

การจัดเรียงสายป้อนใหม่โดยใช้เครือข่ายประสาท

การนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมโดยทั่วไปมักอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองปัญหาเหล่านั้น จากนั้นจึงกำหนดขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาไว้อย่างแน่นอน แต่ในบางปัญหานั้นไม่สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาได้หรือบางปัญหาไม่สามารถหาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการแก้ปัญหา ได้แก่ สภาพปัญหาที่ซับซ้อนมีตัวแปรหรือองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออกไม่เป็นแบบเชิงเส้น เป็นปัญหาที่มีตัวแปรหลายตัวที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาหรือบางกรณีอาจใช้เวลาในการแก้ปัญหานั้นมากเกินไปทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับงานตามสภาพความเป็นจริงได้ ปัญหาที่มีลักษณะดังกล่าวนี้อาจจะหาคำตอบได้เป็นอย่างดีด้วย เทคนิคเครือข่ายประสาท เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของเครือข่ายประสาท คือ ความสามารถในการแก้ปัญหาที่ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลป้อนเข้าและข้อมูลส่งออกมีความซับซ้อน ความแม่นยำของข้อมูลส่งออก ความรวดเร็วในการประมวลผล และความสามารถในการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาที่เปลี่ยนไป สำหรับปัญหาทางวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังที่มีการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทในการแก้ปัญหาได้แก่ การจ่ายโหลดอย่างมีประสิทธิภาพ [38] การจัดสรรกำลังผลิตอย่างเหมาะสม [37] การพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า [39,40] การควบคุมค่าคาปาซิเตอร์ [41] และการจัดเรียงสายป้อนใหม่ [5,24,32]

5.1 เครือข่ายประสาทสำหรับแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่

สำหรับปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่แม้สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่กล่าวในบทที่ 2 ยังไม่มีวิธีใดที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแท้จริง ทั้งวิธี Switch exchange (SE) และวิธี Sequential switch opening (SSO) ยังต้องแก้ปัญหาโหลดไหลว่ทุกครั้งซึ่งรูปแบบโครงสร้างระบบหน่วยไฟฟ้าเปลี่ยนไปแม้จะพยายามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยประมาณแต่ก็ยังใช้เวลาในการคำนวณมาก สำหรับการนำเทคนิคเครือข่ายประสาทบางแบบในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่เช่นใช้เครือข่ายประสาทแบบป้อนสู่ด้านหน้าในการ

แก้ปัญหา [5] วิธีการดังกล่าวแม้ให้คำตอบที่ดี แต่ก็ยังไม่มีการประยุกต์ใช้กับระบบจริง สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่ใช้เทคนิคเครือข่ายประสาทอีกแบบ เป็นการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield [35] คำตอบที่ได้อาจจะถือได้ว่าผู้ตีพิมพ์ผลงานยังไม่ได้ทำการศึกษาอย่างแท้จริง ในวิทยานิพนธ์นี้จะประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ เนื่องจากเครือข่ายประสาทของ Hopfield ให้คำตอบอย่างรวดเร็วแม้จำนวน นิวรอนของเครือข่ายจะมีจำนวนมาก[33-35] เป้าหมายและสมมติฐานของการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์มีดังนี้

เป้าหมาย :

- 1) ลดความสูญเสียในสายป้อน

เงื่อนไขและสมมติฐาน :

- 1) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นแบบเรเดียล
- 2) มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดตลอดเวลาไม่มีโหลดใดถูกตัดออกจากระบบ
- 3) มีสวิตช์ในช่วงสายระหว่างโหนดทุกช่วงสาย
- 4) แรงดันเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5 %

ในการนิยามฟังก์ชันพลังงานสำหรับปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเป้าหมายและเงื่อนไขในข้อ 1) ถึง 3) ส่วนเงื่อนไขในข้อ 4) นั้นยังไม่รวมเข้าในฟังก์ชันพลังงานจึงใช้การตรวจสอบภายนอก (Relaxation)

5.1.1 ฟังก์ชันพลังงานของเครือข่ายการจัดเรียงสายป้อนใหม่

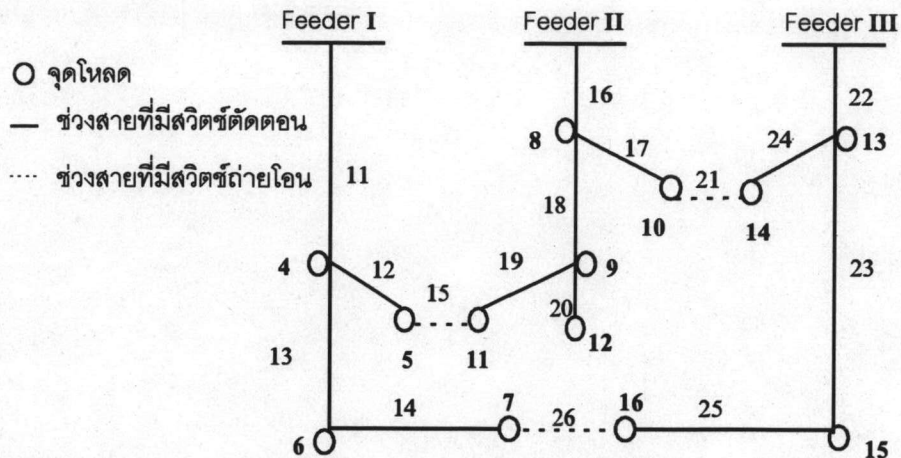
เครือข่ายประสาทการจัดเรียงสายป้อนใหม่ (Distribution feeder reconfiguration problem networks) หรือ เครือข่าย DFRP เป็นการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield ในการแก้ปัญหา เครือข่าย DFRP จึงเป็นเครือข่ายแบบย้อนกลับชั้นเดียว

การนิยามฟังก์ชันพลังงานถือว่าเป็นงานที่สำคัญมากและเป็นงานที่ยากงานหนึ่งในการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield ในการแก้ปัญหา การสร้างฟังก์ชันพลังงานยังไม่มีวิธีการสร้างที่สามารถใช้ได้กับปัญหาทั่วไป การกำหนดฟังก์ชันพลังงานขึ้นมาจึงอาศัยการสังเกตจากตัวปัญหาเองและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ที่จะสร้างฟังก์ชันพลังงาน

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้พยายามลองนำเสนอฟังก์ชันพลังงานของปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ทั้งหมด 2 แนวทางดังนี้

- 1) แนวทางที่ 1 DFRP1
- 2) แนวทางที่ 2 DFRP2

1) แนวทางที่ 1 DFRP1



ภาพที่ 5.1 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีสายป้อน 3 ชุด

จากภาพที่ 5.1 สามารถจัดกลุ่มโหลดของสายป้อนออกเป็น 3 กลุ่ม
 จำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสายป้อน แต่ละกลุ่มโหลดสามารถแทนด้วยเมตริกซ์ดังภาพที่ 5.2

Nodes Feeder No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	1			1	1	1	1									
II		1						1	1	1	1	1				
III			1										1	1	1	1

ภาพที่ 5.2 แสดงการแทนกลุ่มโหลดแต่ละสายป้อนด้วยเมตริกซ์

สมาชิกของเมตริกซ์จะบอกได้ว่าโหนดนั้นต่อกับสายป้อนใด กำหนดให้ V คือเมตริกซ์ดังภาพ ถ้าสมาชิก $v_{xi} = 1$ หมายความว่าโหนด i ต่อกับสายป้อน X แต่ถ้าหากโหนด i ไม่ได้รับไฟฟ้าจากสายป้อน X ค่าสมาชิกของเมตริกซ์ $v_{xi} = 0$ จากเมตริกซ์ในภาพที่ 5.2 จะสังเกตเห็นได้ว่า

- 1) โหลดแต่ละโหนดรับไฟฟ้าจากสายป้อนเพียงหนึ่งชุดเท่านั้น นั่นคือในแต่ละหลักของเมตริกซ์ V ต้องมีสมาชิกเพียงตัวเดียวที่มีค่าเท่ากับ 1
- 2) มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหนดตลอดเวลาไม่มีการตัดโหนดใด ๆ ออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า นั่นคือ จำนวนสมาชิกของเมตริกซ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 มีจำนวนเท่ากับ n เมื่อ n คือจำนวนโหนด

3) มีการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนทุกชุดนั่นคือ โหนดที่เป็นโหนดต้นทางจะกระจายอยู่ทุก
แถวแถวละหนึ่งโหนด

ฟังก์ชันพลังงานสำหรับแนวทาง DFRP1 มีดังนี้

$$E_{DFRP1} = E_{con1} + E_{con2} + E_{con3} + E_{opt1} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } E_{con1} &= \frac{A}{2} \sum_{k \in S} \sum_{l \in S} \sum_X^{nf} v_{Xk} v_{Xl} \\ E_{con2} &= \frac{B}{2} \sum_i^n \sum_X^{nf} \sum_{X \neq Y}^{nf} v_{Xi} v_{Yi} \\ E_{con3} &= \frac{C}{2} \left(\sum_X^{nf} \sum_i^n v_{Xi} - n \right)^2 \\ E_{opt1} &= \frac{D}{2} \sum_X^{nf} \sum_i^n \sum_j^n L_{ij} v_{Xi} v_{Xj} \end{aligned}$$

A,B,C,D คือ ค่าคงที่

nf คือ จำนวนสายป้อนทั้งหมด

n คือ จำนวนโหนดทั้งหมด

L_{ij} คือ กำลังจริงที่สูญเสียในสายระหว่างโหนด i กับโหนด j ซึ่งได้จากโปรแกรมไหลดโพลว์

v_{Xi} คือ ค่าแสดงถึงการเชื่อมโยง(ข้อมูลส่งออก) ระหว่างโหนด i กับสายป้อน X

S คือ กลุ่มของโหนดที่เป็นโหนดต้นทางของสายป้อนแต่ละชุด

ความหมายขององค์ประกอบต่าง ๆ ในสมการที่ 5.1 มีดังนี้

E_{con1} : โหนดต้นทางจะกระจายอยู่ทุกแถว แถวละหนึ่งโหนด

E_{con2} : แต่ละโหนดรับไฟจากสายป้อนเพียงชุดเดียว

E_{con3} : มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหนดทุกโหนดตลอดเวลา

E_{opt1} : กำลังจริงที่สูญเสียในสายทั้งหมด

จากสมการไหลอะพุนอฟที่มีการขยายสูงและสมการการขับเคลื่อนสำหรับเครือข่ายประสาทของ
Hopfield

$$\left. \begin{aligned} E &= -\frac{1}{2} \sum_X^{nf} \sum_Y^{nf} \sum_i^n \sum_j^n W_{Xi,Yj} v_{Xi} v_{Yj} - \sum_X^{nf} \sum_i^n v_{Xi} I_{Xi} \\ \Delta u_{Xi} &= \left[\sum_Y^{nf} \sum_j^n W_{Xi,Yj} v_{Yj} - \frac{u_{Xi}}{\tau} + I_{Xi} \right] \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 5.1 และสมการที่ 5.2 จะได้

$$W_{x_i, y_j} = \begin{cases} -A\delta_{XY}(1-\delta_{ij}) - B\delta_{ij}(1-\delta_{XY}) - C - DL_{ij}\delta_{XY} & \text{เมื่อ } i \in S \\ -B\delta_{ij}(1-\delta_{XY}) - C - DL_{ij}\delta_{XY} & \text{เมื่อ } i \notin S \end{cases} \quad (5.3)$$

$$I_{x_i} = Cn'$$

โดยที่ δ_{XY} คือ ฟังก์ชันโครเนคเกอร์เดลต้าในสมการที่ 4.24

เครือข่ายประสาทการจัดเรียงสายป้อนใหม่ในแนวทาง DFRP1 มีการเรียนรู้ตามสมการการขับเคลื่อน ดังนี้

$$\Delta u_{x_i} = \begin{cases} \Delta u1_{x_i} + \Delta u2_{x_i} & \text{เมื่อ } i \in S \\ \Delta u2_{x_i} & \text{เมื่อ } i \notin S \end{cases} \quad (5.4)$$

$$\text{โดยที่ } \Delta u1_{x_i} = \left[-A \sum_{i \neq k}^{nf} v_{xk} \right] \Delta t$$

$$\Delta u2_{x_i} = \left[-\frac{u_{x_i}}{\tau} - B \sum_{Y \neq X}^{nf} v_{Yi} - C \sum_Y \sum_j^n v_{Yj} - D \sum_j^n L_{ij} v_{xj} + Cn' \right] \Delta t$$

τ คือ ค่าคงที่

n' คือ ค่าคงที่ โดยปกติจะมีค่ามากกว่า n

2) แนวทางที่ 2 DFRP2

แนวทางที่สองในการนิยามฟังก์ชันพลังงานของเครือข่าย DFRP2 นี้มีข้อกำหนดต่าง ๆ เหมือนกับแนวทางแรก DFRP1 แต่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างออกไป ซึ่งมีลักษณะเดียวกับฟังก์ชันพลังงานที่ใช้ในการแก้ปัญหา TSP ที่พัฒนาและศึกษาพฤติกรรม โดย Brandt และคณะในปี ค.ศ. 1988 ฟังก์ชันพลังงานในแนวทาง DFRP2 มีดังนี้

$$E_{DFRP2} = E_{con1} + E_{con2} + E_{con3} + E_{opt1} \quad (5.5)$$

$$\text{โดยที่ } E_{con1} = \frac{A}{2} \sum_X^{nf} \left(\sum_{k \in S} v_{Xk} - 1 \right)^2$$

$$E_{con2} = \frac{B}{2} \sum_i^n \left(\sum_X^{nf} v_{Xi} - 1 \right)^2$$

$$E_{con3} = \frac{C}{2} \sum_X^{nf} \sum_i^n v_{Xi} (1 - v_{Xi})$$

$$E_{opt1} = \frac{D}{2} \sum_X^{nf} \sum_i^n \sum_j^n L_{ij} v_{Xi} v_{Xj}$$

A, B, C, D คือ ค่าคงที่

n คือ จำนวนโหนดทั้งหมด

nf คือ จำนวนสายป้อนทั้งหมด

L_{ij} คือ กำลังจริงที่สูญเสียในสายระหว่างโหนด i กับโหนด j ซึ่งได้จากโปรแกรมโหลดโพล์

v_{xi} คือ ข้อมูลส่งออกแสดงการเชื่อมโยงระหว่างโหนด i กับสายป้อน X

ความหมายขององค์ประกอบต่าง ๆ ในสมการที่ 5.5 ดังนี้

E_{con1} : โหนดต้นทางจะกระจายอยู่ทุกแถว แถวละหนึ่งโหนด

E_{con2} : แต่ละโหนดรับไฟจากสายป้อนเพียงชุดเดียว

E_{con3} : มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหนดทุกโหนดตลอดเวลา

E_{opt1} : กำลังจริงที่สูญเสียในสายทั้งหมด

พิจารณาสมการที่ 5.2 กับสมการที่ 5.5 จะได้

$$W_{X_i, Y_j} = \begin{cases} -A\delta_{XY} - B\delta_{ij} - C\delta_{XY}\delta_{ij} - DL_{ij}\delta_{XY} & \text{เมื่อ } i \in S \\ -B\delta_{ij} - C\delta_{XY}\delta_{ij} - DL_{ij}\delta_{XY} & \text{เมื่อ } i \notin S \end{cases} \quad (5.6)$$

$$I_{X_i} = B - \frac{C}{2}$$

โดยที่ S คือ กลุ่มโหนดที่เป็นโหนดต้นทางของสายป้อนแต่ละชุด

เครือข่ายประสาทการจัดเรียงสายป้อนใหม่ตามแนวทาง DFRP2 มีการเรียนรู้ตามสมการการขับเคลื่อนดังนี้

$$\Delta u_{X_i} = \begin{cases} \Delta u1_{X_i} + \Delta u2_{X_i} & \text{เมื่อ } i \in S \\ \Delta u2_{X_i} & \text{เมื่อ } i \notin S \end{cases} \quad (5.7)$$

$$\text{โดยที่ } \Delta u1_{X_i} = \left[-A \sum_{i \neq k}^{nf} V_{X_i} \right] \Delta t$$

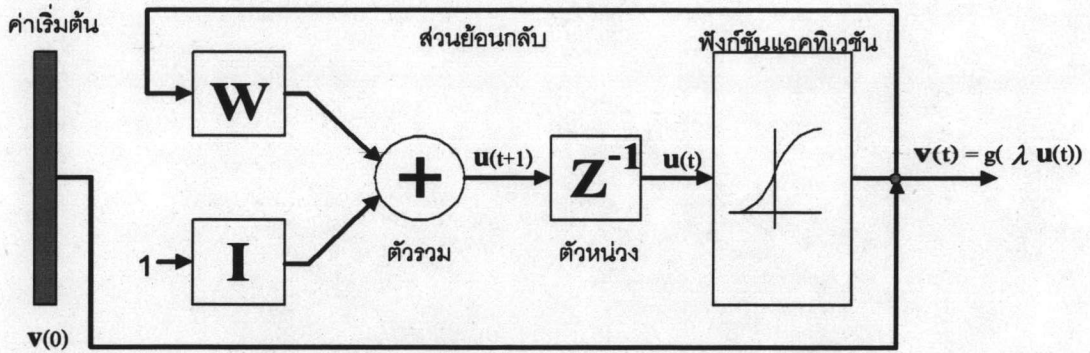
$$\Delta u2_{X_i} = \left[-\frac{u_{X_i}}{\tau} - B \sum_Y^{nf} V_{Y_i} + C V_{X_i} - D \sum_j^n L_{ij} V_{X_j} + B - \frac{C}{2} \right] \Delta t$$

τ คือ ค่าคงที่

แนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 เป็นการนำเสนอปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ ในรูปแบบการจัดโหลดให้กับสายป้อน (Load allocation) เมื่อพิจารณาแนวทางที่ 2 เทียบกับแนวทางที่ 1 จะเห็นได้ว่าพจน์ E_{opt1} จะเหมือนกัน ส่วนพจน์ E_{con1}, E_{con2} มีความหมายเหมือนกัน แต่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกัน

5.1.2 กระบวนการเรียนรู้ของเครือข่าย

กระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการทำซ้ำโดยเริ่มจากการสุ่มเดาข้อมูลส่งออก แสดงเครือข่าย DFRP ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 แสดงการเครือข่ายการจัดเรียงสายป้อนใหม่

จากภาพที่ 5.3 ประกอบด้วย ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 :
- กำหนดค่าให้กับค่าคงที่ต่าง ๆ
 - รับค่ากำลังจริงสูญเสียจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า (L_p) จากโปรแกรมโหลดไฟลอร์ เพื่อใช้ในการหาค่าการเชื่อมโยง
 - สุ่มเดาค่าข้อมูลส่งออก v_{xi}

- ขั้นตอนที่ 2 :
- $k = 1 ; X, i = 0$
 - หาค่า W, I
 - หาค่าระดับแอดทิเวชัน $u = u_{00} + \Delta u_{xi} ; u_{00} = 0$

$$\Delta u_{xi} = [Wv + I]\Delta t$$

- หาค่าข้อมูลส่งออก V_{xi}

- ขั้นตอนที่ 3 :
- $X = X + 1, i = i + 1$
 - หาค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับแอดทิเวชัน

$$\Delta u_{xi} = \left[-\frac{u_{xi}}{\tau} + \sum_Y \sum_i W_{xi,yj} v_{yj} + I_{xi} \right] \Delta t$$

- ปรับค่าระดับแอดทิเวชัน $u_{xi}(k+1) = u_{xi}(k) + \Delta u_{xi}$

- ขั้นตอนที่ 4 :
- หาค่าข้อมูลส่งออก $v_{xi} ; k = k + 1$

- ขั้นตอนที่ 5 :
- ตรวจสอบว่า $i = a$ และ $X = b$ หรือไม่

ถ้าใช่ ให้ $i = 0, X = 0$ แล้วทำขั้นตอนที่ 6

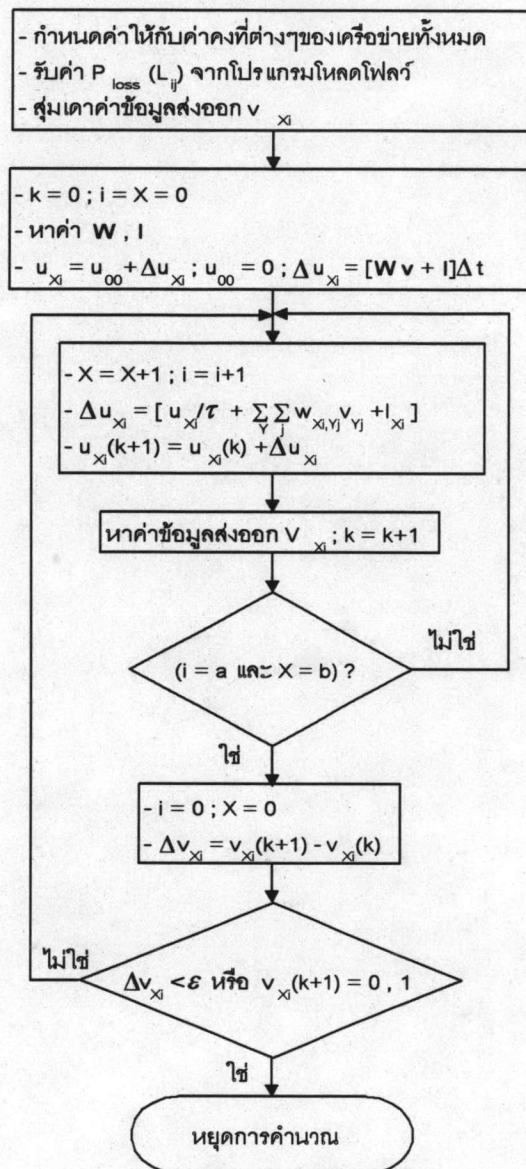
ถ้าไม่ใช่ ให้ทำขั้นตอนที่ 3

- ขั้นตอนที่ 6 :
- ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดการคำนวณว่า $\Delta v_{xi} < \epsilon$ หรือ $V_{xi}(k+1) = 0, 1$ หรือไม่ โดยที่ $\Delta v_{xi} = v_{xi}(k+1) - v_{xi}(k)$

ถ้าใช่ ให้หยุดการคำนวณ

ถ้าไม่ใช่ ให้ทำขั้นตอนที่ 3

จากขั้นตอนวิธีทั้ง 6 ขั้นตอน เราสามารถเขียนโฟลว์ชาร์ต ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.4 แสดงโฟลว์ชาร์ตกระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายการจัดเรียงสายป้อนใหม่

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันพลังงานในแนวทางทั้ง 2 ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์จะปรากฏรายละเอียดของกระบวนการเรียนรู้ดังนี้

- ค่าคงที่ในขั้นตอนที่ 1 คือ A, B, C, D, τ , Δt และ n' เฉพาะแนวทางที่ 1

- ข้อมูลส่งออกที่สูมจากขั้นตอนที่ 1 $V_{xi} = (1+\delta)/(n \times nf)$ โดยที่ δ คือค่าที่ได้จากการสูมเตาเป็นค่าจำนวนน้อย ๆ n = จำนวนโหนดทั้งหมด nf = จำนวนสายป้อนทั้งหมด
- ข้อมูลส่งออกในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 4 $V_{xi} = 1/2 [1 + \tan(\lambda V_{xi})]$
- $a = n$ และ $b = nf$

5.2 ขั้นตอนวิธีของการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ด้วยเครือข่ายประสาท

จากหัวข้อที่ผ่านมาในบทนี้ได้กล่าวถึงการนิยามปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ในรูปแบบที่สามารถใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield ในการแก้ปัญหาได้ อาจจะไม่เพียงพอที่จะเห็นภาพการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างชัดเจน อีกทั้งข้อเท็จจริงสองประการ ประการแรกเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่จะเห็นได้ว่า ขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้างของระบบในตอนเริ่มต้นเป็นเพราะว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้างนั่นเอง ประการที่สองการแก้ปัญหาด้วยเทคนิค เครือข่ายประสาท อาจได้ผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่หรือเฉพาะตำแหน่ง (Local optimum) [7,23,33,35] โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาจึงใช้รูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าตอนเริ่มต้น 2 แบบ คือ รูปแบบโครงสร้างที่เป็นเรเดียลในปัจจุบัน และรูปแบบโครงสร้างที่เป็นวงรอบซึ่งสวิตช์ทุกตัวอยู่ในตำแหน่ง ON จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองแนวทางนั้นมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเป็นอันดับแรก

5.2.1 โครงสร้างการจัดการ

ในส่วนนี้จะแสดงการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาจัดเรียงสายป้อนใหม่ให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : รับข้อมูลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 : ใช้ข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบันที่เป็นแบบเรเดียลหากำลังสูญเสียในสายด้วยโปรแกรมโหนดโพล์

ขั้นตอนที่ 3 : ส่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายและข้อมูลที่จำเป็นให้กับเครือข่ายประสาทเพื่อหารูปแบบโครงสร้างที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดมีค่าลดลง ทั้งนี้กำหนดให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายที่สวิตช์อยู่ในตำแหน่ง OFF มีค่าเท่ากับ 1.0 pu. ทั้งนี้เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายนั้นมีค่ามากกว่าค่าที่เป็นไปได้

ขั้นตอนที่ 4 : ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 - 3 โดยกำหนดให้สวิตช์ทุกตัวอยู่ในตำแหน่ง ON จะได้รูปแบบโครงสร้างระบบเป็นแบบวงรอบแทนที่จะเป็นเรเดียลดังเช่นในตอนแรก รูปแบบ

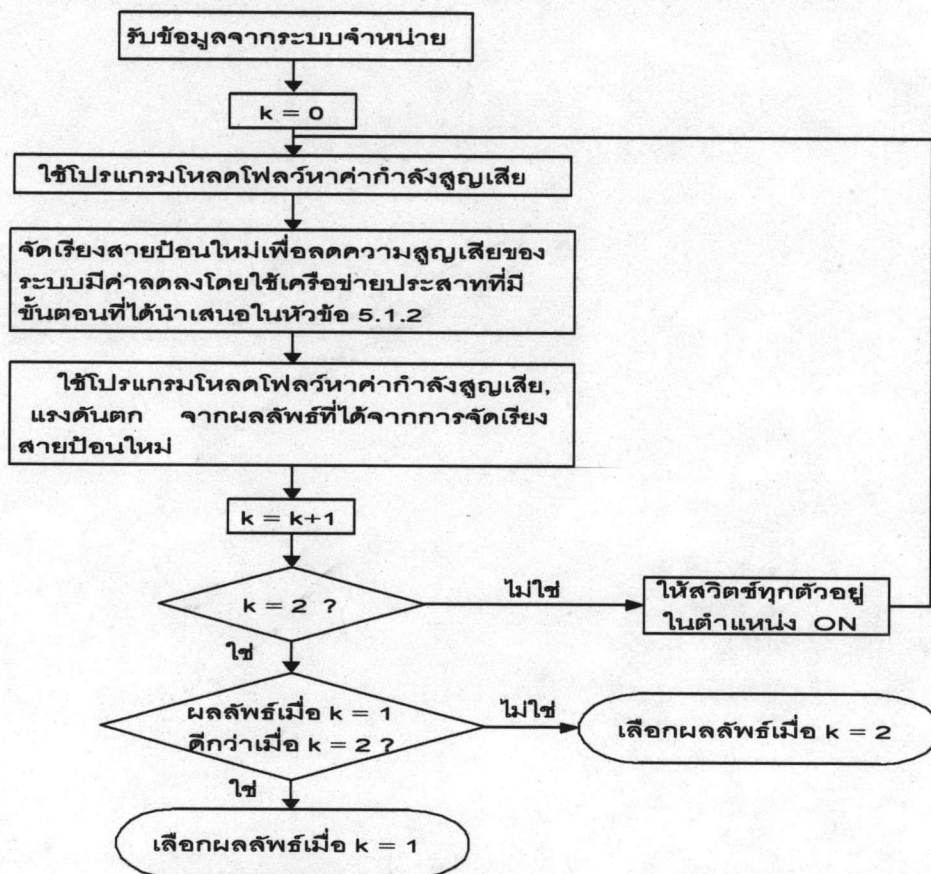
โครงสร้างแบบนี้จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในทุกช่วงสาย

ขั้นตอนที่ 5 : นำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งสองเปรียบเทียบกันโดยพิจารณาถึง

- กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง
- การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 6 : นำระบบที่ดีกว่าที่ได้จากการเปรียบเทียบในขั้นตอนที่ 5 มาแสดงผล

จากโครงสร้างการจัดการที่กล่าวมาด้านบนสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังนี้



ภาพที่ 5.5 แสดงโฟลว์ชาร์ตโครงสร้างการจัดการ

5.2.2 โหลดโพลีโดยวิธี นิวตัน-กราฟสัน

การจัดเรียงสายป้อนใหม่ด้วยเครือข่ายประสาทของ Hopfield ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังคงต้องใช้โปรแกรมโหลดโพลีในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสาย แต่จำกัดจำนวน

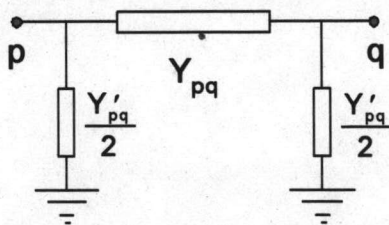
การคำนวณจากโปรแกรมโหลดโพลว์ให้คงที่เพียง 1 ครั้งในการหาคำตอบแต่ละครั้ง ซึ่งนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธี SE หรือ วิธี SSO ที่ใช้ในการจัดเรียงสายบ่อนใหม่ในอดีต สำหรับวิธีการแก้ปัญหาโหลดโพลว์ที่ต้องการใช้ในวิทยานิพนธ์ ต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ดีทั้งแบบเรเดียลและแบบวงรอบ
- 2) มีความเร็วในการประมวลผลสูง
- 3) มีความเชื่อถือได้สูง

เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะมีอัตราส่วน R/X ของสายสูงทำให้เกิดภาวะ ill condition เป็นผลทำให้โปรแกรมโหลดโพลว์บางวิธีไม่สามารถหาคำตอบได้ วิธีฟาสต์ดีคัปเปิล (Fast decoupled) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งอันเนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลสูงและใช้ได้กับระบบไฟฟ้าที่เป็นแบบเรเดียลและแบบวงรอบ แต่วิธีฟาสต์ดีคัปเปิลจะมีปัญหาเมื่อนำมาใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลที่มีอัตราส่วน R/X ของสายสูง สำหรับวิธีการอื่น ๆ พัฒนาขึ้นบางวิธีก็ใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นแบบเรเดียลเท่านั้น บางวิธีมีความยุ่งยากในการอ้างถึงข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Numbering) ทำให้ยากที่จะประยุกต์ใช้งาน [11,14,15,17,42-44]

วิธีการที่แก้ปัญหาโหลดโพลว์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton - Raphson) ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง วิธีนิวตัน-ราฟสัน มีความคงทนต่ออัตรา R/X สูงได้ดีกว่าวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล [13] สามารถใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งแบบเรเดียลและแบบวงรอบ และมีความเร็วในการประมวลผลไม่ช้าเกินไป หลักการแก้ปัญหาโหลดโพลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ดังนี้ [45]

พิจารณาแบบจำลองสายแบบ π



ภาพที่ 5.6 แสดงแบบจำลองสายแบบ π

เมื่อโหนด p คือโหนดบัส จะทราบค่า P และ Q ส่วนค่า E และ ϕ ได้จากการคำนวณกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่โหนด p กำลังที่โหนด p มีค่าดังสมการที่ 5.8

$$P_p - jQ_p = E_p^* I_p \tag{5.8}$$

เนื่องจาก $I_{BUS} = Y_{BUS} E_{BUS}$ จะได้

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} E_q \quad (5.9)$$

กำหนดให้ $E_p = e_p + jf_p$ และ $Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 5.8 จะได้

$$P_p - jQ_p = (e_p - jf_p) \cdot \sum_{q=1}^n \left\{ (G_{pq} + jB_{pq})(e_q + jf_q) \right\}$$

เมื่อแยกพิจารณาเป็นกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟจะได้

$$P_p = \sum_{q=1}^n \left\{ e_p (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) + f_p (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right\} \quad (5.10)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n \left\{ f_p (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) - e_p (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right\} \quad (5.11)$$

สมการทั้งสองเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น ในกรณีระบบมีโหนดทั้งหมด p โหนด จะปรากฏเป็นระบบสมการขนาด $2 \times (n-1)$ เมื่อนำวิธีแก้ปัญหามันไม่เป็นเชิงเส้นแบบนิวตัน-กราฟส่วนมาประยุกต์ใช้ โดยนำอนุกรมเทเลอร์ (Taylor's series) เฉพาะอันดับหนึ่ง (First order) มาพิจารณาเท่านั้น โดยตัดพจน์ อันดับสูงทิ้ง จะได้ระบบสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial e_1} & \cdots & \frac{\partial P_1}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial f_1} & \cdots & \frac{\partial P_1}{\partial f_{n-1}} \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_1} & \cdots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_1} & \cdots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial e_1} & \cdots & \frac{\partial Q_1}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} & \cdots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_{n-1}} \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta e_{n-1} \\ \Delta f_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta f_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

จากสมการที่ 5.12 สามารถเขียนในรูปแบบอย่างง่ายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} [\Delta S] &= [J][\Delta E] \\ \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \end{aligned}$$

สำหรับค่าสมาชิกจาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) J_1, J_2, J_3, J_4 ดังนี้

จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย J_1

$$\left. \begin{array}{l} J_1 \text{ แนวทระแยงมุม} \quad \frac{\partial P_p}{\partial e_q} = e_p G_{pq} + f_p B_{pq} \quad ; p \neq q \\ J_1 \text{ ตำแหน่งอื่น} \quad \frac{\partial P_p}{\partial e_p} = e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \end{array} \right\} \quad (5.13)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย J_2

$$\left. \begin{array}{l} J_2 \text{ แนวทระแยงมุม} \quad \frac{\partial P_p}{\partial f_q} = f_p G_{pq} - e_p B_{pq} \quad ; p \neq q \\ J_2 \text{ ตำแหน่งอื่น} \quad \frac{\partial P_p}{\partial f_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \end{array} \right\} \quad (5.14)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย J_3

$$\left. \begin{array}{l} J_3 \text{ แนวทระแยงมุม} \quad \frac{\partial Q_p}{\partial e_q} = f_p G_{pq} - e_p B_{pq} \quad ; p \neq q \\ J_3 \text{ ตำแหน่งอื่น} \quad \frac{\partial Q_p}{\partial e_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} - \sum_{q=1}^n (e_q B_{pq} + f_q G_{pq}) \end{array} \right\} \quad (5.15)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย J_4

$$\left. \begin{array}{l} J_4 \text{ แนวทระแยงมุม} \quad \frac{\partial Q_p}{\partial f_q} = -e_p G_{pq} - f_p B_{pq} \quad ; p \neq q \\ J_4 \text{ ตำแหน่งอื่น} \quad \frac{\partial Q_p}{\partial f_p} = -e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \end{array} \right\} \quad (5.16)$$

สำหรับค่า ΔP และ ΔQ

$$\Delta P_p = (P_{p(\text{gen})} - P_{p(\text{load})}) - P_p$$

$$\Delta Q_p = (Q_{p(\text{gen})} - Q_{p(\text{load})}) - Q_p$$

โดยที่ $P_{p(\text{gen})}$, $Q_{p(\text{gen})}$ คือ ค่ากำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่ผลิตที่โหนด p

$P_{p(\text{load})}$, $Q_{p(\text{load})}$ คือ ค่ากำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่จ่ายให้โหลดที่โหนด p

P_p คือ ค่ากำลังจริงที่ได้จากสมการที่ 5.10

Q_p คือ ค่ากำลังรีแอกทีฟที่ได้จากสมการที่ 5.11

ค่าแรงดันในแต่ละรอบการคำนวณหาได้จาก

$$\left. \begin{array}{l} e_p^{k+1} = e_p^k + \Delta e_p^k \\ f_p^{k+1} = f_p^k + \Delta f_p^k \end{array} \right\} \quad (5.17)$$

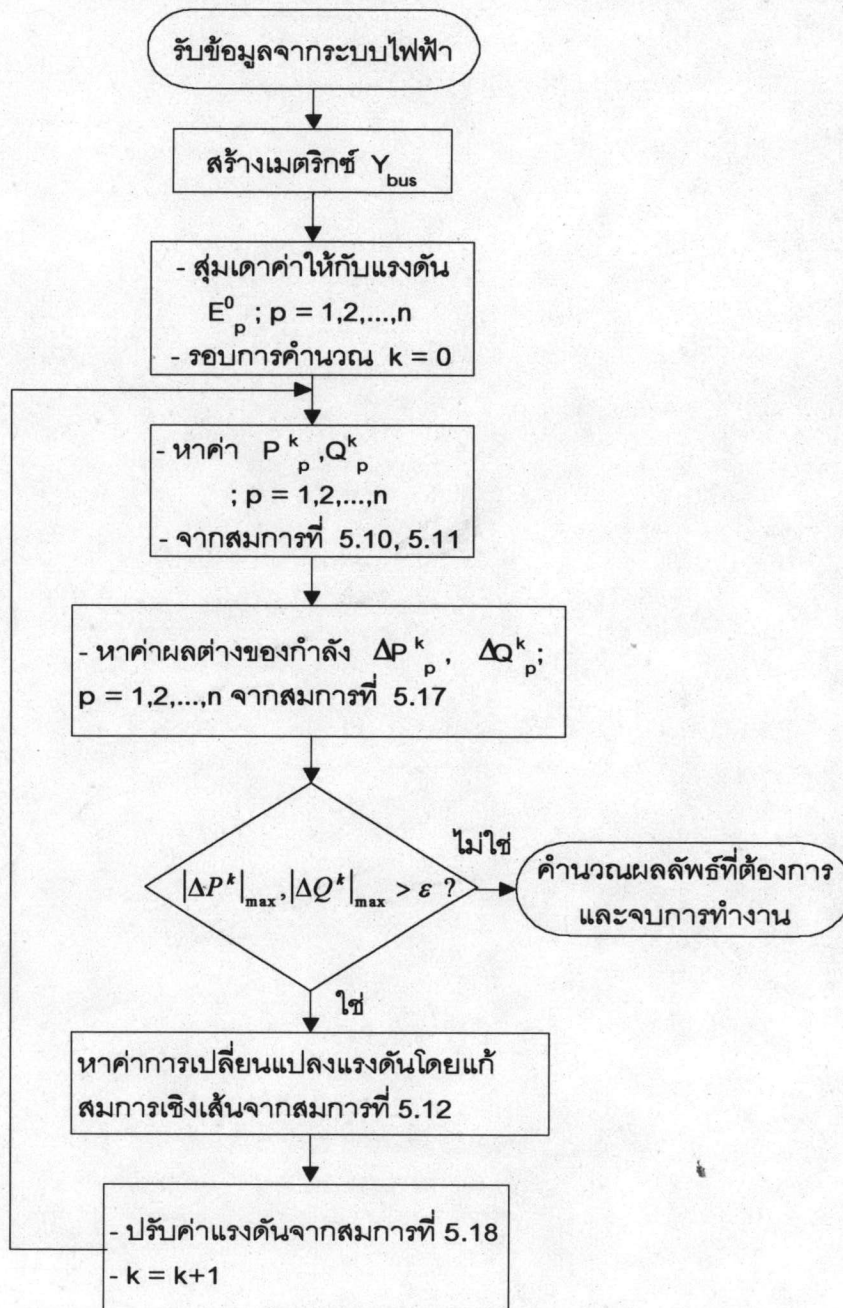
โดยที่ k คือ รอบการคำนวณ

เงื่อนไขในการหยุดคำนวณ คือ

$$\left. \begin{array}{l} |\Delta P| < \varepsilon \\ |\Delta Q| < \varepsilon \end{array} \right\} \quad (5.18)$$

โดยที่ ε คือ ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้

ขั้นตอนในการแก้ปัญหาโหลดไฟลต์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน สามารถสรุปได้ดังโฟลว์ชาร์ตต่อไปนี้



ภาพที่ 5.7 แสดงโฟลว์ชาร์ตการคำนวณโหลดไฟลต์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

จากภาพที่ 5.6 กำลังที่ไหลจากโหนด p ไปยังโหนด q หาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* I_{pq} \quad (5.19)$$

โดยที่ P_{pq}, Q_{pq} คือ กำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟจากโหนด p ไปยังโหนด q

E_p คือ แรงดันที่โหนด p

I_{pq} คือ กระแสที่ไหลจากโหนด p ไปยังโหนด q

กระแส I_{pq} ในสมการที่ 5.19 หาได้จากความสัมพันธ์

$$I_{pq} = (E_p - E_q)Y_{pq} + E_p \frac{Y'_{pq}}{2}$$

นำค่า I_{pq} ดังกล่าวแทนลงในสมการที่ 5.19 จะได้

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* (E_p - E_q)Y_{pq} + E_p^* E_p \frac{Y'_{pq}}{2} \quad (5.20)$$

ทำนองเดียวกัน กำลังที่ไหลจากโหนด q ไปยังโหนด p หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_{qp} - jQ_{qp} = E_q^* (E_q - E_p)Y_{pq} + E_q^* E_q \frac{Y'_{pq}}{2} \quad (5.21)$$

สำหรับกำลังจริงที่สูญเสียในสายระหว่างโหนด p และโหนด q มีค่าเท่ากับผลรวมของสมการที่ 5.20 กับสมการที่ 5.21 นั่นคือ

$$P_{loss, pq} = \text{Re}\{(P_{pq} - jQ_{pq}) + (P_{qp} - jQ_{qp})\} \quad (5.22)$$

โดยที่ $P_{loss, pq}$ คือ กำลังจริงที่สูญเสียในสายระหว่างโหนด p และโหนด q

$\text{Re}(\cdot)$ คือ ค่าส่วนจริงของจำนวนเชิงซ้อน

เนื้อหาในบทที่ 5 ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้นับว่าเป็น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่โดยใช้เครือข่ายประสาทของ Hopfield ประกอบด้วย ฟังก์ชันพลังงานที่แตกต่างกัน 2 แนวทาง การเรียนรู้ของเครือข่าย DFRP โครงสร้างการจัดการ และการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันโดยย่อ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบเครือข่าย DFRP ที่นำเสนอในบทนี้ การทดสอบทำด้วยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามเนื้อหาที่กล่าวมาทั้งหมด