# NGHIÊN CỨU PHÂN BỐ TỐI ƯU CÔNG SUẤT HỆ THỐNG TRUYỀN TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN: XÉT CÁC ĐIỀU KIỆN TỔN THẤT

**Trần Trung Khánh[1], Võ Pha Ga[1], Trần Hữu Tính[1], Lê Quốc Khương[1] và Diệp Long[1]**

*[1]Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ*
*Email: ttkhanh@ctuet.edu.vn*

***Thông tin chung***
*Ngày nhận bài: 23/3/2025*
*Ngày nhận bài sửa: 13/5/2025*
*Ngày duyệt đăng: 15/5/2025*

***Từ khóa:*** *Độ tin cậy, hệ thống điện, phân bố công suất, tổn thất công suất, vận hành hệ thống điện*

**TÓM TẮT**

*Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp điện, các lĩnh vực công nghiệp, nông nghiệp và dịch vụ đang có sự tăng trưởng đáng kể. Để đảm bảo hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống điện, việc thực hiện các tính toán chính xác là yêu cầu thiết yếu, trong đó tối ưu hóa phân bổ công suất là một trong những thách thức lớn. Bài toán này đòi hỏi sự kết hợp giữa các phương pháp tính toán tiên tiến và các thuật toán tối ưu nhằm đạt được sự phân phối hợp lý nguồn điện, giảm tổn thất và nâng cao hiệu suất vận hành hệ thống. Nghiên cứu sử dụng phương pháp lặp Newton-Raphson tính toán phân bố tối ưu hóa công suất trên lưới điện truyền tải được chứng minh trên các hệ thống điện chuẩn IEEE 25 nút và mạng điện chuẩn Brazil 46 nút nhằm phân tích khả năng phát triển và tối ưu hóa lưới điện trong điều kiện có tổn thất truyền tải. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính hiệu quả cao trong việc giải bài toán phân bố công suất đối với mạng điện lớn với hàm mục tiêu đạt được nhiều điều kiện ràng buộc cân bằng và không cân bằng.*

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những yêu cầu quan trọng hàng đầu trong vận hành hệ thống điện (HTĐ) là đảm bảo tính hiệu quả kinh tế trong quá trình sản xuất, truyền tải và phân phối điện năng (Al-Hinai, 2013). Để đạt được mục tiêu này, hệ thống điện cần được vận hành sao cho chi phí tổng thể thấp nhất, đặc biệt là chi phí nhiên liệu và tổn thất công suất trong mạng lưới điện. Việc khai thác hiệu quả và tối ưu các nguồn điện nhằm điều chỉnh trào lưu công suất được truyền qua các đường dây từ các nguồn phát đến các điểm tiêu thụ – đóng vai trò then chốt trong việc vận hành hệ thống. Mục tiêu là điều chỉnh sao cho không gây quá tải cho các phần tử của hệ thống, đồng thời vẫn đảm bảo cung cấp điện ổn định và tin cậy, mà không cần mở rộng hay nâng cấp cơ sở hạ tầng hiện tại – một vấn đề đã và đang thu hút sự quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu (Lam, 2012).

Hệ thống điện bao gồm các nhà máy điện, trạm biến áp, các đường dây truyền tải và các thiết bị khác được kết nối với nhau thành hệ thống làm nhiệm vụ sản xuất, truyền tải và phân phối điện năng. Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng, việc điều chỉnh trào lưu công suất là một vấn đề mà các nhà khoa học rất quan tâm (Lam, 2012). Do đó, bài toán phân bố công suất tối ưu (Optimal Power Flow-OPF) đã được thiết lập nhằm nâng cao khả năng tận dụng hệ thống điện hiện có mà không cần phải cải tạo, nâng cấp hệ thống điện (Allaoua, 2009). Trong nghiên cứu này, nội dung sẽ áp dụng thuật toán Newton-Raphson để giải bài toán phân bố công suất tối ưu. Mạng điện chuẩn IEEE 25 nút và hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút được sử dụng để mô phỏng nhằm tìm lời giải cho bài toán phân bố công suất.

## 2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN PHÂN BỔ CÔNG SUẤT

### 2.1. Hàm chi phí của các tổ máy phát

Hàm chi phí của các nhà máy điện được biểu thị dưới dạng phương trình bậc hai đối với công suất phát:

$$C = \alpha+\beta P+\gamma P^2 \quad (1)$$

Trong đó:

$C$ là chi phí sản xuất điện năng ($/h);

$P$ là công suất máy phát (MW);

$\alpha, \beta, \gamma$ là các hệ số hồi quy, xác định từ các số liệu thống kê, theo phương pháp bình phương cực tiểu.

### 2.2. Phân bố tối ưu công suất của các tổ máy phát không xét tổn thất trong mạng điện

Xét đến tổn thất trong mạng điện thì điều kiện phân bố tối ưu công suất giữa các nhà máy là suất tăng chi phí $\varepsilon_i$ của tất cả các nhà máy bằng nhau. Điều kiện này được mô tả chi tiết trong (Hasibuan et al. 2021):

$$\varepsilon_i=\frac{dC_i}{dP_i}=\beta_i+2\gamma_i P_i=\lambda=const \quad (2)$$

Với $\varepsilon_i$ là suất tăng chi phí riêng lẻ của từng tổ máy; $\lambda$ là hệ số Lagrange, còn gọi là hệ số toàn hệ thống tại điểm cực tiểu chi phí:

$$\lambda=\frac{P_D+\sum_{i=1}^{n_g}\frac{\lambda-\beta_i}{2\lambda_i}}{\sum_{i=1}^{n_g}\frac{1}{2\lambda_i}} \quad (3)$$

Trong đó: $P_D$ là tổng phụ tải (MW).

Công suất tối ưu của mỗi tổ máy:

$$P_i=\frac{\lambda-\beta_i}{2\lambda_i} \quad (4)$$

### 2.3. Phân bố tối ưu công suất của các tổ máy phát có xét tổn thất trong mạng điện

Nếu có xét đến tổn thất trong mạng thì điều kiện phân bố tối ưu công suất là:

$$l_i\frac{dC_i}{dP_i}=\lambda=const;\ i=1,2,\ldots n_g \quad (5)$$

Hay: $l_i\varepsilon=\lambda$

Trong đó: $l_i$ là hệ số phạt của máy phát thứ $i$, được xác định bởi biểu thức:

$$l_i=\frac{1}{1-\frac{dP_L}{dP_i}} \quad (6)$$

$P_L$ là tổn thất trong mạng, xác định theo biểu thức Kuhn:

$$P_L=\sum_{i=1}^{n_g}\sum_{j=1}^{n_g}P_iB_{ij}P_j+\sum_{i=1}^{n_g}B_{0i}P_i+B_{00} \quad (7)$$

Trong đó:

$B_{ij}$ là hệ số tổn thất giữa các nút $i$ và nút $j$ còn gọi là hệ số $B$, có thể coi là không đổi trong quá trình tính toán;

$B_{0i}$ là hệ số tổn thất ứng với nút thứ $i$;

$B_{00}$ là hệ số tổn thất cố định;

$n_g$ là số máy phát cần phân bố tối ưu công suất trong tổng số n máy phát;

$P_i$, $P_j$ là công suất ứng với nút thứ $i$ và nút thứ $j$ (MW).

### 2.4. Các ràng buộc

$$P_i(|V|,\delta)-P_{gi}-P_{load\ i}=0 \quad (8)$$

$$Q_i(|V|,\delta)-Q_{gi}-Q_{load\ i}=0 \quad (9)$$

$$P_{gi\ min}\le P_{gi}\le P_{gi\ max} \quad (10)$$

$$Q_{gi\ min}\le Q_{gi}\le Q_{gi\ max} \quad (11)$$

Trong đó:

$P_i$ là công suất tác dụng truyền vào tại nút thứ $i$ (MW);

$Q_i$ là công suất phản kháng truyền vào nút tải thứ $i$ (MVAr);

$|V|, \delta$ lần lượt là điện áp (V) và góc pha;

$P_{gi}$, $Q_{gi}$ lần lượt là công suất tác dụng nguồn phát (MW) và phản kháng nguồn phát tại nút $i$ (MVAr);

$P_{gi\ min}$, $Q_{gi\ min}$ lần lượt là công suất tác dụng cực tiểu nguồn phát (MW) và phản kháng cực tiểu nguồn phát tại nút *i* (MVAr);

$P_{gi\ max}$, $Q_{gi\ max}$ lần lượt là công suất tác dụng cực đại nguồn phát (MW) và phản kháng cực đại nguồn phát tại nút *i* (MVAr);

$P_{load\ i}$, $Q_{load\ i}$ lần lượt là công suất tác dụng tải (MW) và phản kháng tải tại nút *i* (MVAr).

## 3. ÁP DỤNG THUẬT TOÁN NEWTON-RAPHSON GIẢI BÀI TOÁN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT

Về mặt toán học thì thuật toán Newton Raphson (NR) trội hơn phương pháp Gauss Seidel (Khamees, 2016). Bài toán phân bố tối ưu công suất có thể giải theo phương pháp lặp: Đầu tiên cho trước một giá trị $\lambda^{(1)}$ và xác định giá trị $P_i$ theo biểu thức (12), sau đó kiểm tra xem tổng công suất phát có bằng tổng phụ tải không:

$$\Delta P^{(1)} = P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i^{(1)} \quad (12)$$

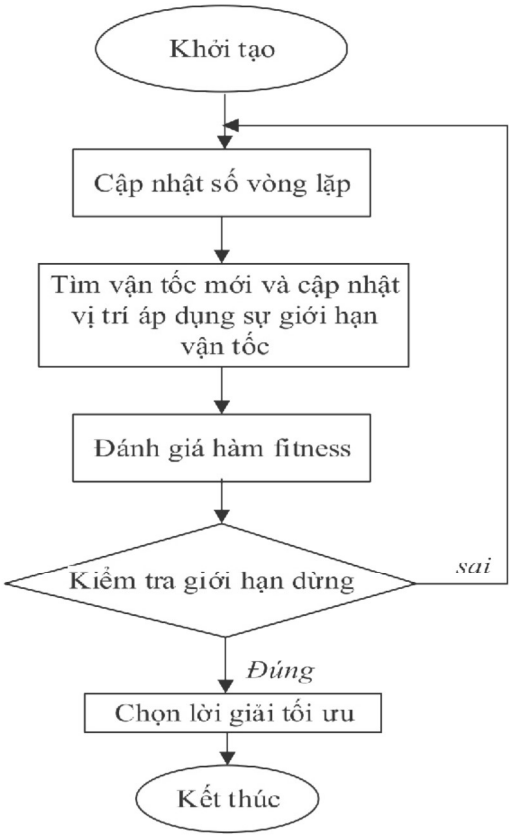
Nếu sự chênh lệch nhỏ hơn độ chính xác ấn định thì lời giải đạt yêu cầu, nếu lời giải chưa đạt yêu cầu thì tiếp tục bước tính tiếp theo là xác định sự thay đổi của hệ số $\lambda$:

$$\Delta\lambda^{(1)} = \frac{\Delta P^{(1)}}{\sum_{i=1}^{n_g} \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (13)$$

Và tính giá trị mới của $\lambda^{(2)}$ theo biểu thức:

$$\lambda^{(2)} = \lambda^{(1)} + \Delta\lambda^{(1)} \quad (14)$$

Quá trình này tiếp tục cho đến khi bài toán hội tụ, tức là sai số giữa các lần lặp nhỏ hơn giá trị định sẵn.

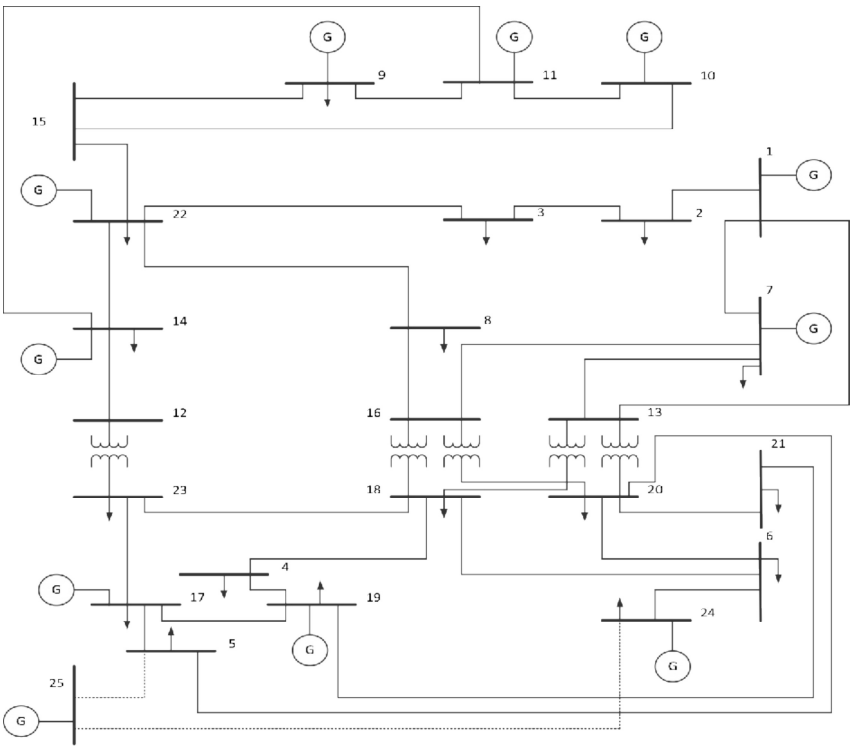



**Hình 1. Lưu đồ giải thuật của thuật toán Newton-Raphson**

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Mạng điện chuẩn IEEE 25 nút

Theo các thông số mạng điện chuẩn IEEE 25 nút và giản đồ đơn tuyến của hệ thống điện này được trình bày như Hình 2 (Sum-Im, 2006). Các thông số chi tiết về dữ liệu nút, dữ liệu đường dây, các hệ số chi phí của máy phát và các giới hạn về công suất và điện áp máy phát của hệ thống này được cập nhật trên Matpower 7.0.




**Hình 2. Sơ đồ đơn tuyến mạng điện chuẩn IEEE 25 nút**

**Bảng 1. Kết quả mô phỏng phân bố công suất mạng điện chuẩn IEEE 25 nút**

| Nhánh | Từ nút | Đến nút | Công suất từ nút thêm vào | | Công suất đến nút thêm vào | | Tổn thất công suất (I^2*Z) | Tổn thất công suất (I^2*Z) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) |
| 1 | 1 | 2 | -230,99 | 35,90 | 230,99 | -30,00 | 0,000 | 5,90 |
| 2 | 1 | 7 | -245,63 | 26,40 | 245,63 | 26,40 | -0,000 | 52,79 |
| 3 | 1 | 13 | -182,38 | 37,64 | 182,38 | -4,14 | 0,000 | 33,50 |
| 4 | 2 | 3 | -358,99 | 30,00 | 358,99 | -4,12 | 0,000 | 25,88 |
| 5 | 3 | 22 | -539,99 | 4,12 | 539,99 | 64,19 | 0,000 | 68,31 |
| 6 | 4 | 18 | 45,26 | 7,11 | -45,26 | -4,84 | -0,000 | 2,27 |
| 7 | 4 | 19 | -119,26 | -7,11 | 119,26 | 25,99 | -0,000 | 18,88 |
| 8 | 5 | 17 | 135,33 | -66,98 | -135,33 | 89,45 | -0,000 | 22,47 |
| 9 | 5 | 20 | 278,47 | 17,41 | -278,47 | 61,93 | -0,000 | 79,34 |
| 10 | 5 | 25 | -484,80 | 49,57 | 484,80 | 197,67 | 0,000 | 247,24 |
| 11 | 6 | 18 | 158,07 | 13,01 | -158,07 | 32,45 | -0,000 | 45,46 |
| 12 | 6 | 20 | 121,13 | 15,87 | -121,13 | 11,10 | 0,000 | 26,97 |

| Nhánh | Từ nút | Đến nút | Công suất từ nút thêm vào | | Công suất đến nút thêm vào | | Tổn thất công suất (I^2*Z) | Tổn thất công suất (I^2*Z) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) |
| 13 | 6 | 24 | -350,20 | -28,88 | 350,20 | 111,86 | -0,000 | 82,98 |
| 14 | 7 | 13 | 68,46 | 43,97 | -68,46 | -40,82 | 0,000 | 3,15 |
| 15 | 7 | 16 | 15,91 | 35,09 | -15,91 | -34,38 | 0,000 | 0,71 |
| 16 | 8 | 16 | -72,65 | 19,67 | 72,65 | -17,26 | -0,000 | 2,41 |
| 17 | 8 | 22 | -121,35 | -19,67 | 121,35 | 25,66 | 0,000 | 5,98 |
| 18 | 9 | 11 | -146,18 | 1,38 | 146,18 | 1,38 | 0,000 | 2,76 |
| 19 | 9 | 15 | 213,18 | 21,83 | -213,18 | -15,22 | 0,000 | 6,61 |
| 20 | 10 | 11 | 154,30 | 8,09 | -154,30 | 8,09 | 0,000 | 16,19 |
| 21 | 10 | 15 | 145,70 | 13,81 | -145,70 | 8,74 | 0,000 | 22,56 |
| 22 | 11 | 14 | 408,12 | 20,45 | -408,12 | 20,45 | 0,000 | 40,91 |
| 23 | 12 | 14 | -58,66 | -14,39 | 58,66 | 16,31 | 0,000 | 1,92 |
| 24 | 12 | 23 | 58,66 | 14,39 | -58,66 | -11,28 | 0,000 | 3,11 |
| 25 | 13 | 18 | -22,28 | 8,58 | 22,28 | -8,08 | -0,000 | 0,50 |
| 26 | 13 | 20 | -91,64 | 36,38 | 91,64 | -27,88 | 0,000 | 8,50 |
| 27 | 14 | 22 | 247,46 | 5,30 | -247,46 | 5,30 | 0,000 | 10,60 |
| 28 | 15 | 22 | 358,88 | 6,47 | -358,88 | 27,07 | 0,000 | 33,55 |
| 29 | 16 | 18 | 6,79 | 12,76 | -6,79 | -12,58 | 0,000 | 0,18 |
| 30 | 16 | 20 | -63,53 | 38,88 | 63,53 | -34,07 | 0,000 | 4,81 |
| 31 | 17 | 19 | 110,83 | 0,85 | -110,83 | 0,85 | 0,000 | 1,71 |
| 32 | 17 | 23 | 108,50 | 21,81 | -108,50 | 4,06 | 0,000 | 25,87 |
| 33 | 18 | 23 | 12,84 | -6,95 | -12,84 | 7,22 | 0,000 | 0,27 |
| 34 | 19 | 21 | 86,57 | 28,78 | -86,57 | -12,80 | 0,000 | 15,98 |
| 35 | 20 | 21 | 49,43 | -11,08 | -49,43 | 12,80 | 0,000 | 1,71 |
| 36 | 24 | 25 | -175,20 | 28,43 | 175,20 | 28,43 | 0,000 | 56,86 |
| | | | | | | **Tổng:** | **-0,000** | **978,85** |

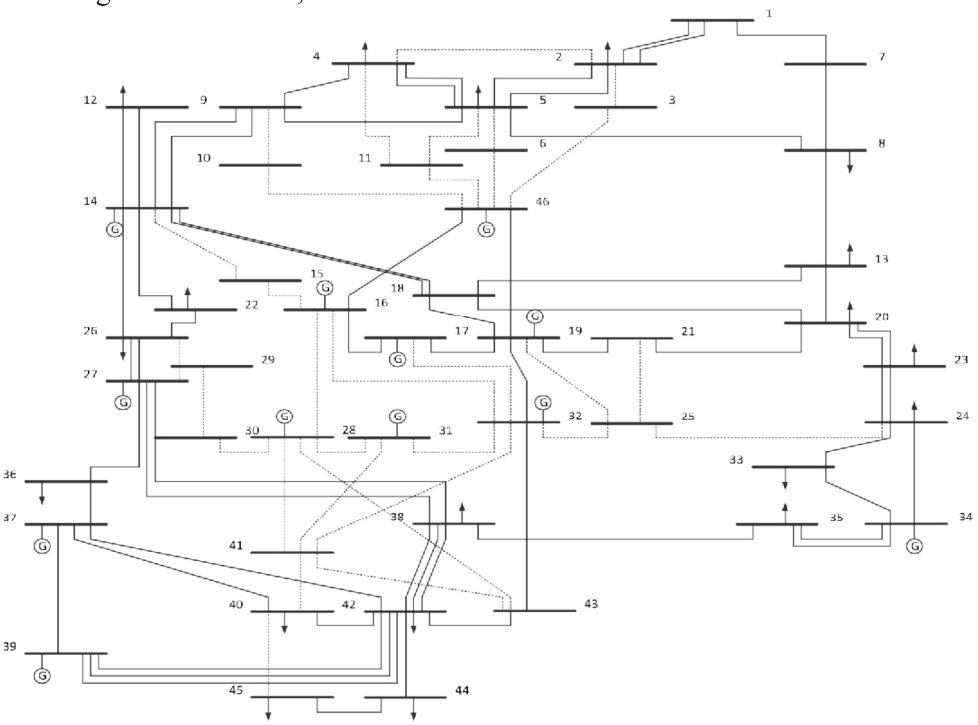
Mạng điện chuẩn IEEE 25 nút bao gồm 11 máy phát đặt tại nút **1,7, 9, 10, 11, 14, 17, 19, 22, 24, 25 và 36** đường dây truyền tải, 5 máy biến áp đặt trên các đường dây **12-23, 16-18, 16-20, 13-18 và 13-20**. Tổng công suất tác dụng tải là 2750 MW và tổng công suất phản kháng tải là 0 MVAr. Tổng tổn thất công suất tác dụng là 0 MW và tổng tổn thất công suất phản kháng tải là 978,85 MVAr. Nhánh 5-25 tổn thất công suất phản kháng lớn nhất 247,24 MVAr. Đây là các điểm ưu tiên cần bù công suất phản kháng nếu muốn giảm tổn thất và nâng cao hiệu quả vận hành.

### 4.2. Hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút

Theo các thông số mạng điện miền nam Brazil 46 nút và sơ đồ đơn tuyến của hệ thống điện này được trình bày như Hình 3 (Verma, 2010). Các thông số chi tiết về dữ liệu nút, dữ liệu đường dây, các hệ số chi phí của máy phát và các giới hạn về công suất và điện áp máy phát của hệ thống này được cập nhật trên Matpower 7.0.

Hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút bao gồm 12 máy phát đặt tại nút **14, 16, 17, 19, 27, 28, 31, 32, 34, 37, 39, 46 và 79** đường dây truyền tải. Tổng công suất tác dụng tải là 6880

MW và tổng công suất phản kháng tải là 0 MVAr. Tổng tổn thất công suất tác dụng là 0 MW và tổng tổn thất công suất phản kháng tải là 5477,68 MVAr. Nhánh 14 -15 tổn thất công suất phản kháng lớn nhất 1199,38 MVAr do khoảng cách truyền tải xa hoặc hệ số công suất thấp, vì vậy cần phải có các thiết bị bù công suất phản kháng tại các nhánh có tổn thất cao.



**Hình 3. Sơ đồ hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút**

**Bảng 2. Kết quả mô phỏng phân bố công suất hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút**

| Nhánh | Từ nút | Đến nút | Công suất từ nút thêm vào | | Công suất đến nút thêm vào | | Tổn thất công suất (I^2*Z) | Tổn thất công suất (I^2*Z) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) |
| 1 | 1 | 2 | -9,45 | -5,50 | 9,45 | 5,64 | -0,000 | 0,14 |
| 2 | 1 | 7 | 9,45 | 5,50 | -9,45 | -5,42 | -0,000 | 0,08 |
| 3 | 2 | 3 | -160,01 | -1,83 | 160,01 | 35,99 | 0,000 | 34,16 |
| 4 | 2 | 4 | -20,81 | 0,02 | 20,81 | 0,39 | 0,000 | 0,41 |
| 5 | 2 | 5 | -271,73 | -3,83 | 271,73 | 29,37 | 0,000 | 25,54 |
| 6 | 3 | 46 | -160,01 | -35,99 | 160,01 | 41,54 | 0,000 | 5,55 |
| 7 | 4 | 5 | -123,08 | -4,63 | 123,08 | 13,79 | 0,000 | 9,16 |
| 8 | 4 | 9 | -114,93 | 6,94 | 114,93 | 6,12 | 0,000 | 13,07 |
| 9 | 4 | 11 | -83,50 | -2,70 | 83,50 | 19,42 | 0,000 | 16,72 |
| 10 | 5 | 6 | -571,19 | -59,25 | 571,19 | 102,75 | 0,000 | 43,49 |
| 11 | 5 | 8 | 99,11 | 24,02 | -99,11 | -11,60 | 0,000 | 12,42 |
| 12 | 5 | 9 | -31,81 | 5,41 | 31,81 | -4,13 | 0,000 | 1,29 |

| Nhánh | Từ nút | Đến nút | Công suất từ nút thêm vào | | Công suất đến nút thêm vào | | Tổn thất công suất (I^2*Z) | Tổn thất công suất (I^2*Z) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) |
| 13 | 5 | 11 | -128,91 | -13,34 | 128,91 | 29,56 | 0,000 | 16,22 |
| 14 | 6 | 46 | -571,19 | -102,75 | 571,19 | 147,29 | 0,000 | 44,54 |
| 15 | 7 | 8 | 9,45 | 5,42 | -9,45 | -5,29 | 0,000 | 0,13 |
| 16 | 8 | 13 | 36,36 | 16,89 | -36,36 | -14,50 | 0,000 | 2,39 |
| 17 | 9 | 10 | -512,83 | -123,39 | 512,83 | 160,53 | -0,000 | 37,13 |
| 18 | 9 | 14 | 366,09 | 121,39 | -366,09 | 157,52 | 0,000 | 278,92 |
| 19 | 10 | 46 | -512,83 | -160,53 | 512,83 | 184,59 | 0,000 | 24,06 |
| 20 | 11 | 46 | -212,41 | -48,98 | 212,41 | 55,00 | 0,000 | 6,02 |
| 21 | 12 | 14 | -511,90 | 0,00 | 511,90 | 234,66 | 0,000 | 234,66 |
| 22 | 13 | 18 | -146,19 | 5,28 | 146,19 | 39,37 | 0,000 | 44,65 |
| 23 | 13 | 20 | -3,25 | 9,22 | 3,25 | -9,10 | 0,000 | 0,12 |
| 24 | 14 | 15 | -1602,09 | 800,12 | 1602,09 | 399,26 | -0,000 | 1199,38 |
| 25 | 14 | 18 | -460,27 | 221,86 | 460,27 | 173,40 | 0,000 | 395,26 |
| 26 | 14 | 22 | -223,48 | 107,56 | 223,48 | -55,89 | 0,000 | 51,67 |
| 27 | 14 | 26 | -267,97 | 117,35 | 267,97 | 20,77 | 0,000 | 138,12 |
| 28 | 15 | 16 | -1602,09 | -399,26 | 1602,09 | 800,12 | 0,000 | 400,86 |
| 29 | 16 | 17 | -225,83 | 1,99 | 225,83 | 1,99 | 0,000 | 3,98 |
| 30 | 16 | 28 | 96,01 | 1,02 | -96,01 | 1,02 | 0,000 | 2,05 |
| 31 | 16 | 32 | 82,69 | 1,06 | -82,69 | 1,06 | 0,000 | 2,13 |
| 32 | 16 | 46 | 445,04 | 20,14 | -445,04 | 20,14 | 0,000 | 40,29 |
| 33 | 17 | 19 | 637,44 | 12,40 | -637,44 | 12,40 | 0,000 | 24,80 |
| 34 | 17 | 32 | 186,73 | 4,05 | -186,73 | 4,05 | 0,000 | 8,09 |
| 35 | 18 | 19 | -735,36 | -252,72 | 735,36 | 334,28 | 0,000 | 81,56 |
| 36 | 18 | 20 | 128,90 | 39,95 | -128,90 | -0,70 | 0,000 | 39,25 |
| 37 | 19 | 21 | 764,44 | 324,32 | -764,44 | -132,62 | 0,000 | 191,70 |
| 38 | 19 | 25 | 473,45 | 195,52 | -473,45 | -110,25 | 0,000 | 85,28 |
| 39 | 19 | 32 | 22,77 | 0,05 | -22,77 | 0,05 | 0,000 | 0,10 |
| 40 | 19 | 46 | 311,41 | 10,78 | -311,41 | 10,78 | 0,000 | 21,55 |
| 41 | 20 | 21 | -1103,59 | -20,04 | 1103,59 | 200,17 | 0,000 | 180,13 |
| 42 | 20 | 23 | 138,05 | 29,84 | -138,05 | -7,85 | -0,000 | 21,99 |
| 43 | 21 | 25 | -339,15 | -67,55 | 339,15 | 91,38 | 0,000 | 23,84 |
| 44 | 22 | 26 | -305,38 | 55,89 | 305,38 | 32,37 | 0,000 | 88,26 |
| 45 | 23 | 24 | -320,05 | 7,85 | 320,05 | 90,05 | 0,000 | 97,90 |
| 46 | 24 | 25 | -603,62 | -80,26 | 603,62 | 133,30 | 0,000 | 53,04 |
| 47 | 24 | 33 | -7,56 | -4,52 | 7,56 | 4,64 | 0,000 | 0,13 |
| 48 | 24 | 34 | -187,07 | -5,27 | 187,07 | 71,28 | 0,000 | 66,01 |
| 49 | 25 | 32 | -469,32 | -114,43 | 469,32 | 197,09 | 0,000 | 82,65 |
| 50 | 26 | 27 | -299,77 | -48,24 | 299,77 | 139,11 | 0,000 | 90,86 |
| 51 | 26 | 29 | -505,48 | -4,90 | 505,48 | 168,67 | 0,000 | 163,77 |
| 52 | 27 | 29 | -36,35 | 32,22 | 36,35 | -29,87 | 0,000 | 2,35 |
| 53 | 27 | 36 | -120,31 | 23,52 | 120,31 | -9,77 | 0,000 | 13,75 |
| 54 | 27 | 38 | 76,89 | 27,83 | -76,89 | -13,92 | 0,000 | 13,91 |

| Nhánh | Từ nút | Đến nút | Công suất từ nút thêm vào | | Công suất đến nút thêm vào | | Tổn thất công suất (I^2*Z) | Tổn thất công suất (I^2*Z) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) |
| 55 | 28 | 30 | 541,82 | 199,83 | -541,82 | -180,49 | 0,000 | 19,34 |
| 56 | 28 | 31 | -152,69 | 0,62 | 152,69 | 0,62 | 0,000 | 1,24 |
| 57 | 28 | 41 | 202,80 | 72,40 | -202,80 | -56,68 | -0,000 | 15,72 |
| 58 | 28 | 43 | 304,09 | 106,02 | -304,09 | -63,91 | -0,000 | 42,11 |
| 59 | 29 | 30 | -541,82 | -138,80 | 541,82 | 180,49 | 0,000 | 41,69 |
| 60 | 31 | 32 | 271,63 | 1,70 | -271,63 | 1,70 | 0,000 | 3,39 |
| 61 | 31 | 41 | 275,68 | 90,40 | -275,68 | -67,00 | 0,000 | 23,40 |
| 62 | 32 | 41 | 208,59 | 78,48 | -208,59 | -63,13 | 0,000 | 15,35 |
| 63 | 32 | 43 | 385,91 | 137,57 | -385,91 | -85,70 | 0,000 | 51,86 |
| 64 | 33 | 34 | -236,66 | -4,64 | 236,66 | 84,53 | 0,000 | 79,89 |
| 65 | 34 | 35 | 324,27 | 76,88 | -324,27 | -22,35 | 0,000 | 54,53 |
| 66 | 35 | 38 | 108,27 | 22,35 | -108,27 | 3,09 | 0,000 | 25,44 |
| 67 | 36 | 37 | -210,41 | 9,77 | 210,41 | 38,60 | 0,000 | 48,37 |
| 68 | 37 | 39 | -346,52 | 17,03 | 346,52 | 17,03 | 0,000 | 34,06 |
| 69 | 37 | 40 | 229,80 | 60,88 | -229,80 | 11,51 | -0,000 | 72,40 |
| 70 | 37 | 42 | 206,30 | 75,93 | -206,30 | 25,80 | 0,000 | 101,73 |
| 71 | 38 | 42 | -30,84 | 10,83 | 30,84 | -9,77 | 0,000 | 1,06 |
| 72 | 39 | 42 | 253,48 | 101,71 | -253,48 | 49,73 | -0,000 | 151,43 |
| 73 | 40 | 41 | -293,97 | -71,83 | 293,97 | 84,05 | 0,000 | 12,22 |
| 74 | 40 | 42 | 164,24 | 36,78 | -164,24 | -8,59 | 0,000 | 28,18 |
| 75 | 40 | 45 | 97,43 | 23,54 | -97,43 | 0,11 | 0,000 | 23,65 |
| 76 | 41 | 43 | 393,09 | 102,76 | -393,09 | -78,77 | 0,000 | 24,00 |
| 77 | 42 | 43 | -1083,08 | -63,88 | 1083,08 | 228,38 | 0,000 | 164,50 |
| 78 | 42 | 44 | 68,37 | 6,72 | -68,37 | -0,35 | 0,000 | 6,36 |
| 79 | 44 | 45 | -10,73 | 0,35 | 10,73 | -0,11 | 0,000 | 0,24 |
| | | | | | | **Tổng:** | **-0,000** | **5477,68** |

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng hiệu quả thuật toán Newton-Raphson cho mô phỏng dòng công suất trên mạng điện lớn, điển hình là mạng điện chuẩn IEEE 25 nút và hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống đạt được sự cân bằng công suất tốt với tổn thất công suất thực trên các nhánh hầu như không đáng kể. Trên mạng điện chuẩn IEEE 25 nút, dòng công suất được phân bố tương đối đều, với tổng tổn thất công suất tác dụng bằng **0 MW** và tổn thất công suất phản kháng ở mức thấp **978,85 MVAr**, phản ánh cấu trúc đơn giản và tải phân bố hợp lý. Ngược lại, mô phỏng trên hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút, một hệ thống lớn và có cấu trúc phức tạp hơn, đã cho thấy tổng tổn thất công suất phản kháng rất lớn **5477,68 MVAr**. Đặc biệt, nhánh **14-15** có tổn thất công suất phản kháng lớn nhất **1199,38 MVAr**. Điều này phản ánh nhu cầu cấp thiết về các giải pháp bù công suất phản kháng để nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống điện. Những điểm có tổn thất cao, cụ thể nhánh **5-25** trên mạng IEEE 25 nút và **14-15** trên hệ thống điện miền Nam Brazil 46 nút, cần được ưu tiên để giảm tổn thất và cải thiện tính ổn định trên hệ thống điện.

Phương pháp Newton-Raphson thể hiện khả năng giải quyết hiệu quả các bài toán có

hàm mục tiêu phi tuyến, không khả vi và chứa nhiều biến rời rạc trong các hệ thống điện phức tạp. Tuy nhiên, kết quả tính toán phụ thuộc nhiều vào thông số đầu vào và cấu trúc mạng điện, do đó đòi hỏi quá trình thử nghiệm và kiểm tra để đảm bảo tính chính xác và ổn định của lời giải.

**Tài liệu tham khảo**

Al-Hinai, A, A Al-Badi, E A Feilat, and M Albadi. 2013. "Efficiency Enhancements of Electric Power System and Economic Analysis-Practical Case Study." Int. J. of Thermal & Environmental Engineering 5 (2), pp. 183–90.

Hasibuan, Arnawan, Robi Kurniawan, Muzamir Isa, and Mursalin Mursalin. 2021. "Economic Dispatch Analysis Using Equal Incremental Cost Method with Linear Regression Approach." Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering 1 (1), pp. 16.

Lam, Albert Y.S., Baosen Zhang, and David N. Tse. 2012. "Distributed Algorithms for Optimal Power Flow Problem." Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, pp. 430–37.

Sum-Im, T., G. A. Taylor, M. R. Irving, and Y. H. Song. 2006. "A Comparative Study of State-of-the-Art Transmission Expansion Planning Tools." 41st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2006, Conference Procedings 1:2, pp. 67–71.

Verma, A., B. K. Panigrahi, and P. R. Bijwe. 2010. "Harmony Search Algorithm for Transmission Network Expansion Planning." IET Generation, Transmission and Distribution 4 (6), pp. 663–73.

Allaoua, B, & Laoufi, A, (2009), Optimal power flow solution using ant manners for electrical network, Advances in Electrical and Computer Engineering, 9(1), pp. 34-40.

Khamees, A, K, Badra, N, & Abdelaziz, A, Y, (2016), Optimal power flow methods: A comprehensive survey, International Electrical Engineering Journal (IEEJ), 7(4), pp. 2228-2239.

## RESEARCH ON OPTIMAL POWER DISTRIBUTION IN TRANSMISSION SYSTEMS CONSIDERING LOSS CONDITIONS IN POWER SYSTEMS

**ABSTRACT**

*In the context of the rapid development of the electric power industry, the industrial, agricultural, and service sectors are experiencing significant growth. To ensure the effectiveness and reliability of the system, performing accurate preliminary calculations is an essential requirement, with power allocation optimization being one of the major challenges. This problem requires a combination of advanced computational methods and optimization algorithms to achieve a reasonable distribution of power sources, reduce losses, and improve system operation efficiency. The research employs the Newton-Raphson iterative method to calculate the optimized power distribution on transmission power grids, demonstrated on the standard IEEE 25-bus and Brazil 46-bus power systems aiming to analyze the potential of development and optimization of the power grids under conditions of transmission misses. The research results show high effectiveness in solving the power dispatch problem for large-scale power networks, with the objective function satisfying multiple balanced and unbalanced constraint conditions.*

***Keywords:*** *Power system, power distribution, power loss, power system operation, reliability*