

### การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนเนอเรชั่น

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบโคเเนเนอเรชั่นนี้จะทำการวิเคราะห์ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ 3 เฟส (3-phase fault) ขึ้นในระบบ ลักษณะการวิเคราะห์จะเริ่มจากการหาเงื่อนไขเริ่มต้นหรือเงื่อนไขภาวะคงตัว (initial condition or steady-state condition) จากวิธีการคำนวณทางไหลดโฟลว์ (load flow calculation) จากนั้นจึงสมมุติให้ความผิดปกติเกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งของระบบ เช่นที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วศึกษาลักษณะการแกว่งของมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อดูว่าระบบจะยังคงรักษาเสถียรภาพไว้ได้หรือไม่ ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการวิเคราะห์ระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐในลักษณะของระบบไฟฟ้าทั่วไป ส่วนที่สองทำการวิเคราะห์ระบบโคเเนเนอเรชั่นโดยใช้แบบจำลองอย่างละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไหลด โดยทั้ง 2 ส่วนต้องทำการวิเคราะห์ไปในช่วงเวลาเดียวกัน

การวิเคราะห์เสถียรภาพนี้ทำได้โดยการใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM compatible PC/AT 16 บิต ในภาษา เทอร์โบ ปาสคาล เวอร์ชันที่ 5 (ดูรายละเอียดของตัวโปรแกรมในภาคผนวก ค.)

#### 3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบไฟฟ้าทั่วไป

ในระบบไฟฟ้าทั่วไปดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 โดยได้ใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไหลดแบบง่าย การคำนวณจึงไม่ค่อยจะมีความซับซ้อนมากนัก โดยจะแบ่งการคำนวณเป็น 2 ส่วน คือ

- การคำนวณของสมการพีชคณิต
- การคำนวณของสมการดิฟเฟอเรนเชียล

### การคำนวณของสมการพีชคณิต [10]

สมการพีชคณิตในที่นี้ก็คือสมการกระแส-แรงดันนั่นเอง ซึ่งจะเรียกสมการนี้ว่า สมการพฤติกรรมของวงจรเครือข่าย (network performance equations) โดยจะต้องใช้การหาคำตอบของสมการ แบบคำนวณซ้ำ (iterative calculation) เพื่อทำการหาค่าของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ในขณะใดขณะหนึ่ง จากนั้นจึงเอาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปใช้คำนวณหาค่ากระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ เพื่อจะได้หาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะใดขณะหนึ่ง และนำกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปใช้ในสมการดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อคำนวณหาค่ามุมทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

รูปแบบของสมการมาจากการกำหนดของแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลด เนื่องจาก โหลดถูกกำหนดเป็นลักษณะของกำลังของโหลดคงที่ ดังนั้น จึงทำการเปลี่ยนค่ากำลังของโหลดให้เป็นค่าแอดมิทแตนซ์เทียบเท่า (equivalent admittance) ค่าหนึ่ง และสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกกำหนดให้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ที่จ่ายไฟฟ้าผ่านค่าทรานเซียนต์ รีแอกแตนซ์ (transient reactance) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังบัสที่ตัวเครื่องต่ออยู่ จากนั้นก็จะนำเอาค่าแอดมิทแตนซ์เทียบเท่าของโหลด และค่าทรานเซียนต์ รีแอกแตนซ์ไปเพิ่มเติมในส่วนของเมตริกซ์ของวงจรเครือข่าย (network matrix or bus admittance matrix ( $Y_{BUS}$ ))

เมื่อได้เมตริกซ์ของวงจรเครือข่ายอันใหม่แล้วก็นำไปคำนวณเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ จากการคำนวณซ้ำแบบ Gauss-Seidel iteration ตามสมการต่อไปนี้

$$E_p^{k+1} = - \sum_{q=1}^{p-1} Y_{pq} E_q^{k+1} - \sum_{q=p+1}^n Y_{pq} E_q^k - \sum_{i=1}^m Y_{pi} E_i' \quad (3.1-1)$$

$$P = 1, 2, \dots, n \text{ และ } p \neq f \text{ (fault เกิดที่ bus } f)$$

โดยที่  $E_i'$  = ค่าแรงดันคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว (คงที่ตลอดการคำนวณ)

$$Y_{pq} = Y_{pq} / Y_{pp} \quad (3.1-2)$$

$Y_{pq}$ ,  $Y_{pp}$  เป็นสมาชิกของ  $Y_{BUS}$  ที่ถูกเพิ่มเติมจากค่าทรานเซียนต์ รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าแอดมิทแตนซ์เทียบเท่าของโหลดแล้ว

การคำนวณของแต่ละบัส จะถูกทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของทุกบัสจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ จึงจะนำค่าแรงดันไฟฟ้าของทุกบัสไปใช้ได้



### การคำนวณของสมการดิฟเฟอเรนเชียล [10]

สมการดิฟเฟอเรนเชียล ในที่นี้คือสมการการแกว่ง (swing equation) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตนเอง รูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$p\delta(t) = \omega(t) - \omega_b \quad (3.1-3)$$

$$p\omega(t) = \frac{\omega_b}{2H}(P_m - P_e(t)) \quad (3.1-4)$$

$p$  = ตัวดำเนินการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับเวลา

(differentiator)

$\delta$  = มุมทางไฟฟ้าของแรงดันภายใน (internal voltage)

$P_m$  = พลังงานกลป้อนเข้า

$P_e$  = พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออก

วิธีแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียลนั้นทำได้โดยการใช้วิธีการคำนวณเชิงจำนวน (Numerical method) ซึ่งก็มีอยู่หลายแบบ เช่น Trapezoidal Rule of Integration Modified Euler's Method และ Runge-Kutta 4<sup>th</sup> Order Method เป็นต้น การที่เลือกใช้วิธี Modified Euler's Method เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีลักษณะที่ง่ายตรงไปตรงมา วิธีการก็คือใช้การคำนวณซ้ำ (iterative) เพื่อหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย

$$\frac{dy}{dx}_{(ave)}^{(i)} = \frac{h}{2} \left( \frac{dy}{dx} \Big|_0 + \frac{dy}{dx} \Big|_1^{(i-1)} \right)$$

(  $h$  = ช่วงของค่า  $x$  ที่ใช้ในการคำนวณซ้ำ )

จนกว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ การนำเอาวิธีการดังกล่าวมาแก้สมการการแกว่ง โดยเริ่มจากเมื่อแก้สมการพีชคณิตเรียบร้อยแล้วนำเอาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาหาค่ากระแสที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นจะได้ค่ากำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ ( $P_e(t)$ ) เมื่อได้ค่า  $P_e(t)$  แล้วก็นำมาใช้หาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมและความเร็วทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพื่อหาค่า  $\delta$  และ  $\omega$  ค่าใหม่จากนั้นก็นำค่า  $\delta$  ใหม่มาคิดจากการกำหนดแรงดันคงที่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะฉะนั้นก็จะได้แรงดันภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาด (Magnitude) เท่าเดิมแต่มุมเปลี่ยนไป ต่อไปก็นำค่าแรงดันใหม่นี้ไปใช้ในการแก้สมการพีช

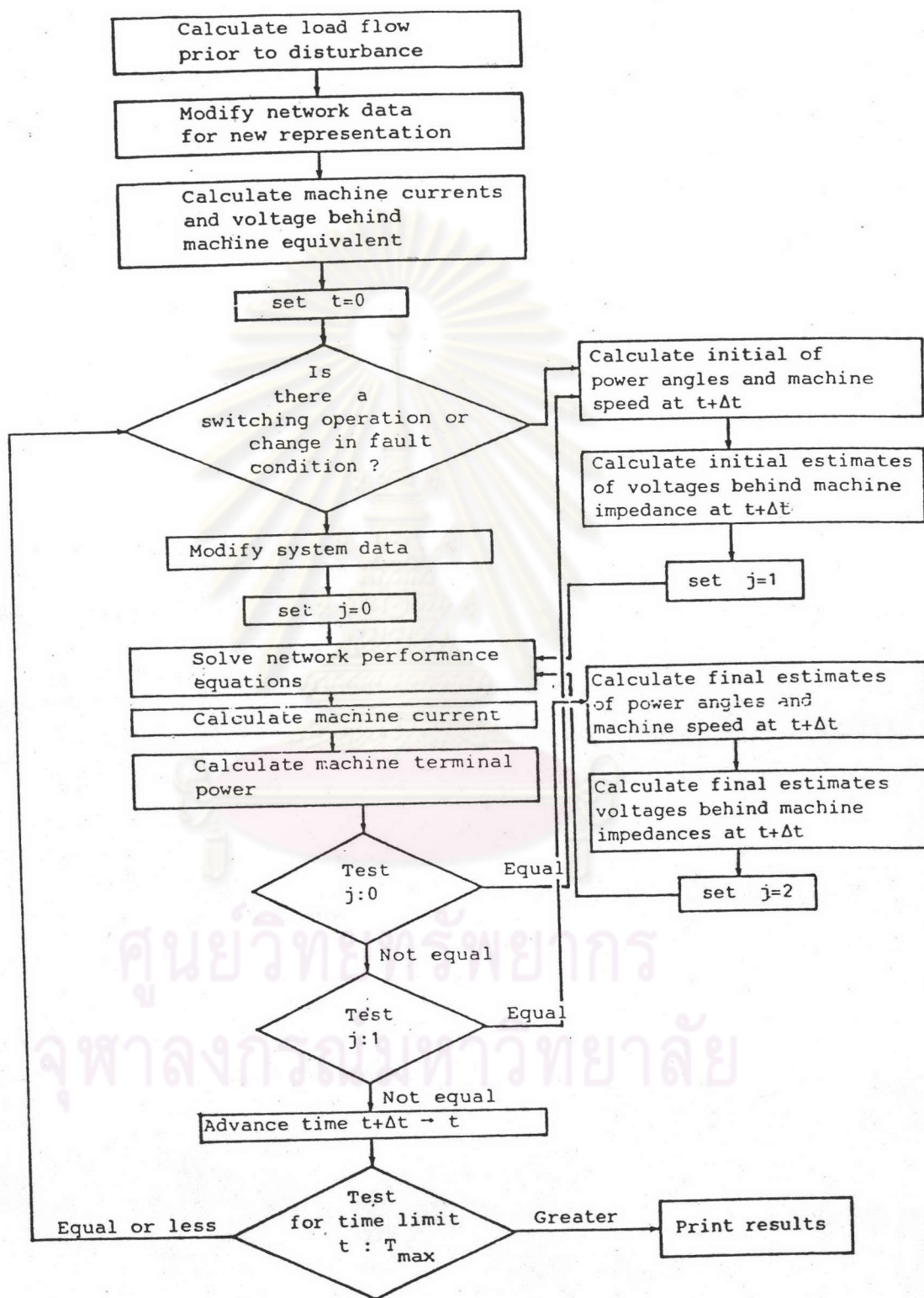
คณิต จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าของทุกบัส จากนั้นก็นำแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาหาค่ากระแสที่เข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่า  $P_u(t)$  ค่าใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมและความเร็วเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนในการแก้สมการทั้งสองแบบในช่วงเวลานั้น ต่อไปเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอีก 1 ขั้นตอนเวลา (time-step) ก็เริ่มต้นคำนวณตามขั้นตอนเดิม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ลักษณะการคำนวณดังกล่าวสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังนี้



รูปที่ 3.1-1 โฟลว์ชาร์ตการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าทั่วไป

จากลักษณะการคำนวณตามโพลาร์ชาร์ตในรูปที่ 3.1-1 จะไม่มีความซับซ้อนมากนัก อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณไม่มากเท่าใด ในหัวข้อต่อไปจะแสดงถึงความซับซ้อนที่มีมากขึ้นในการคำนวณแต่ละขั้นเวลา

### 3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนเนอเรชั่น

การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนเนอเรชั่น จะมีความซับซ้อนมากกว่าการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าทั่วไป เนื่องจากจะต้องใช้แบบจำลองที่ละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดในการวิเคราะห์ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการคำนวณในแบบจำลองทั้งสองจึงมีผลต่อเสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนเนอเรชั่นเป็นอย่างมาก

การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนเนอเรชั่น ที่ซับซ้อนเนื่องจากมีการเพิ่มการวิเคราะห์ย่อยอีก 2 ส่วนใหญ่ คือ

- การวิเคราะห์ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- การวิเคราะห์ส่วนของโหลด

จากนั้นจึงนำเอาผลการวิเคราะห์ทั้งสองมาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบอีกครั้ง ซึ่งการวิเคราะห์ย่อยทั้งสองจะถูกวิเคราะห์ในทุก ๆ ขั้นตอนเวลาของการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

#### การวิเคราะห์ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [8]

ในขั้นแรกจะต้องหาค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อน โดยจะนำผลของการหาโหลดโพลาร์และค่ารีแอกแตนซ์ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางซ้ายมือของสมการต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} \psi_{qs}^r \\ \psi_{kq1}^r \\ \psi_{kq2}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X_q & X_{mq} & X_{mq} \\ -X_{mq} & X'_{kq1} & X_{mq} \\ -X_{mq} & X_{mq} & X'_{kq2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^r \\ i_{kq1}^r \\ i_{kq2}^r \end{bmatrix} \quad (3.2-1)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_{ds}^r \\ \psi_{fd}^r \\ \psi_{kd}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X_d & X_{md} & X_{md} \\ -X_{md} & X'_{fd} & X_{md} \\ -X_{md} & X_{md} & X'_{kd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds}^r \\ i_{fd}^r \\ i_{kd}^r \end{bmatrix} \quad (3.2-2)$$

ในสภาวะเริ่มต้นถือว่าไม่มีกระแสไหลในขดลวดเดมเปอร์ทั้ง 3 ขด เนื่องจากไม่มีการ



เปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กค้ำของขดลวด ดังนี้

$$i'_{kq1}{}^r = i'_{kq2}{}^r = i'_{kd}{}^r = 0 \quad (3.2-3)$$

และ ค่ากระแสในสเตเตอร์ (  $i'_{qs}{}^r$  ,  $i'_{ds}{}^r$  ) หาได้จากค่ากำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะเริ่มต้น จากนั้นทำการหาค่าเริ่มต้นของ แรงดันเอ็กไซเตชัน (excitation voltage ,  $\tilde{E}_a$  ) แรงดันสนาม (  $E'_{xfd}$  ) และแรงบิดขาเข้า (  $T_I$  ) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับ

$$\tilde{E}_a = \tilde{V}_{as} + \left( r_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} X_q \right) I'_{as} \quad (3.2-4)$$

$$E'_{xfd} = \frac{\omega_b}{\omega_e} \left[ \sqrt{2} |\tilde{E}_a| + \frac{\omega_e}{\omega_b} (X_d - X_q) I'_{ds} \right] \quad (3.2-5)$$

$$T_s = \frac{E'_{xfd} V_s}{(\omega_e/\omega_b) X_d} \sin \delta + \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{\omega_e}{\omega_b} \right)^{-2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) V_s^2 \sin 2\delta \quad (3.2-5)$$

เมื่อได้ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วจะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณเชิงจำนวน (numerical method) ของสมการต่าง ๆ ในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ และจากสมการ (2.2.1-42) สามารถลดรูปสมการลงมาได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \dot{v}'_{qs} \\ \dot{v}'_{ds} \\ \dot{v}'_{kq1}{}^r \\ \dot{v}'_{kq2}{}^r \\ \dot{e}'_{xfd} \\ \dot{v}'_{kd}{}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_s a_{11} & \frac{\omega_e}{\omega_b} & -r_s a_{12} & -r_s a_{13} & 0 & 0 \\ -\frac{\omega_e}{\omega_b} & r_s b_{11} & 0 & 0 & -r_s b_{12} & -r_s b_{13} \\ r'_{kq1} a_{21} & 0 & r'_{kq1} a_{22} + \frac{p}{\omega_b} & r'_{kq1} a_{23} & 0 & 0 \\ r'_{kq2} a_{31} & 0 & r'_{kq2} a_{32} & r'_{kq2} a_{33} + \frac{p}{\omega_b} & 0 & 0 \\ 0 & X_{md} b_{21} & 0 & 0 & X_{md} b_{22} + \frac{X_{md} p}{r'_{fd} \omega_b} & X_{md} b_{23} \\ 0 & r'_{kd} b_{31} & 0 & 0 & r'_{kd} b_{32} & r'_{kd} b_{33} + \frac{p}{\omega_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi'_{qs} \\ \psi'_{ds} \\ \psi'_{kq1}{}^r \\ \psi'_{kq2}{}^r \\ \psi'_{fd}{}^r \\ \psi'_{kd}{}^r \end{bmatrix} \quad (3.2-6)$$

การลดรูปของสมการทำได้โดยที่ไม่คิดผลของสภาวะชั่วครู่ในสเตเตอร์ ซึ่งก็ยั้งให้ค่าความถูกต้องในระดับที่ใช้ได้ ส่วนค่าแรงดันสนามในสมการ (3.2-5) จะถูกควบคุมด้วยระบบเอ็กไซเตชัน ตามสมการ (2.2.1-55) ถึง (2.2.1-58)

ผลจากการคำนวณเชิงจำนวน โดยใช้วิธี Trapezoidal rule of integration ในแต่ละขั้นเวลาก็จะได้ค่าฟังก์ชันแม่เหล็กต่าง ๆ จากสมการ (3.2-6) จากนั้นจึงนำค่าฟังก์ชันแม่เหล็กที่ได้นี้มาใช้หาค่าแรงบิดทางไฟฟ้าจากสมการ (2.2.1-54)

เมื่อได้ค่าแรงบิดทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้จากสมการ (2.2.1-53) โดย

$$p\omega_r(t) = \frac{\omega_b}{2H}(T_I - T_e(t)) \quad (3.2-7)$$

และหาอัตราการเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์จาก

$$p\theta_r(t) = \omega_r(t) - \omega_b \quad (3.2-8)$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์ที่ได้จะสมนัยกับอัตราการเปลี่ยนแปลงมุมของแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามสมการ

$$p\delta(t) = \frac{P}{2} p\theta_r(t) - \omega_b \quad (3.2-9)$$

โดย  $\frac{P}{2}$  = จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก (Poles) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

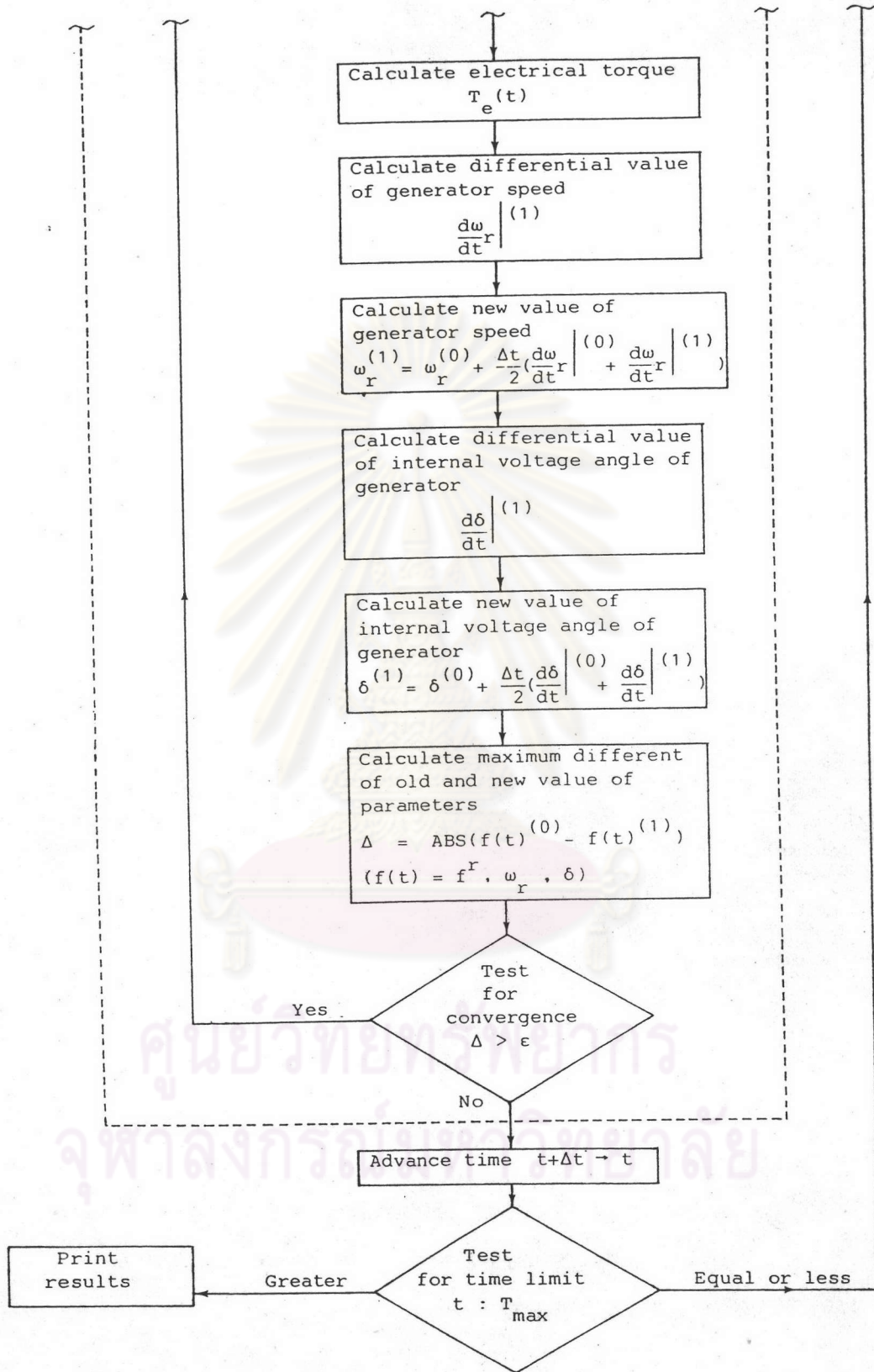
เมื่อผ่านการคำนวณเชิงจำนวนที่เวลาใด ๆ แล้วก็จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เวลานั้น ๆ จากนั้นก็นำค่ามุมนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบโคเซนเนอเรชันต่อไป ขั้นตอนการวิเคราะห์ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเซนเนอเรชันทั้งหมดได้สรุปไว้ในไฟล์ชาร์ตรูปที่ 3.2-1 และ 3.2-2

การวิเคราะห์ส่วนของโหลด

ในขั้นแรกจะต้องหาค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองของโหลดเช่นเดียวกับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะนำค่ากำลังของโหลดทั้งกำลังจริง ( $P_L$ ) และ กำลังรีแอกทีฟ ( $Q_L$ ) มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดย ส่วนแรกจะใช้แบบจำลองของโหลดแบบพลวัต และ ส่วนที่สองจะใช้แบบจำลองของโหลดแบบสถิตย์

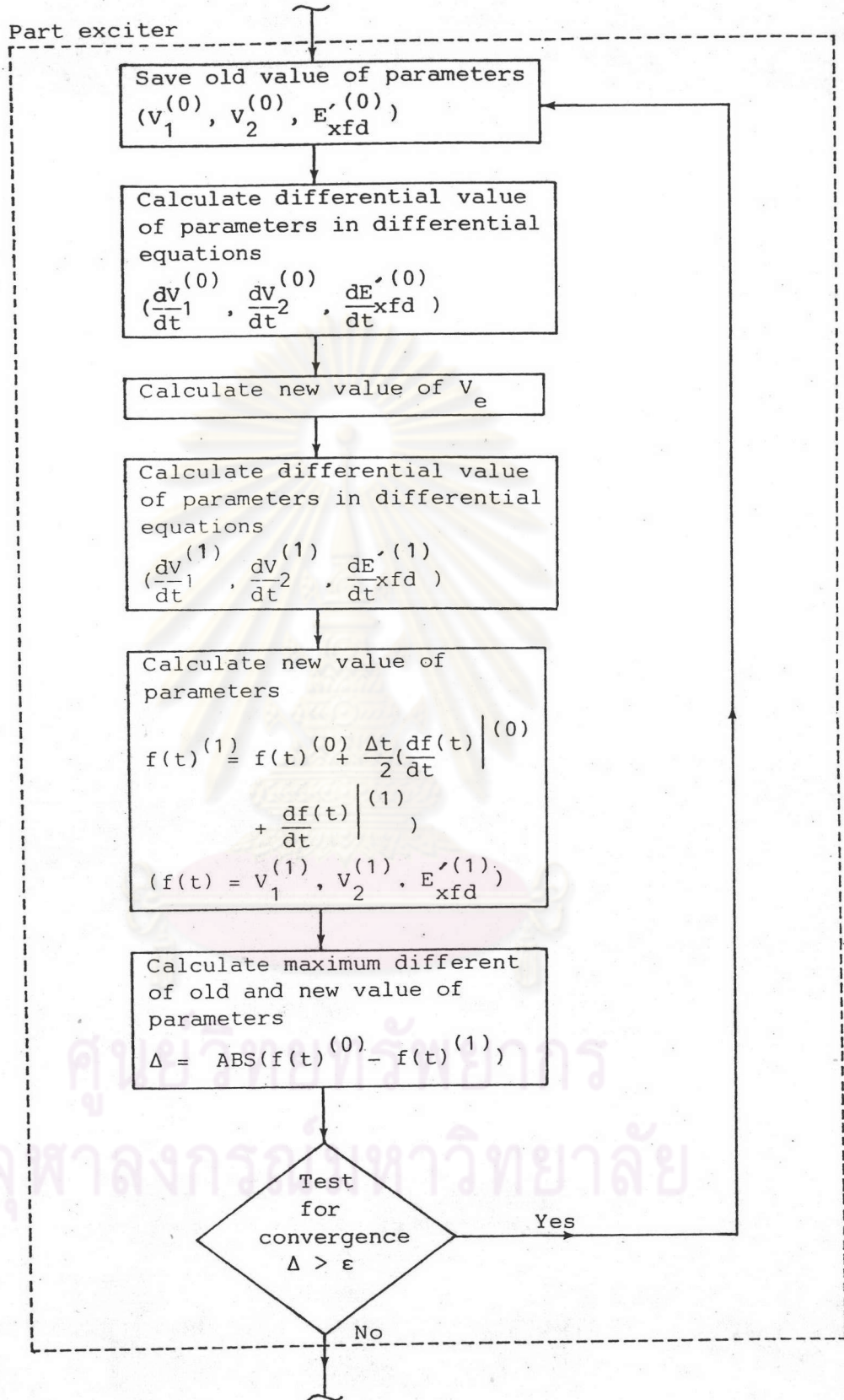






รูปที่ 3.2-1 โพลีชาร์ตของแบบจำลองอย่างละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)





รูปที่ 3.2-2 โฟลว์ชาร์ตของระบบ excitation

แบบจำลองของไหลแบบพลวัต [8]

การหาค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองนี้ทำได้โดยการนำเอาค่ากำลังของไหลทั้งกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟมาหาค่ากระแสต่อไปนี้

$$i_{qs} = P_L / V_{qs} \tag{3.2-10}$$

$$i_{ds} = Q_L / V_{qs} \tag{3.2-11}$$

โดยที่เงื่อนไขสถานะสมดุลย์คงตัวของระบบ  $V_{as} = V_{qs}$

เอาค่ากระแสที่ได้มาใช้ในสมการ (2.2.2-21) และ (2.2.2-22)

โดยจะได้

$$\Psi_{ds} = \frac{\omega_b}{\omega_e} (V_{qs} - r_s i_{qs}) \tag{3.2-12}$$

$$\Psi_{qs} = \frac{\omega_b}{\omega_e} r_s i_{ds} \tag{3.2-13}$$

และจากสมการ (2.2.2-27) และ (2.2.2-28) จะได้

$$i'_{qr} = \frac{1}{X_M} (\Psi_{qs} - (X_{ls} + X_M) i_{qs}) \tag{3.2-14}$$

$$i'_{dr} = \frac{1}{X_M} (\Psi_{ds} - (X_{ls} + X_M) i_{ds}) \tag{3.2-15}$$

จากนั้นก็หาค่ากระแสทั้ง 4 ค่ามาใช้ในสมการ (2.2.2-30) และ (2.2.2-31)

เพื่อหาค่า  $\Psi'_{qr}$  และ  $\Psi'_{dr}$  แล้วจึงนำค่าลักษณะแม่เหล็กต่าง ๆ ที่ได้มาหาค่าแรงบิดของไหล

( $T_L$ ) จากสมการ (2.2.2-38) โดย  $T_L = T_o$  ที่เงื่อนไขสถานะคงตัว

เมื่อได้ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วจะนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณเชิงจำนวนของสมการต่าง ๆ ในแบบจำลองของไหลจากสมการ (2.2.2-33) สามารถลดรูปสมการลงมาได้เป็น

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v'_{qr} \\ v'_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r_s X'_{rr}}{D} & \frac{\omega_e}{\omega_b} & -\frac{r_s X_M}{D} & 0 \\ -\frac{\omega_e}{\omega_b} & \frac{r_s X'_{rr}}{D} & 0 & -\frac{r_s X_M}{D} \\ -\frac{r'_r X_M}{D} & 0 & \frac{r'_r X_{ss} + p}{D} + \frac{p}{\omega_b} & \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \\ 0 & -\frac{r'_r X_M}{D} & -\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} & \frac{r'_r X_{ss} + p}{D} + \frac{p}{\omega_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{qs} \\ \psi_{ds} \\ \psi'_{qr} \\ \psi'_{dr} \end{bmatrix} \tag{3.2-16}$$

การลดรูปทำได้ในลักษณะเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ ไม่คิดผลของสภาวะชั่วคราวในสเตเตอร์จากสมการ (3.2-16) จะหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กต่าง ๆ ได้จากวิธีการเชิงจำนวนและนำค่าฟลักซ์แม่เหล็กเหล่านี้ไปใช้หาค่าแรงบิดทางไฟฟ้าจากสมการ (2.2.2-38)

เมื่อได้ค่าแรงบิดทางไฟฟ้าของโหลดแล้วจะหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้จากสมการ (2.2.2-37) โดย

$$p\omega_r(t) = \frac{\omega_b}{2H}(T_e(t) - T_L) \quad (3.2-17)$$

นำเอาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ไปหาค่าความเร็วค่าใหม่ แล้วนำเอาค่าความเร็วค่าใหม่ทั้งนี้ไปแทนลงในสมการ (3.2-16) จนกระทั่งค่าฟลักซ์แม่เหล็กต่าง ๆ รวมทั้งค่าความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แล้วจึงนำค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ได้ครั้งหลังสุดมาคิดค่ากำลังของโหลดที่เวลานั้น ๆ จากสมการ

$$P_L = V_{qs} i_{qs} \quad (3.2-18)$$

$$Q_L = V_{qs} i_{ds} \quad (3.2-19)$$

โดยที่

$$i_{qs} = \frac{1}{r_s} \left( v_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{ds} \right) \quad (3.2-20)$$

$$i_{ds} = \frac{\omega_e}{\omega_b r_s} \psi_{qs} \quad (3.2-21)$$

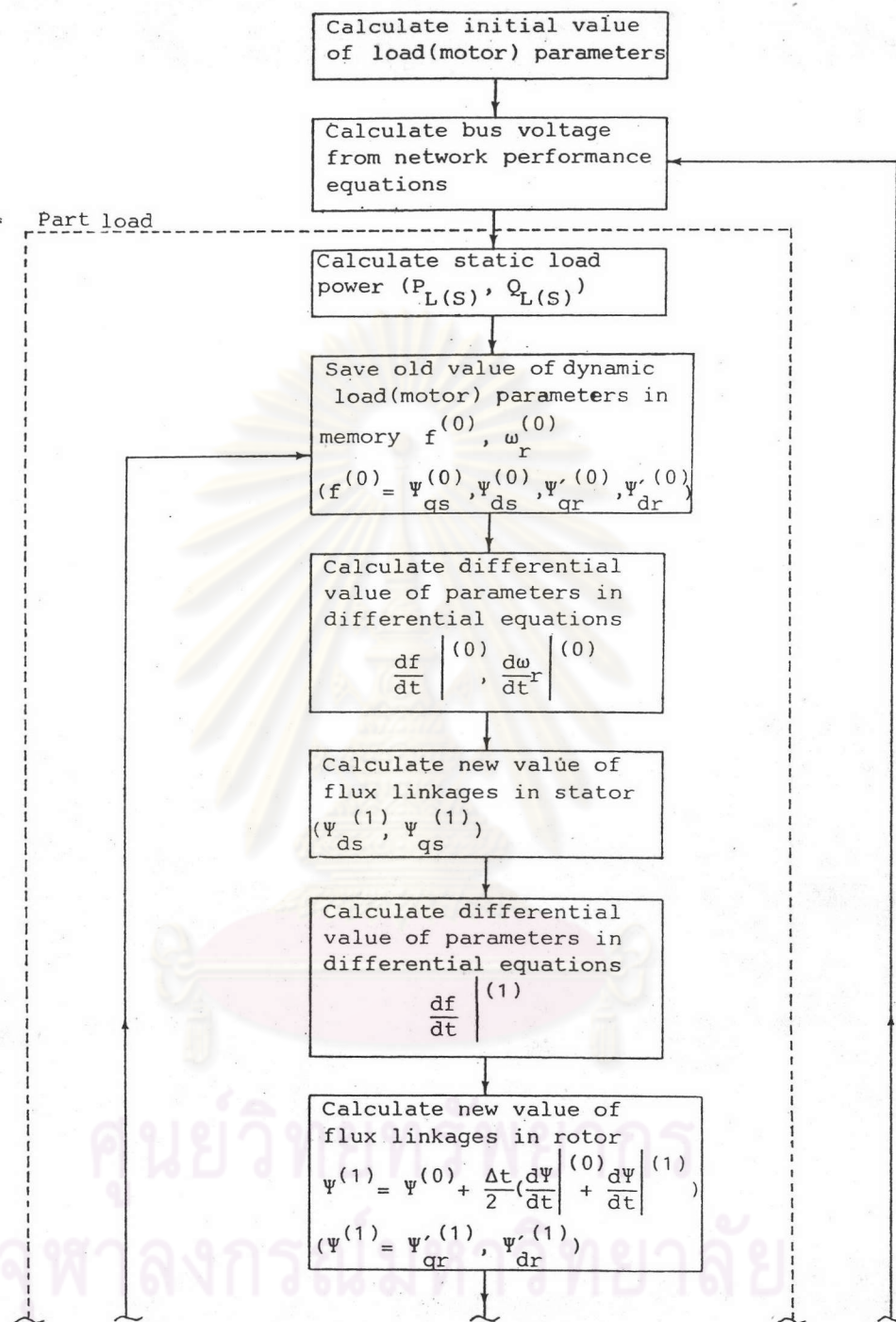
เมื่อได้ค่ากำลังของโหลดแบบกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟของโหลด ในส่วนที่ใช้โหลดแบบพลวัตที่เวลาใด ๆ แล้ว ต่อไปจะทำการหาค่ากำลังของโหลดในส่วนที่ใช้โหลดแบบสถิตย์ต่อไป

**แบบจำลองของ โหลดแบบสถิตย์**

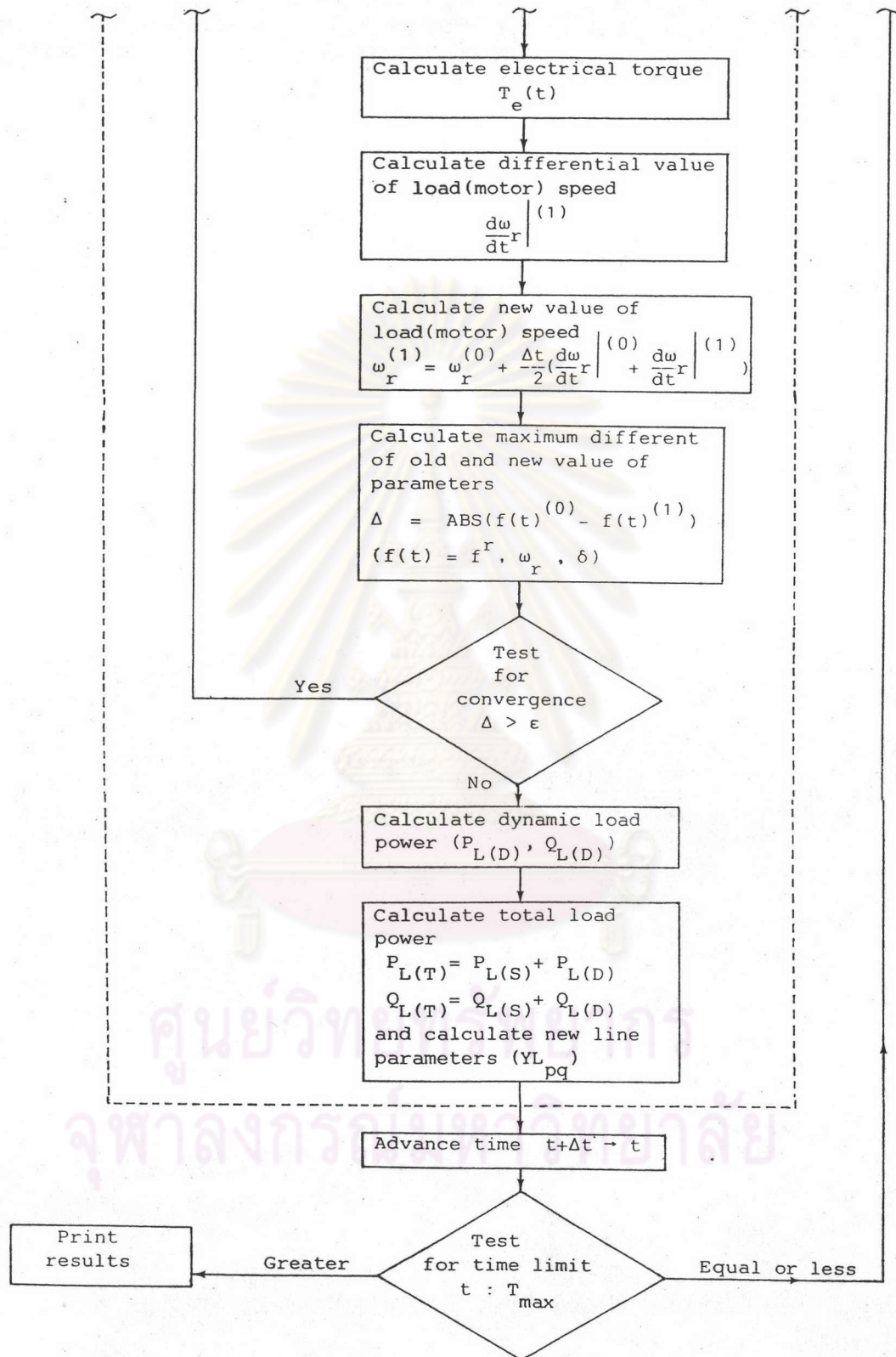
ในส่วนของ โหลดแบบสถิตย์จะมีค่ากำลังทางกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันไฟฟ้าตามสมการ (2.2.2-39) และ (2.2.2-40) ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P_L(t+\Delta t) = P_L(t) + (B + C(2V(t+\Delta t) - \Delta V(t+\Delta t)))\Delta V(t+\Delta t) \quad (3.2-22)$$

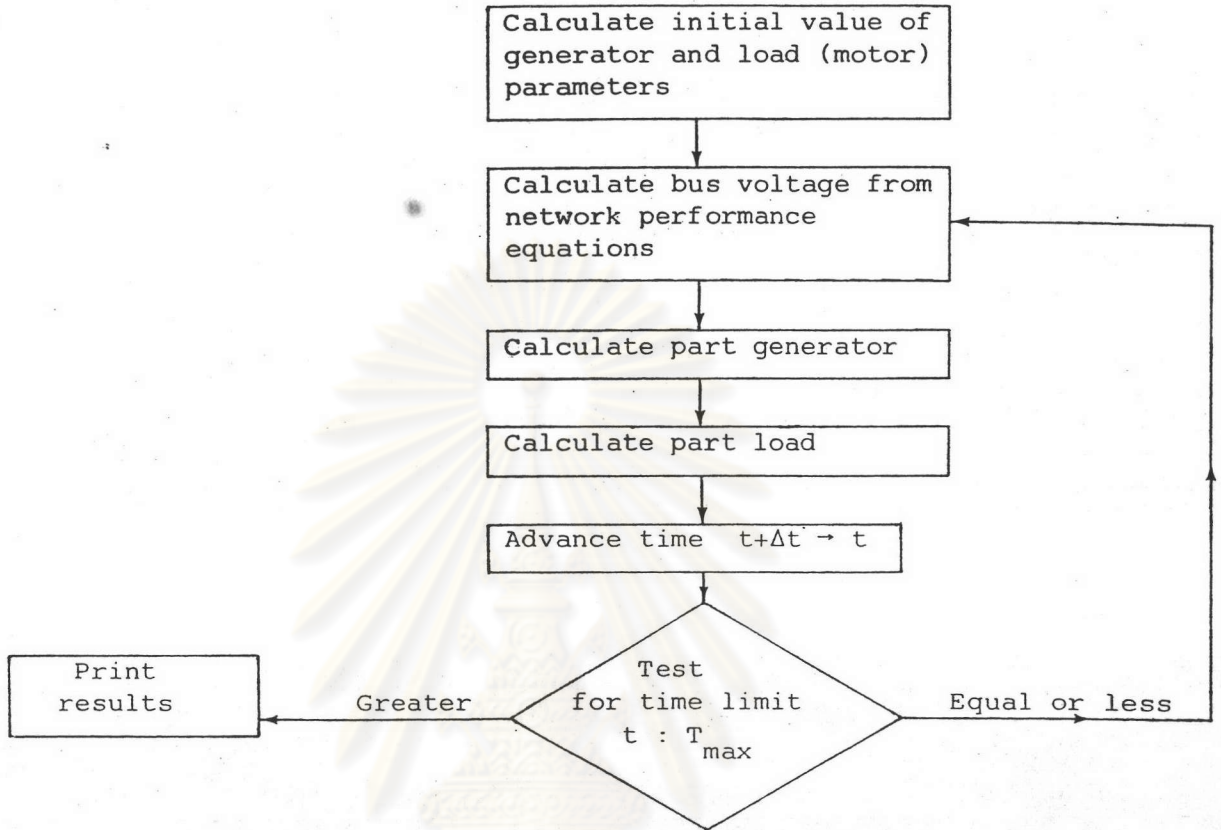




รูปที่ 3.2-3 โฟลว์ชาร์ตของแบบจำลองอย่างละเอียดของโหลด



รูปที่ 3.2-3 โฟลว์ชาร์ตของแบบจำลองอย่างละเอียดของโหลด (ต่อ)



รูปที่ 3.2-4 ไฟล์ชาร์ตของการวิเคราะห์เสถียรภาพในระบบโคเจนเนอเรชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



$$Q_L(t+\Delta t) = Q_L(t) + (B' + C'(2V(t+\Delta t) - \Delta V(t+\Delta t))\Delta V(t+\Delta t) \quad (3.2-23)$$

โดยที่

$$\Delta V(t+\Delta t) = v(t+\Delta t) - v(t) \quad (3.2-24)$$

จากการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสต่าง ๆ จากสมการพฤติกรรมวงจรเครือข่าย (3.1-1) ที่เวลาใด ๆ ก็จะนำมาใช้หาค่ากำลังทางกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟของโหลดจากสมการ (3.2-18) และ (3.2-19) จากนั้นจึงนำเอากำลังของโหลดแบบสถิตย์ที่หาได้นี้ไปรวมกับกำลังของโหลดแบบพลวัตก็จะได้กำลังของโหลดที่สมบูรณ์ที่เวลาใด ๆ

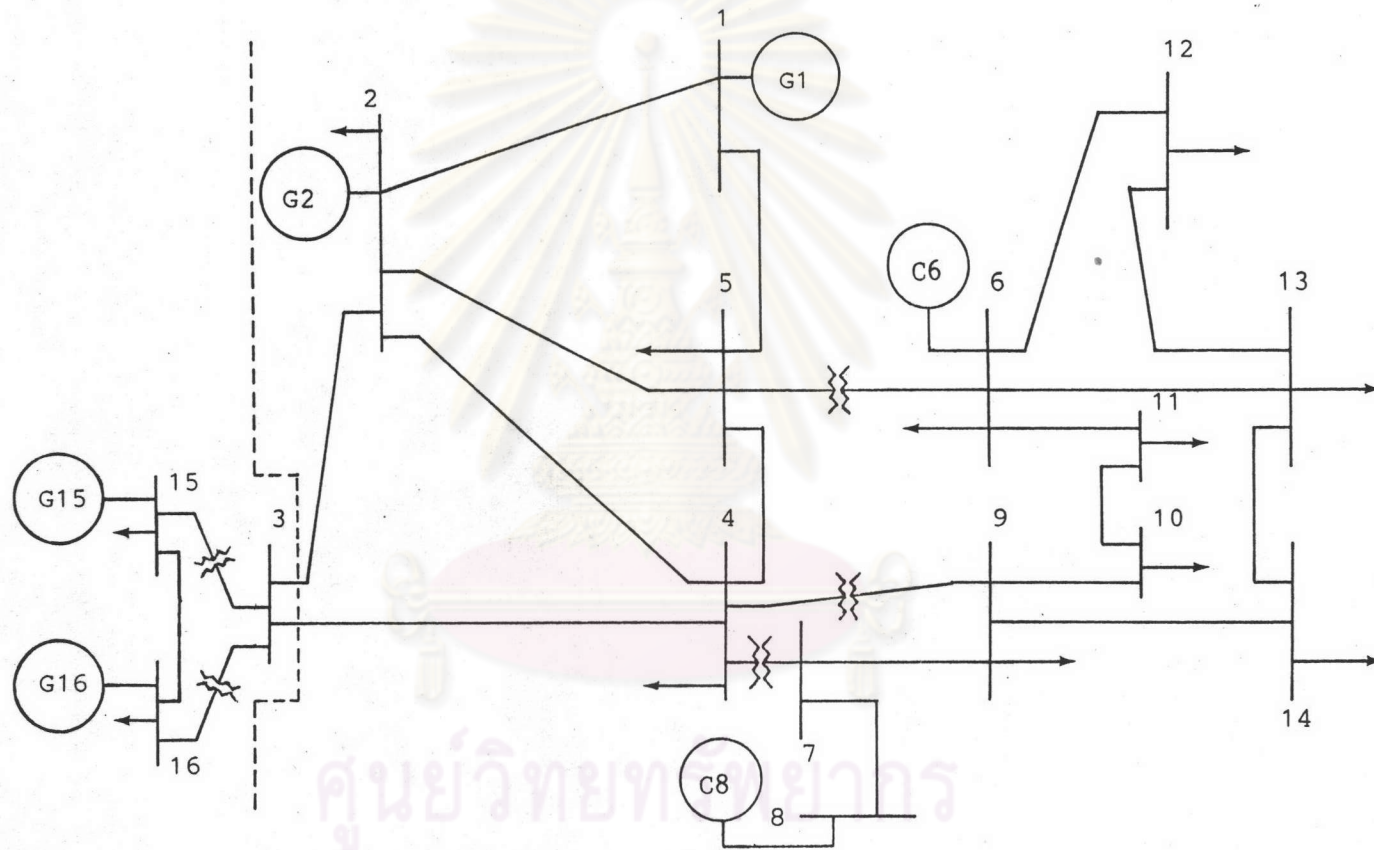
### การวิเคราะห์โหลดรวม

เมื่อนำกำลังรวมของโหลดทั้งสองแบบที่ได้มาวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบโคเเนนเนอเรชัน พบว่ากำลังของโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) และเชิงเส้น (Linear) รวม ๆ กันไปตลอด ดังนั้นค่ากำลังของโหลดจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของโหลดทั้งสองแบบ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทั้งสองแบบ ส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์ส่วนของโหลดนี้ได้สรุปไว้ในไฟล์ชาร์ต รูปที่ 3.2-3 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำเอาค่ากำลังของโหลดรวมที่ได้นี้ไปวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบโคเเนนเนอเรชัน จะพบความแตกต่างกับแบบจำลองของโหลดอย่างง่ายอย่างเห็นได้ชัด ดังจะได้อธิบายต่อไป

ส่วนการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเเนนเนอเรชัน สามารถสรุปจากการวิเคราะห์ย่อยทั้ง 2 ส่วน ดังที่กล่าวมาแล้วได้ในไฟล์ชาร์ตรูปที่ 3.2-4

### 3.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบตัวอย่าง

ระบบตัวอย่างนี้ได้ดัดแปลงและเพิ่มเติมข้อมูลบางส่วนจากระบบมาตรฐาน 14 บัส ของ IEEE ข้อมูลรายละเอียดของโหลดได้มาจากการนำรายละเอียดทางเทคนิคของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดต่าง ๆ กันมาทำ การจัดรูปกราฟ (fit curve) ของค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในสมการของโหลดโดยทำการรวบรวมข้อมูลของมอเตอร์ ตั้งแต่ขนาด 0.25 kW ถึง 400 kW (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข)



ศูนย์วิทยเทคโนโลยี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ 3.3-1 ระบบตัวอย่าง

ตารางที่ 3.3-1 LINE DATA

Line No.	Between Buses		Line impedance		Half line charging
			R per unit	X per unit	susceptance per unit
1	1	2	0.019380000	0.059170000	0.026400000
2	1	5	0.054030000	0.223040000	0.024600000
3	2	3	0.046990000	0.197970000	0.021900000
4	2	4	0.058110000	0.176320000	0.018700000
5	2	5	0.056950000	0.173880000	0.017000000
6	3	4	0.067010000	0.171030000	0.017300000
7	3	15	0.000000000	0.405300000	0.000000000
8	3	16	0.000000000	0.405300000	0.000000000
9	4	5	0.013350000	0.042110000	0.006400000
10	4	7	0.000000000	0.209120000	0.000000000
11	4	9	0.000000000	0.556180000	0.000000000
12	5	6	0.000000000	0.252020000	0.000000000
13	6	11	0.094980000	0.198900000	0.000000000
14	6	12	0.122910000	0.255810000	0.000000000
15	6	13	0.066150000	0.130270000	0.000000000
16	7	8	0.090000000	0.176150000	0.000000000
17	7	9	0.000000000	0.110010000	0.000000000
18	9	10	0.031810000	0.084500000	0.000000000
19	9	14	0.127110000	0.270380000	0.000000000
20	10	11	0.082050000	0.192070000	0.000000000
21	12	13	0.220920000	0.199880000	0.000000000
22	13	14	0.170930000	0.348020000	0.000000000
23	15	16	1.302000000	1.484700000	0.000400000

ตารางที่ 3.3-2

SHUNT CAPACITOR DATA

Bus Number Susceptance per unit

9 0.190000000



ตารางที่ 3.3-3 TRANSFORMER DATA

Transformer	Between buses	Tap setting
1	4 7	0.978000000
2	4 9	0.969000000
3	5 6	0.932000000
4	3 15	1.000000000
5	3 16	1.000000000

ตารางที่ 3.3-4  
REGULATED BUS DATA(P-V BUSES)

Bus No.	Voltage magnitude per unit	Reactive power limits	
		Minimum MVAR	Maximum MVAR
2	1.045	-40.0	50.0
6	1.070	-6.0	24.0
8	1.090	-6.0	24.0
15	1.010	-6.0	24.0
16	1.030	-6.0	24.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3-5  
COMPOSITE LOAD DATA

Bus No.	Percent of static load	Percent of dynamic load
15	60	40
16	60	40

ตารางที่ 3.3-6 GENERATOR DATA

Bus No.	H	$X_d$	$X_q$	$X'_d$	$X'_q$	$X''_d$	$X''_q$	$X_l$	$T'_{d0}$	$T'_{q0}$	$T''_{d0}$	$T''_{q0}$
1	3.2663000000E+00			2.1385000000E+00								
2	2.8067000000E+00			1.0055000000E+00								
6	5.7800000000E+00			9.7000000000E-01								
8	5.7800000000E+00			9.7000000000E-01								
15	1.5993000000E+00	1.9800000000E+00	1.8800000000E+00	1.6300000000E-01	3.0000000000E-01	1.1400000000E-01	1.1400000000E-01	9.0000000000E-02	6.0000000000E+00	1.0000000000E+00	5.0000000000E-02	5.0000000000E-02
16	2.0000000000E+00	1.0000000000E+00	9.0000000000E-01	2.8000000000E-01	5.0000000000E-01	1.9990000000E-01	1.9990000000E-01	1.0000000000E-01	6.0000000000E+00	1.0000000000E+00	5.0000000000E-02	5.0000000000E-02

ที่มา : ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใกล้เคียงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

ตารางที่ 3.3-7 BUS DATA AND LOAD FLOW RESULTS

Bus No.	Bus Voltage		Generation		Load	
	Magnitude per unit	Phase angle degrees	Real MW (X100)	Reactive MVAR (X100)	Real MW (X100)	Reactive MVAR (X100)
1	1.060000000E+00	0.000000000E+00	1.2610379459E+00	4.4546709741E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00
2	1.0253735437E+00	-3.5400252221E-02	4.000000000E-01	-3.9999999963E-01	2.170000000E-01	1.270000000E-01
3	1.0230161955E+00	-7.1172057927E-02	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00
4	1.0111719087E+00	-1.0841287724E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	4.780000000E-01	3.900000000E-02
5	1.0135555404E+00	-9.4984812548E-02	0.000000000E+00	0.000000000E+00	7.600000000E-02	1.600000000E-02
6	1.0700000121E+00	-1.8681691077E-01	0.000000000E+00	1.6839981424E-01	1.120000000E-01	7.500000000E-02
7	1.0588554123E+00	-1.6419698760E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00
8	1.0900000010E+00	-1.6419698534E-01	0.000000000E+00	1.9271985049E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00
9	1.0538059008E+00	-1.9297808408E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	2.950000000E-01	1.660000000E-01
10	1.0492873260E+00	-1.9685766622E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	9.000000000E-02	5.800000000E-02
11	1.0561085800E+00	-1.9406787519E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	3.500000000E-02	1.800000000E-02
12	1.0549749663E+00	-2.0132152534E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	6.100000000E-02	1.600000000E-02
13	1.0501314740E+00	-2.0223788814E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	1.350000000E-01	5.800000000E-02
14	1.0342119213E+00	-2.1450071766E-01	0.000000000E+00	0.000000000E+00	1.490000000E-01	5.000000000E-02
15	1.0100000001E+00	-3.0069515791E-02	5.500000000E-01	3.3487404029E-02	4.250000000E-01	9.400000000E-02
16	1.0300000001E+00	-9.6335294958E-02	4.500000000E-01	1.5185931721E-01	5.340000000E-01	1.020000000E-01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ระบบตัวอย่างในรูปที่ 3.3-1 มีข้อมูลรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3.3-1 ถึง 3.3-7 ระบบตัวอย่างดังกล่าวถูกกำหนดให้บัส 3 เป็นบัสของระบบโคเอนเนอเรชั่น (ด้านซ้ายมือของเส้นประ) ซึ่งจะมีบัสย่อยอีก 2 บัสคือ บัสที่ 15 และ 16 ทั้งสองบัสมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ด้วย ส่วนโหลดที่บัสทั้งสองจะเป็นโหลดผสม (composite load) โดยจะประกอบด้วยโหลดแบบสถิตย์ และ โหลดแบบพลวัต ตามเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3-5 ส่วนของระบบที่เหลือทางขวามือของเส้นประ จะถือว่าเป็นระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ

การวิเคราะห์ทำได้โดยการกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดภายในระบบโคเอนเนอเรชั่นได้ใช้แบบจำลองอย่างละเอียด ส่วนระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐใช้แบบจำลองอย่างง่าย โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลใน 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

- การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเอนเนอเรชั่นขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบโคเอนเนอเรชั่นเอง
- การวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเอนเนอเรชั่นขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ

ผลการวิเคราะห์ในแต่ละแบบประกอบไปด้วย

- มุมจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเทียบกับแกนอ้างอิงหมุนแบบซิงโครนัส
- มุมสัมพันธ์ (relative angle) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเทียบกับมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1
- อัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อความเร็วซิงโครนัส

### 3.3.1 ผลการวิเคราะห์ขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบโคเอนเนอเรชั่น

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นถูกกำหนดให้เกิดที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบโคเอนเนอเรชั่น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นกรณีที่รุนแรงที่สุด (worst case) เพื่อใช้ในการพิจารณาทางด้านเสถียรภาพของระบบก่อนที่จะทำการติดตั้ง การวิเคราะห์จัดทำขึ้นในกรณีที่เกิดความผิดปกติที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 15 (CASE 1)

จากการวิเคราะห์ตามหลักการที่ได้อธิบายไว้ในตอนต้นของบททำให้ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 3.3.1-1 ถึง 3.3.1-3

### กรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 15 (CASE 1)

จากรูปที่ 3.3.1-1 พบว่าเป็นกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นที่บัส 15 และทำการแก้ไขความผิดปกติ (clear fault) ในเวลา 0.03 วินาที การเปลี่ยนแปลงของมุมทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองจะเป็นไปในลักษณะที่ค่ามุมเพิ่มขึ้นไปด้วยกัน แต่เมื่อสังเกตค่ามุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสัมพันธ์กับมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในรูปที่ 3.3.1-2 จะพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชั่น (หมายเลข 15 และ 16) มีการแกว่งของค่ามุมสัมพันธ์ในช่วงเวลาแรกของการวิเคราะห์ ต่อมาจะพบว่าการแกว่งดังกล่าวมีค่าลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ ในกรณีนี้อาจกล่าวได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชั่นมีการเปลี่ยนแปลงของมุมทางไฟฟ้าในลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงของมุมทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ ดังนั้นจากผลดังกล่าวอาจวิเคราะห์ได้ว่า ระบบโคเอนเนอเรชั่นจะยังคงรักษาเสถียรภาพไว้ได้ภายใต้การเกิดความผิดปกติที่บัส 15 เป็นเวลา 0.03 วินาที

การเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามรูปที่ 3.3.1-3 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชั่นหมายเลข 15 และ 16 มีการแกว่งของค่าอัตราส่วนดังกล่าวรอบ ๆ ค่าอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ การแกว่งเป็นไปในลักษณะที่ลดลงเข้าใกล้ค่าอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ซึ่งก็เป็นลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปตามกัน (coherency) เช่นเดียวกับกับการแกว่งของมุมทางไฟฟ้าง่ายที่ได้วิเคราะห์ไปแล้ว

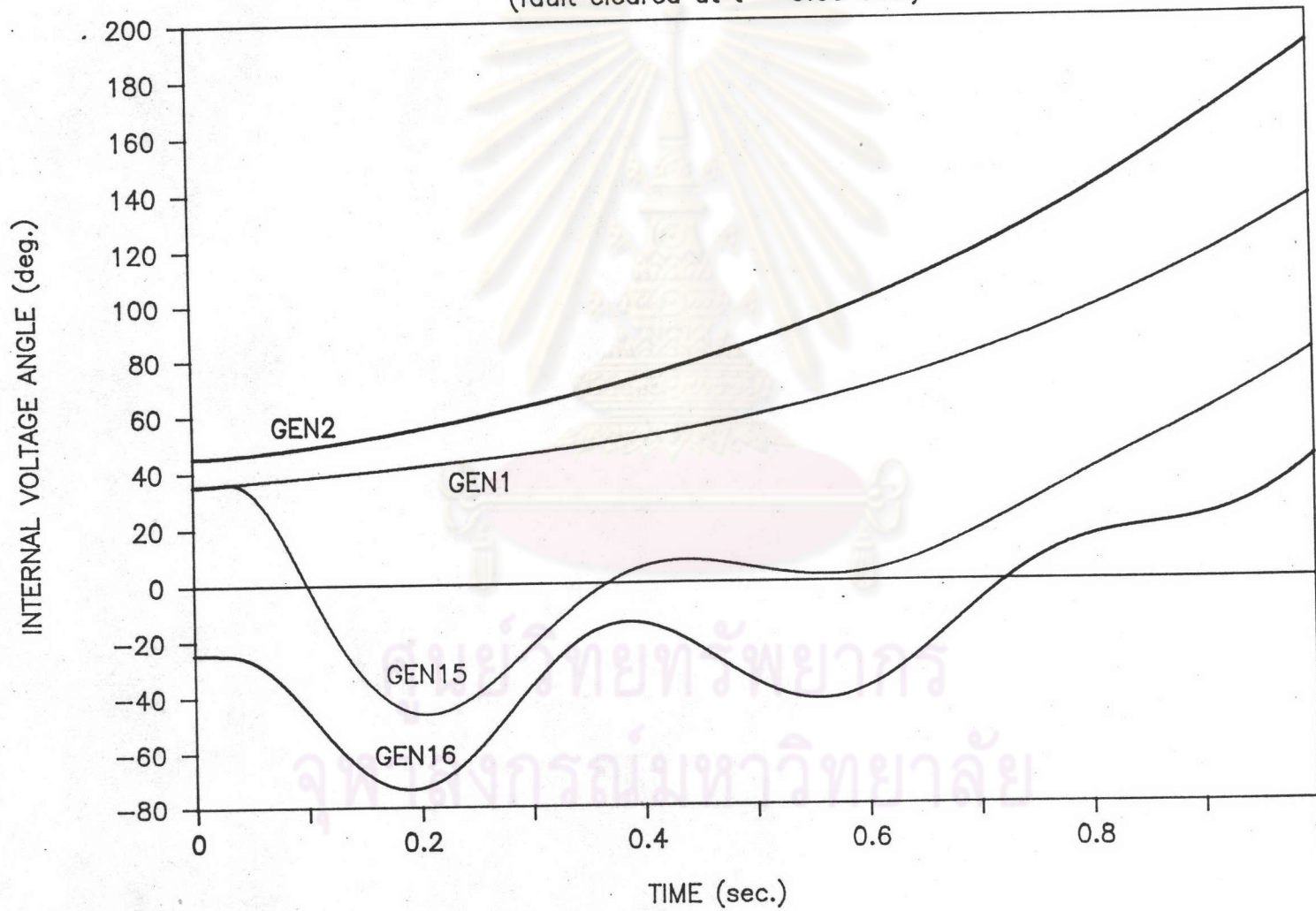
### 3.3.2 ผลการวิเคราะห์ขณะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ ทำเพื่อศึกษาผลของความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ ทำให้ในช่วงที่เกิดความผิดปกตินี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชั่นจะต้องจ่ายโหลดบางส่วนจากระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐด้วย โดยกำหนดให้ความผิดปกติเกิดขึ้นที่บัส 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ติดตั้งอยู่ และทำการแก้ไขความผิดปกติในเวลา 0.03 วินาที ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 3.3.2-1 ถึง 3.3.2-3

จากรูปที่ 3.3.2-1 พบว่า การที่ความผิดปกติเกิดขึ้นที่บัส 1 ทำให้มุมทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวแกว่งออกมากกว่าในหัวข้อที่แล้วอย่างเห็นได้ชัด และเครื่องกำเนิด



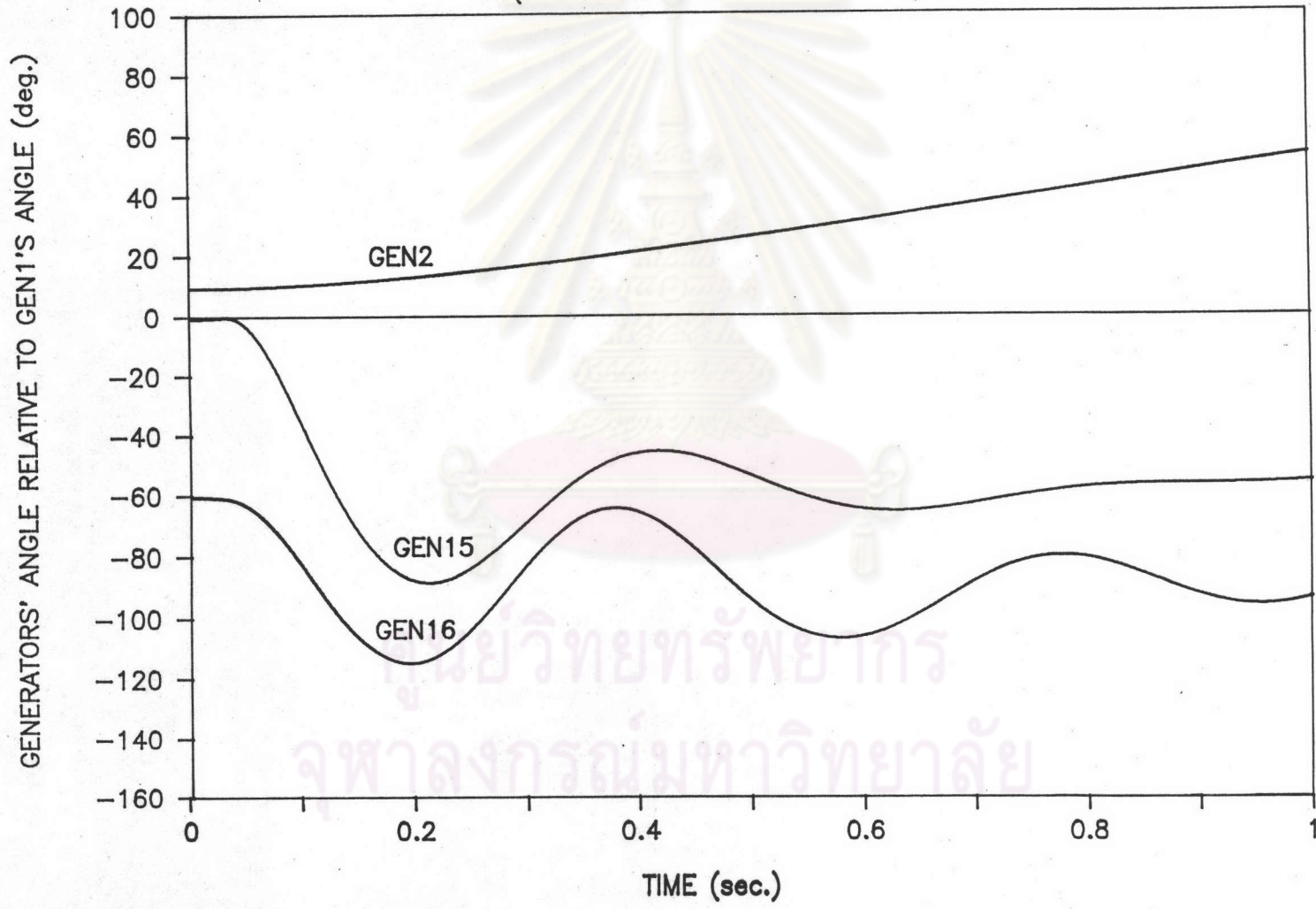
CASE 1 : Internal Voltage Angle of Generators for Fault at Bus 15  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.1-1



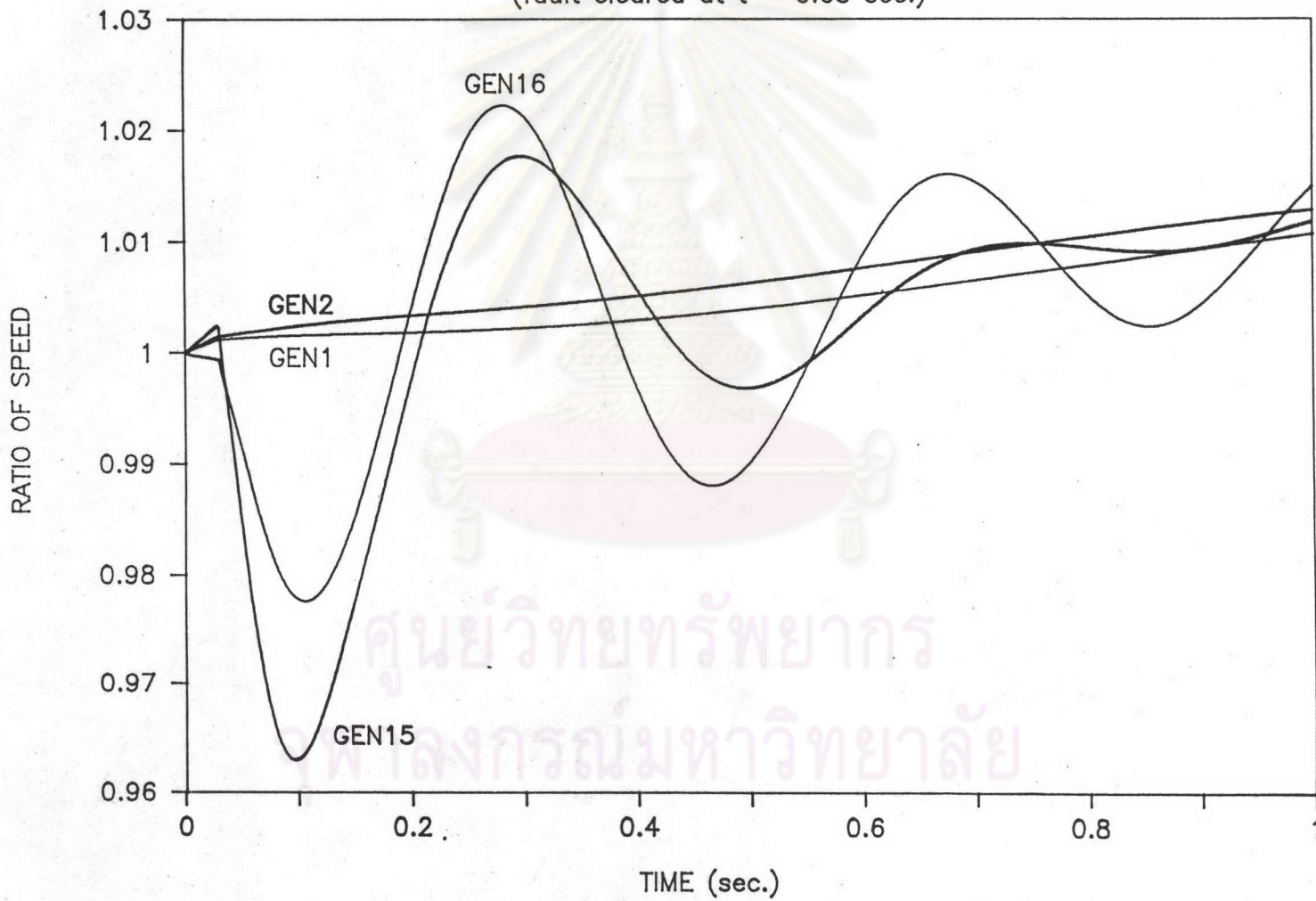
CASE 1 : Relative Angle of Generators for Fault at Bus 15  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.1-2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

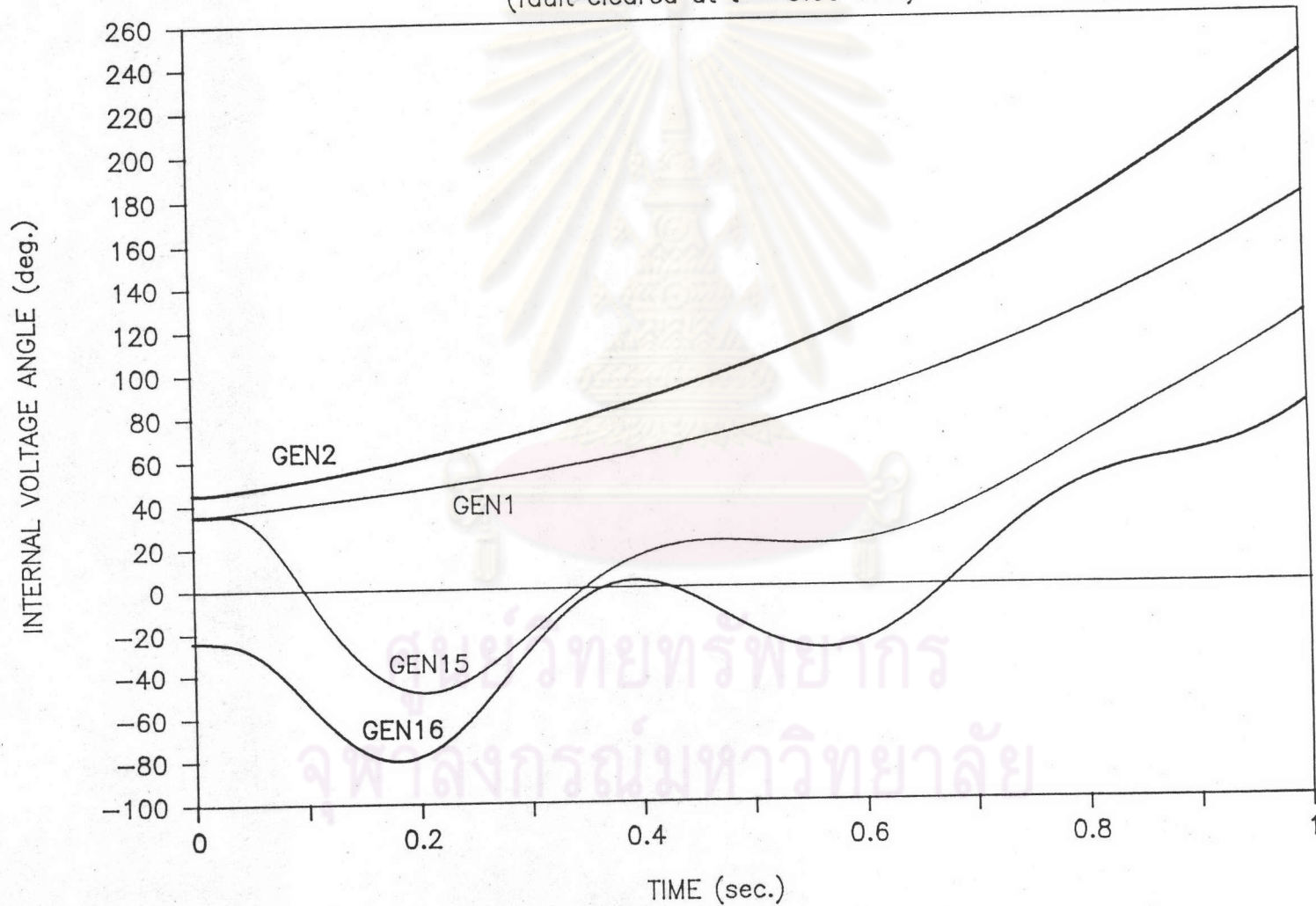
CASE 1 : Ratio of Generator Speed to Synchronous Speed for Fault at Bus 15  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.1-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

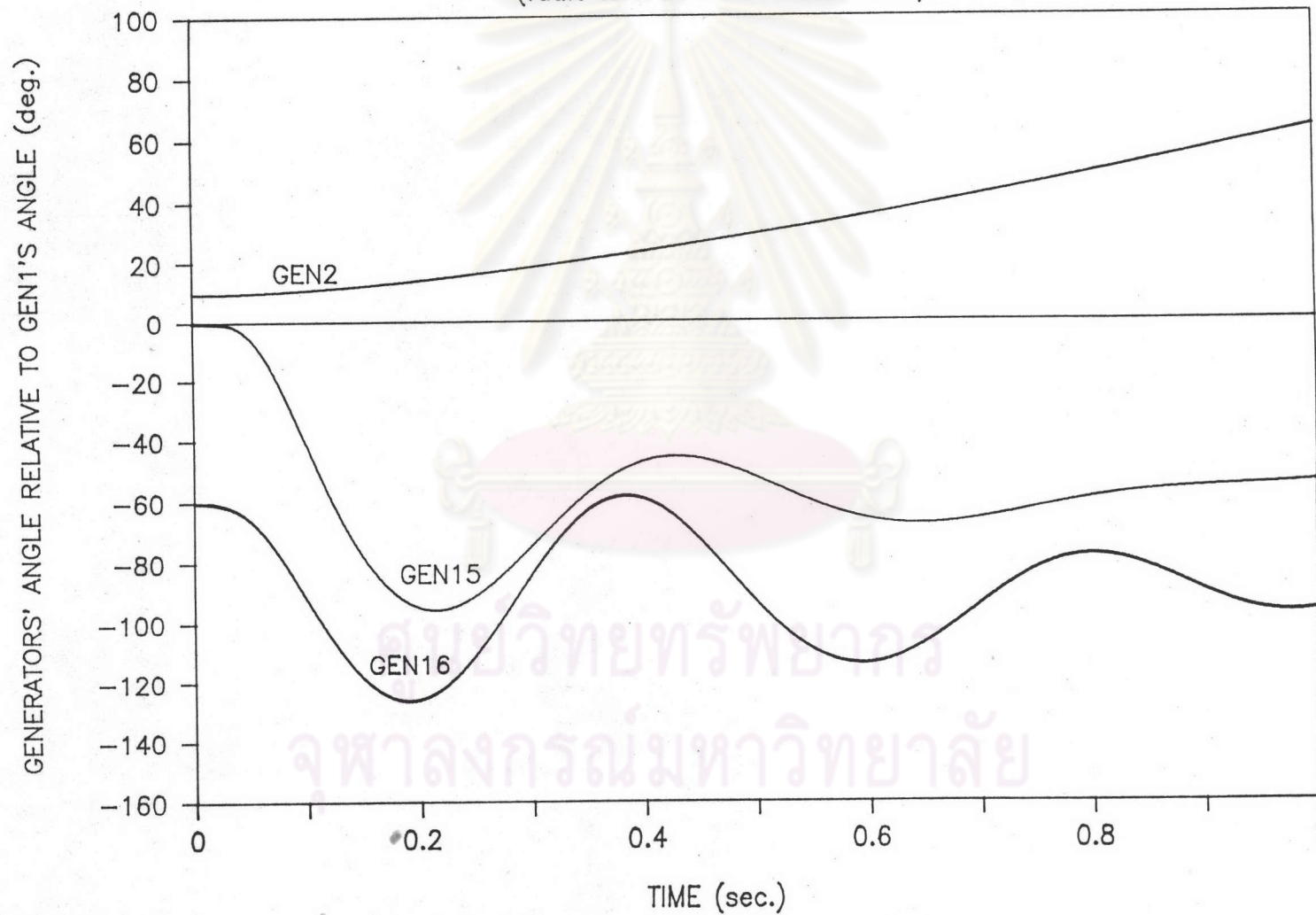
CASE 2 : Internal Voltage Angle of Generators for Fault at Bus 1  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.2-1



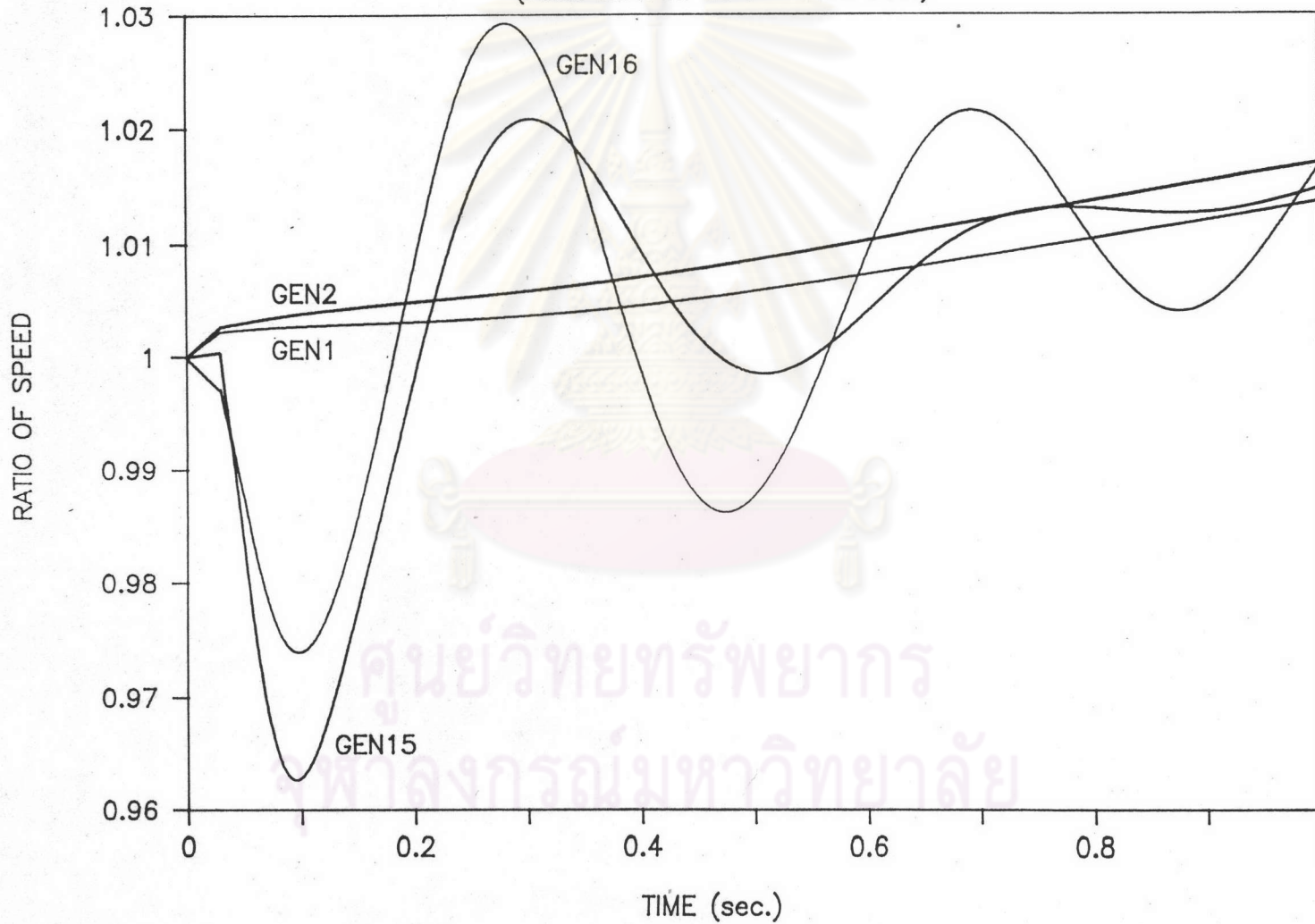
CASE 2 : Relative Angle of Generators for Fault at Bus 1  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.2-2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CASE 2 : Ratio of Generator Speed to Synchronous Speed for Fault at Bus 1  
(fault cleared at  $t = 0.03$  sec.)



รูปที่ 3.3.2-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
ภาควิชาวิศวกรรมมหาวิทาลัย

ไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชัน(หมายเลข 15 และ 16)มีการแกว่งของมุ่มที่มากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะช่วงที่เกิดความผิดพลาดที่บัส 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองในระบบโคเอนเนอเรชันจะทำการจ่ายโหลดบางส่วนจากระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ จึงทำให้การแกว่งของมุ่มสัมพัทธ์เพิ่มมากขึ้น แต่ลักษณะการแกว่งดังกล่าวลดลงแสดงว่ามุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชันจะเปลี่ยนแปลงตามค่ามุ่มที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 3.3.2-2 สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 15 และ 16 ส่วนในรูปที่ 3.3.2-3 แสดงว่าค่าอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองในระบบโคเอนเนอเรชันมีการแกว่งรอบ ๆ ค่าอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ ในลักษณะนี้อาจจะถือได้ว่าระบบโคเอนเนอเรชันยังคงรักษาเสถียรภาพไว้ได้

### 3.3.3 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเอนเนอเรชันทั้ง 2 แบบ

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบพบว่า ในช่วงที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบโคเอนเนอเรชันหรือในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ในระบบโคเอนเนอเรชันมีค่าต่ำลง ซึ่งจะทำการกำลังของโหลดในระบบโคเอนเนอเรชันลดลงตามไปด้วย ตามปกติค่ามุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชันจะต้องกางเพิ่มขึ้นในภาวะดังกล่าว แต่เนื่องจากผลของเอ็กไซเตอร์ในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชัน ทำให้เกิดการหน่วง ดังนั้น การเพิ่มของค่ามุ่มดังกล่าวจึงมีค่าน้อย

เมื่อทำการแก้ไขความผิดพลาดแล้ว กำลังของโหลดในระบบโคเอนเนอเรชันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสในระบบโคเอนเนอเรชันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน และจะเกิดการ overshoot ของโหลด ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชันซึ่งอยู่ใกล้โหลดมากต้องรับภาระนี้ ผลก็คือ ในช่วงที่โหลดเกิดการ overshoot มุ่มทางไฟฟ้าและความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโคเอนเนอเรชันลดลงอย่างมาก แต่หลังจากช่วง overshoot ของโหลดผ่านไปมุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองในระบบโคเอนเนอเรชันก็จะเพิ่มขึ้นตามมุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในลักษณะตามกัน (coherency)

ลักษณะการวิเคราะห์ทั้งสองแบบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3.3-1 ส่วนเครื่อง



ตารางที่ 3.3.3-1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.3.1 และ หัวข้อ 3.3.2

สิ่งที่ได้เปรียบเทียบ	การวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.3.1	การวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.3.2
1 ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ	จระบบขับเคลื่อนเนอเรน	จระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ
2 ช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติ	0.03 วินาที	0.03 วินาที
3 ค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสในระบบขับเคลื่อนเนอเรน ขณะที่เกิดความผิดปกติ	ต่ำมาก	ต่ำ
4 ค่ากำลังของโหลดในระบบขับเคลื่อนเนอเรน ขณะที่เกิดความผิดปกติ	ต่ำมาก	ต่ำ
5 การแกว่งมุมทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อนเนอเรน	มาก	มากขึ้น
6 การเปลี่ยนแปลงของค่ามุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สัมพันธ์กับ มุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1	เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง	เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง
7 มวนำมุมทางเสถียรภาพของระบบขับเคลื่อนเนอเรน	รักษาเสถียรภาพไว้ได้	รักษาเสถียรภาพไว้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 2 ในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐในการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบ จะมีการเพิ่มของมูมมากกว่าการเพิ่มของมูมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 ถ้าดูจากค่ามูมสัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 2 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะที่ต่างออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองในระบบโคเอนเนอเรนซ์ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 2 มีแนวโน้มว่าจะสูญเสียเสถียรภาพได้ถ้าช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาดนานกว่าเดิม

การเพิ่มขึ้นของมูมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 และ 2 ในการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบเป็นไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ การเพิ่มของมูมดังกล่าวจะมีค่าน้อยลง จนกระทั่งเริ่มมีการลดลงของมูมเข้าสู่จุดทำงาน (operating point) เดิมในสภาวะเริ่มต้น ซึ่งต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมากจึงจะเห็นผลดังกล่าว การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลของการที่ไม่คิดการหน่วงของมูมในแบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐนั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย