TĂNG TỐC ĐỘ TÍNH TOÁN GIẢI TÍCH LƯỚI CHẾ ĐỘ XÁC LẬP CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÁCH BIẾN DPFM

Nguyễn Quân Nhu - Phan Thị Lan (*Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên*)

Lời giới thiệu

Ngày nay, cùng với sự phát triển như vũ bão của khoa học máy tính cũng như sự lớn mạnh không ngừng của hệ thống điện (HTĐ), việc áp dụng tin học vào hỗ trợ cho các công tác vận hành, chuẩn đoán, quy hoạch.... HTĐ đã không còn xa lạ. Trong đó giải tích lưới ở chế độ xác lập (PF – Power Flow) đóng vai trò mấu chốt. Các kết quả của bài toán này vừa được sử dụng trực tiếp để phân tích chế độ, vừa làm thông số đầu vào xác định trạng thái xuất phát cho các bài toán giải tích lưới ở các chế độ khác. Và một trong các phương pháp mà đang được các chuyên gia sử dụng và khai thác nhiều nhất là phương pháp Newton-Raphson. Với ưu điểm tốc độ hội tụ cao phương pháp Newton-Raphson đã có nhiều cải tiến đáng kể và thực sự hữu ích cho sự hội tụ của nhiều bài toán mà ở các phương pháp khác không đạt được. Một trong số đó là vấn đề tách biến trong ma trận Jacobian, phương pháp còn có tên ‘Decoupled power flow’..

1. Tính toán giải tích lưới chế độ xác lập bằng phương pháp Newton Raphson

Phương pháp Newton Raphson được kết luận bởi hệ phương trình lặp :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

Trong đó : Ma trận Jacobian $J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_3 \\ J_2 & J_4 \end{bmatrix}$

Ma trận giá trị của các đạo hàm riêng phần theo biến góc lệch điện áp hoặc modul điện áp tại bước lặp thứ k nào đó trong chuỗi lặp tìm nghiệm của bài toán.

Qua các chứng minh, ta đã có các công thức:

$$P_i = |U_i|^2 G_{ii} + \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} |U_i U_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$Q_i = -|U_i|^2 B_{ii} - \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} |U_i U_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

Và các phần tử của ma trận Jacobian được tính :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -\left|U_i U_j Y_{ij}\right| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i U_j Y_{ij}\right| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \sum \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -\left|U_i U_j Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i U_j Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) = -\sum \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_j} = \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\Rightarrow \left|U_j\right| \frac{\partial P_i}{\partial U_j} = \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i U_j Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) = -\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_i} = 2\left|U_i\right| G_{ii} + \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\Rightarrow \left|U_i\right| \frac{\partial P_i}{\partial U_i} = \left|U_i\right| \left[2\left|U_i\right| G_{ii} + \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right]$$

$$= \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2\left|U_i\right|^2 G_{ii} = P_i + \left|U_i\right|^2 G_{ii}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = -\sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\Rightarrow \left|U_j\right| \frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = -\sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i U_j Y_{ij}\right| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -2\left|U_i\right| G_{ii} - \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$\left|U_i\right| \frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = \left|U_i\right| \left[-2\left|U_i\right| B_{ii} - \sum_{j=1;\, j\neq i}^{n} \left|U_i Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right]$$

$$= -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2\left|U_i\right|^2 B_{ii} = Q_i - \left|U_i\right|^2 B_{ii}$$

Ta chọn 2 ma trận M và N như sau:

$J_1 = M = \{M_{ij}\}$; i = 1÷n; j = 1÷n với :

$$\begin{cases} M_{ij} = \dfrac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -\left|U_i U_j Y_{ij}\right| \sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) \\ M_{ii} = \sum M_{ij} \end{cases}$$

$J_2 = N = \{N_{ij}\}$; i = 1÷n; j = 1÷n với :

$$\begin{cases} N_{ij} = \dfrac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -\left|U_i U_j Y_{ij}\right| \cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i) \\ N_{ii} = -\sum N_{ij} \end{cases}$$

Vậy, với $J_2 = N'$, ta có :

$$\begin{cases} J_2[i,j] = \left|U_j\right| \dfrac{\partial P_i}{\partial U_j} = -\dfrac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -N_{ij} \\ J_2[i,i] = \left|U_i\right| \dfrac{\partial P_i}{\partial U_i} = N_{ii} + 2\left|U_i\right|^2 G_{ii} \end{cases}$$

Và $J_4 = M'$, ta có :

$$\begin{cases} J_4[i,j] = \left|U_j\right| \dfrac{\partial Q_i}{\partial U_j} = -\dfrac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = M_{ij} \\ J_4[i,i] = \left|U_i\right| \dfrac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -M_{ii} - 2\left|U_i\right|^2 B_{ii} \end{cases}$$

Như vậy, hệ phương trình lặp của chế độ được rút gọn :

$$\begin{bmatrix} M & N' \\ N & M' \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta U / \left|U\right| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} M\Delta\delta + N' \dfrac{\Delta U}{\left|U\right|} = \Delta P (1) \\ N\Delta\delta + M' \dfrac{\Delta U}{\left|U\right|} = \Delta Q (2) \end{cases}$$

Với hệ phương trình lặp của phương pháp Newton - Raphson, việc tính toán các phần tử của ma trận Jacobian rất cồng kềnh và phức tap, mặt khác sau mỗi bước lặp các phần tử này lại phải tính lại theo các kết quả của bước lặp trước, vì vậy tốc độ tính toán chậm, đòi hỏi cấn có các cải biên hợp lý.

2. Tăng tốc độ tính toán bằng phương pháp tác biến DPFM

Thực tế, trong hệ phương trình lưới của chúng ta, một nút không nối tới tất cả các nút khác trong hệ, mỗi nút chỉ nối trung bình tới khoảng 10 nút khác trong hệ thống. Vì vậy, ma trận của ta sẽ rất thưa, có nghĩa là có nhiều phần tử bằng 0 trong ma trận, tại các vị trí mà các nút không nối với nhau. Tận dụng đặc điểm này sẽ làm giảm sự cồng kềnh về mặt tính toán, mà do đó tăng tốc độ tính toán lên rất nhiều lần.

Mặt khác, phương pháp của ta thường xét cho lưới cao áp, tại đây có hiện tượng trội điện kháng trên đường dây, vì vậy X>>R nên B>>G . Với vài quy ước gần đúng :

$\cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1$; $\sin((\delta_i - \delta_j) = \delta_i - \delta_j$ (do độ lệch góc điện áp nút thường không lớn)

Ta có thể thấy :

$$M_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left|Y_{ij}\right|\sin(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$M_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left(\left|Y_{ij}\right|\sin(\gamma_{ij})\cos(\delta_{ij}) - \left|Y_{ij}\right|\cos(\gamma_{ij})\sin(\delta_{ij})\right)$$

$$M_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left(B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j) - G_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j)\right) \approx -\left|U_i U_j B_{ij}\right|$$

$$N_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left|Y_{ij}\right|\cos(\gamma_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$N_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left(\left|Y_{ij}\right|\cos(\gamma_{ij})\cos(\delta_{ij}) - \left|Y_{ij}\right|\sin(\gamma_{ij})\sin(\delta_{ij})\right)$$

$$N_{ij} = -\left|U_i U_j\right|\left(G_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j) - B_{ij}\sin(\delta_i - \delta_j)\right) \approx -\left|U_i U_j G_{ij}\right|$$

So sánh giữa trị số tuyệt đối giữa M_{ij} và N_{ij} ta dễ dàng thấy được $\left|M_{ij}\right| > \left|N_{ij}\right|$

Trở lại với phương trình lặp của hệ phương trình lưới, ta thấy rằng các phần tử của ma trận M và M' sẽ lớn hơn các phần tử tương ứng ở ma trận N, N'. Mặt khác, các quan hệ đạo hàm của công suất tác dụng với góc lệch điện áp mạnh hơn rất nhiều quan hệ với modul điện áp trong phương trình (1), nên ta thường bỏ qua thành phần tham gia bởi ma trận N'. Điều này cũng dễ thấy trong thực tế là công suất tác dụng của máy phát được điều chỉnh bởi góc lệch δ, còn modul điện áp U hầu như không ảnh hưởng đáng kể. Tương tự như vậy, quan hệ đạo hàm của công suất phản kháng Q với modul điện áp mạnh hơn rất nhiều so với góc lệch pha, điều này cũng thấy được trong thực tế bằng việc điều chỉnh điện áp nút bằng các nguồn công suất phản kháng. Vì vậy, người ta đã bỏ qua các ma trận N và N' trong ma trận Jacobian và cho các phần tử bằng 0, đây là cơ sở của phương pháp tách biến DPF:

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M' \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta U / \left|U\right| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} M\Delta\delta = \Delta P(1) \\ M'\dfrac{\Delta U}{\left|U\right|} = \Delta Q(2) \end{cases}$$

Hay còn được viết:

$$[M] = \{M_{ij}\} = \begin{cases} -\left|U_i U_j B_{ij}\right| i \neq j \\ -\left|U_i^2 B_{ii}\right| \end{cases}$$

$$[M'] = \{M'_{ij}\} = \begin{Bmatrix} -\left|U_i U_j B'_{ij}\right| i \neq j \\ -\left|U_i\right|^2 B'_{ii} \end{Bmatrix}$$

$$B_{ij} = B'_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}; B_{ii} = -\sum_{j\neq} B_{ij}; B'_{ii} = 2b_i - \sum_{j\neq i} B_{ij}$$

b_i : tổng thành phần điện kháng ngang nối với nút i.

3. Phương pháp DPFM với vấn đề trội điện trở và thấp áp nút

Từ khi phương pháp FDPFM được giới thiệu lần đầu [1] thì ứng dụng của nó đã phát triển rộng rãi. Dù vậy, trong vài trường hợp thì FDPFM cũng không hội tụ tốt. Nhiều nỗ lực nhằm mục đích thực hiện để đạt được sự hội tụ tốt hơn của FDPFM, chủ yếu nhằm vào vấn để tỷ số r/x lớn. Có nhiều vấn đề khác gây cho FDPFM hội tụ chậm, trong đó có nguyên nhân nặng tải ở nút, kết quả là thấp áp tại nút này. Trường hợp này sự hội tụ của FDPFM xấu đi.

Để nắm được vấn đề của FPDFM khi tỷ số r/x lớn, phương pháp tách biến được sử dụng với vài cải biên, nó đưa thành phần ΔP vào phương trình lặp của Q-U, để dần dần giảm quan hệ sóng đôi góc pha δ và modul điện áp U, và cải thiện sự hội tụ của phương trình lặp Q-U cả khi tỷ số r/x lớn như sau:

$$\begin{cases} \Delta P = M\Delta\delta \\ t.\Delta P + \Delta Q = M'\dfrac{\Delta U}{|U|} \end{cases}$$

$$B_{ij} = 1/(t.r_{ij} + x_{ij})$$

$$B_{ii} = -\sum_{j\neq i} B_{ij}$$

$$B'_{ij} = B_{ij} - tG_{ij}$$

$$B'_{ii} = 2(b_i - t.g_i) - \sum_{j\neq i} B'_{ij}$$

Trong đó: g_i - tổng điện dẫn ngang nối với nút i

t - tham số tự do, có thể nhận bất cứ giá trị nào từ 0 đến 1.

Thông số ΔP đưa vào được xác định là t. ΔP, với t là trị số trung bình r/x trong hệ thống điện đang xét. Nó là công thức dựa trên tính toán kinh nghiệm, phần trình bày trong bài là theo phương pháp của Monticelli [2]. Vấn đề thấp áp nút trong hệ thống được giải quyết bằng phương pháp chuẩn hoá điện áp VNM(General Voltages-Nomalization Method) [3] thông qua một máy biến áp lý tưởng giả định.

4. Kết luận

Phương pháp tách biến DPF không những đã góp phần tăng tốc độ tính toán của các bài toán giải tích lưới ở chế độ xác lập mà còn tăng tốc độ hội tụ và mở rộng phạm vi giải toán trong lớp các bài toán này. Đây là phương pháp đã và đang cần được tiếp tục nghiên cứu và khai thác.

Tóm tắt

Phương pháp tách biến đã được giới thiệu trong tạp chí chuyên ngành với những chuyên đề của IEEE và đã có những điều chỉnh hiệu quả tới hệ thống điện không chỉ ở cấp điện áp cao mà còn cả với vấn đề trội điện trở và/hoặc nặng tải dẫn tới thấp áp tại các nút này. Các kết quả kiểm tra cho thấy sự cải thiện đáng kể trong việc hội tụ của phương pháp này.

Summary

Decoupled power flow method is presented in spcialist magazine – IEEE [1]. It's not only effectively handle the system with hight buses voltages but also with high r/x ratio lines and/or heavy loading at these low buses voltages. Test result show significant improvement on the convergencel.

Tài liệu tham khảo

[1]. B.Stott and Of. Alsac (1974), "Fast decoupled power flow",IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems,pp 859-869.

[2]. A.Monticelli (1990),"Fast decoupled load flow: Hypothesis, derivation, and testing", IEEE Trans. on PWRS, vol.5, no.4,pp.1425-1431.

[3]. S.M Chan and V.Brandwạn (1986), " Zacial matrix refactorization:, IEEE Trans. on Power Systeu's", vol.1, no.1, pp 193-200.

[4]. Đỗ Xuân Khôi, Tính toán và phân tích chế độ hệ thống điện, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, t.121.

[5]. L.Wang và X.Rong Li (2000), "Robust Fast Decoupled Power Flow", IEEE,Trans. on Power Systems, Vol.15, No. 1,pp 208-215.