

บทที่ 3

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 หลักการของการวิเคราะห์ปัญหา

การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะปรับปรุงและเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเมื่อเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายขึ้นอุปกรณ์ป้องกันในระบบจะทำงานและตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแยกออกจากระบบเพื่อป้องกันผลกระทบจากการเกิดฟอลต์ และส่งผลกระทบทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าใช้ ผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนจะได้รับผลกระทบเป็นเวลานานเนื่องจากต้องรอการซ่อมแซมแก้ไขของพนักงานการไฟฟ้า แต่จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดฟอลต์ เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่และสามารถเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ โดยขึ้นอยู่กับขนาดและกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและตำแหน่งการติดตั้งกับตำแหน่งของจุดโหลด

3.1.1 ขอบเขตการวิเคราะห์ปัญหา

3.1.1.1 ขนาดกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กำหนดค่าเป็นจำนวนเต็ม และแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวทำงานที่กำลังผลิตปกติ

3.1.1.2 แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว 1 ตัว สามารถติดตั้งได้ 1 ตำแหน่ง

3.1.1.3 กำหนดจำนวนสูงสุดของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

3.1.1.4 กำหนดกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวรวมสูงสุด

3.1.1.5 โดยพิจารณาเฉพาะการจ่ายโหลดจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

3.1.1.6 การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยเมื่อเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้าจะพิจารณาการปลดจุดโหลด โดยพนักงานการไฟฟ้าในการสับเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนเท่านั้น

3.1.1.7 การพิจารณาความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะไม่คำนึงถึงผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานไม่ได้ตามเงื่อนไขเดิม เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

3.1.1.8 พิจารณาระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบว่าสามารถเลือกตำแหน่ง จำนวนและขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ปัญหาการหาตำแหน่ง จำนวนและขนาดกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสม เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดจำนวนสูงสุดของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและค่ากำลังการผลิตรวมสูงสุด

3.1.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

3.1.2.1 ค่าคาดหวังความเสียหายทางเศรษฐกิจเนื่องจากการเกิดไฟฟ้าดับมีค่าต่ำที่สุด

$$\text{Minimize} \quad ECOST = \sum_{h=1}^{nh} \sum_{k=1}^{nh} L_k C_{hk} (r_h) \lambda_h \quad 3.1$$

โดยที่

n_i	คือ	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟอลต์ส่งผลให้เกิดไฟดับ
n_h	คือ	จำนวนจุดโหลดที่ถูกแยกเมื่อไม่สามารถจ่ายไฟได้
$L_{a(i)}$	คือ	ค่าเฉลี่ยระดับการใช้พลังงานที่จุดโหลด k
η_h	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของเหตุการณ์ที่เกิดไฟฟ้าดับ
C_{hi}	คือ	ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟดับ (\$/kW) ของลูกค้า
λ_h	คือ	อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์

3.1.3 เงื่อนไขบังคับ

3.1.3.1 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_k = \sum_{i=1}^{N_B} |Y_{ik} V_i V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad 3.2$$

$$Q_k = -\sum_{i=1}^{N_B} |Y_{ik} V_i V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad 3.3$$

3.1.3.2 ค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละบัสจะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดหลังจากเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าในระบบ

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad 3.4$$

3.1.3.3 ค่าขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแต่ละสายป้อนต้องอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดหลังจากเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าในระบบ

$$I_l \leq I_l^{\max}; l \in \{1, 2, \dots, N_l\} \quad 3.5$$

3.1.3.4 จำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่จะนำมาติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

$$\sum_{i=1}^{nbus} \sum_{j=1}^N e_{ji} \leq nDG \quad 3.6$$

3.1.3.4 กำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะต้องไม่เกินกำลังการผลิตรวมที่กำหนด

$$\sum_{i=1}^{nbus} \sum_{j=1}^N C_j \cdot e_{ji} \leq G \quad 3.7$$

3.1.3.5 ตัวแปรการตัดสินใจในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวโดยต้องมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

$$e_{ji} \in \{0,1\} \quad 3.8$$

3.1.3.6 แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถติดตั้งได้ตำแหน่งละหนึ่งตัว

$$\sum_{j=1}^{N_C} e_{jk} \leq 1 \quad k \in \{1,2,\dots,N_B\} \quad 3.9$$

กำหนดให้

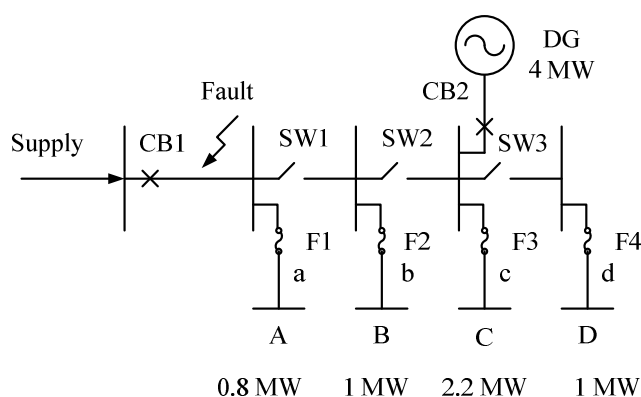
n_k	คือ	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟอลต์จากอุปกรณ์ส่งผลให้เกิดไฟฟ้าดับ
n_h	คือ	จำนวนจุดโหลดที่ถูกแยกเมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้
L_k	คือ	ระดับการใช้พลังงานที่จุดโหลด k ที่ระดับของกำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟใช้
r_h	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของเหตุการณ์ที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ
C_{hk}	คือ	ค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นระยะเวลา
λ_h	คือ	อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์
e_{ji}	คือ	ตัวแปรตัดสินใจสถานะตำแหน่งการติดตั้งบัส i และกำลังการผลิตที่ j
V_i	คือ	ขนาดแรงดันที่บัส i
$V_i^{\max}$	คือ	ขนาดแรงดันสูงสุดที่บัส i

$V_i^{\min}$	คือ	ขนาดแรงดันต่ำสุดที่บัส i
I_l	คือ	ขนาดกระแสที่ไหลผ่านสายป้อน
$I_l^{\max}$	คือ	ขนาดกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านสายป้อน
C_j	คือ	ขนาดกำลังการผลิตที่ j ของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
G	คือ	ขนาดกำลังการผลิตรวมสูงสุดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวทั้งระบบ
$nbus$	คือ	จำนวนบัสของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
nDG	คือ	จำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวของระบบจำหน่าย
N	คือ	จำนวนขนาดกำลังผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

หลักการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยพิจารณาการปลดโหลดเมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังต่อไปนี้

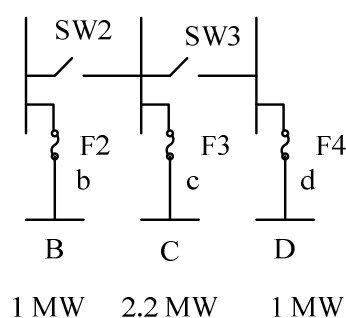
จากรูปที่ 3.1 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้า 5 บัส 4 สายป้อนหลัก ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 4 สายป้อนย่อย ได้แก่ a, b, c, d

การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่บัส 4 ขนาดกำลังการผลิต 4 MW มีจุดโหลดทั้งหมด 4 จุด ได้แก่ จุดโหลด A เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.8 MW จุดโหลด B เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทหน่วยงานราชการมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 MW จุดโหลด C เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสำนักงานเอกชน มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.2 MW จุดโหลด D เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทพาณิชย์ ความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 MW มีอุปกรณ์ป้องกันได้แก่ เบรกเกอร์โดยติดตั้งที่ต้นทางสายป้อนและติดตั้งที่หน้าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว มีสวิตช์ตัดตอนที่ 1, 2 และ 3 ติดตั้งบริเวณสายป้อนหลักที่ 2, 3, 4 ตามลำดับ และมีฟิวส์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ติดตั้งบริเวณสายป้อนย่อยที่ a, b, c และ d ตามลำดับ

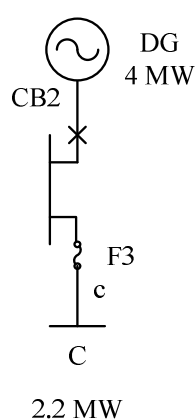


รูปที่ 3.1 การเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

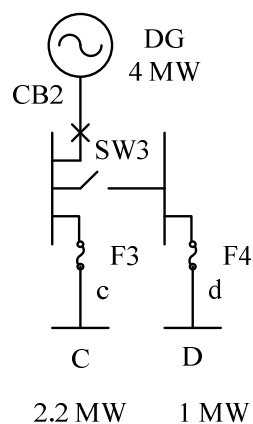
เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่สายป้อนหลักที่ 1 เบรกเกอร์ที่ติดตั้งต้นทางสายป้อนและเบรกเกอร์ที่ติดตั้งหน้าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะตัดออกจากระบบทำให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ส่งผลให้ทุกจุดโหลดเกิดอัตราการล้มเหลว จากนั้นสับสวิตซ์ตัดตอนที่ 1 โดยแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบเพื่อทำการซ่อมแซมสายป้อนหลักที่ 1 ส่วนจุดโหลดที่ไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงได้แก่ จุดโหลด B, C และ D สามารถนำมาวิเคราะห์ต่อ ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 จุดโหลด B, C และ D ที่แยกออกจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์

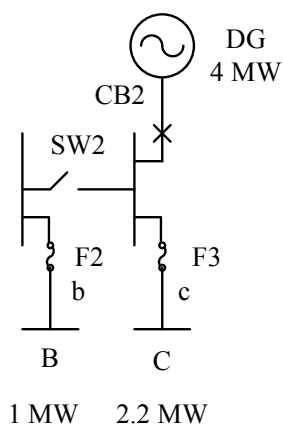


กรณี ที่ 1

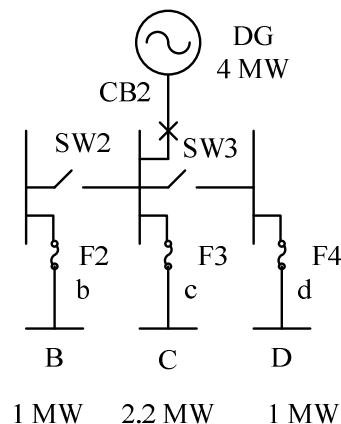


กรณี ที่ 2

รูปที่ 3.3 กรณีที่เป็นไปได้ที่แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า



กรณี ที่ 3



กรณี ที่ 4

รูปที่ 3.3 (ต่อ) กรณีที่เป็นไปได้ที่แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.3 เมื่อวิเคราะห์ที่ตำแหน่งจุดโหลด B, C และ D โดยที่แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่จะเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบจะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับจุดโหลดใดได้บ้าง จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าอาจเป็นไปได้ 4 กรณี

โดยทำการพิจารณาทั้ง 4 กรณีจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจากขนาดกำลังผลิตพิกัดแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่กำหนดว่าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการของแต่ละจุดโหลดหรือไม่ พบว่ากรณีที่ 1, 2 และ 3 สามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอ ส่วนกรณีที่ 4 มีความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 จุดโหลดเท่ากับ 4.2 MW สูงกว่าขนาดกำลังผลิตพิกัดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว จึงไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดของทั้ง 3 กรณี ว่ากรณีไหนให้ค่าคาดการณ์ความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต่ำที่สุด พบว่ากรณีที่ 2 ให้ค่าที่เหมาะสมและดีที่สุด เนื่องจากการเปรียบเทียบค่าคาดการณ์ความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของจุดโหลด D เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทพาณิชย์สูงกว่าค่าคาดการณ์ความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของจุดโหลด B เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทหน่วยงานราชการ เมื่อกรณีที่ 2 เป็นค่าที่เหมาะสมและดีที่สุดจึงทำการสับสวิทช์ตัดตอนที่ 2 เพื่อแยกจุดโหลด B ออกไป ส่วนจุดโหลด C และ D จะได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

จากการคำนวณดังกล่าวจะได้ว่าจุดโหลด A และ B จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับนานเป็นระยะเวลาของการซ่อมแซมสายป้อนที่ 1 ส่วนจุดโหลด C และ D จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นระยะเวลาของการสับสวิทช์ตัดตอนที่ 2 เท่านั้น จากการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยการติดตั้งมีตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสม จะสามารถปรับปรุงและเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

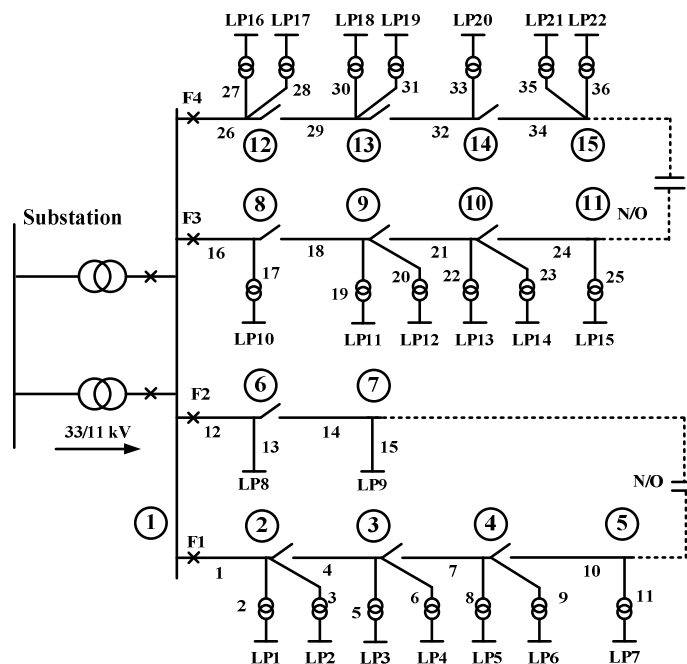
3.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยวิธีการค้นหาแบบตาบ

การแก้ปัญหาในการหาค่าที่ดีที่สุดในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะใช้ e_{ji} เป็นตัวแปรในการตัดสินใจสำหรับตำแหน่งการติดตั้งบัส i และกำลังการผลิตที่ j ของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และการหาตำแหน่ง จำนวน และขนาดกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสม เพื่อการลดค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาแบบตาบและป้อนข้อมูลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกับข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จะทำการทดสอบ
- ขั้นตอนที่ 2 : ดำเนินการทดสอบโดยการสุ่มตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตเริ่มต้น จากตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตทั้งหมด
- ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด
- ขั้นตอนที่ 4 : หาค่า ECOST สมการที่ (8) พิจารณาการปลดโหลด เมื่อติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ภายใต้เงื่อนไขบังคับของสมการที่ (9) – (16) จากข้อมูลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในขั้นตอนที่ 1 และกำหนดให้ค่า ECOST เป็นค่าที่ดีที่สุด
- ขั้นตอนที่ 5 : นับจำนวนครั้งในการค้นหาและดำเนินการค้นหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตบริเวณใกล้เคียงจากคำตอบปัจจุบัน
- ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณหาค่า ECOST โดยพิจารณาการปลดโหลด เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวของสมาชิกแต่ละตัวของคำตอบบริเวณใกล้เคียง แล้วเลือกสมาชิกที่ทำให้ค่า ECOST มีค่าต่ำที่สุด
- ขั้นตอนที่ 7 : ตรวจสอบรายการตาบว่ามีสถานะเป็นตาบหรือไม่
- ขั้นตอนที่ 8 : ถ้าไม่เป็นตาบให้คำตอบบริเวณใกล้เคียงดังกล่าวเป็นคำตอบปัจจุบัน แต่ถ้าเป็นตาบต้องผ่านเกณฑ์ความปรารถนาคือต้องมีค่า ECOST ต่ำกว่าค่า ECOST เดิม แล้วทำการย้ายตำแหน่งโดยกำหนดให้ คำตอบบริเวณใกล้เคียงเป็นคำตอบปัจจุบัน และปรับปรุงรายการตาบให้เป็นปัจจุบันและเพิ่มจำนวนครั้งในการค้นหา
- ขั้นตอนที่ 9 : ดำเนินการค้นหาจนครบรอบจำนวนครั้งสูงสุดที่กำหนดไว้

การพิจารณาการหาค่าที่เหมาะสมและดีที่สุดของในกรณีที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายคือผลของ ECOST รวมทั้งค่าของดัชนี SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI, ENS และ AENS โดยจะบ่งบอกความเชื่อถือได้ของระบบ จากการวิเคราะห์ซึ่งจะบอกความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อทราบว่าจุดใดในระบบที่จะต้องปรับปรุงแก้ไข ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สำคัญและสามารถแทนพฤติกรรมของระบบได้ จากตารางข้อมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับพบว่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับและชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า และขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์ ปริมาณของโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับ โดยนำมาเป็นเงื่อนไขและกำหนดจำนวนและกำลังการผลิตรวมของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ต้องการได้

3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2



รูปที่ 3.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2 ประกอบด้วย 36 สายป้อน 22 จุดโหลด การพัฒนาขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบตาบู่โดยการทดสอบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton Test System (RTBS) บัส 2 ซึ่งประกอบด้วย 15 บัส 36 สายป้อน 22 จุดโหลด ในระบบที่มีอุปกรณ์หลักต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั่วไปของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการกำหนดค่าของระบบแสดงรูปที่ 3.4 โดยทำการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียและความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การค้นหาซ้ำสูงสุดของวิธีการค้นหาแบบตาบู่ คือ 100 รอบ กำหนดให้ใช้โหลดเฉลี่ยและค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดแต่ละบัส 0.95 p.u. และ 1.05 p.u. ตามลำดับ และขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าคือ 500 kW-2,000 kW โดยการพิจารณาจะไม่คำนึงถึงผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานไม่ได้ เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3.4 กรณีศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2

เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียและความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การค้นหาค่าสูงสุดของวิธีการค้นหาแบบตาบ คือ 100 รอบ กำหนดให้ใช้โหลดเฉลี่ยและค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดแต่ละบัส $0.95 \text{ p.u.} \leq V \leq 1.05 \text{ p.u.}$ ตามลำดับ กำหนดค่ากำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่จะทำการติดตั้ง 5 ค่า คือ 500 kW, 1000 kW, 1500 kW, 2000 kW, 2500 kW เลือกตำแหน่งติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวตั้งแต่บัสที่ 1 ถึงบัสที่ 15 การพิจารณาจะไม่คำนึงถึงผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานไม่ได้ เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ตำแหน่งที่เหมาะสมและขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว จากการทดสอบในตารางที่ 4-6 และผลจากกรณีศึกษาของดัชนีความเชื่อถือในตารางที่ 4-7 ตามลำดับ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและดีที่สุดในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยวิธีการค้นหาแบบตาบ

การทดสอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2 แบ่งเป็น 5 กรณีโดยการกำหนดจำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบ และกำหนดกำลังรวมการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวดังต่อไปนี้

- กรณีที่ 1 กรณีฐานไม่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย
- กรณีที่ 2 กำหนดจำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบเท่ากับ 1 เครื่อง
- กรณีที่ 3 กำหนดจำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบเท่ากับ 2 เครื่อง
- กรณีที่ 4 กำหนดจำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบเท่ากับ 3 เครื่อง
- กรณีที่ 5 กำหนดจำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบเท่ากับ 4 เครื่อง

ตารางที่ 3.1 จำนวน DG ที่ติดตั้งและกำลังผลิตรวมเมื่อติดตั้ง DG เข้าในระบบ

กรณี	จำนวน DG ที่ติดตั้งในระบบ n_{DG} (unit)	กำลังผลิตรวมเมื่อติดตั้ง DG G (kW)
1	-	-
2	1	≤ 1000
3	2	≤ 2000
4	3	≤ 3000
5	4	≤ 4000

จากตารางที่ 3.1 แสดงการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบโดยกำหนดกรณีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเท่า 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยที่กรณีที่ 1.1 ไม่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และกำลังผลิตรวมเมื่อติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเท่ากับ 0, ≤ 1000 , ≤ 2000 , ≤ 3000 และ ≤ 4000 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 โหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	โหลดสูงสุด (MW)
บ้านพักอาศัย	7.25
ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	3.50
หน่วยงานราชการ	5.55
พาณิชย์	3.70
รวม	20.00

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2 เป็นระบบที่ถูกจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งเดียวกัน โดยมีสายป้อนที่ระดับ 11 kV ทั้งหมดจะถูกพิจารณาเป็นสายอากาศและข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดและปริมาณการใช้ตามแต่ละชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า แสดงไว้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

จำนวน จุด โหลด	จุดโหลด	จำนวน ผู้ใช้ ไฟฟ้า	ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	ความต้องการกำลังไฟฟ้า	
				โหลดเฉลี่ย (MW)	โหลดสูงสุด (MW)
5	1, 2, 3, 10, 11	210	บ้านพักอาศัย	0.535	0.8668
4	12, 17, 18, 19	200	บ้านพักอาศัย	0.45	0.7291
1	8	1	ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	1.00	1.6279
1	9	1	ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	1.15	1.8721
6	4, 5, 13, 14, 20, 21	1	หน่วยงานราชการ	0.566	0.9167
5	6, 7, 15, 16, 22	10	พาณิชย์	0.454	0.7500
รวม		1908		12.291	20.00

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลของสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

หมายเลขสาย	ความยาว (กม.)	ชนิดของสาย
2, 6, 10, 14, 17, 21, 25, 28, 30, 34	0.60	AAC 70
1, 4, 7, 9, 12, 16, 19, 22, 24, 27, 29, 32, 35	0.75	AAC 70
3, 5, 11, 13, 15, 18, 20, 23, 26, 31, 33, 36	0.80	AAC 70

ตารางที่ 3.5 ดัชนีความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

อุปกรณ์	λ	r	r_p	s
หม้อแปลงไฟฟ้า 11/0.415	0.015	200	10	-
สายป้อน	0.0650	5	-	1

โดยที่

- λ คือ อัตราความล้มเหลว (ครั้ง/ปี) (สำหรับสายส่ง (ครั้ง/ปี/ก.ม.))
- r คือ เวลาซ่อม (ชั่วโมง)
- r_p คือ เวลาในการเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้า (ชั่วโมง)
- s คือ เวลาในการทำสวิตชิง (ชั่วโมง)

ตารางที่ 3.6 อัตราความเสียหายและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมของอุปกรณ์แบบต่างๆ

อุปกรณ์	λ (ครั้ง/ปี)	r (ชั่วโมง)
เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)	0	2
รีโคลสเซอร์ (R)	0.1	1.5
สวิตช์ไบนีด (DS)	0.2	1
สวิตช์ถ่ายโอน (ATS)	0.023	1.5
ฟิวส์ (F)	0.1	1

หมายเหตุ: กำหนดให้อุปกรณ์ทุกชนิดมีความน่าจะเป็นที่ อุปกรณ์จะทำงานสำเร็จเท่ากับ 100%

การกำหนดค่าในระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2 จะแสดงข้อมูลต่างๆ ในตารางที่ 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ จากตารางที่ 3.6 จะแสดงอัตราความเสียหายและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ จากกรณีนี้ในการทดสอบจะกำหนดให้อุปกรณ์กันมีประสิทธิภาพในการทำงาน 100% โดยในการทดสอบจะไม่นำอัตราความเสียหายและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมของอุปกรณ์ป้องกันในระบบมาวิเคราะห์ซึ่งในการวิเคราะห์จะจำลองการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าในระบบจากกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ การวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์การลดลงของค่าคาดหวังความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากการเกิดไฟฟ้าดับให้มีค่าต่ำที่สุด