

# CHƯƠNG 8

## NGHIÊN CỨU TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

### 8.1. GIỚI THIỆU.

Nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ cung cấp những thông tin liên quan tới khả năng mất đồng bộ của hệ thống điện trong thời gian nhiễu loạn quan trọng, nguyên nhân là do mất nguồn phát, hoặc sự truyền dẫn đột ngột của các thiết bị hoặc chóng dờ sự thay đổi của phụ tải hoặc sự cố tạm thời. Đặc biệt vấn đề nghiên cứu này cung cấp những thay đổi về điện áp, dòng điện, công suất, tốc độ và môment của các máy trong hệ thống điện cũng như là sự thay đổi về điện áp của hệ thống và công suất trong khoảng thời gian ngay tức khắc theo sau sự nhiễu loạn. Độ ổn định của hệ thống điện là yếu tố quan trọng trong việc vạch phương thức vận hành. Để tăng độ tin cậy phải có chế độ bảo dưỡng liên tục cho các thiết bị điện, khi thiết kế hệ thống điện điều quan trọng là tính ổn định của hệ thống ở bất kỳ sự nhiễu loạn nào.

Công cụ phân tích hệ thống điện xoay chiều được dùng cho việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ có được từ đặc trưng vận hành của hệ thống điện trong suốt thời gian nhiễu loạn, sự tính toán từng bước, mô tả sự vận hành của các máy được thực hiện bằng tay. Việc sử dụng máy tính để thực hiện tất cả các phép tính cho mạng lưới của máy phát là phần mở rộng tự nhiên của việc nghiên cứu chương trình tính trào lưu công suất.

Đặc tính của hệ thống điện trong suốt thời gian quá trình quá độ có thể có được từ phương trình đặc trưng của mạng điện. Việc sử dụng các phương trình đặc trưng dưới hình thức tổng trở nút được dùng trong việc tính toán ổn định của quá trình quá độ.

Trong việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ thì việc tính toán trào lưu công suất được làm đầu tiên, để có được tình trạng của hệ thống trước sự nhiễu loạn. Trong việc tính toán này, mạng điện bao gồm hệ thống thanh góp, đường dây truyền dẫn và máy biến áp. Hơn nữa sự đặc trưng của mạng điện dùng cho việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ bao gồm: Những thành phần cấu thành mạng điện, sơ đồ mạch tương đương đối với máy điện và trở kháng tĩnh hoặc là tổng dẫn so với đất đối với phụ tải.

Vì thế sau khi tính toán trào lưu công suất, ma trận tổng trở hay tổng dẫn của mạng điện phải được hiệu chỉnh để phản ánh sự thay đổi tính đặc trưng của mạng điện.

Đường đặc tính vận hành của máy điện đồng bộ và máy điện cảm ứng được mô tả bởi hệ phương trình vi phân. Số phương trình vi phân yêu cầu cho các máy điện còn phụ thuộc vào chi tiết cần để mô tả đặc trưng của máy một cách chính xác. Hai phương trình vi phân bậc nhất cần phải có đối với sự đặc trưng đơn giản nhất của máy điện đồng bộ.

Sự phân tích tính ổn định của quá trình quá độ được thực hiện bởi sự kết hợp lời giải của các phương trình đại số mô tả mạng điện, với cách giải bằng phương pháp số của các phương trình vi phân. Việc giải các phương trình mạng điện dùng để nhận dạng hệ thống bằng cách lấy điện áp, dòng điện cửa vào hệ thống trong quá trình quá độ.

Phương pháp biến đổi Euler và Runge - Kutta được thực hiện để giải các phương trình vi phân trong việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ.

## 8.2. PHƯƠNG TRÌNH DAO ĐỘNG.

Để xác định góc chuyển dịch giữa các máy điện và hệ thống điện trong điều kiện quá độ, điều cần thiết là phải giải các phương trình vi phân mô tả chuyển động của rôto máy điện. Từ các định luật cơ học liên quan đến vật thể quay, môment tác động trên rôto của máy điện là:

$$T = \frac{W \cdot R^2}{g} \cdot \alpha \quad (8.1)$$

Trong đó: T: Tổng đại số các môment, N - m  
 $W \cdot R^2$ : Môment quán tính, N - m<sup>2</sup>  
 g: Gia tốc trọng trường = 9,8m / s<sup>2</sup>  
 a: Gia tốc góc (rad/s<sup>2</sup>)

Góc lệch độ điện  $\theta_e$  được tính từ góc lệch cơ  $q_m$  và số đôi cực P/2 đó là:

$$\theta_e = \frac{P}{2} \cdot \theta_m \quad (8.2)$$

Tần số f trong mỗi giây của chu kỳ là:

$$f = \frac{P}{2} \cdot \frac{n}{60} \quad (8.3)$$

Từ phương trình (8.2) và (8.3) góc lệch độ điện tính bằng radian là:

$$\theta_e = \frac{60 f}{n} \cdot \theta_m \quad (8.4)$$

Vị trí của góc lệch độ điện d tính bằng radian của rôto liên quan đến sự quay đồng bộ hệ trục tọa độ là:

$$d = q_e - \omega_0 t$$

Với:  $\omega_0$ : Là tốc độ đồng bộ định mức (rad/s)

t: Thời gian (s)

Lúc đó vận tốc góc hoặc độ trượt liên quan đến hệ trục tọa độ là:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta_e}{dt} - \omega_0$$

Và gia tốc góc là:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d^2\theta_e}{dt^2}$$

Để biến đổi ta lấy đạo hàm theo thời gian của phương trình (8.4) và thay thế:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{60 f}{n} \cdot \frac{d^2\theta_m}{dt^2}$$

Mà  $\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \alpha$

Sau đó thay thế vào trong phương trình (8.1), môment hữu ích là:

$$T = \frac{W \cdot R^2}{g} \cdot \frac{n}{60 f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

Đó là giải pháp để diễn tả môment trong hệ đơn vị tương đối. Môment cơ bản được định nghĩa là môment cần thiết để triển khai công suất định mức tại tốc độ định mức đó là:

$$M\ddot{\alpha} = \frac{\text{Ản v\`e c\`a ba\`i n kva} \left( \frac{555}{0,746} \right)}{2\pi \left( \frac{n}{60} \right)}$$

Mà môment cơ bản là foot - pound. Vì thế môment trong hệ đơn vị tương đối là:

$$T = \frac{\frac{W \cdot R^2}{g} \cdot \frac{2\pi}{f} \left( \frac{n}{60} \right)^2 \frac{0,746}{550}}{\text{Ản v\`e c\`a ba\`i n kva}} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \quad (8.5)$$

Hằng số quán tính H của máy điện được định nghĩa như một động năng tại tốc độ định mức trong đơn vị kw hay kva. Động năng trong foot - pound là:

$$W_a = \frac{1}{2} \cdot \frac{W \cdot R^2}{g} \cdot \omega_0^2$$

$$\text{M\`a } \omega_0 = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$$

Với: n là tốc độ định mức. Vì vậy.

$$H = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{W \cdot R^2}{g} \cdot (2\pi)^2 \left( \frac{n}{60} \right)^2 \frac{0,746}{550}}{\text{Ản v\`e c\`a ba\`i n kva}}$$

Thay thế vào trong phương trình (8.5) là:

$$T = \frac{H}{\pi \cdot f} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \quad (8.6)$$

Biểu diễn môment trên rôto của máy phát bao gồm môment cơ đưa vào từ các động cơ chính, môment do sự suy giảm tốc độ quay (do ma sát, gió, lõi thép,...), môment điện lấy ra và sự suy giảm môment do động cơ chính, máy phát và hệ thống điện. Môment điện và môment cơ tác động lên rôto của một động cơ được ký hiệu đối ngược nhau là kết quả của điện đưa vào và phụ tải cơ lấy ra. Bỏ qua sự suy giảm và hãm tốc độ quay, môment gia tốc  $T_a$  là:

$$T_a = T_m - T_e$$

Với  $T_m$ : Là môment cơ.

$T_e$ : Là môment điện của khe hở không khí.

Vậy phương trình (8.6) trở thành:

$$\frac{H}{\pi \cdot f} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (8.7)$$

Từ đó môment và công suất trong đơn vị tương đối bằng nhau đối với độ lệch nhỏ trong tốc độ, phương trình (8.7) trở thành:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\pi \cdot f}{H} \cdot (P_m - P_e)$$

Trong đó:  $P_m$ : Công suất cơ

$P_e$ : Công suất điện khe hở không khí.

Vậy phương trình vi phân bậc hai này có thể được viết như hai phương trình vi phân bậc nhất.

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi \cdot f}{H} \cdot (P_m - P_e)$$

Và 
$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta_e}{dt} - \omega_0 \tag{8.8}$$

Từ đó tốc độ đồng bộ định mức tính bằng radian trong mỗi giây là 2pf, phương trình (8.8) trở thành.

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi \cdot f$$

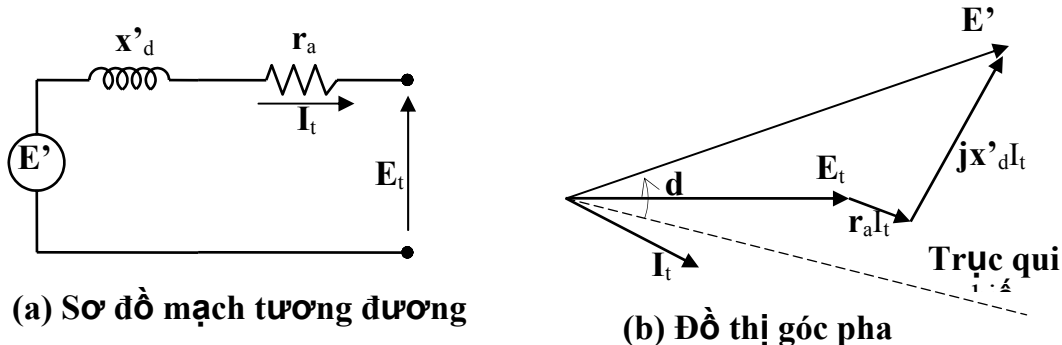
### 8.3. PHƯƠNG TRÌNH MÁY ĐIỆN.

#### 8.3.1. Máy điện đồng bộ.

Trong việc nghiên cứu ổn định của quá trình quá độ, đặc biệt chỉ phân tích những vấn đề liên quan đó trong khoảng thời gian ngắn vào khoảng thời gian 1 giây hoặc nhỏ hơn, máy điện đồng bộ có thể được mô tả bằng nguồn áp sau điện kháng quá độ có độ lớn không đổi, dù có sự thay đổi về vị trí góc. Sự biểu diễn này bỏ qua ảnh hưởng của sự lồi lõm và giả thiết từ thông móc vòng không đổi và sự thay đổi nhỏ về tốc độ. Điện áp sau điện kháng quá độ được xác định từ.

$$E' = E_t + r_a \cdot I_t + jx'_d \cdot I_t$$

- Với:
- $E'$ : Là điện áp sau kháng điện quá độ
  - $E_t$ : Là điện áp ở đầu cực máy điện.
  - $I_t$ : Là dòng điện ở đầu cực máy điện.
  - $r_a$ : Là điện trở phản ứng.
  - $x'_d$ : Là điện kháng quá độ.



Hình 8.1 : Sự biểu diễn của máy điện đồng bộ.

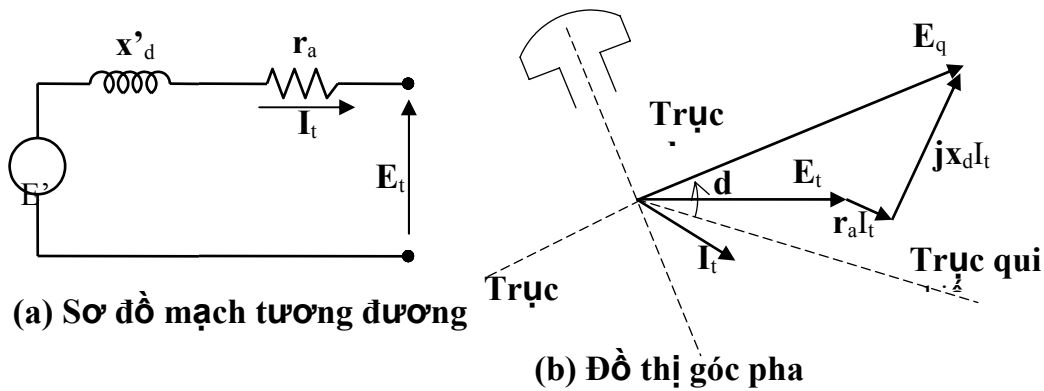
Sự biểu diễn của máy điện đồng bộ được sử dụng để giải quyết mạng điện và tương ứng đồ thị góc pha được biểu diễn như hình 8.1

Sự lồi lõm và sự biến thiên của từ thông móc vòng có thể được đưa vào tính toán bằng việc biểu diễn những ảnh hưởng của đại lượng xoay chiều 3 pha của máy điện đồng bộ do tác động của các thành phần dọc trục và ngang trục. Dọc trục là dọc theo đường trục của cực máy và ngang trục là sớm pha hơn dọc trục 90<sup>0</sup> điện. Vị trí của trục ngang có thể được xác định bởi sự tính toán điện áp giả thiết đặt lên trục này. Đây là điện áp sau điện kháng đồng bộ ngang trục và được xác định.

$$E_q = E_t + r_a I_t + jx_q I_t$$

- Với:
- $E_q$ : Là điện áp sau kháng điện đồng bộ ngang trục.
  - $x_q$ : Là điện kháng đồng bộ ngang trục

Những đặc trưng đó của máy điện đồng bộ sử dụng cho cách giải tích mạng điện và đồ thị góc pha tương ứng được trình bày trên hình 8.2



Hình 8.2 : Sự biểu diễn của máy điện đồng bộ

Từ thông hình sin sinh ra bởi dòng điện kích từ tác động dọc trục. Điện áp cảm ứng sinh ra bởi dòng kích từ chậm trễ sau từ thông này  $90^\circ$  vì thế gọi là điện áp ngang trục. Điện áp này có thể được xác định bằng cách cộng điện áp trên cực  $E_t$ , điện áp rơi trên điện trở phần ứng và điện áp rơi đặc trưng ảnh hưởng của sự khử từ dọc trục và ngang trục. Lúc đó bỏ qua ảnh hưởng của sự bão hòa.

$$E_T = E_t + r_a I_t + jx_d I_d + jx_q I_q$$

Trong đó:  $E_T$ : Là điện áp tương ứng với dòng điện kích từ.

$x_d$ : Là điện kháng đồng bộ dọc trục

$x_q$ : Là điện kháng đồng bộ ngang trục

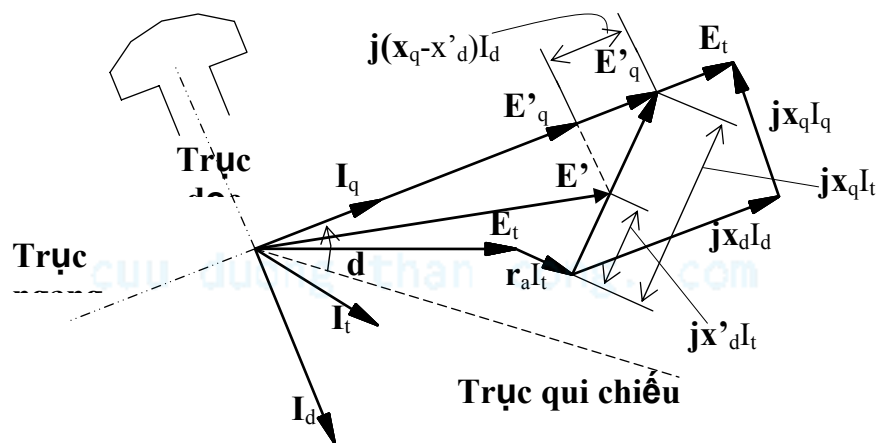
$I_d$ : Là thành phần dọc trục của dòng điện ở cực máy

$I_q$ : Là thành phần ngang trục của dòng điện ở cực máy.

Đồ thị góc pha biểu diễn  $E_T$  cũng như điện áp sau điện kháng quá độ được trình bày trên hình 8.3

Thành phần ngang trục của điện áp sau điện kháng quá độ từ đồ thị góc pha là:

$$E'_q = E_q - j(x_q - x'_d)I_d$$



Hình 8.3 : Đồ thị góc pha để xác định thành phần ngang trục của điện áp sau điện kháng quá độ

Mà  $E'_q$  là điện áp tỷ lệ với từ thông móc vòng kết quả này từ sự kết hợp ảnh hưởng của từ trường và dòng điện phản ứng. Từ đó từ thông móc vòng sẽ không thay đổi một cách tức thời theo sau sự nhiễu loạn,  $E'_q$  cũng không thay đổi một cách tức thời. Tốc độ thay

đổi của  $E'_q$  dọc theo trục ngang tùy thuộc vào điện áp kích từ được điều khiển bởi bộ điều chỉnh và bộ kích từ, điện áp tỷ lệ với dòng điện kích từ và hằng số thời gian mạch hở của quá trình quá độ dọc trục được cho bởi:

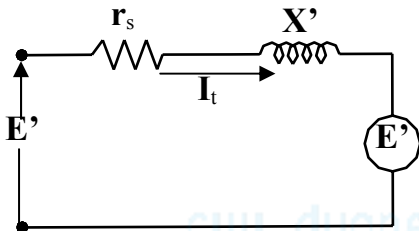
$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{d0}} (E_{fd} - E_T)$$

Với  $E_{fd}$ : Là số hạng đặc trưng cho điện áp kích từ tác động dọc theo trục ngang.

$T'_{d0}$ : Là hằng số thời gian mạch hở dọc trục của quá trình quá độ.

### 8.3.2. Máy điện cảm ứng.

Việc nghiên cứu tính ổn định quá trình quá độ của phụ tải trong hệ thống điện, gồm các động cơ cảm ứng, thông thường có thể đặc trưng một cách thích hợp bởi các tổng trở mạch rẽ. Tuy nhiên trong việc nghiên cứu phụ tải sự liên quan của các động cơ cảm ứng lớn, là điều cần thiết để đặc trưng các động cơ cảm ứng một cách chi tiết. Động cơ cảm ứng được sử dụng rộng rãi trong quá trình công nghiệp và có thể có những ảnh hưởng quan trọng trong đặc trưng quá trình quá độ của hệ thống điện.



Hình 8.4 : Đặc trưng đơn giản hóa máy điện cảm ứng

Một đặc trưng tuyến tính hợp lý của máy điện cảm ứng có thể thu được bằng cách đưa vào tính toán ảnh hưởng của quá trình quá độ cơ và quá trình quá độ điện từ của rôto. Ảnh hưởng của quá trình quá độ điện từ stato trong hệ thống luôn được bỏ qua. Sơ đồ mạch tương đương biểu diễn trong hình 8.4 được sử dụng để biểu diễn cách thức quá trình quá độ của một động cơ cảm ứng bao gồm ảnh hưởng của quá trình quá độ cơ điện của rôto. Với hằng số thời gian riêng không đổi.

Phương trình vi phân mô tả mức thay đổi của điện áp sau điện kháng quá độ  $X'$  là :

$$\frac{dE}{dt} = -j2\pi f s E - \frac{1}{T_0} \{ E - j(X - X') I_t \}$$

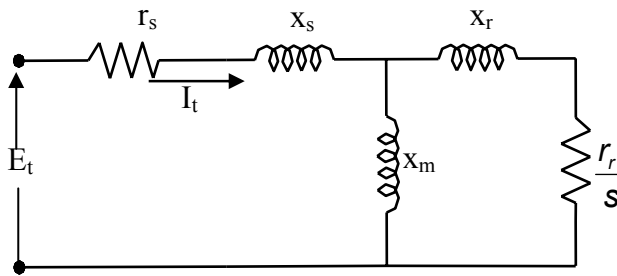
Mà hằng số thời gian mạch hở rôto  $T_0$  tính bằng giây là:

$$T_0 = \frac{X_r + X_m}{2\pi f r_r}$$

Và dòng điện tại đầu cực là:

$$I_t = (E_t - E') \frac{1}{r_s + jX'}$$

Điện kháng  $X$  và  $X'$  có thể thu được từ trạng thái ổn định thông thường mạch tương đương của máy điện cảm ứng như trên hình (8.5) .



**Hình 8.5 :** Sơ đồ mạch tương đương của máy điện cảm ứng ở trạng thái ổn định

Với:  $r_s$ : Là điện trở của stato trong đơn vị tương đối.

$x_s$ : Là điện kháng của stato trong đơn vị tương đối

$r_r$ : Là điện trở của stato trong đơn vị tương đối.

$x_r$ : Là điện kháng của rôto trong đơn vị tương đối.

$x_m$ : Là điện kháng từ hóa trong đơn vị tương đối.

$s$ : Là hệ số trượt của rôto trong đơn vị tương đối

Điện trở và điện kháng đều cùng công suất cơ bản. Tỷ số điện áp cơ bản của stato và rôto bằng với tỷ số điện áp mạch hở lúc dừng. Hệ số trượt lúc dừng là:

$$s = \frac{\text{Tăúc âăü âăông băü} - \text{tăúc âăü thăuc}}{\text{Tăúc âăü âăông băü}}$$

Khi điện trở của rôto  $r_r$  nhỏ hơn so với điện kháng  $X_r$  thì trong tính toán của  $X$  và  $X'$  có thể bỏ qua. Từ mạch tương đương của trạng thái ổn định, thì điện kháng của mạch hở xấp xỉ là:

$$X = x_s + x_m$$

Điện kháng của khối rôto xấp xỉ là:

$$X' = x_s + \frac{x_r \cdot x_m}{x_m + x_r}$$

## 8.4. PHƯƠNG TRÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN.

### 8.4.1. Đặc trưng của phụ tải.

Phụ tải của hệ thống điện đúng hơn là các động cơ được đặc trưng bởi các mạch tương đương, để xử lý trong thời gian quá trình quá độ. Những đặc trưng được sử dụng thông thường là trở kháng tĩnh hoặc là tổng dẫn đối với đất, dòng điện không đổi tại hệ số công suất xác định, công suất tác dụng và phản kháng không đổi hay là sự kết hợp của những đặc trưng này.

Phụ tải không đổi bằng công suất tác dụng và phản kháng cho trước tại nút phụ tải hoặc là tỷ lệ phần trăm của những giá trị đã định rõ trong trường hợp biểu diễn kết hợp. Các thông số đó kết hợp với trở kháng tĩnh và dòng điện không đổi có được từ nút phụ tải cho trước và nút điện áp tính toán từ cách giải trào lưu công suất đối với hệ thống trước sự nhiễu loạn. Giá trị đầu của dòng điện đối với sự biểu diễn của dòng điện không đổi có được từ:



$$I_{p0} = \frac{P_{Lp} - jQ_{Lp}}{E_p^*}$$

Với:  $P_{Lp}$  và  $Q_{Lp}$  là phụ tải của nút đã cho trước và  $E_p$  điện áp của nút đã được tính toán, dòng điện  $I_{p0}$  chảy từ nút  $p$  đến đất, đó là nút 0. Độ lớn và hệ số góc công suất của  $I_{p0}$  vẫn giữ không đổi.

Tổng dẫn tĩnh  $y_{p0}$  sử dụng để biểu diễn phụ tải tại nút  $p$ , có thể có được từ :

$$(E_p - E_0) y_{p0} = I_{p0}$$

Trong đó:  $E_p$  là điện áp nút đã tính toán và  $E_0$  là điện áp tại mặt đất bằng 0.

Vì thế.

$$y_{p0} = \frac{I_{p0}}{E_p} \quad (8.9)$$

Nhân cả hai số, số chia và số bị chia của phương trình (8.9) bởi  $E_p$  và tách biệt phần thực và phần ảo.

$$g_{p0} = \frac{P_{Lp}}{e_p^2 + f_p^2} \quad \text{và} \quad b_{p0} = \frac{Q_{Lp}}{e_p^2 + f_p^2}$$

Mà  $y_{p0} = g_{p0} - jb_{p0}$

#### 8.4.2. Phương trình đặc trưng của mạng điện.

Phương trình đặc trưng của mạng điện sử dụng cho việc tính toán trào lưu công suất của mạng điện, có thể được ứng dụng để mô tả đặc trưng của mạng điện trong khoảng thời gian quá trình quá độ. Sử dụng ma trận tổng trở nút với đất như hệ quy chiếu, phương trình điện áp cho nút  $p$  là:

$$E_p = \frac{(P_p - jQ_p) L_p}{E_p^*} - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n Y_{pq} \cdot E_q \quad (8.10)$$

Số hạng  $(P_p - jQ_p) / E_p^*$  trong phương trình (8.10) đặc trưng cho dòng điện phụ tải tại nút  $p$ . Đối với sự biểu diễn của dòng điện phụ tải không đổi.

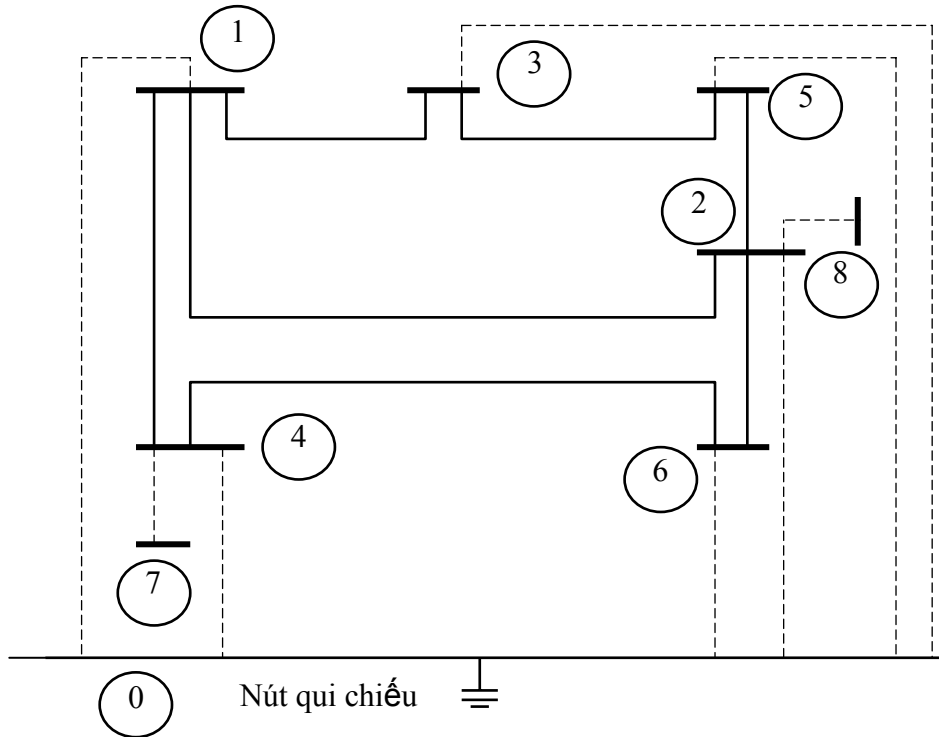
$$\frac{P_p - jQ_p}{(E_p^k)^*} = |I_{p0}| / (\theta_p^k + \theta_p)$$

Với:  $\phi_p$  là hệ số góc công suất và  $\phi_p^k$  là góc lệch điện áp liên quan đến trục tọa độ. Khi công suất không đổi được dùng để đặc trưng cho phụ tải  $(P_p - jQ_p) L_p$  sẽ là hằng số nhưng điện áp nút  $E_p$  sẽ thay đổi theo mỗi phép lặp. Khi phụ tải tại nút  $p$  được đặc trưng bởi tổng dẫn tĩnh đối với đất thì dòng điện tác động tại nút  $p$  bằng 0 vì thế.

$$\frac{(P_p - jQ_p) L_p}{E_p^*} = 0$$

Trong việc sử dụng phương trình (8.10) để mô tả đặc trưng của mạng điện đối với việc phân tích quá trình quá độ thì các thông số phải được hiệu chỉnh bao gồm ảnh hưởng của các phần tử tương đương cần đặc trưng tính đồng bộ máy điện cảm ứng và phụ tải. Thông số đường dây  $Y_{Lpq}$  phải được hiệu chỉnh đối với phần tử mới và thông số đường dây thêm vào phải được tính toán cho mỗi phần tử mạng điện mới. Hệ thống trình bày trên hình 8.6 mà nó cũng được sử dụng để minh họa kỹ thuật giải quyết trào lưu công suất.





—————Phần tử mạng điện      - - - - - Các phần tử đặc trưng máy điện và phụ tải

**Hình 8.6 :** Sơ đồ hệ thống công suất đối với việc phân tích quá trình quá độ

Đặc trưng tất cả phụ tải như tổng dẫn tĩnh đối với đất, phương trình điện áp cho nút 1 là:

$$E_1 = -Y \cdot L_{12} \cdot E_2 - Y \cdot L_{13} \cdot E_3 - Y \cdot L_{14} \cdot E_4 - Y \cdot L_{10} \cdot E_0$$

Với:  $Y \cdot L_{12} = Y_{12} \cdot L_1$   
 $Y \cdot L_{13} = Y_{13} \cdot L_1$   
 $Y \cdot L_{14} = Y_{14} \cdot L_1$

Các phần tử  $Y_{12}$ ,  $Y_{13}$  và  $Y_{14}$  từ ma trận tổng dẫn nút của mạng điện là giống như trong sự biểu diễn trào lưu công suất. Tuy nhiên,

$$L_1 = \frac{1}{Y_{11}}$$

Với  $Y_{11} = y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{10}$

Bao gồm sự biểu diễn tổng dẫn tĩnh phụ tải. Từ đó  $E_0$  bằng 0, thông số đường dây  $Y L_{10}$  không có trong việc tính toán, phương trình điện áp cho nút 2 là:

$$E_2 = -Y \cdot L_{21} \cdot E_1 - Y \cdot L_{25} \cdot E_5 - Y \cdot L_{26} \cdot E_6 - Y \cdot L_{28} \cdot E_8$$

Với nút 8 là nút mới. Trong trường hợp này phần tử tổng dẫn đường chéo đối với nút 2 là:

$$Y_{22} = y_{21} + y_{25} + y_{26} + y_{20} + y_{28}$$

Với  $y_{20}$  là tổng dẫn tĩnh biểu diễn phụ tải,  $y_{28}$  là tổng dẫn tương đương của máy. Công thức đối với phép lặp Gauss - Seidel của mạng điện trình bày trên hình 8.6 là:

$$E_1^{k+1} = -Y \cdot L_{12} \cdot E_2^k - Y \cdot L_{13} \cdot E_3^k - Y \cdot L_{14} \cdot E_4^k$$

$$E_2^{k+1} = -Y \cdot L_{21} \cdot E_1^{k+1} - Y \cdot L_{25} \cdot E_5^k - Y \cdot L_{26} \cdot E_6^k - Y \cdot L_{28} \cdot E_8^k$$

$$E_3^{k+1} = -Y \cdot L_{31} \cdot E_1^{k+1} - Y \cdot L_{35} \cdot E_5^k$$

$$\begin{aligned} E_4^{k+1} &= -Y \cdot L_{41} \cdot E_4^{k+1} - Y \cdot L_{46} \cdot E_6^k - Y \cdot L_{47} \cdot E_7 \\ E_5^{k+1} &= -Y \cdot L_{52} \cdot E_2^{k+1} - Y \cdot L_{53} \cdot E_3^{k+1} \\ E_6^{k+1} &= -Y \cdot L_{62} \cdot E_2^{k+1} - Y \cdot L_{64} \cdot E_4^{k+1} \end{aligned}$$

Điện áp của nút đầu tiên thu được từ cách giải trào lưu công suất trước sự nhiễu loạn. Điện áp đầu tiên đối với nút thứ 7 và 8 có được từ mạch tương đương biểu diễn máy điện. Điện áp đối với những nút tiếp theo được tính từ phương trình vi phân mô tả đặc trưng của máy điện.

Trong quá trình tính toán thì độ lớn và góc lệch pha của điện áp nút sau tổng dẫn tương đương của máy điện được giữ không đổi. Nếu sự cố 3 pha thì được mô phỏng bằng cách đặt điện áp tại nút sự cố bằng 0 và giữ không đổi.

Nếu ma trận trở kháng nút được sử dụng đối với việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ, thì mặt đất được xem như một điểm quy chiếu, bởi vì tất cả điện áp nút của mạng điện ngoại trừ nút sự cố thay đổi trong suốt thời gian quá trình quá độ. Để khỏi cần hiệu chỉnh ma trận trở kháng nút đối với sự thay đổi nút qui chiếu, mặt đất cũng được sử dụng như một nút quy chiếu trong việc tính toán trào lưu công suất.

Khi đất được sử dụng như một nút qui chiếu đối với việc tính toán trào lưu công suất và phụ tải được đặc trưng như nguồn dòng thì ma trận trở kháng nút chỉ gồm tụ điện, bộ điện kháng và các phần tử của đường dây đối với đất. Trong trường hợp này ma trận trở kháng nút rơi vào điều kiện xấu và tính hội tụ của cách giải đó không đạt được. Trong cách dẫn dắt khác nếu các phụ tải được đặc trưng chỉ như trở kháng để cải thiện đặc tính hội tụ thì những trở kháng này và ma trận trở kháng nút sẽ được hiệu chỉnh trong phép giải lặp đối với sự thay đổi điện áp nút. Để khắc phục khó khăn này chỉ một phần của mỗi phụ tải được đặc trưng như một trở kháng đối với đất. Phần còn lại của phụ tải có thể được đặc trưng như nguồn dòng mà nguồn dòng đó thay đổi cùng với điện áp nút để sao cho tổng dòng điện nút phải thỏa mãn với công suất của phụ tải đã xác định.

Sau khi cách giải trào lưu công suất có được thì ma trận trở kháng phải được hiệu chỉnh bao gồm các phần tử mới của mạng điện, biểu diễn máy điện và tính toán đối với những thay đổi trong sự đặc trưng của phụ tải. Mỗi đặc trưng của máy điện là một nhánh đối với nút mới, và mỗi sự biểu diễn của phần tử phụ tải thay đổi là cộng thêm một nhánh bù cây đối với đất.

Công thức lặp đối với đặc tính của mạng điện trong suốt thời gian quá độ sử dụng đất như hệ quy chiếu là:

$$E_p^{k+1} = \sum_{q=1}^{n+m} (Z_{pq} \cdot I_q) \quad p=1, 2, \dots, n; \quad p \neq f$$

Với n là số nút của mạng điện, m là số nút sau trở kháng tương đương của máy điện và f là nút sự cố. Vector dòng điện  $I_q$  được bao gồm dòng điện phụ tải hoặc là dòng điện không đổi hoặc là công suất không đổi và dòng điện có được từ sơ đồ mạch tương đương của máy điện.

Trong sự ứng dụng của ma trận trở kháng nút chỉ những hàng và cột đó phù hợp với máy điện, công suất không đổi, nguồn dòng không đổi cần được giữ lại đối với cách giải mạng điện. Tất cả các hàng và cột phải được duy trì lại, tuy nhiên nếu điện áp của hệ thống và luôn công suất được đòi hỏi trong việc tính toán quá trình quá độ.

Những phương pháp đã mô tả sử dụng ma trận trở kháng và tổng dẫn nút và việc biểu diễn mỗi máy như một điện áp sau trở kháng của máy là một sự ứng dụng của định lý Thevenin's. Một hệ thống xoay chiều đặc trưng cho máy điện như nguồn dòng giữa nút

đầu cực máy với đất và nối song song với trở kháng của máy. Đây là sự ứng dụng của định lý Norton's. Điều này loại bỏ yêu cầu để thiết lập nút phụ sau trở kháng của mỗi máy. Dòng điện của máy được tính toán bằng cách sử dụng điện áp bên trong máy và trở kháng của máy. Dòng điện này được giữ không đổi trong cách giải lập của mạng điện.

## 8.5. KỸ THUẬT GIẢI QUYẾT.

### 8.5.1. Tính toán mở đầu.

Bước đầu tiên của việc nghiên cứu tính ổn định của quá trình quá độ là tính toán trào lưu công suất để có được điều kiện của hệ thống trước sự nhiễu loạn. Sau đó dữ liệu của hệ thống phải được hiệu chỉnh để phù hợp với đặc trưng mong muốn đối với sự phân tích quá trình quá độ. Hơn nữa dòng điện của máy điện trước sự nhiễu loạn được tính toán từ:

$$I_{ti} = \frac{P_{ti} - jQ_{ti}}{E_{ti}^*} \quad i=1, 2, \dots, m$$

Với  $m$  là số máy  $P_{ti}$  và  $Q_{ti}$  là công suất được cho trong lịch trình hoặc tính toán công suất tác dụng và phản kháng trên cực máy. Công suất tính toán cho máy tại nút dễ bị ảnh hưởng và điện áp các nút có được từ lời giải trào lưu công suất ban đầu. Cuối cùng điện áp sau trở kháng của máy phải được tính lại.

Khi máy điện thứ  $i$  được đặc trưng bởi nguồn áp sau điện kháng quá độ có độ lớn không đổi thì điện áp có được từ:

$$E'_{i(0)} = E_{ti} + r_{ai} \cdot I_{ti} + jx'_{di} \cdot I_{ti}$$

Với  $E'_{i(0)} = e'_{i(0)} + j f'_{i(0)}$

Và  $E'_{i(0)}$  là giá trị ban đầu sử dụng trong lời giải của phương trình vi phân, góc lệch điện áp ở đầu cực lúc đầu là:

$$\delta_{i(0)} = \tan^{-1} \left( \frac{f'_{i(0)}}{e'_{i(0)}} \right)$$

Tốc độ ban đầu  $w_{i(0)}$  tính bằng radian trong mỗi giây là  $2\pi f$ , mà  $f$  là tần số trong mỗi giây của chu kỳ. Công suất cơ đầu tiên đưa vào  $P_{mi(0)}$  bằng với công suất điện khe hở không khí  $P_{ei}$  trước sự nhiễu loạn có thể thu được từ:

$$P_{ei} = P_{ti} + |I_{ti}|^2 \cdot r_{ai}$$

Với  $|I_{ti}|^2 \cdot r_{ai}$  biểu thị cho tổn thất của stato.

Khi ảnh hưởng của chỗ lồi lõm và sự thay đổi của từ thông móc vòng được đưa vào tính toán thì điện áp sau kháng điện đồng bộ ngang trục được sử dụng để mô tả máy điện. Điện áp này được tính toán từ:

$$E_{qi} = E_{ti} + r_{ai} \cdot I_{ti} + jx_{qi} \cdot I_{ti}$$

Mà  $E_{qi} = e_{qi} + j f_{qi}$

Khi đó góc lệch điện áp ở đầu cực máy lúc đầu là:

$$\delta_{i(0)} = \tan^{-1} \left( \frac{f_{qi}}{e_{qi}} \right)$$

Khi biểu diễn một cách đơn giản hóa thì tốc độ ban đầu bằng  $2\pi f$  và công suất cơ ban đầu bằng công suất điện khe hở không khí  $P_{ei}$ .

Sự tính toán điện áp tỷ lệ với dòng kích từ  $E_{ti}$  và điện áp tỷ lệ với từ thông móc vòng  $E'_{qi(0)}$  cũng yêu cầu đối với sự biến đổi này. Điện áp này có được từ:

$$E_{Ti} = E_{ti} + r_{ai} \cdot I_{ti} + jX_{di} \cdot I_{di} + jX_{qi} \cdot I_{ti}$$

Và  $E'_{qi(0)} = E_{qi} - (X_{qi} - X'_{di})I_{di}$

Với  $E'_{qi(0)}$  là giá trị ban đầu sử dụng trong lời giải của phương trình vi phân, cuối cùng điện áp kích từ ban đầu  $E_{r di(0)}$  bằng với  $E_{Ti}$  nếu bỏ qua sự bão hòa.

Bước tiếp theo là thay đổi các thông số của hệ thống để mô phỏng sự nhiễu loạn. Việc cắt bỏ các phần tử thích hợp của mạng điện có thể ảnh hưởng đến tồn thất của sự phát điện, phụ tải và thiết bị truyền dẫn. Một sự cố 3 pha có thể được mô phỏng bằng cách đặt điện áp tại nút sự cố bằng 0. Sau đó các phương trình của mạng điện đã hiệu chỉnh được giải quyết để có được trạng thái của hệ thống tại một thời điểm tức thời sau khi xảy ra sự nhiễu loạn.

Các phương pháp kỹ thuật đối với cách giải trào lưu công suất có thể được sử dụng để có được điện áp nút mới đối với mạng điện. Tuy nhiên trong lời giải lặp thì thanh góp sau điện kháng của máy phải được xử lý khác nhau tùy thuộc vào đặc trưng của máy. Khi máy điện được đặc trưng bởi nguồn áp có độ lớn không đổi sau điện kháng quá độ thì điện áp của nút bên trong máy được giữ cố định trong toàn bộ quá trình một lần lặp. Khi máy điện được đặc trưng bởi thành phần dọc và ngang trục, thì điện áp của nút bên trong máy được giữ cố định trong một lần lặp. Tuy nhiên ở giai đoạn cuối của mỗi phép lặp điện áp phải được tính lại để phản ánh sự thay đổi điện áp ở cực máy  $E_{ti}$ . Lúc đầu điện áp mới đối với thanh góp bên trong có được bằng cách tính toán dòng điện ở cực máy mới từ:

$$I_{ti}^{k+1} = (E_{qi}^k - E_{ti}^{k+1}) \frac{1}{r_{ai} + jX_{qi}}$$

Sau đó thành phần mới của dòng điện dọc theo trục dọc được xác định. Cuối cùng điện áp sau điện kháng đồng bộ ngang trục được tính từ:

$$E_{qi}^{k+1} = E'_{qi(0)} + (X_{qi} - X'_{di}) I_{di}^{k+1}$$

Với  $E'_{qi(0)}$  và  $d_{i(0)}$  góc lệch của  $E_{qi}$  được giữ cố định.

Khi lời giải mạng điện đã đạt được thì dòng điện ở cực máy trở thành giá trị ban đầu đối với cách giải các phương trình vi phân. Phương trình này được sử dụng để tính toán công suất khe hở không khí ban đầu của máy.

$$P_{ei(0)} = \text{Re}(I_{ti(0)} \cdot E_{i(0)}^*)$$

Khi độ lớn của điện áp sau kháng điện quá độ được giữ cố định hoặc từ:

$$P_{ei(0)} = \text{Re}(I_{ti(0)} \cdot E_{qi(0)}^*)$$

Khi ảnh hưởng của những chỗ lồi lõm và sự thay đổi từ thông móc vòng được đưa vào tính toán. Điện áp ban đầu  $E_{qi(0)}$  có được cũng từ cách giải của mạng điện tại thời điểm tức thời sau sự nhiễu loạn.

### 8.5.2. Phương pháp biến đổi Euler

Khi máy điện được đặc trưng bằng nguồn áp có độ lớn không đổi sau điện kháng quá độ thì nó cần thiết cho việc giải 2 phương trình vi phân bậc nhất để thu được sự biến thiên góc lệch điện áp bên trong  $d_i$ , và tốc độ máy  $w_i$ . Thật vậy đối với  $m$  máy mà tất cả các máy được đặc trưng một cách đơn giản hóa thì cần giải  $2m$  phương trình cùng một lúc là điều cần thiết. Những phương trình đó là:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_{i(t)} - 2\pi f \tag{8.11}$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei(t)}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Nếu không có tác động của bộ điều chỉnh thì  $P_{mi}$  vẫn không đổi và:

$$P_{mi} = P_{mi(0)}$$

Trong việc áp dụng phương pháp biến đổi Euler, phương pháp ước tính ban đầu của góc lệch điện áp bên trong và tốc độ máy tại thời điểm  $(t + \Delta t)$  có được từ:

$$\delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)} = \delta_{i(t)}^{(1)} + \left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{(t)} \Delta t$$

$$\omega_{i(t+\Delta t)}^{(0)} = \omega_{i(t)}^{(1)} + \left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{(t)} \Delta t \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Mà các đạo hàm được tính từ phương trình (8.11) và  $P_{ei(t)}$  là công suất của máy tại thời điểm  $t$ . Khi  $t = 0$  công suất của máy  $P_{ei(t)}$  có được từ cách giải mạng điện tại thời điểm sau khi xảy ra nhiễu loạn.

Ước tính thứ hai có được bằng cách tính các đạo hàm tại thời điểm  $t + \Delta t$ . Điều này đòi hỏi ước tính ban đầu phải được xác định đối với công suất của máy tại thời điểm  $t + \Delta t$ . Công suất này có được bằng cách tính toán các thành phần mới của điện áp bên trong từ:

$$e'_{i(t+\Delta t)}^{(0)} = |E_i| \cos \delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)}$$

$$f'_{i(t+\Delta t)}^{(0)} = |E_i| \sin \delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)}$$

Sau cách giải của mạng điện đã đạt được sự cân bằng thì điện áp tại nút bên trong máy cố định. Khi có sự cố 3 pha trên nút  $f$  thì điện áp nút  $E_f$  cũng giữ cố định bằng 0. với sự tính toán điện áp của nút và điện áp bên trong thì dòng điện đầu cực máy có thể được tính từ:

$$I_{ti(t+\Delta t)}^{(0)} = (E'_{i(t+\Delta t)}^{(0)} - E_{i(t+\Delta t)}^{(0)}) \cdot \frac{1}{r_{ai} + jx'_{di}}$$

Và công suất máy tính từ:

$$P_{ei(t+\Delta t)}^{(0)} = \text{Re} \left\{ I_{ti(t+\Delta t)}^{(0)} \cdot (E'_{i(t+\Delta t)}^{(0)})^* \right\}$$

Ước tính thứ hai đối với góc lệch điện áp bên trong và tốc độ máy có được từ .

$$\delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} = \delta_{i(t)}^{(1)} + \left( \frac{\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{(t)} + \left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{(t+\Delta t)}}{2} \right) \Delta t$$

$$\omega_{i(t+\Delta t)}^{(1)} = \omega_{i(t)}^{(1)} + \left( \frac{\left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{(t)} + \left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{(t+\Delta t)}}{2} \right) \Delta t \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Với  $\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{(t+\Delta t)} = \omega_{i(t+\Delta t)}^{(0)} - 2\pi f$

$$\left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{(t+\Delta t)} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei(t+\Delta t)}^{(0)})$$

Điện áp cuối cùng tại thời điểm  $(t + \Delta t)$  đối với thanh góp bên trong máy là:

$$\begin{aligned} e'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \cos \delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} \\ f'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \sin \delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Các phương trình của mạng được giải quyết trở lại để lấy lại điện áp cuối cùng của hệ thống tại thời điểm  $(t + \Delta t)$ . Điện áp nút được sử dụng cùng với điện áp bên trong để có được dòng điện của máy, công suất và luồng công suất của mạng điện. Thời gian được tăng lên  $\Delta t$  và một sự thử nghiệm đóng mạch để xác định, nếu sự vận hành của bộ ngắt tác động hay là tình trạng sự cố bị thay đổi. Nếu sự vận hành đã được cho trong lịch trình thì sự thay đổi thích hợp là sự đóng mạch các thông số hay biến số của mạng điện hoặc cả hai. Các phương trình của mạng được giải quyết để có được tình trạng của hệ thống tại thời điểm tức thời sau khi xảy ra sự thay đổi. Trong cách tính toán này điện áp bên trong được giữ cố định tại một trị số của dòng điện. Sau đó các ước tính có được đối với thời gian gia tăng tiếp theo. Quá trình đó được lặp lại cho đến khi thời gian t bằng thời gian cực đại  $T_{max}$  định trước.

Trình tự của các bước đối với sự phân tích quá trình quá độ bằng phương pháp biến đổi Euler và từ cách giải trào lưu công suất bằng phương pháp lặp Gauss - Seidel sử dụng  $Y_{nút}$ . Phương pháp đã trình bày cũng được thừa nhận rằng tất cả các phụ tải của hệ thống được đặc trưng như tổng dẫn cố định đối với đất.

Khi ảnh hưởng của chỗ lỗi lờm và sự thay đổi từ thông móc vòng được tính đến trong sự đặc trưng của máy điện thì các phương trình vi phân theo sau phải được giải quyết đồng thời.

$$\begin{aligned} \frac{d\delta_i}{dt} &= \omega_{i(t)} - 2\pi f \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei(t)}) \\ \frac{dE_{qi}}{dt} &= \frac{1}{T_{d0i}} (E_{fdi} - E_{qi}) \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \tag{8.12}$$

Trở lại, nếu không có tác động của bộ điều chỉnh thì  $P_{mi}$  vẫn cố định và  $P_{mi} = P_{mi(0)}$ . Nếu ảnh hưởng của hệ thống điều khiển kích từ không kể đến thì  $E_{fdi}$  vẫn không đổi và  $E_{fdi} = E_{fdi(0)}$ . Nếu một máy điện của hệ thống được mô tả bằng phương trình (8.12) thì 3m phương trình được giải quyết cùng một lúc.

### 8.5.3. Phương pháp Runge - Kuta.

Trong việc áp dụng thứ tự bốn phép tính gần đúng của Runge - Kuta, trở lại đối với sự đặc trưng đơn giản hóa của máy thì sự thay đổi của góc lệch điện áp bên trong và tốc độ máy điện tính từ:

$$\begin{aligned} \Delta \delta_{i(t+\Delta t)} &= \frac{1}{6} (k_{1i} + 2k_{2i} + 2k_{3i} + k_{4i}) \\ \Delta \omega_{i(t+\Delta t)} &= \frac{1}{6} (l_{1i} + 2l_{2i} + 2l_{3i} + l_{4i}) \end{aligned}$$

Các chỉ số của k và l được thay đổi trong  $d_i$  và  $w_i$  tuần tự có được bằng cách sử dụng các đạo hàm để đánh giá tại những thời điểm đã xác định trước. Khi đó:

$$\begin{aligned} \delta_{i(t+\Delta t)} &= \delta_{i(t)} + \frac{1}{6} (k_{1i} + 2k_{2i} + 2k_{3i} + k_{4i}) \\ \omega_{i(t+\Delta t)} &= \omega_{i(t)} + \frac{1}{6} (l_{1i} + 2l_{2i} + 2l_{3i} + l_{4i}) \end{aligned} \tag{8.13}$$

Những ước tính ban đầu của sự thay đổi thu được từ.



$$k_{1i} = (\omega_{i(t)} - 2\pi f) \cdot \Delta t$$

$$I_{1i} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei(t)}) \cdot \Delta t$$

Ở đây  $\omega_{i(t)}$  và  $P_{ei(t)}$  là tốc độ và công suất khe hở không khí của máy tại thời điểm  $t$ . Hệ số của ước tính thứ hai về sự thay đổi trong  $d_i$  và  $w_i$  thu được từ :

$$k_{2i} = \left\{ \left( \omega_{i(t)} + \frac{I_{1i}}{2} \right) - 2\pi f \right\} \cdot \Delta t$$

$$I_{2i} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}^{(1)}) \cdot \Delta t \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Ở đây  $P_{ei}^{(1)}$  là công suất của máy khi góc lệch điện áp bên trong bằng  $\delta_{i(t)} + \left( \frac{k_{1i}}{2} \right)$ . Thật vậy,  $I_{2i}$  có thể được tính trước, các thành phần mới của điện áp cho các nút bên trong máy phải được tính từ:

$$e_i^{(1)} = |E_i| \cos \left( \delta_{i(t)} + \frac{k_{1i}}{2} \right)$$

$$f_i^{(1)} = |E_i| \sin \left( \delta_{i(t)} + \frac{k_{1i}}{2} \right) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Tiếp theo những phương trình mạng điện được giải quyết để có được điện áp nút đối với sự tính toán công suất của máy  $P_{ei}^{(1)}$ .

Ước tính thứ ba có được từ:

$$k_{3i} = \left\{ \left( \omega_{i(t)} + \frac{I_{2i}}{2} \right) - 2\pi f \right\} \cdot \Delta t$$

$$I_{3i} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}^{(2)}) \cdot \Delta t \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Với  $P_{ei}^{(2)}$  có được từ cách giải thứ hai của các phương trình mạng điện với góc lệch điện áp bằng  $\delta_{i(t)} + \left( \frac{k_{2i}}{2} \right)$  và các thành phần điện áp đối với thanh góp bên trong máy bằng:

$$e_i^{(2)} = |E_i| \cos \left( \delta_{i(t)} + \frac{k_{2i}}{2} \right)$$

$$f_i^{(2)} = |E_i| \sin \left( \delta_{i(t)} + \frac{k_{2i}}{2} \right) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Ước tính thứ tư có được từ:

$$k_{4i} = \left\{ \left( \omega_{i(t)} + I_{3i} \right) - 2\pi f \right\} \cdot \Delta t$$

$$I_{4i} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}^{(3)}) \cdot \Delta t \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Với  $P_{ei}^{(3)}$  có được từ cách giải thứ 3 của các phương trình mạng điện với góc lệch điện áp bên trong bằng  $\delta_{i(t)} + k_{3i}$  và thành phần điện áp bằng:

$$e_i^{(3)} = |E_i| \cos (\delta_{i(t)} + k_{3i})$$

$$f_i^{(3)} = |E_i| \sin (\delta_{i(t)} + k_{3i}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Ước tính cuối cùng của góc lệch điện áp bên trong và tốc độ máy tại thời điểm  $(t + \Delta t)$  có được bởi sự thay thế các chỉ số của  $k$  và  $l$  vào phương trình (8.13). Góc lệch điện áp bên trong  $\delta_{i(t+\Delta t)}$  được sử dụng để tính toán những ước tính, đối với thành phần điện áp dùng cho các nút bên trong máy điện được tính từ:



$$e'_{i(t+\Delta t)} = |E_i| \cos \delta_{i(t+\Delta t)}$$

$$f'_{i(t+\Delta t)} = |E_i| \sin \delta_{i(t+\Delta t)} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Các phương trình mạng điện được giải quyết đến thời điểm thứ tư để có được điện áp nút đối với sự tính toán của dòng điện, công suất máy điện và luồng công suất của mạng điện. Thời gian được tăng lên  $\Delta t$  và cách giải của mạng điện đạt được đối với bất kỳ sự vận hành của bộ ngắt được cho trong lịch trình và sự thay đổi trong tình trạng sự cố. Quá trình này được lặp lại cho đến khi  $t = T_{\max}$ .

Ứng với giá trị  $E_i$  vừa tính được ta quay lại bài toán phân bố công suất để tính các giá trị điện áp nút và công suất phát ở thời điểm  $(t + \Delta t)$ . Quá trình tính toán lặp lại cho tới khi  $t = t_{\text{cắt}}$ . Sau đó cấu trúc mạng thay đổi ta cũng tiếp tục tính đến khi  $t = T_{\max}$  thì dừng lại. Với các giá trị  $\delta_i, \omega_i$  tính toán được ta vẽ đặc tính  $\delta_i(t), \omega_i(t)$  để minh họa rõ ràng hơn bài toán ổn định. Sơ thuật tính toán ổn định động bằng phương pháp biến đổi Euler được trình bày dưới đây.

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com

