①, ②, ..., ③② : Nút tải

1, 2, ..., 37: Số thứ tự các nhánh của mạng điện, chỉ số máy cắt.

————— : Nhánh có khóa điện đóng.

----- : Nhánh có khóa điện mở.

Hình 6. Lưới điện 32 nút 37 nhánh do Baran & Wu đề nghị

**Bảng 1.** Tên khóa mở và tên nhánh trong vòng

Vòng	Khoá mở	Tên nhánh trong vòng
1	37	22, 23, 24, 37, 28, 27, 26, 25, 5, 4, 3
2	33	2, 3, 4, 5, 6, 7, 33, 20, 19, 18
3	35	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 35, 21, 20, 19, 18
4	34	34, 14, 13, 12, 11, 10, 9
5	36	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 36, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25

Với cấu trúc lưới ban đầu có các khóa điện mở là: 33, 34, 35, 36, 37 thì tổn thất là 199.3644 (KW). Còn cấu trúc lưới điện sau khi thực hiện tái cấu trúc lưới có các khóa điện mở là 7, 9, 14, 32, 37 và tổn thất là 137.2664 (KW). Như vậy phần trăm tổn thất công suất

giảm được là 31.1480 % sau khi thực hiện việc tái cấu trúc lưới.

Bảng 2 trình bày kết quả cấu trúc lưới của mạng 1 nguồn được so sánh với kết quả của W.M.Lin, Goswami, Baran,...

**Bảng 2**

	Goswami	Baran	Liu	GA
Khóa mở	37,7,9, 14,32	8,33,11, 34,31	37,7,9, 14,32	7,9,14, 32,37
Giảm $\Delta P(\%)$	31.148	27.83	31.148	31.148

Qua bảng kết quả trên chúng ta thấy rằng tuy bài toán trên lưới điện mẫu của Baran & Wu được giải qua nhiều giải thuật khác nhau nhưng kết quả cuối cùng thì vẫn như nhau.

Tuy nhiên, trên lưới điện của mình Baran & Wu [3] đã không tìm ra được một lời giải tối ưu, và lời giải này đã bị rơi vào cực trị địa phương nên kết quả giảm tổn thất công suất chỉ được 27,83%. Do công suất tính toán trên nhánh chỉ gồm thành phần công suất phụ tải, bỏ qua thành phần tổn thất của các nhánh trước nó. Hai tác giả cũng cố gắng khắc phục nhược điểm lớn trong kỹ thuật đổi nhánh là dễ bị rơi vào cực trị địa phương nhưng hai ông vẫn gặp phải và kết quả vẫn bị rơi vào cực trị địa phương vẫn chưa tiến đến cực trị toàn cục.

Hay theo như Goswami [6], thực hiện bài toán này ông đã sử dụng giải thuật heuristic kết hợp với giải thuật tối ưu, và lời giải đạt được thoát khỏi cực trị địa phương và tổn thất công suất cũng giảm được là 31.148%. Điểm tương đồng giữa giải thuật do Goswami đề nghị và giải thuật sử dụng trong bài báo chính là việc phải giải bài toán phân bố công suất rất nhiều lần nên sẽ mất nhiều thời gian tính toán.

Hay kết quả đạt được ở giải thuật do Liu đề xuất [8] là sử dụng quan hệ mở cũng đạt được kết quả tương tự như kết quả trong bài báo.

Thuật toán di truyền tỏ ra là một công cụ hết sức mạnh mẽ và hữu hiệu trong việc xác định lời giải tối ưu toàn cục của bài toán và ít có khả năng rơi vào lời giải tối ưu cục bộ, đặc biệt là



khả năng giải quyết những bài toán có hàm mục tiêu không khả vi không thể giải được bằng các phương pháp tối ưu truyền thống.

## 5. KẾT LUẬN

Thuật toán di truyền được trình bày trong bài báo để giải quyết bài toán tái cấu trúc lưới điện để tổn thất trong lưới là thấp nhất, đồng thời thỏa các ràng buộc: lưới hình tia, tải không bị cô lập, cân bằng tải trên đường dây và trạm biến áp. Lưới điện sử dụng trong bài báo là lưới điện có cấu trúc cân bằng tải, chưa xét đến lưới có cấu trúc không cân bằng.

Kết quả được thử nghiệm trên lưới điện phân phối 1 nguồn, 32 nút, 37 nhánh và đã thể hiện tính hiệu quả và khả năng của GA trong việc giải các bài toán hàm một mục tiêu hay đa mục tiêu. Ưu điểm của GA chính là việc thoát khỏi hàng loạt các cực trị địa phương và tiến đến

cực trị toàn cục. Đây chính là điểm nổi bật nhất của GA so với các phương pháp giải dựa trên trí tuệ nhân tạo khác.

Thuật toán di truyền tuy có nguyên lý cơ bản hết sức trong sáng, đơn giản và dễ hiểu nhưng hoàn toàn không phải là một thuật toán dễ dàng ứng dụng cho mọi bài toán bất kỳ. Do thuật toán di truyền không giống như các phương pháp giải tích tính toán chính xác nên người mới làm quen với thuật toán di truyền và bắt đầu ứng dụng thuật toán để giải quyết các bài toán cụ thể sẽ gặp rất nhiều khó khăn trong việc lựa chọn thích hợp phương pháp mã hóa lời giải, phương pháp xác định độ phù hợp, các thông số điều khiển thuật toán (kích thước dân số, số thế hệ tối đa, xác suất lai tạo, xác suất đột biến) hay tiêu chuẩn ngừng lặp cho bài toán, ....

## RECONFIGURATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS FOR LOSS REDUCTION USING A GENETIC ALGORITHM

Ho Duc Loc

Hochiminh City University of Technology

**ABSTRACT:** *A distribution system is one of the most important parts of power systems which show a connection between power plants and loads. Each connection has an economic affection in transferring power from sources to loads. Power companies expect to find out an optimal configuration with great benefits which is the lowest power loss. This paper proposes an application of a genetic algorithm for finding out an optimal configuration which has the lowest power loss with constrains such as: unisolated loads, limited powers in lines and transformers and lowest voltage drops. The effectiveness of the proposal is confirmed through simulation results on power systems [3] as well as comparisons with other results of [1], [3], [6], [8].*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Andrew Chipperfield, P. Fleming, Hartmut Pholheim, *Genetic Algorithm Toolbox for use with Matlab*, University of Sheffield.
- [2]. Baran, M. E. and F. F. Wu, *Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing*, IEEE Transactions on Power Delivery, 4-2, April 1989, pp. 1401- 1407.
- [3]. Civanlar, S., J. J. Grainger, Y. Yin and S. S. Lee, *Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction*, IEEE Transactions on Power Delivery, 3-3, July 1988, pp. 1217-1223.
- [4]. David Montana and Talib Hussain, *Adaptive Reconfiguration of Data Networks Using Genetic Algorithms*, BBN Technologies 10 Moulton Street, Cambridge, MA 02138.
- [5]. Goswami S. K., *Distribution System Planning Using Branch Exchange Technique*, IEEE Trans. on Power System, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [6]. Koichi Nara, Atsushi Shiose, Minoru Kitagawa, *Implementation Of Genetic Algorithm For Distribution Systems Loss Minium Reconfiguration*, IEEE Transactions on Power System, Vol.7, August 1992, pp. 1044 – 1051.
- [7]. Liu W.M., Chin H.C. and Yu G.J. *An Effective Algorithm for Distribution Feeder Loss Reduction by Switching Operations*, IEEE Trasmision and Distribution Conference 1999.
- [8]. MathWorks, The: Matlab – User Guide. Natick, Mass: The MathWorks, Inc., 1994. <http://www.mathworks.com/>
- [9]. Moussa, M.El Gammal, E.N.Abdallah, A.I.Attia, *A Genetic Based Algorithm For Loss Reduction In Distribution Systems*, Alexandria University, Egypt.
- [10]. Quin Zhou, Dariush Shirmohammadi, W.-H Edwin Liu, *Distribution Feeder Reconfiguration For Service Restoration And Load Balancing*, IEEE Transactions on Power System, Vol.12, May 1997, pp. 724 – 729.
- [11]. Rubin Taleski, Dragoslav Rajjeie, *Distribution Networks Reconfiguration For Energy Loss Reduction*, IEEE Transactions on Power System, Vol.12, February 1997, pp. 398 – 405.
- [12]. Thomas E. McDermott, *A Heuristic Nonlinear Constructive Method for Electric Power Distribution System Reconfiguration*, Blacksburg, Virginia, April 23, (1998).
- [13]. Whei-Min, Lin Hong-Chan, Chin Gyne-Jong Yu, *An Effective Algorithm for Distribution Feeder Loss Reduction by Switching Operations*, IEEE Trasmision and Distribution Conference, (1999).