บทที่ 4

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ

4.1 <u>บทนำ</u>

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดตามหลักการในบทที่ 3 เป็นการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงเพียงอย่างเดียว และไม่ได้คำนึงถึงผลของกำลังรีแอกทีฟ แต่การจัดสรรกำลังรีแอกทีฟสามารถลดกำลังสูญเสียของระบบไฟฟ้ากำลังและทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำลงได้อีก การจัดสรรกำลังรีแอกทีฟสามารถทำได้โดยการปรับขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยรวมผลของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟหรือที่เรียกว่า การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ(Economic load dispatch based on real and reactive power allocations) ซึ่งการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบนี้ใช้เทคนิคของการแยกการจัดสรรกำลังออกเป็น 2 ส่วน คือ <u>การจัดสรรกำลังจริงและการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ</u>

4.2 <u>Optimization Technique</u> [11]

การรวมผลของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ เข้าในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคของโหลดโฟลว์ตามวิธีของนิวตัน-ราฟสันรวมกับเทคนิคการทำ optimization ดังนั้นการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟอาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า optimal load flow

การทำoptimizationเป็นการทำให้ฟังก์ชันๆหนึ่งมีค่าเหมาะสม(มากที่สุดหรือน้อยที่สุด) โดยการปรับตัวแปรควบคุม และระบบยังคงเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับ(constraints) ฟังก์ชันที่จะทำการoptimizationเรียกว่าobjective function($f(u,x)$) ตัวแปรของ objective functionจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ตัวแปรควบคุม(controlled variables) [u]

2. ตัวแปรสถานะ(state variables) [x]

เงื่อนไขบังคับในการทำoptimization แยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. เงื่อนไขบังคับแบบสมการ(equality constraints)

$$g(u,x) = 0 \tag{4.1}$$

2. เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ(inequality constraints)

$$h(u,x) \leq 0 \tag{4.2}$$

ในระบบไฟฟ้ากำลัง การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ จะมีตัวแปรและฟังก์ชันต่างๆเป็นดังต่อไปนี้

1. objective function (f(u,x)) คือต้นทุนการผลิตรวมของระบบ หรือ

$$f(u,x) = C = \sum_{i=1}^{N} C_i \tag{4.3}$$

2. ตัวแปรควบคุม[u] คือ

$$[u] = \begin{cases} \text{กำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายกเว้นที่บัสอ้างอิง}(P_{Gi}, i \neq SW) \\ \text{ขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง}(V_i, i = SW+PV\ BUS) \end{cases}$$

3. ตัวแปรสถานะ[x] คือ

$$[x] = \begin{cases} \text{มุมของแรงดันที่บัสยกเว้นบัสอ้างอิง}(\theta_i, i \neq SW) \\ \text{ขนาดของแรงดันโหลดบัส}(V_i, i = PQ\ BUS) \\ \text{กำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง}(P_{Gsw}) \\ \text{กำลังรีแอกทีฟที่ผลิตของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง}(Q_{Gi}, i = SW+PV\ BUS) \end{cases}$$

4. เงื่อนไขบังคับแบบสมการ ($g(u,x)$) คือสมการความผิดพลาดของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่บัส(bus real and reactive power mismatch equations) ตามสมการที่ 2.39 หรือ

$$[g(u,x)] = \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ --- \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i - (P_{Gi} - P_{Di}) \\ ---------------- \\ Q_i - (Q_{Gi} - Q_{Di}) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

5. เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ ($h(u,x)$) คือขีดจำกัด(limit)ของตัวแปรต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่

$$P_{Gimin} \leqslant P_{Gi} \leqslant P_{Gimax} \quad (4.5)$$

$$Q_{Gimin} \leqslant Q_{Gi} \leqslant Q_{Gimax} \quad (4.6)$$

$$V_{imin} \leqslant V_i \leqslant V_{imax} \quad (4.7)$$

เงื่อนไขบังคับแบบอสมการจะแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ เงื่อนไขบังคับของตัวแปรควบคุม และเงื่อนไขบังคับของตัวแปรสถานะ

<u>ข้อสังเกต</u>

1. ในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ ตัวแปรควบคุมจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิต และขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง ซึ่งแตกต่างกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงเพียงอย่างเดียวตามบทที่ 3 ในกรณีนั้นตัวแปรควบคุมเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตเพียงอย่างเดียว

2. ในการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ จะสมมติให้โหลดคงที่ตลอดการวิเคราะห์

3. ตัวแปรควบคุมในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟจะเป็นตัวแปรตัวเดียวกับตัวแปรที่กำหนดค่าให้ในการทำโหลดโฟลว์ และตัวแปรสถานะจะเป็นตัวแปรตัวเดียวกับตัวแปรที่ต้องการหาค่าในการทำโหลดโฟลว์

4.3 ขั้นตอนการทำOptimization [4]

สมมติว่าจะทำการminimization โดยมีobjective functionเป็นf(u,x) โดยการปรับตัวแปรควบคุม[u] และมีข้อบังคับเป็น g(u,x) และ h(u,x) หรือ

$$\begin{aligned} &\min_{[u]} \quad f(u,x) \\ &\text{subject to} \\ &[g(u,x)] = 0 \\ &[h(u,x)] \leq 0 \end{aligned} \qquad (4.8)$$

การทำminimizationสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 การแปลงปัญหา(Problem Transformation)

จากปัญหาการminimizationแบบมีข้อบังคับ (constrained minimization) สามารถแปลงให้เป็นปัญหาการminimizationแบบไม่มีข้อบังคับ (unconstrained minimization)ได้โดยการแปลงobjective functiveใหม่ให้เป็น augmented objective function (F(u,x))ตามสมการ

$$F(u,x) = f(u,x) + [\lambda]^T[g(u,x)] + W(u,x) \qquad (4.9)$$

โดยที่ $[\lambda]$ เป็นคอลัมน์เวกเตอร์(column vector) λ_i ซึ่งเป็นสมาชิกของ$[\lambda]$เรียกว่า Lagrange multiplier

W(u,x) เรียกว่าpenalty function ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.3.2 Penalty Function [3,4]

Penalty functionเป็นเทคนิคที่ใช้รวมผลของข้อบังคับของตัวแปรสถานะ โดยที่Penalty functionจะมีผลต่อaugmented objective functionทำให้คำตอบของการminimizationสอดคล้องกับข้อบังคับของตัวแปรสถานะ Penalty function มีค่าดังนี้

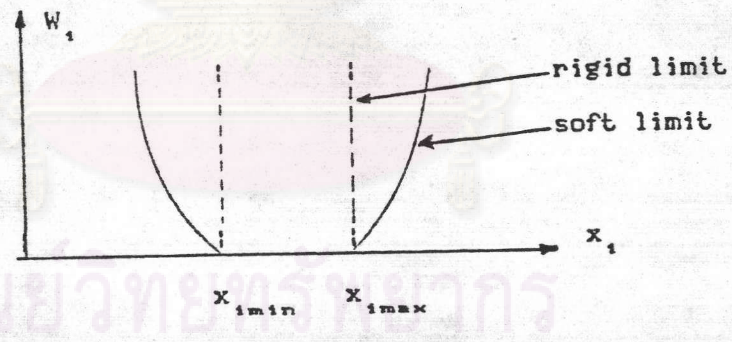
$$W(u,x) = \sum_{i=1}^{M} W_i$$

$$W_i = \begin{cases} w_i(x_i - x_{imin})^2 & \text{เมื่อ } x_i < x_{imin} \\ 0 & \text{เมื่อ } x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax} \\ w_i(x_i - x_{imax})^2 & \text{เมื่อ } x_i > x_{imax} \end{cases} \qquad (4.10)$$

โดยที่ w_i เป็นค่าคงที่เรียกว่าconstant of penalty function

M เป็นจำนวนของขีดจำกัดของตัวแปรสถานะ

Penalty functionเป็นการทำให้ขีดจำกัดแบบแข็ง(rigid limit) กลายเป็นขีดจำกัดแบบอ่อน(soft limit) ดังนั้นเมื่อใช้penalty function คำตอบของการminimizationจะมีตัวแปรสถานะเกินขีดจำกัดเล็กน้อย ค่าคงที่ w_i มีความสำคัญ ถ้าหาก w_i มีค่ามากจะทำให้ตัวแปรสถานะมีค่าเกินขีดจำกัดไปน้อยกว่าในกรณีที่ w_i มีค่าน้อย



รูปที่ 4.1 Penalty function

เนื่องจากมีตัวแปรสถานะบางตัวสามารถถือได้ว่า เป็นฟังก์ชันของตัวแปรควบคุมและตัวแปรสถานะตัวอื่นๆ เช่น กำลังรีแอกทีฟที่ผลิตถือได้ว่าเป็นเป็นฟังก์ชันของขนาดและมุมของแรงดัน ตัวแปรสถานะพวกนี้เรียกว่าfunctional state variables และเงื่อนไขบังคับของตัวแปรสถานะพวกนี้ เรียกว่า functional inequality constraints และจากการที่ตัวแปรสถานะพวกนี้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรควบคุมและตัวแปรสถานะบางตัว ทำให้penalty function เป็นฟังก์ชันของตัวแปรควบคุมและตัวแปรสถานะแทนที่จะเป็นฟังก์ชันของตัวแปรสถานะเพียงอย่างเดียว

4.3.3 <u>สภาวะที่จุดต่ำสุด(Minimum Condition)</u> [3,4]

จากหลักของ Khun-Tucker theorem สภาวะที่จุดต่ำสุดจะเป็นดังนี้

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right] = \left[\frac{\partial f}{\partial x}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W}{\partial x}\right] = 0 \qquad (4.11)$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial u}\right] = \left[\frac{\partial f}{\partial u}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W}{\partial u}\right] = 0 \qquad (4.12)$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial \lambda}\right] = [g(u,x)] = 0 \qquad (4.13)$$

สมการที่ 4.13 ก็คือสมการความผิดพลาดของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่บัส การแก้สมการที่ 4.13 ก็คือการทำโหลดโฟลว์นั่นเอง

4.3.4 <u>เกรเดียนต์เวกเตอร์(Gradient Vector)</u> [11,12]

การทำminimization คือการแก้สมการที่ 4.11,4.12 และ 4.13 เพื่อหาค่า[u]ที่ทำให้objective functionมีค่าน้อยที่สุด แต่เนื่องจากสมการทั้ง 3 เป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น(non-linear equation) การแก้สมการทั้ง 3 จึงควรใช้วิธี numerical ซึ่งสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

สมมติค่า[u]ขึ้น และแทนลงในสมการที่ 4.13 แล้วแก้สมการหาค่า[x] เมื่อได้ค่า[x]แล้ว นำค่า[u]และ[x]แทนลงในสมการที่ 4.11 เพื่อหาค่า[λ] จากนั้นนำค่า[u],[x]และ[λ]แทนลงในสมการที่ 4.12 เพื่อคำนวนค่า[∂F/∂u] ทดสอบค่า[∂F/∂u] ถ้าเท่ากับ 0 แสดงว่าค่า[u]ที่สมมติขึ้นถูกต้อง ถ้าไม่เท่าให้ทดลองสมมติค่า[u]ขึ้นใหม่

ค่า[∂F/∂u] ที่คำนวนได้จากสมการที่ 4.12 เรียกว่าเกรเดียนต์เวกเตอร์และมีสัญญลักษณ์เป็น[∇F] เกรเดียนต์เวกเตอร์เป็นค่าที่แสดงความไว (sensitivity)ของobjective functionเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรควบคุม โดยรวมผลของเงื่อนไขบังคับแบบสมการ[g(u,x)] และผลของpenalty function (W(u,x)) เกรเดียนเวกเตอร์จะตั้งฉากกับcontourของobjective function

ขั้นตอนการทำminimizationโดยวิธีnumerical สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมมติค่า[u]ขึ้น

2. ทำโหลดโฟลว์เพื่อแก้สมการที่ 4.13 จะได้ค่า[x] เทคนิคที่ใช้อาจจะเป็นนิวตัน-ราฟสันหรือฟาสต์ดีคัปเปิลก็ได้

3. คำนวน[λ]จากสมการ

$$[\lambda] = -\left[\left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]^T\right]^{-1}\left[\left[\frac{\partial f}{\partial x}\right] + \left[\frac{\partial W}{\partial x}\right]\right] \qquad (4.14)$$

4. คำนวนเกรเดียนต์เวกเตอร์จากสมการ

$$[\nabla f] = \left[\frac{\partial f}{\partial u}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u}\right]^T[\lambda] + \left[\frac{\partial W}{\partial u}\right] \qquad (4.15)$$

5. ตรวจสอบค่า[∇f] ถ้าขนาดของ ∇f_i ที่ใหญ่ที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ แสดงว่าถึงจุดต่ำสุดแล้ว ถ้าไม่ใช่ให้ทำขั้นที่ 6 ต่อไป

6. ปรับตัวแปรควบคุมโดยใช้สมการ

$$[u]^{new} = [u]^{old} + [\Delta u] \qquad (4.16)$$

[Δu] คือupdate vector ซึ่งจะได้กล่าววิธีการหาค่า[Δu]ในหัวข้อต่อไป เมื่อปรับค่าตัวแปรควบคุมแล้วให้ย้อนไปทำขั้นที่ 2 ต่อไป

4.3.5 <u>การหาค่าUpdate Vector[Δu]</u> [11,12]

การหาค่าupdate vector มีหลายวิธี แต่จะกล่าวถึง 2 วิธี คือ steepest descentซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และconjugate gradientซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการทำoptimizationโดยทั่วๆไป

1. <u>Steepest Descent</u> การทำoptimizationตามวิธีsteepest descentเป็นการก้าวไปสู่จุดต่ำสุดตามทิศที่ชันที่สุด ซึ่งก็คือทิศของ −[∇f] ขนาดของการก้าวหรือstep lengthจะต้องมีค่าที่เหมาะสม เพราะถ้าก้าวสั้นเกินไปก็จะไปถึงจุดต่ำสุดช้า แต่ถ้าก้าวยาวเกินไปก็จะเลยคำตอบและเกิดการแกว่ง(oscillate) ค่า [Δu] ในวิธี steepest descentจะเป็นไปตามสมการ

$$[\Delta u] \quad = \quad - c[\nabla f] \qquad (4.17)$$

โดยที่ c คือstep lenghtและเป็นสเกลลาร์ การหาค่าcจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.6.6

2. <u>Conjugate Gradient</u> การก้าวไปตามทิศที่ชันที่สุดไม่ใช่เป็นการก้าวตรงไปยังจุดต่ำสุด(ดูรูปที่ 4.2) การก้าวลงไปตามทิศของconjugate gradient [r]จะเป็นการก้าวตรงไปยังจุดต่ำสุด ดังนั้น

$$[u] \quad = \quad c[r]_k \qquad (4.18)$$

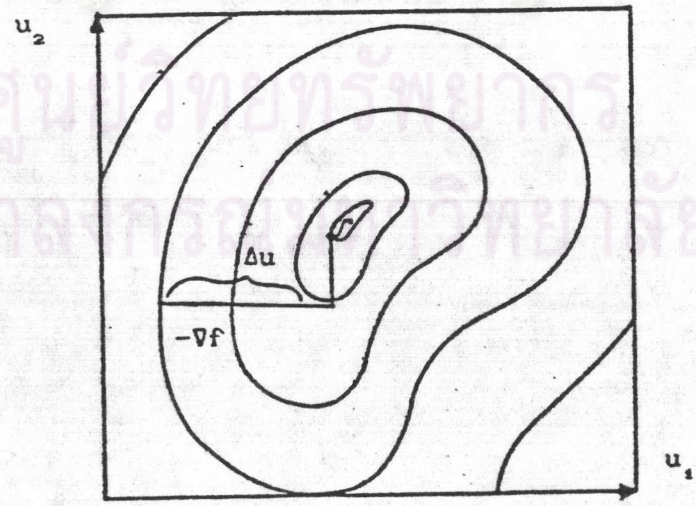
และ

$$[r]_k \quad = \quad - [\nabla f]_k + \beta_k [r]_{k-1} \qquad (4.19)$$

$$\beta_k \quad = \quad \frac{\|[\nabla f]_k\|^2}{\|[\nabla f]_{k-1}\|} \qquad (4.20)$$

เมื่อ k เป็นหมายเลขอิทเทอร์เรชัน กรณีที่ $k = 0$, $\beta_o = 0$

การหาค่า c ทำได้เช่นเดียวกับวิธีsteepest descent



รูปที่ 4.2 การเข้าหาคำตอบของวิธีsteepest descent

4.4 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธีแยกการจัดสรรกำลังจริง-กำลังรีแอกทีฟ [12,13]

เนื่องจากตัวแปรควบคุมแต่ละชนิดมีผลต่อobjective functionไม่เท่ากัน เช่น ขนาดของแรงดันที่บัสอ้างอิงและบัสควบคุมแรงดันมีผลทางอ้อมต่อต้นทุนการผลิตรวมของระบบ แต่มีผลโดยตรงต่อกำลังสูญเสีย ดังนั้นการทำoptimizationโดยการปรับตัวแปรควบคุมทั้งหมดไปพร้อมกัน จะทำให้การเข้าหาคำตอบช้า ทางแก้ไขในเรื่องนี้สามารถทำได้โดยการใช้หลักดีคัปเปิล(decouple)แยกการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยการใช้การจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟออกเป็น 2 ปัญหา คือ

1. <u>การจัดสรรกำลังจริง หรือ ปัญหาพี (P-Problem)</u> เป็นการทำ minimizationโดยมีobjective functionเป็นต้นทุนการผลิตรวมของระบบ หรือ

$$f_p(u_p,x) = C \tag{4.21}$$

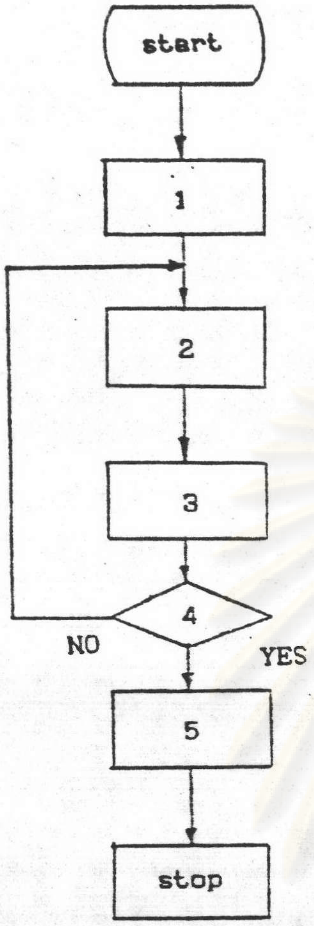
ตัวแปรควบคุมของการจัดสรรกำลังจริง$[u_p]$ คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายกเว้นที่บัสอ้างอิง

2. <u>การจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ หรือ ปัญหาคิว (Q-Problem)</u> เป็นการทำ minimizationโดยมีobjective functionเป็นกำลังสูญเสียของระบบ หรือ

$$f_q(u_q,x) = P_L \tag{4.22}$$

ตัวแปรควบคุมของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ$[u_q]$ คือ ขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง

สำหรับตัวแปรสถานะของทั้งสองปัญหาเป็นตัวเดียวกัน เมื่อนำปัญหาทั้งสองมารวมกันสามารถทำได้โดยการแก้ปัญหาทั้งสองสลับกัน โดยที่เมื่อทำการจัดสรรกำลังจริงจะให้$[u_q]$คงที่ และเมื่อทำการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟจะให้$[u_p]$คงที่ ดังอัลกอริทึมในรูปที่4.3



1. สมมติค่า$[u_p]$และ$[u_q]$
2. ทำการจัดสรรกำลังจริงโดยที่$[u_q]$คงที่
3. ทำการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟโดยที่$[u_p]$ คงที่
4. ทดสอบว่าทั้งการจัดสรรกำลังจริงและการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟเข้าหาคำตอบภายใน 1 อิทเทอร์เรชันหรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่าได้คำตอบแล้วให้ทำขั้นที่ 5 ต่อไป ถ้าไม่ให้ย้อนไปทำขั้นที่ 2
5. พิมพ์ผล

รูปที่ 4.3 อัลกอริทึมของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธีแยกการจัดสรรกำลังจริง-กำลังรีแอกทีฟ

4.5 รายละเอียดการคำนวนในการจัดสรรกำลังจริง

4.5.1 Objective function ตัวแปรควบคุมและตัวแปรสถานะ

objective functionของการจัดสรรกำลังจริงคือ

$$f_p(u_p, x) = C(P_{G1}, P_{G2}, \ldots, P_{GN})$$

$$= \sum_{i=1}^{N} C_i \qquad (4.23)$$

ตัวแปรควบคุมของการจัดสรรกำลังจริง คือ P_{Gi} $(i \neq SW)$

ตัวแปรสถานะของการจัดสรรกำลังจริง คือ $\theta_i(i \neq SW)$, $V_i(i=PQ\ BUS)$, P_{Gsw} และ $Q_{Gi}(i=SW+PV\ BUS)$ แต่เนื่องจาก P_{Gsw} และ $Q_{Gi}(i=SW+PV\ BUS)$ เป็นfunctional state variables ดังนั้นในการแก้สมการที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 จะสนใจแต่ $\theta_i(i \neq SW)$ และ $V_i(i=PQ\ BUS)$เท่านั้น เมื่อคำนวนค่า θ_i และ V_i ได้แล้ว จึงจะคำนวนค่า P_{Gsw} และ Q_{Gi} ภายหลัง

4.5.2 <u>เงื่อนไขบังคับ</u>

เงื่อนไขบังคับแบบสมการ[g(u,x)] คือ ΔP_i และ ΔQi เนื่องจาก P_{sw} และ $Q_i(i=SW+PV\ BUS)$ เป็นfunction state variables ดังนั้น ΔP_i จึงคิดเฉพาะที่โหลดบัสและบัสควบคุมแรงดันเท่านั้น และ ΔQ_i คิดเฉพาะโหลดบัสเท่านั้น หรือ

$$[g(u,x)] = \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ --- \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \begin{array}{l} i = PQ+PV\ BUS \\ \\ i = PQ\ BUS \end{array} \qquad (4.24)$$

เงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรควบคุมในการจัดสรรกำลังจริงคือขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายกเว้นที่บัสอ้างอิง หรือ

$$P_{Gimin} \leqslant P_{Gi} \leqslant P_{Gimax} \qquad i \neq SW \qquad (4.25)$$

เนื่องจากมุมของแรงดันไม่มีขีดจำกัด และการเปลี่ยนแปลงกำลังจริงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังรีแอกทีฟและขนาดของแรงดันน้อยมาก ดังนั้นเงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรสถานะที่จะพิจารณาในการจัดสรรกำลังจริงจึงมีเพียงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิงเท่านั้น หรือ

$$P_{GSWmin} \leqslant P_{GSW} \leqslant P_{GSWmax} \qquad (4.26)$$

4.5.3 <u>การแปลงปัญหาและสภาวะที่จุดต่ำสุด</u>

Augmented objective function ($F_p(u_p,x)$)ของการจัดสรรกำลังจริงเป็นไปตามสมการ

$$F_p(u_p,x) = C(u_p,x) + [\lambda]^T[g(u,x)] + W_p(u_p,x) \qquad (4.27)$$

โดยที่ $W_p(u_p,x)$ คือpenalty functionของการจัดสรรกำลังจริง

สภาวะที่จุดต่ำสุดของการจัดสรรกำลังจริงเป็นไปตามสมการ

$$\left[\frac{\partial F_p}{\partial x}\right] = \left[\frac{\partial C}{\partial x}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W_p}{\partial x}\right] = 0 \qquad (4.28)$$

$$\left[\frac{\partial F_p}{\partial u_p}\right] = \left[\frac{\partial C}{\partial u_p}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u_p}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W_p}{\partial u_p}\right] = 0 \qquad (4.29)$$

$$\left[\frac{\partial F_p}{\partial \lambda}\right] = [g(u,x)] = 0 \qquad (4.30)$$

4.5.3 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างการจัดสรรกำลังจริงและการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยคิดผลของกำลังสูญเสียจากโหลดโฟลว์</u> [5]

สมมติว่า P_{GSW} มีค่าไม่เกินขีดจำกัด ดังนั้น $[\partial W_p/\partial x] = 0$ และ $[\partial W_p/\partial u_p] = 0$ สมการที่ 4.28 และ 4.29 กลายเป็น

$$\left[\frac{\partial C}{\partial x}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]^T [\lambda] = 0 \qquad (4.31)$$

$$\left[\frac{\partial C}{\partial u_p}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u_p}\right]^T [\lambda] = 0 \qquad (4.32)$$

พิจารณาสมการที่ 4.31 $[\partial g/\partial x]$ คือจาโคเบียนเมทริกซ์ $[J]$ ส่วน $[\partial C/\partial x]$ สามารถเขียนแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ

$$\left[\frac{\partial C}{\partial x}\right] = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial C}{\partial \theta_i} \\ --- \\ \dfrac{\partial C}{\partial V_i} \end{bmatrix} \begin{array}{l} i = PQ+PV\ BUS \\ \\ i = PQ\ BUS \end{array} \qquad (4.33)$$

แต่

$$\frac{\partial C}{\partial \theta_1} = \frac{\partial C_{sw}}{\partial P_{Gsw}} \frac{\partial P_{sw}}{\partial \theta_1} \qquad (4.34)$$

และ

$$\frac{\partial C}{\partial V_1} = \frac{\partial C_{sw}}{\partial P_{Gsw}} \frac{\partial P_{sw}}{\partial V_1} \qquad (4.35)$$

$\partial C/\partial P_{Gsw}$ คือincremental costของบัสอ้างอิง หรือ IC_{sw} ดังนั้นสมการที่ 4.33 กลายเป็น

$$\left[\frac{\partial C}{\partial x}\right] = IC_{sw} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial \theta_1} \\ ---- \\ \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial V_1} \end{bmatrix} \qquad (4.36)$$

ถ้าแยก$[\lambda]$ออกเป็นสองส่วนคือ $[\lambda_P]$ และ $[\lambda_Q]$ สมการที่ 4.31 กลายเป็น

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_P \\ -- \\ \lambda_Q \end{bmatrix} = - IC_{sw} [J^T]^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial \theta_1} \\ ---- \\ \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial V_1} \end{bmatrix} \qquad (4.37)$$

จากสมการที่ 3.33, 3.37 และ 4.37 สมาชิกของ$[\lambda_P]$ จะมีค่าตามสมการ

$$\lambda_{P1} = IC_{sw}(1 - ITL_1) \qquad (4.38)$$

พิจารณาสมการที่ 4.32 $[\partial C/\partial u_P]$ คือincremental cost หรือ

$$\frac{\partial C}{\partial u_{P1}} = \frac{\partial C_1}{\partial P_{G1}} = IC_1 \qquad (4.39)$$

สำหรับ $[\partial g/\partial u_p]$ สามารถเขียนแยกได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

$$\left[\frac{\partial g}{\partial u_p}\right] = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \Delta P_i}{\partial P_{Gj}} \\ ---- \\ \dfrac{\partial \Delta Q_i}{\partial P_{Gj}} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} i = \text{PQ+PV BUS} \\ j = \text{PV BUS} \\ \\ i = \text{PQ BUS} \\ j = \text{PV BUS} \end{array} \tag{4.40}$$

แต่

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial P_{Gj}} = 0 \qquad i \neq j \tag{4.41}$$

$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial P_{Gi}} = -1 \tag{4.42}$$

$$\frac{\partial \Delta Q_i}{\partial P_{Gi}} = 0 \tag{4.43}$$

ดังนั้นสมการที่ 4.32 กลายเป็น

$$IC_i - \lambda_{Pi} = 0 \tag{4.44}$$

แทนค่าของ λ_{Pi} จากสมการที่ 4.38 ลงในสมการที่ 4.44 จะได้ว่า

$$IC_i = IC_{sw}(1 - ITL_i) \tag{4.45}$$

เนื่องจาก $ITL_{sw} = 0$ ดังนั้น

$$\lambda = IC_{sw} \tag{4.46}$$

สมการที่ 4.45 กลายเป็น

$$IC_i = \lambda(1 - ITL_i) \qquad (4.47)$$

สมการที่ 4.47 เป็นสมการเดียวกับสมการที่ 3.18 ดังนั้นการจัดสรรกำลังจริงจึงสามารถใช้อัลกอริทึมของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยคิดผลของกำลังสูญเสียจากโหลดโฟลว์ในหัวข้อที่ 3.3.3 ได้

4.6 รายละเอียดการคำนวนในการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ

4.6.1 Objective Function ตัวแปรควบคุมและตัวแปรสถานะ

Objective functionของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟคือกำลังสูญเสียของระบบ หรือ

$$f_\alpha(u_\alpha, x) = P_L \qquad (4.48)$$

แต่ P_L หาได้จากผลรวมของกำลังจริงทุกบัส หรือ

$$P_L = \sum_{i=1}^{N} P_i$$

$$= P_{sw} + \sum_{i \neq sw} P_i \qquad (4.49)$$

เนื่องจากโหลด(P_{Di})คงที่ และในการจัดสรรกำลังกำลังรีแอกทีฟจะให้ $P_{Gi}(i \neq SW)$ คงที่ ดังนั้นอนุพันธ์ของ P_{sw} จะมีผลเหมือนกับอนุพันธ์ของ P_L จึงสามารถใช้กำลังจริงที่บัสอ้างอิงเป็นobjective functionของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟได้ หรือ

$$f_\alpha(u_\alpha, x) = P_{sw} \qquad (4.50)$$

ตัวแปรควบคุมของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟคือ V_i(i=PQ BUS) ส่วนตัวแปรสถานะของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟเหมือนกับตัวแปรสถานะของกำลังจริง

4.5.2 เงื่อนไขบังคับ

เงื่อนไขบังคับแบบสมการของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟเหมือนกับเงื่อนไขบังคับแบบสมการของการจัดสรรกำลังจริง

เงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรควบคุมในการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ คือขีดจำกัดของขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง หรือ

$$V_{imin} \leqslant V_i \leqslant V_{imax} \qquad i = \text{SW+PV BUS} \quad (4.51)$$

เงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรสถานะในการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ คือขีดจำกัดของขนาดของแรงดันที่โหลดบัส และขีดจำกัดของกำลังรีแอกทีฟที่ผลิตของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง หรือ

$$V_{imin} \leqslant V_i \leqslant V_{imax} \qquad i = \text{PQ BUS} \quad (4.52)$$

$$Q_{Gimin} \leqslant Q_{Gi} \leqslant Q_{Gimax} \qquad i = \text{SW+PV BUS} \quad (4.53)$$

4.6.3 <u>การแปลงปัญหาและสภาวะที่จุดต่ำสุด</u>

Augmented objective functionของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ เป็นไปตามสมการ

$$F_q(u_q,x) = P_{sw}(u_q,x) + [\lambda]^T[g(u,x)] + W_q(u_q,x) \quad (4.54)$$

โดยที่ $W_q(u_q,x)$ เป็นpenalty functionของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟซึ่งมีค่าเป็น

$$W_q(u_q,x) = \sum_{i=1}^{M} W_{qi} \quad (4.55)$$

$$W_{qi} = \begin{cases} w_{qi}(x_i - x_{imin})^2 & \text{เมื่อ } x_i \leqslant x_{imin} \\ \emptyset & \text{เมื่อ } x_{imin} \leqslant x_i \leqslant x_{imax} \\ w_{qi}(x_i - x_{imax})^2 & \text{เมื่อ } x_i \geqslant x_{imax} \end{cases} \quad (4.56)$$

โดยที่ w_{qi} เป็นconstant of penalty functionของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ

x_i คือ V_i(i=PQ BUS) และ Q_{Gi}(i=SW+PV BUS)

สภาวะที่จุดต่ำสุดของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟเป็นไปตามสมการ

$$\left[\frac{\partial F_q}{\partial x}\right] = \left[\frac{\partial P_{sw}}{\partial x}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W_q}{\partial x}\right] = 0 \qquad (4.57)$$

$$\left[\frac{\partial F_q}{\partial u_q}\right] = \left[\frac{\partial P_{sw}}{\partial u_q}\right] + \left[\frac{\partial g}{\partial u_q}\right]^T [\lambda] + \left[\frac{\partial W_q}{\partial u_q}\right] = 0 \qquad (4.58)$$

$$\left[\frac{\partial F_p}{\partial \lambda}\right] = [g(u,x)] = 0 \qquad (4.59)$$

4.6.4 <u>การคำนวนเกรเดียนต์เวกเตอร์</u>

เมื่อสมมติค่า$[u_q]$ และทำโหลดโฟลว์เพื่อแก้สมการที่ 4.59 แล้ว ขั้นต่อไปคือการแก้สมการที่ 5.57 เพื่อหาค่า$[\lambda]$ และการคำนวน$[\nabla f_q]$ตามสมการที่ 4.58 เมทริกซ์ต่างๆในสมการที่ 4.57 และ 4.58 สามารถคำนวนได้ดังนี้

1. $[\partial g/\partial x]$คือจาโคเบียนเมทริกซ์

2. $[\partial P_{sw}/\partial x]$สามารถเขียนแยกเป็น 2 ส่วนคือ

$$\left[\frac{\partial P_{sw}}{\partial x}\right] = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial \theta_i} \\ \text{----} \\ \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial V_i} \end{bmatrix} \begin{matrix} i = \text{PQ+PV BUS} \\ \\ i = \text{PQ BUS} \end{matrix} \qquad (4.60)$$

$\partial P_{sw}/\partial \theta_i$ สามารถคำนวนได้โดยใช้สมการที่ 2.42 และ $\partial P_{sw}/\partial V_i$ สามารถคำนวนได้โดยใช้สมการที่ 2.43

3. $[\partial W_q/\partial x]$เขียนแยกได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

$$\left[\frac{\partial W_\alpha}{\partial x}\right] = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial W_\alpha}{\partial \theta_i} \\ --- \\ \dfrac{\partial W_\alpha}{\partial V_i} \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} i = \text{PQ+PV BUS} \\ \\ i = \text{PQ BUS} \end{matrix} \tag{4.61}$$

โดยที่

$$\left[\frac{\partial W_\alpha}{\partial \theta_i}\right] = [E]^T[H] \tag{4.62}$$

$$\left[\frac{\partial W_\alpha}{\partial V_i}\right] = [D] + [F]^T[H] \tag{4.63}$$

เมื่อ

$$D_i = \frac{\partial W_\alpha}{\partial V_i} = \begin{cases} 2w_{\alpha i}(V_i - V_{imin}) & \text{เมื่อ } V_i < V_{imin} \\ 0 & \text{เมื่อ } V_{imin} \leqslant V_i \leqslant V_{imax} \\ 2w_{\alpha i}(V_i - V_{imax}) & \text{เมื่อ } V_i > V_{imax} \end{cases} \tag{4.64}$$

โดยที่ i = PQ BUS

$$E_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \tag{4.65}$$

โดยที่ i = SW+PV BUS, j = PQ+PV BUS การหาค่าE_{ij} หาได้โดยใช้สมการที่ 2.44

$$F_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} \tag{4.66}$$

โดยที่ i = SW+PV BUS, j = PQ BUS การหาค่าF_{ij} หาได้โดยใช้สมการที่ 2.45

$$H_i = \frac{\partial W_\alpha}{\partial Q_i} = \begin{cases} 2w_{\alpha i}(Q_{Gi} - Q_{Gimin}) & \text{เมื่อ } Q_{Gi} < Q_{Gimin} \\ 0 & \text{เมื่อ } Q_{Gimin} \leqslant Q_{Gi} \leqslant Q_{Gimax} \\ 2w_{\alpha i}(Q_{Gi} - Q_{Gimax}) & \text{เมื่อ } Q_{Gi} > Q_{Gimax} \end{cases} \tag{4.67}$$

โดยที่ i = SW+PV BUS

4. $[\partial P_{sw}/\partial u_c]$ มีค่าดังนี้

$$\left[\frac{\partial P_{sw}}{\partial u_c}\right] = \left[\frac{\partial P_{sw}}{\partial V_i}\right] \qquad i = \text{SW+PV BUS} \qquad (4.68)$$

สมาชิกของ $[\partial P_{sw}/\partial u_c]$ หาได้จากสมการที่ 2.43

5. $[\partial g/\partial u_c]$ เขียนแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ

$$\left[\frac{\partial g}{\partial u_c}\right] = \left[\begin{array}{c} \dfrac{\partial \Delta P_i}{\partial V_j} \\ \hline \dfrac{\partial \Delta Q_i}{\partial V_j} \end{array}\right] \qquad \begin{array}{l} i = \text{PQ+PV BUS} \\ j = \text{SW+PV BUS} \\ \\ i = \text{PQ BUS} \\ j = \text{SW+PV BUS} \end{array}$$

$$= \left[\begin{array}{c} \dfrac{\partial P_i}{\partial V_j} \\ \hline \dfrac{\partial Q_i}{\partial V_j} \end{array}\right] \qquad (4.69)$$

$\partial P_i/\partial V_j$ และ $\partial Q_i/\partial V_j$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.43 และ 2.45 ตามลำดับ

6. $[\partial W_c/\partial u_c]$ มีค่าดังต่อไปนี้

$$\left[\frac{\partial W_c}{\partial u_c}\right] = \left[\frac{\partial W_c}{\partial V_i}\right] = [N]^T[H] \qquad (4.70)$$

เมื่อ

$$N_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \qquad (4.71)$$

โดยที่ i = SW+PV BUS, j = SW+PV BUS N_{ij} สามารถคำนวนได้จากสมการที่ 2.45

7. $[\lambda]$ของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟสมารถคำนวนได้จากสมการ

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_P \\ -- \\ \lambda_Q \end{bmatrix} = -[J^T]^{-1} \left[\begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial \theta_i} \\ ---- \\ \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial V_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{\partial W_\alpha}{\partial \theta_i} \\ --- \\ \dfrac{\partial W_\alpha}{\partial V_i} \end{bmatrix} \right] \qquad (4.72)$$

8. $[\nabla f_\alpha]$คำนวนได้จากสมการ

$$[\nabla f_\alpha] = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_{sw}}{\partial V_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{\partial W_\alpha}{\partial V_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P_j}{\partial V_i} & \vdots & \dfrac{\partial Q_j}{\partial V_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_P \\ -- \\ \lambda_Q \end{bmatrix} \qquad (4.73)$$

4.6.5 <u>เงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรควบคุม</u>

การรวมผลของเงื่อนไขบังคับแบบอสมการของตัวแปรควบคุมเข้าในการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟสามารถทำได้โดยใช้หลักการดังต่อไปนี้

เมื่อคำนวนค่าเกรเดียนต์เวกเตอร์ได้แล้ว ให้ทำการตรวจสอบและกำหนดค่า $\nabla f_{\alpha i}$ ตามสมการต่อไปนี้

$$\nabla f_{\alpha i} = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } u_i = u_{imax} \text{ และ } \nabla f_{\alpha i} < 0 \\ 0 & \text{เมื่อ } u_i = u_{imin} \text{ และ } \nabla f_{\alpha i} > 0 \\ \nabla f_{\alpha i} & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \qquad (4.74)$$

4.6.6 <u>การคำนวนค่าc</u> [13]

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีหาค่าstep lenght (c) ในวิธีsteepest descent สำหรับการหาค่า c ในวิธีconjugate gradientสามารถหาได้โดยใช้หลักการเดียวกัน

เมื่อก้าวลงไปตามทิศของ $-[\nabla f_\alpha]$ augmented objective functionถือได้ว่าเป็นฟังก์ชันของค่า c หรือ

$$F_\alpha = F_\alpha(c) \tag{4.75}$$

พิจารณารูปที่ 4.4 $[\Delta u_\alpha]$ซึ่งคือupdate vector เป็นเวกเตอร์ที่ทำให้ augmented objective functionมีค่าต่ำที่สุดเมื่อก้าวไปตามทิศของ $-[\nabla f_\alpha]$ ส่วน$[\Delta u_{\alpha max}]$เป็นเวกเตอร์ที่มีตัวแปรควบคุมตัวใดตัวหนึ่งตัวแรกถึงขีดจำกัด ถ้าให้

$$[\Delta u_{\alpha max}] = - c_{max}[\nabla f_\alpha] \tag{4.76}$$

ถ้าหากประมาณว่า F(c)เป็นพาราโบลาตามรูปที่ 4.4 ดังนั้นค่า c ที่เหมาะสมหาได้จาก

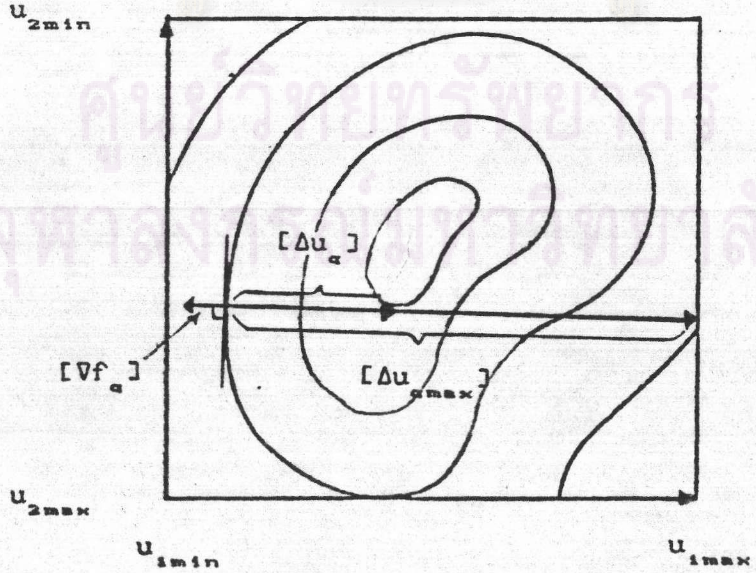
$$c = \alpha c_{max} \tag{4.77}$$

$$\alpha = \frac{F(1) - 4F(1/2) + 3F(0)}{4[F(1) - 2F(1/2) + F(0)]} \tag{4.78}$$

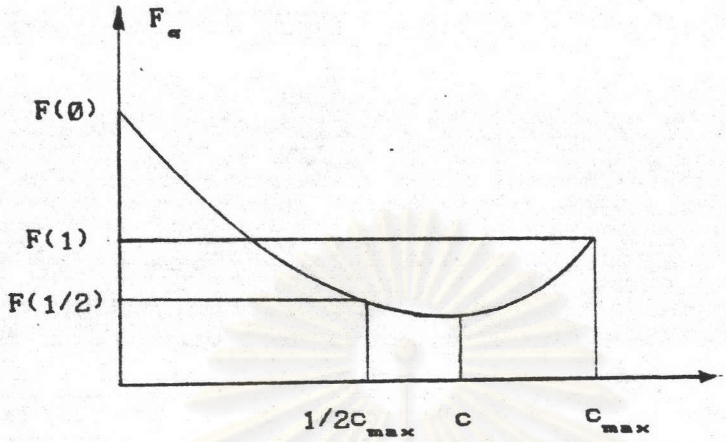
โดยที่ F(0) คือค่า F_α ที่จุดปัจจุบัน

F(1/2) คือค่า F_α เมื่อก้าวไปตามทิศ $-[\nabla f_\alpha]$เป็นระยะทาง $1/2c_{max}$

F(1) คือค่า F_α เมื่อก้าวไปตามทิศ $-[\nabla f_\alpha]$เป็นระยะทาง c_{max}



รูปที่ 4.4 การหาค่าupdate vector



รูปที่ 4.5 Augmented objective function

จะเห็นได้ว่าในการคำนวนค่า c จะต้องทำโหลดโฟลว์เพื่อคำนวนค่า F_α อีก 2 ครั้ง ดังนั้นใน 1 อิทเทอร์เรชันของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟจะต้องคำนวนโหลดโฟลว์ถึง 3 ครั้ง

4.6.7 <u>สภาวะที่แสดงว่าถึงจุดต่ำที่สุดเพิ่มเติม</u>

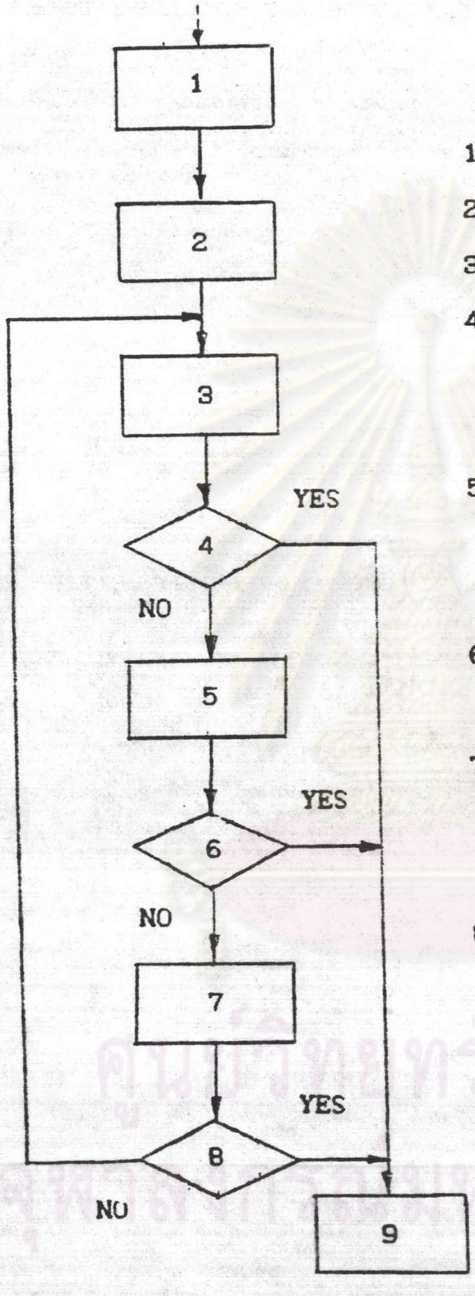
ในการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ สภาวะที่ถือได้ว่าถึงจุดต่ำที่สุดแล้วคือการที่ขนาดของ$[\nabla f_\alpha]$มีค่าใกล้เคียง Ø แต่เนื่องจากการที่ประมาณว่า F_α เป็นฟังก์ชันพาราโบลาของstep lenght ดังนั้นค่า c ที่คำนวนได้จากสมการที่ 4.77 อาจจะไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมอย่างแท้จริง จึงอาจจะเกิดการแกว่งขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการแกว่ง จึงได้เพิ่มสภาวะที่ถือว่าถึงจุดต่ำสุดแล้วอีก 2 กรณี คือ

1. เมื่อคำนวนค่า c ได้เป็น Ø หรือเป็นลบ ให้ถือว่าถึงจุดต่ำที่สุดแล้ว

2. เมื่อคำนวน$[\Delta u_\alpha]$และปรับค่า$[u_\alpha]$เรียบร้อยแล้ว ปรากฏว่าค่าของobjective functionมีค่าเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้ถือว่าถึงจุดต่ำสุดแล้ว

4.6.8 <u>อัลกอริทึมของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ</u>

อัลกอริทึมของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟแสดงในรูปที่ 4.6



1. ให้$[u_c]$คงที่
2. ทำโหลดโฟลว์
3. คำนวน$[\nabla f_c]$ตามสมการที่ 4.73
4. ตรวจสอบค่า$[\nabla f_c]$ ถ้ามีค่าใกล้เคียง 0 ให้ข้ามไปทำขั้นที่ 9 ถ้าไม่ทำขั้นที่ 5 ต่อไป
5. คำนวนค่า c (ในกรณีของconjugate gradient จะต้องคำนวนค่า$[r]_k$ ตามสมการที่ 4.18 ด้วย)
6. ตรวจสอบค่า c ถ้า $c \leq 0$ ให้ข้ามไปทำขั้นที่ 9 ถ้าไม่ทำขั้นที่ 7 ต่อไป
7. คำนวน$[\Delta u_c]$และปรับ$[u_c]$ตามสมการที่ 4.16 แล้วทำโหลดโฟลว์และคำนวนค่า P_{sw}
8. เปรียบเทียบค่า P_{sw} กับค่าเดิม ถ้ามีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้ข้ามไปทำขั้นที่ 9 ถ้าไม่ย้อนไปทำขั้นที่ 3 ต่อไป
9. กลับสู่โปรแกรมหลัก

รูปที่ 4.6 อัลกอริทึมของการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟ