บทที่ 8

การหาค่าของค่าไอเก็นของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งสัมพันธ์กับออสซิลเลชันของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการโดเมนความถี่เชิงซ้อน

ปัญหาออสซิลเลชันความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นเองในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของระบบไฟฟ้ากำลังต่อการรบกวนซึ่งไม่รุนแรง เมื่อลักษณะของปัญหาเป็นเช่นนี้ ในการวิเคราะห์ จึงสามารถนำวิธีของการประมาณค่าแบบเชิงเส้น มาใช้ในการวิเคราะห์ได้ การวิธีใช้ดังกล่าว เป็นการลดความยุ่งยากจากการที่จะต้องเกี่ยวข้องกับปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear problem) มาเป็นปัญหาเชิงเส้นแทน การหาค่าของค่าไอเก็นของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งสัมพันธ์กับออสซิลเลชันของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้วิธีการโดเมนความถี่เชิงซ้อนซึ่งใช้เป็นหลักในการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ เริ่มจากแนวความคิดที่ว่าถ้าที่โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเครื่องหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง มีแรงบิดจากภายนอก ซึ่งเป็นฟังก์ชันของไซน์เชิงซ้อนที่มีความถี่เชิงซ้อนเท่ากับค่าไอเก็นเชิงซ้อนที่สัมพันธ์กับออสซิลเลชันของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าว จะเป็นผลทำให้เกิดออสซิลเลชันขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ตัวแปรอินครีเมนตอลทุกตัวของระบบไฟฟ้ากำลังดังกล่าวนี้จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันของไซน์เชิงซ้อนที่มีรูปแบบเช่นเดียวกับแรงบิดจากภายนอกดังกล่าวข้างต้น ด้วยเหตุนี้จึงใช้เฟสเซอร์เชิงซ้อนของตัวแปรอินครีเมนตอลในการวิเคราะห์ได้

ในบทนี้ ได้อธิบายถึง วิธีหาค่าของค่าไอเก็นซึ่งสัมพันธ์กับออสซิลเลชันของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้วิธีการของโดเมนความถี่เชิงซ้อน ซึ่งใช้เป็นหลักในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้

8.1 การหาค่าเฟสเซอร์ของแรงดันที่ขั้วและแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ระบบสมการแสดงความสัมพันธ์ของเฟสเซอร์ของแรงดันที่ขั้วและแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งใช้ทฤษฎีวงจร (network theory) เป็นหลักในการหา มีลักษณะดังสมการ (6.25) กล่าวคือ

$$[\acute{A}][e_T] + [-B][\acute{e}] = [0] \qquad (6.26)$$

เมตริกซ์ $[\acute{A}]$ และ $[B]$ ในสมการ (6.25) เป็นเมตริกซ์ซึ่งมีค่าไม่ขึ้นกับโอเปอร์เรเตอร์

เชิงซ้อน $-\sigma + j\Omega$ แต่มีค่าขึ้นกับ แอดมิตแตนซ์ของระบบไฟฟ้า และ เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (output impedance) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบสมการในสมการ (6.25) นี้เป็นระบบสมการเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 4M ตัวแปร ที่มีจำนวนแถว 2M แถว (M คือจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง) ซึ่งหาคำตอบเฉพาะไม่ได้

ระบบสมการแสดงความสัมพันธ์ของเฟสเซอร์ของแรงดันที่ขั้วและแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมเป็นหลักในการหา มีลักษณะดังสมการ (7.89) กล่าวคือ

$$[C][e_T] + [D][\acute{e}] = [I_x] \qquad (7.89)$$

สมาชิกของเมตริกซ์ [C] และ [D] ในสมการ (7.89) มีค่าขึ้นกับโอเปอร์เรเตอร์เชิงซ้อน $-\sigma + j\Omega$ (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 7) ระบบสมการในสมการ (7.89) นี้เป็นระบบสมการเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 4M ตัวแปรที่มีจำนวนแถว 2M แถวเช่นเดียวกับสมการ (6.25) และหาคำตอบเฉพาะไม่ได้เช่นกัน เมื่อนำเอาระบบสมการ (6.25) มารวมกับระบบสมการ (7.89) ผลที่ได้มีลักษณะดังดังสมการ (8.1)

$$\begin{bmatrix} A' & -B & e_T \\ D & C & \acute{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I_x \end{bmatrix} \qquad (8.1)$$

สมการ (8.1) เป็นระบบสมการเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 4M ตัวที่มีจำนวนแถว 4M แถว จึงหาคำตอบเฉพาะได้ ค่าของเฟสเซอร์ของตัวแปรอินครีเมนตอลของแรงดันที่ขั้วและแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีค่าขึ้นกับโอเปอร์เรเตอร์เชิงซ้อน หาได้จากคำตอบของสมการ (8.1) นี้

8.2 การหาค่าเฟสเซอร์ของตัวแปรอินครีเมนตอลของความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าของเฟสเซอร์ของตัวแปรอินครีเมนตอลของความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหาได้จากสมการ (7.85) กล่าวคือ

$$\omega = -[a_{51}/Z_{55}]e_{TR} - [a_{52}/Z_{55}]e_{TI} - [a_{53}/Z_{55}]\ddot{e}_R - [a_{54}/Z_{55}]\ddot{e}_I \qquad (7.85)$$

ค่าของ e_{TR} e_{TI} $\ddot{e}_R$ และ $\ddot{e}_I$ ซึ่งสอดคล้องกับโอเปอร์เรเตอร์เชิงซ้อน $-\sigma + j\Omega$ หาได้จากคำตอบของสมการ (8.1) เมื่อรู้ค่า e_{TR} e_{TI} $\ddot{e}_R$ และ $\ddot{e}_I$ แล้ว ความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใด ๆ หาได้จากสมการ (7.85) ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกบังคับ ความเร็วเชิงมุมของมันได้รับการกำหนดให้มีค่าคงที่ และได้รับการกำหนดให้เป็นเฟสเซอร์อ้างอิง จึงไม่ต้องหาค่าความเร็วเชิงมุมของมันโดยใช้สมการ (7.85) อีก

8.3 การหาค่าของแรงบิดจากภายนอก

แรงบิดจากภายนอก T_x ที่มากระทำที่โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกบังคับ มีค่าดังสมการ (7.88)[6]

$$T_x = a_{51}e_{TR} + a_{52}e_{TI} + a_{53}\ddot{e}_R + a_{54}\ddot{e}_I + Z_{55}\omega \qquad (7.88)$$

8.4 การหาค่าพีคของพลังงานจลน์ (peak kinetic energy)

ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง ค่าพีคของพลังงานจลน์ มีค่าดังสมการ (8.2) [6] กล่าวคือ

$$W_N = S_B \sum_{j=1}^{M} H_j(\omega_{Rj}\cos\Omega t - \omega_{Ij}\sin\Omega t)^2 \qquad (8.2)$$

ค่าของ Ωt ในสมการ (8.2) หาได้จากสมการ (8.3) กล่าวคือ

$$\tan(2\Omega t) = [-2\sum_{j=1}^{M} H_j\omega_{Rj}\omega_{Ij}]/[\sum H_j(\omega_{Rj} - \omega_{Ij})(\omega_{Rj} + \omega_{Ij})] \qquad (8.3)$$

สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในสมการ (8.2) และ (8.3) มีคำอธิบายดังนี้

H_j คือ ค่าคงตัวแห่งความเฉื่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ใด ๆ ในระบบเปอร์ยูนิตซึ่งคิดจากค่าเบส MVA ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ω_{Rj} คือ ส่วนจริงของเฟสเซอร์ของความเร็วเชิงมุม (อินครีเมนตอล) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ใด ๆ ในระบบเปอร์ยูนิตซึ่งคิดจากค่าเบส MVA ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ω_{Ij} คือ ส่วนจินภาพของเฟสเซอร์ของความเร็วเชิงมุม (อินครีเมนตอล) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ใด ๆ ในระบบเปอร์ยูนิตซึ่งคิดจากค่าเบส MVA ของระบบไฟฟ้ากำลัง

S_B คือ ค่าเบส MVA ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ค่าพีคของพลังงานจลน์ W_N ใช้ในสูตรการประมาณค่าของค่าไอเก็น ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

8.5 การประเมินค่าของค่าไอเก็น

สูตรการประเมินค่าของค่าไอเก็น ในแต่ละวงรอบของการค้นหาค่าของค่าไอเก็นของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง มีลักษณะดังสมการ (8.4) และสมการ (8.5)

$$\alpha = \sigma + [\omega_D(\Omega T_{XR} - \sigma T_{XI})/(4\Omega W_N)] \qquad (8.4)$$

$$\beta^2 = \Omega^2 - [\omega_D(\Omega T_{XI} + \sigma T_{XR})/(2W_N)] - [\omega_D(\Omega T_{XR} - \sigma T_{XI})/(2\Omega W_N)]^2 \qquad (8.5)$$

8.6 ขั้นตอนวิธีของการค้นหาค่าของค่าไอเก็น

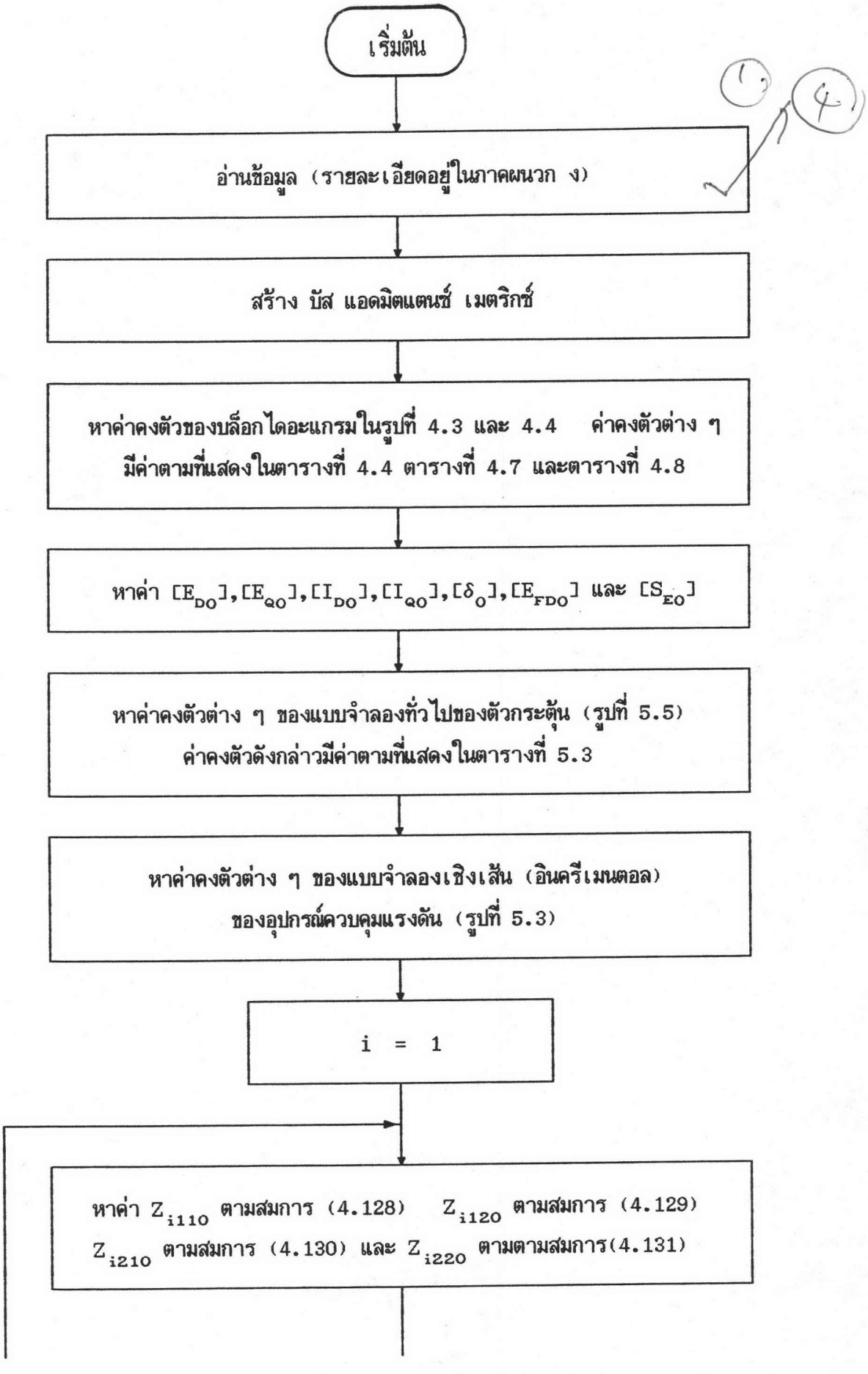
ขั้นตอนวิธีของการค้นหาค่าของค่าไอเก็น มีลักษณะดังโฟลว์ชาร์ตตามที่แสดงในรูปที่ 8.1 ในรูปดังกล่าว

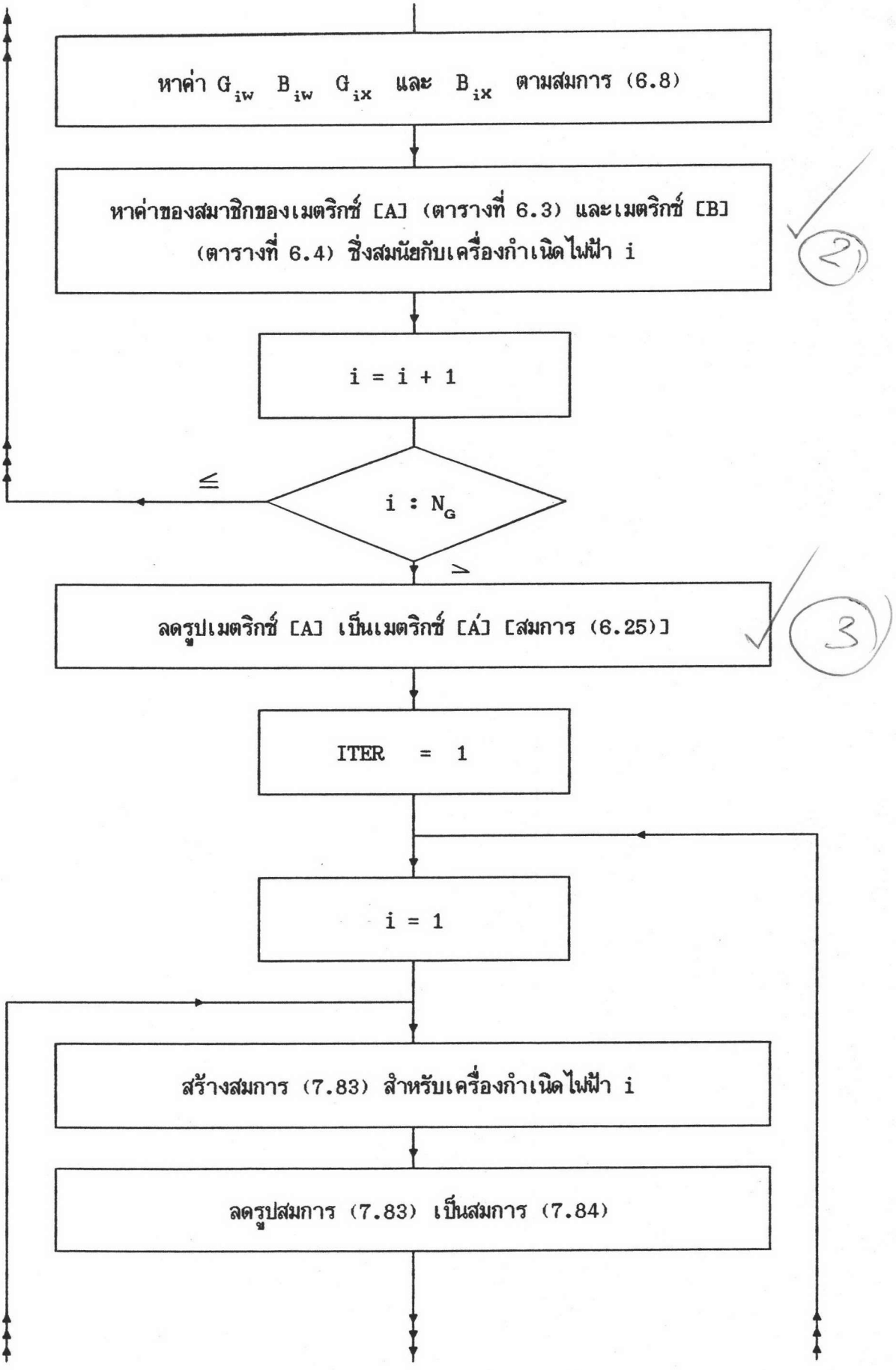
ϵ_1 คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ของส่วนจริงของค่าไอเก็นเชิงซ้อน

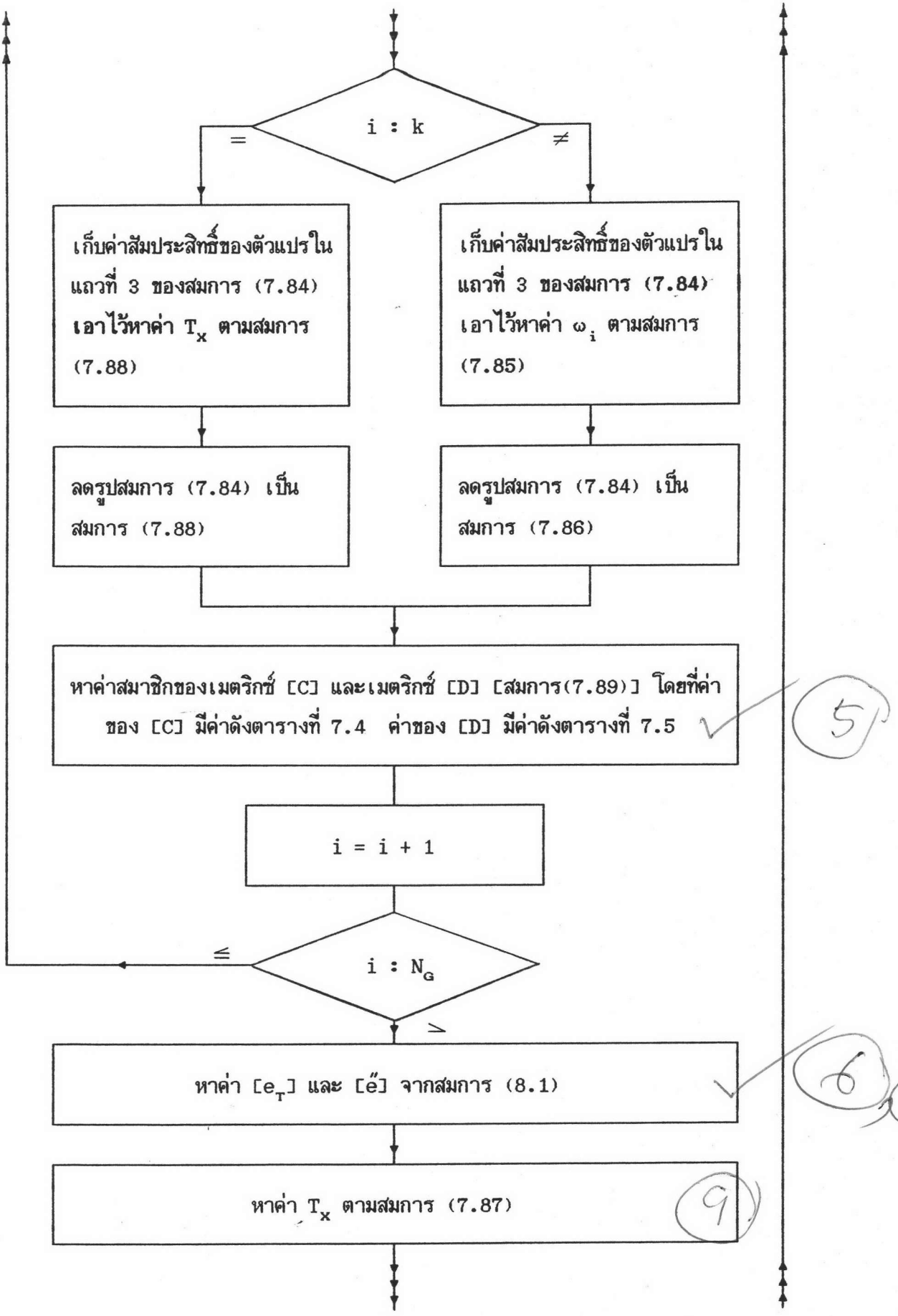
ϵ_2 คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ของส่วนจินตภาพของค่าไอเก็นเชิงซ้อน

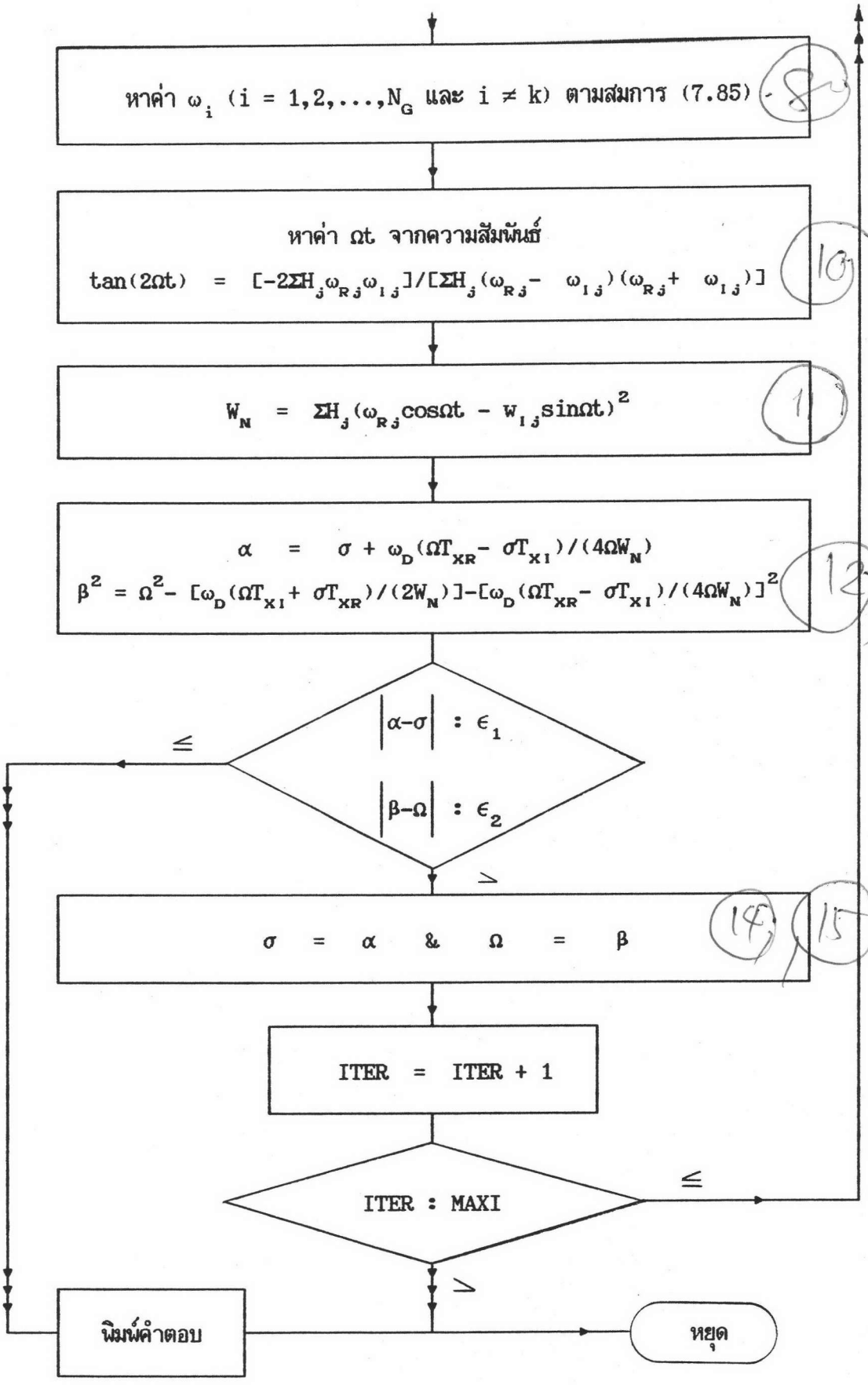
MAXI คือจำนวนวงรอบของการค้นหาค่าของค่าไอเก็นที่ยอมให้ได้

k คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกบังคับ


เริ่มต้น
อ่านข้อมูล (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)
สร้าง บัส แอดมิตแตนซ์ เมตริกซ์
หาค่าคงตัวของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ค่าคงตัวต่าง ๆ มีค่าตามที่แสดงในตารางที่ 4.4 ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8
หาค่า [E_DO],[E_QO],[I_DO],[I_QO],[δ_O],[E_FDO] และ [S_EO]
หาค่าคงตัวต่าง ๆ ของแบบจำลองทั่วไปของตัวกระตุ้น (รูปที่ 5.5) ค่าคงตัวดังกล่าวมีค่าตามที่แสดงในตารางที่ 5.3
หาค่าคงตัวต่าง ๆ ของแบบจำลองเชิงเส้น (อินครีเมนตอล) ของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (รูปที่ 5.3)
i = 1
หาค่า Z_i11O ตามสมการ (4.128) Z_i12O ตามสมการ (4.129) Z_i21O ตามสมการ (4.130) และ Z_i22O ตามตามสมการ(4.131)


หาค่า G_{iw} B_{iw} G_{ix} และ B_{ix} ตามสมการ (6.8)
หาค่าของสมาชิกของเมตริกซ์ [A] (ตารางที่ 6.3) และเมตริกซ์ [B] (ตารางที่ 6.4) ซึ่งสมนัยกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
i = i + 1
≤
i : N_G
>
ลดรูปเมตริกซ์ [A] เป็นเมตริกซ์ [Á] [สมการ (6.25)]
ITER = 1
i = 1
สร้างสมการ (7.83) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
ลดรูปสมการ (7.83) เป็นสมการ (7.84)


i : k
=
≠
เก็บค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแถวที่ 3 ของสมการ (7.84) เอาไว้หาค่า T_x ตามสมการ (7.88)
เก็บค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแถวที่ 3 ของสมการ (7.84) เอาไว้หาค่า ω_i ตามสมการ (7.85)
ลดรูปสมการ (7.84) เป็นสมการ (7.88)
ลดรูปสมการ (7.84) เป็นสมการ (7.86)
หาค่าสมาชิกของเมตริกซ์ [C] และเมตริกซ์ [D] [สมการ(7.89)] โดยที่ค่าของ [C] มีค่าดังตารางที่ 7.4 ค่าของ [D] มีค่าดังตารางที่ 7.5
i = i + 1
≦
i : N_G
≻
หาค่า $[e_T]$ และ $[\ddot{e}]$ จากสมการ (8.1)
หาค่า T_x ตามสมการ (7.87)



รูปที่ 8.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนวิธีการหาค่าของค่าไอเก็น