

การแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับระบบ และการประยุกต์ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้

เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ามีข้อจำกัดในการทำงาน เช่นค่า พิกัดของสายส่ง ค่าแรงดันที่บัส เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้ถือว่าเป็นเงื่อนไขบังคับของระบบ ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุขัดข้องใดๆ ก็ตามซึ่งทำให้เกิดการละเมิดเงื่อนไขบังคับของระบบ จำเป็นต้องมีการแก้ไขซึ่งวิธีการแก้ไขโดยทั่วไปจะใช้วิธีการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ และ/หรือ การปลดโหลด

7.1 การจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ การปลดโหลดและควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรง

การแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และปลดโหลด พร้อมทั้งควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรงนั้น (ในกรณีติดตั้งอุปกรณ์เอชวีดีซีจะสมมติให้สามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านกระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ) มีจุดประสงค์เพื่อนำระบบที่กำลังอยู่ในสภาวะฉุกเฉินให้กลับมาทำงานในสภาวะปกติ โดยก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟให้น้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลาและเงื่อนไขของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานการณ์ฉุกเฉินด้วย [15] ทั้งนี้ การจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และปลดโหลด พร้อมทั้งควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรงจะอาศัยการแก้ปัญหาค่าขีดสุด (Optimization problem) โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเปลี่ยนจากลักษณะปัญหาของโหลดโพลาร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นลักษณะปัญหาที่เป็นเชิงเส้นแทนโดยใช้วิธีการประมาณเชิงเส้น เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณ

7.2 วิธีการประมาณเชิงเส้น

การประมาณเชิงเส้นคือ การประมาณระบบที่มีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นระบบที่มีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้น หลักการของการประมาณเชิงเส้นมาจากการประยุกต์ใช้อนุกรมเทเลอร์ [16] ซึ่งเป็นการหาค่าการเปลี่ยนแปลงรอบจุดทำงานโดยมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการ (7.1)

$$f(x) = f(x_0 + \Delta x) = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \Delta x + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f(x_0)}{\partial x^2} \Delta x^2 + \dots \quad (7.1)$$

เมื่อทำการประมาณเชิงเส้นโดยสมมติว่าการเปลี่ยนแปลงรอบจุดทำงาน Δx มีค่าไม่มากนัก ดังนั้นจะสามารถจัดรูปสมการ (7.1) ได้ใหม่ โดยตัดเทอมที่ไม่เป็นเชิงเส้นออกไปได้ดังสมการ (7.2)

$$\Delta f = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0) = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \Delta x \quad (7.2)$$

จากหลักการประมาณเชิงเส้นดังกล่าว เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการปลดโหลดโดยวิธีการประมาณเชิงเส้นได้ โดยการหาความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นของพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้า เนื่องจากการพิจารณาค่าขีดจำกัดของสายส่งและขีดจำกัดของแรงดัน เราจะอาศัยการประมาณค่าเชิงเส้นเพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในสายส่งและค่าแรงดันที่บัส

7.2.1 การประมาณเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่บัส

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการประมาณเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่บัส จากสมการการคำนวณเอชี่โหลดโพลาร์ และจากสมการการคำนวณโหลดโพลาร์เมื่อติดตั้งเอชี่วีดีซี

7.2.1.1 การประมาณเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจากสมการเอชี่โหลดโพลาร์

จากสมการที่ (7.3) ของเอชี่โหลดโพลาร์

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงของโหลด ณ บัสนั้นๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (7.4)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ดังสมการที่ (7.5)

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

โดย $\begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1}$

ในการพิจารณาการปลดโหลดนั้น เราจะสมมติว่าค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดที่ปลดนั้นมีค่าตัวประกอบกำลังคงที่ ดังนั้นเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่บัสได้ดังสมการที่ (7.7)

$$\frac{\Delta Q_{load}}{\Delta P_{load}} = \beta \quad (7.6)$$

$$\Delta |V| = J_c (\Delta P_G - \Delta P_L) + J_d (-\beta \Delta P_L) \quad (7.7)$$

7.2.1.2 การประมาณเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจากสมการการคำนวณโหลดโฟลว์เมื่อติดตั้งเอชวีดีซี

จากสมการการคำนวณโหลดโฟลว์เมื่อติดตั้งเอชวีดีซี (7.8) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการที่ (7.9)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta y_{dc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_{dc,2} \\ J_3 & J_4 & 0 \\ 0 & J_{dc,3} & J_{dc,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \\ \Delta x_{dc} \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta \alpha \\ \Delta V_{di} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & \frac{\partial P_r}{\partial a_r} & \frac{\partial P_i}{\partial a_i} \\ J_3 & J_4 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \alpha}{\partial |V|_r} & \frac{\partial \alpha}{\partial a_r} & 0 \\ 0 & \frac{\partial V_{di}}{\partial |V|_i} & 0 & \frac{\partial V_{di}}{\partial a_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \\ \Delta a_r \\ \Delta a_i \end{bmatrix} \quad (7.9)$$

และจากสมการที่ (7.9) สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ (7.10)

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \\ \Delta a_r \\ \Delta a_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_a & J_b & J_c & J_f \\ J_c & J_d & J_g & J_h \\ J_i & J_j & J_m & J_n \\ J_k & J_l & J_o & J_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \\ \Delta \alpha \\ \Delta V_{di} \end{bmatrix} \quad (7.10)$$

$$\text{โดย } \begin{bmatrix} J_a & J_b & J_c & J_f \\ J_c & J_d & J_g & J_h \\ J_i & J_j & J_m & J_n \\ J_k & J_l & J_o & J_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & \frac{\partial P_r}{\partial a_r} & \frac{\partial P_i}{\partial a_i} \\ J_3 & J_4 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \alpha}{\partial |V|_r} & \frac{\partial \alpha}{\partial a_r} & 0 \\ 0 & \frac{\partial V_{di}}{\partial |V|_i} & 0 & \frac{\partial V_{di}}{\partial a_i} \end{bmatrix}^{-1}$$

จากสมการที่ (7.10) จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสดังกล่าวสมการที่ (7.11)

$$\Delta |V| = J_c (\Delta P_G - \Delta P_L) + J_d (-\beta \Delta P_L) + J_g \Delta \alpha + J_h \Delta V_{di} \quad (7.11)$$

โดย ณ ตำแหน่งบัสที่ติดตั้งเซมิคอนดักเตอร์

$$\Delta |V_r| = J_c (\Delta P_{Gr} + \Delta P_{dr} - \Delta P_{Lr}) + J_d (-\beta \Delta P_{Lr}) + J_g \Delta \alpha + J_h \Delta V_{di} \quad (7.12)$$

$$\Delta |V_i| = J_c (\Delta P_{Gi} - \Delta P_{di} - \Delta P_{Li}) + J_d (-\beta \Delta P_{Li}) + J_g \Delta \alpha + J_h \Delta V_{di} \quad (7.13)$$

7.2.2 การประมาณเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้าในสายส่ง

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการประมาณเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้าในสายส่ง จากสมการการคำนวณเอชโวลต์โวลต์ และจากสมการการคำนวณโวลต์โวลต์เมื่อติดตั้งเซมิคอนดักเตอร์

7.2.2.1 การประมาณเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้าในสายส่งจากสมการการคำนวณเอชโวลต์โวลต์

กระแสไฟฟ้าในสายส่งนั้นมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่บัสต้นทางและบัสปลายทางตามสมการดังนี้

$$I_{ij} = (V_j - V_i) Y_{ij} + V_i Y_{sh} \quad (7.12)$$

$$I_{ij}^{real} = |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j) - |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j) + |V_i| |Y_{sh}| \cos(\delta_i + 90) \quad (7.13)$$

$$I_{ij}^{imag} = |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j) - |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j) + |V_i| |Y_{sh}| \sin(\delta_i + 90) \quad (7.14)$$

$$|I_{ij}| = \sqrt{I_{real}^2 + I_{imag}^2} \quad (7.15)$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการประมาณเชิงเส้นรอบจุดทำงานของระบบได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta |I_{ij}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta} & \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (7.16)$$

โดย

$$\begin{aligned} \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta_i} &= \frac{2(|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} + \delta_j) - |V_i||Y_{sh}|\sin(\delta_i + 90))(I_{ij}^{real}) + 2(-|V_i||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_i) + |V_i||Y_{sh}|\cos(\delta_i + 90))(I_{ij}^{imag})}{2[(I_{ij}^{real})^2 + (I_{ij}^{imag})^2]^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta_j} &= \frac{2(-|V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} + \delta_j))(I_{ij}^{real}) + 2(|V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j))(I_{ij}^{imag})}{2[(I_{ij}^{real})^2 + (I_{ij}^{imag})^2]^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial V_i} &= \frac{2(-|Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j) - |Y_{sh}|\cos(\delta_i + 90))(I_{ij}^{real}) + 2(-|Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} + \delta_i) + |Y_{sh}|\sin(\delta_i + 90))(I_{ij}^{imag})}{2[(I_{ij}^{real})^2 + (I_{ij}^{imag})^2]^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial V_j} &= \frac{2(|Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j))(I_{ij}^{real}) + 2(|Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} + \delta_i))(I_{ij}^{imag})}{2[(I_{ij}^{real})^2 + (I_{ij}^{imag})^2]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned}$$

แทนค่า (7.5) ลงใน (7.16) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าของบัสที่เปลี่ยนแปลงไป และกระแสไฟฟ้าในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta |I_{ij}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta} & \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{la} & J_{lb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \end{bmatrix} \quad (7.17)$$

$$\text{โดย } J_{la} = \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_a) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_c) \text{ และ } J_{lb} = \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_b) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_d)$$

สามารถจัดรูปสมการ (7.17) จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่บัส ได้ดังสมการที่ (7.18)

$$\begin{bmatrix} \Delta |I_{ij}| \end{bmatrix} = J_{la}(\Delta P_G - \Delta P_L) + J_{lb}(-\beta \Delta P_L) \quad (7.18)$$

7.2.2.2 การประมาณเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้าในสายส่งจากสมการการคำนวณโหลด โฟลว์เมื่อติดตั้งเอชวีดีซี

จากสมการที่ (7.10) แทนค่าลงในสมการที่ (7.16) จะได้ (7.17)

$$\begin{bmatrix} \Delta |I_{ij}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta} & \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b & J_e & J_f \\ J_c & J_d & J_g & J_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \\ \Delta \alpha \\ \Delta V_{di} \end{bmatrix} \quad (7.17)$$

จัดรูปสมการ (7.17) จะได้ (7.18)

$$\begin{bmatrix} \Delta |I_{ij}| \end{bmatrix} = J_{la}(\Delta P_G - \Delta P_L) + J_{lb}(-\beta \Delta P_L) + J_{lc}(\Delta \alpha) + J_{ld}(\Delta V_{di}) \quad (7.18)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } J_{la} &= \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_a) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_c), \quad J_{lb} = \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_b) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_d), \\ J_{lc} &= \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_e) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_g) \quad \text{และ} \quad J_{ld} = \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial \delta}(J_f) + \frac{\partial |I_{ij}|}{\partial |V|}(J_h) \end{aligned}$$

7.2.3 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ จากสมการการคำนวณเอชโวลต์โพลาร์ และจากสมการการคำนวณโวลต์เมื่อติดตั้งเอชวีดีซี

7.2.3.1 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากสมการการคำนวณเอชโวลต์โพลาร์

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบนั้นสามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง (Slack bus) ตามสมการที่ (7.19)

$$\Delta P_{ref} = \Delta P_{Loss} \quad (7.19)$$

$$\text{โดย } P_{ref} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad ; \quad i \text{ คือ บัสอ้างอิง}$$

ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงไปจากการประมาณเชิงเส้นรอบจุดทำงานของระบบได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{Loss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (7.20)$$

$$\text{โดย } \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} = |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) ; \quad \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$$

แทนค่าสมการที่ (7.5) ลงใน (7.20) จะได้ (7.21)

$$[\Delta P_{Loss}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \end{bmatrix} \quad (7.21)$$

และ จากสมการที่ (7.21) จะได้ (7.22)

$$[\Delta P_{Loss}] = M_p (\Delta P_G - \Delta P_L) + M_q (-\beta \Delta P_L) \quad (7.22)$$

$$\text{โดย } M_p = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_a] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_c] ; M_q = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_b] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_d]$$

7.2.3.2 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากสมการการคำนวณโหลดโพล์เมื่อติดตั้งเซมิคอนดักเตอร์

จากสมการที่ (7.10) แทนค่าลงในสมการที่ (7.20) จะได้ (7.23)

$$[\Delta P_{loss}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{loss}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b & J_e & J_f \\ J_c & J_d & J_g & J_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_G - \Delta P_L \\ \Delta Q_G - \Delta Q_L \\ \Delta \alpha \\ \Delta V_{di} \end{bmatrix} \quad (7.23)$$

จากสมการที่ (7.23) จะได้

$$[\Delta P_{loss}] = M_p (\Delta P_G - \Delta P_L) + M_q (-\beta \Delta P_L) + M_r \Delta \alpha + M_s \Delta |V_{di}| \quad (7.24)$$

$$\text{โดย } M_p = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_a] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_c] ; M_q = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_b] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_d]$$

$$M_r = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_e] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_g] ; M_s = \frac{\partial P_{Loss}}{\partial \delta} [J_f] + \frac{\partial P_{Loss}}{\partial |V|} [J_h]$$

7.3 รูปแบบฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการปลดโหลด

ในหัวข้อนี้จะแสดงฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการปลดโหลด โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบฟังก์ชันได้แก่ 1) ฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการปลดโหลดที่ได้จากสมการเอชี่โหลดโพลว์ และ 2) ฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ การปลดโหลด และควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรงที่ได้จากสมการการคำนวณโหลดโพลว์เมื่อติดตั้งเอชี่วีดีซี

7.3.1 ฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และการปลดโหลดที่ได้จากสมการเอชี่โหลดโพลว์

$$\text{Min} \left(\sum_{m=1}^N C_m \Delta P_{Lm} \right) \quad (7.24)$$

Subject to

$$V_{k_{\min}} \leq V_{k_0} + \Delta V_k \leq V_{k_{\max}} \quad (7.25)$$

$$I_{l_0} + \Delta I_l \leq I_{l_{\max}} \quad (7.26)$$

$$\sum_{m=1}^N (P_{Gm} + \Delta P_{Gm}) - \sum_{m=1}^N (P_{Lm} - \Delta P_{Lm}) - (P_{Loss} + \Delta P_{Loss}) = 0 \quad (7.27)$$

$$\Delta P_{Lk}^{\min} \leq \Delta P_{Lk} \leq \Delta P_{Lk}^{\max} \quad (7.28)$$

$$P_G^{\min} \leq P_{Gk} + \Delta P_{Gk} \leq \Delta P_{Gk}^{\max} \quad (7.29)$$

$$Q_G^{\min} \leq Q_{Gk} + \Delta Q_{Gk} \leq \Delta Q_{Gk}^{\max} \quad (7.30)$$

- โดยที่ C_m คือ ผลกระทบของการปลดโหลดที่บัส m
 ΔP_{Lm} คือ ปริมาณโหลดที่ถูกปลดที่บัส m
 ΔP_{Gm} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่บัส m
 V_k คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส k
 I_l คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง l
 N คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบ
 M คือ จำนวนสายส่งทั้งหมดในระบบ
 k คือ หมายเลขของบัสแต่ละบัสมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง N
 l คือ หมายเลขของสายส่งแต่ละเส้นมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง M

7.3.2 ฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่ การปลดโหลด และควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรงที่ได้จากสมการการคำนวณโหลดโพลาร์เมื่อติดตั้งเอชวีดีซี

$$\text{Min} \left(\sum_{m=1}^N C_m \Delta P_{Lm} \right) \quad (7.31)$$

Subject to

$$V_{k_{\min}} \leq V_{k_0} + \Delta V_k \leq V_{k_{\max}} \quad (7.32)$$

$$I_{l_0} + \Delta I_l \leq I_{l_{\max}} \quad (7.33)$$

$$\sum_{m=1}^N (P_{Gm} + \Delta P_{Gm}) - \sum_{m=1}^N (P_{Lm} - \Delta P_{Lm}) - (P_{Loss} + \Delta P_{Loss}) = 0 \quad (7.34)$$

$$\Delta P_{Lk}^{\min} \leq \Delta P_{Lk} \leq \Delta P_{Lk}^{\max} \quad (7.35)$$

$$P_G^{\min} \leq P_{Gk} + \Delta P_{Gk} \leq \Delta P_{Gk}^{\max} \quad (7.36)$$

$$Q_G^{\min} \leq Q_{Gk} + \Delta Q_{Gk} \leq \Delta Q_{Gk}^{\max} \quad (7.37)$$

$$\Delta \alpha_{\min} \leq \Delta \alpha \leq \Delta \alpha_{\max} \quad (7.38)$$

$$\Delta V_{di}^{\min} \leq \Delta V_{di} \leq \Delta V_{di}^{\max} \quad (7.39)$$

$$\Delta P_{dr}^{\min} \leq \Delta P_{dr} \leq \Delta P_{dr}^{\max} \quad (7.40)$$

$$\Delta P_{di}^{\min} \leq \Delta P_{di} \leq \Delta P_{di}^{\max} \quad (7.41)$$

- โดยที่ C_m คือ ผลกระทบของการปลดโหลดที่บัส m
 ΔP_{Lm} คือ ปริมาณโหลดที่ถูกปลดที่บัส m
 ΔP_{Gm} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่บัส m
 $\Delta \alpha$ คือ มุมจุดชนวนที่เปลี่ยนแปลงไป
 ΔV_{di} คือ ปริมาณแรงดันกระแสตรงทางฝั่งอินเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป
 ΔP_{dr} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากฝั่งเรกติฟายเออร์ที่เปลี่ยนแปลงไป
 ΔP_{di} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ฝั่งอินเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป
 V_k คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส k
 I_l คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง l
 N คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบ
 M คือ จำนวนสายส่งทั้งหมดในระบบ
 k คือ หมายเลขของบัสแต่ละบัสมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง N

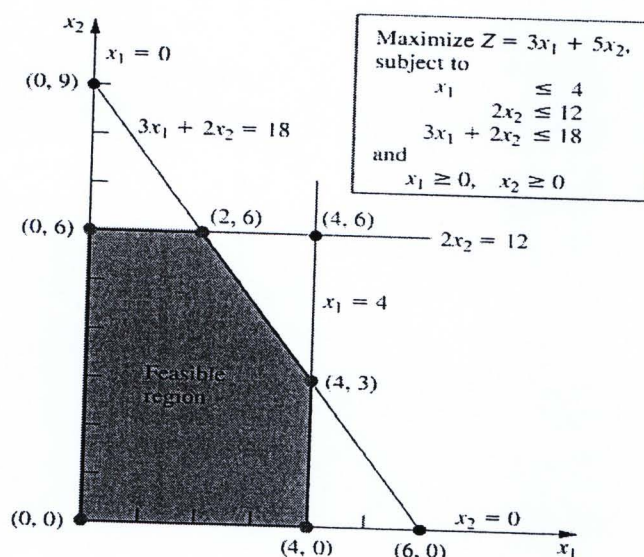
I คือ หมายเลขของสายส่งแต่ละเส้นมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง M

7.4 เครื่องมือในการแก้ปัญหาค่าขีดสุดของฟังก์ชันเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Programming)

การแก้ปัญหาค่าขีดสุดของฟังก์ชันแบบเป็นเชิงเส้น เป็นการแก้ปัญหาค่าขีดสุดของฟังก์ชันโดยที่ทั้งฟังก์ชันจุดประสงค์และฟังก์ชันเงื่อนไขมีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาค่าขีดสุดของฟังก์ชันแบบเป็นเชิงเส้นในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ Simplex Method และ Interior Point Method ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการพิจารณาแบบ Simplex Method

คุณสมบัติที่สำคัญของระบบสมการแบบเป็นเชิงเส้น สามารถสรุปออกมาได้ดังนี้

1. จุดทำงานที่เหมาะสมของปัญหา (อาจเป็นจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุด) จะอยู่ที่จุดมุมจากการตัดกันของสมการที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขของปัญหาเสมอ ซึ่งสามารถแสดงปัญหาดังตัวอย่างในการหาจุดทำงานที่เหมาะสมได้ดังรูปที่ 7.1
2. จุดมุมจากการตัดกันของสมการที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขของปัญหาและมีย่าน้อยกว่า (หรือมากกว่า) หรือเท่ากับจุดแบบเดียวกันที่อยู่ใกล้เคียงกันทุกๆจุดจะเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมของปัญหา
3. จุดมุมจากการตัดกันของสมการที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขของปัญหาจะมีจำนวนที่จำกัด



รูปที่ 7.1 ปัญหาดังตัวอย่างในการหาจุดทำงานที่เหมาะสม

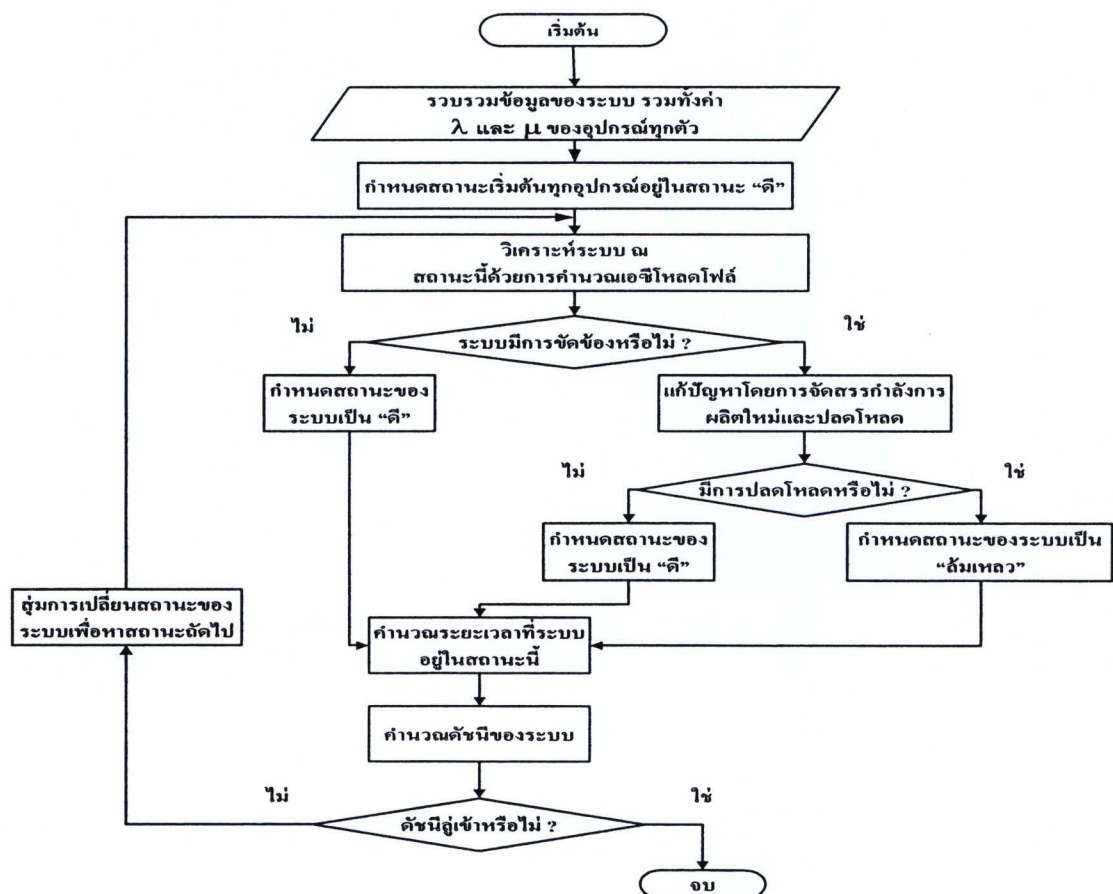
จากคุณสมบัติของสมการที่มีความเป็นเชิงเส้นดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการ Simplex Method โดยมีขั้นตอนในการหาค่าต่ำสุดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการหาจุดมุมจากการตัดกันของสมการที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขของปัญหาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นและส่วนที่สองคือการ

หาจุดแบบเดียวกันที่มีค่าเหมาะสมมากกว่าจนกระทั่งไม่มีจุดแบบเดียวกันอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียงกัน และมีความเหมาะสมมากกว่า ก็จะได้จุดนั้นเป็นคำตอบของปัญหา

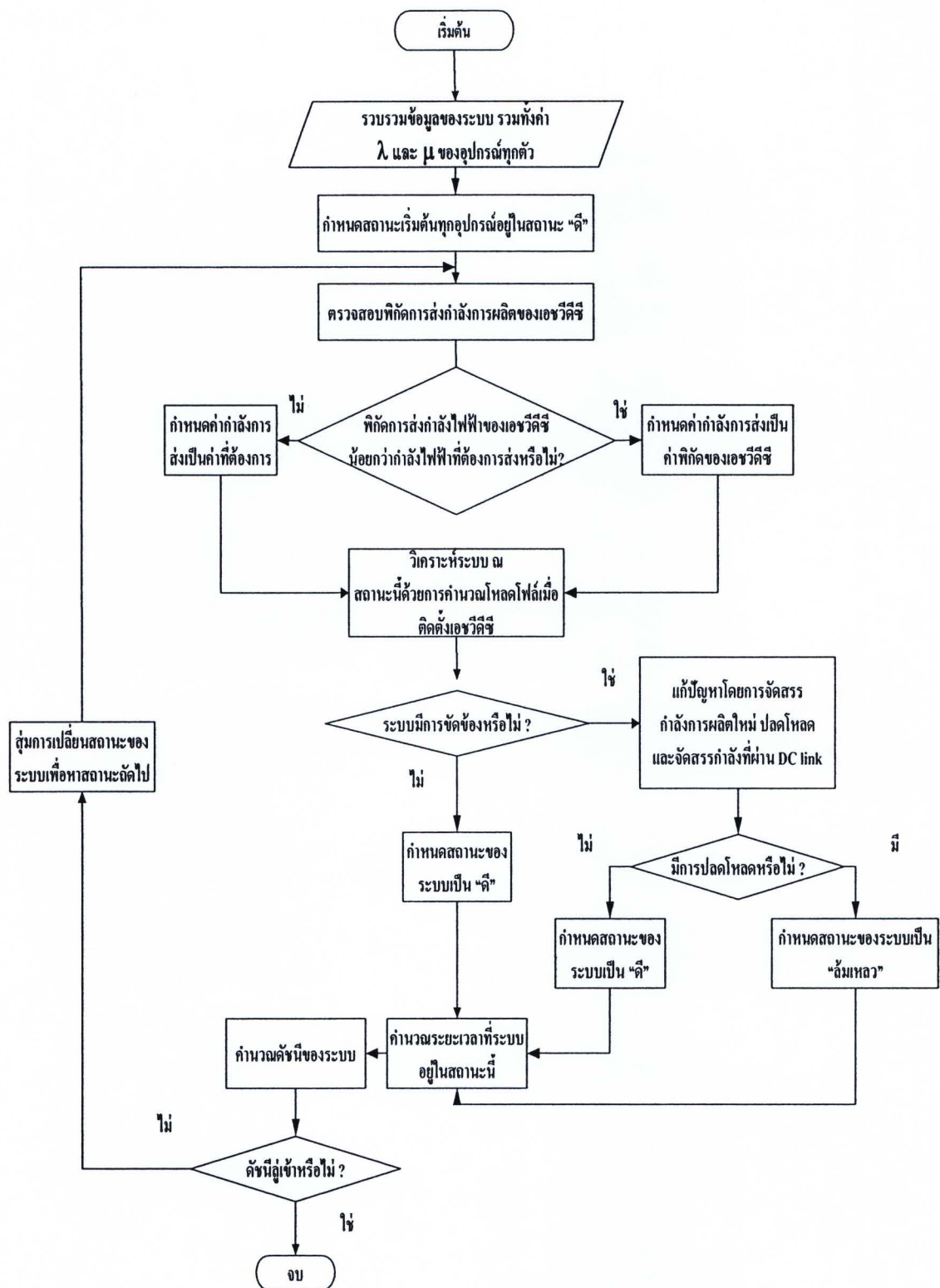
จากหลักการเบื้องต้นของวิธีการ Simplex Method ตามที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องเข้าหาคำตอบทุกๆ จุดของปัญหาซึ่งมีอยู่อย่างไม่จำกัด แต่ทว่าเพียงหาแค่จุดมุมจากการตัดกันของสมการที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขของปัญหาซึ่งมีอยู่จำนวนไม่มากและมีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้การแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Simplex Method สามารถการันตีการหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว โดยที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้คำสั่ง linprog ของโปรแกรม MATLAB ในการแก้ปัญหาค่าขีดสุดของฟังก์ชันแบบเป็นเชิงเส้น

7.5 การประยุกต์ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล และการจัดสรรกำลังการผลิตใหม่และปลดโหลด พร้อมทั้งควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งกระแสตรง (เฉพาะกรณีติดตั้งเอชวีดีซี) ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยรูปที่ 7.2 แสดงโฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีไม่ได้ติดตั้งเอชวีดีซี และ รูปที่ 7.3 แสดงโฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีติดตั้งเอชวีดีซี



รูปที่ 7.2 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 7.3 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อติดตั้งเอชวีดีซี