บทที่ 4

การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยวิธีจำลองเหตุการณ์

สถานีไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญโดยระบบไฟฟ้ากำลังในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปตามจุดต่าง ๆ สถานีไฟฟ้ามีโครงสร้างได้หลายแบบ และมีการทำงานที่ซับซ้อน อุปกรณ์แต่ละชนิดล้วนมีความสำคัญความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า โดยทั่วไปเราจะแบ่งอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าเป็น 3 ชนิดหลัก [11] ได้แก่ เซอร์กิตเบรคเกอร์ บัสบาร์ และหม้อแปลง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น รีเลย์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน ฯลฯ ต่างสามารถจัดรวมอยู่ในอุปกรณ์ทั้ง 3 ดังกล่าว ดังนั้นในบทนี้จึงเป็นการพิจารณาถึงรายละเอียดของการทำงานของอุปกรณ์หลักต่าง ๆเหล่านี้ เพื่อนำไปสู่การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าต่อไป

4.1 ภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งสถานะการทำงานที่สำคัญของอุปกรณ์ต่าง ๆในสถานีไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบรคเกอร์ บัสบาร์ และหม้อแปลง ได้เป็น 3 ประเภทคือ การทำงานตามปกติ การล้มเหลวแบบเปิดวงจร (Open circuit) และการล้มเหลวแบบลัดวงจร (Closed circuit)

สำหรับการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้งเกอร์แบบปกติปิดและแบบปกติเปิดซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ นั้นพอที่จะกล่าวสรุปถึงตัวอย่างการทำงานได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติเปิด (Normally closed) ประกอบด้วยการทำงานในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- ทำงานตามปกติในภาวะปิดวงจร
- เปิดวงจรด้วยความสำเร็จเมื่อควรจะเปิด
- ล้มเหลวที่จะเปิดวงจรเมื่อควรจะเปิด
- เปิดวงจรอย่างไม่ตั้งใจเมื่อไม่ควรจะเปิด
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการเปิดวงจรที่ตัวมันเอง
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านบัสบาร์
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่ง

สำหรับกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติเปิด (Normally open) พอจะสรุปลักษณะการทำงานได้ดังนี้

- ปิดวงจรสำเร็จเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวที่จะปิดวงจรเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านบัสบาร์
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่ง

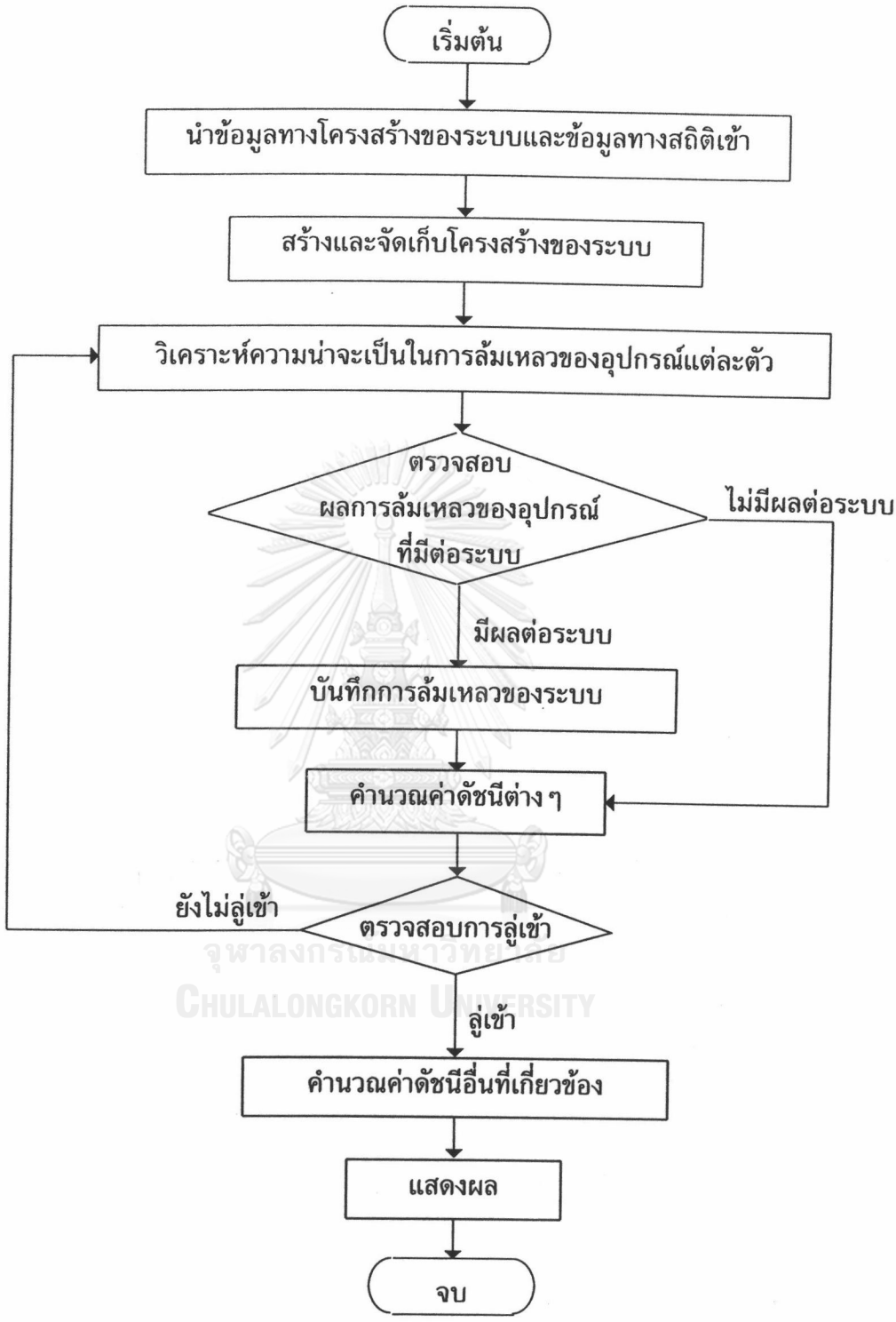
การทำงานในลักษณะต่าง ๆดังกล่าวเป็นเพียงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การที่ระบบทั้งระบบล้มเหลวนั้นสาเหตุดังกล่าวอาจเป็นเพียงสาเหตุทางอ้อมเท่านั้น เช่น การการล้มเหลวที่ส่วนของระบบซึ่งมิได้อยู่ในเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างขาเข้าและขาออกของระบบนั้นอาจส่งผลต่ออุปกรณ์อื่นข้างเคียงจนทำให้ไม่สามารถทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ดังจะได้อธิบายละเอียดต่อไปในรูปที่ 4.7 และ 4.8

4.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีการจำลองเหตุการณ์ได้นำแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 โดยรายละเอียดของแต่ละได้นำมาสรุปไว้ดังนี้

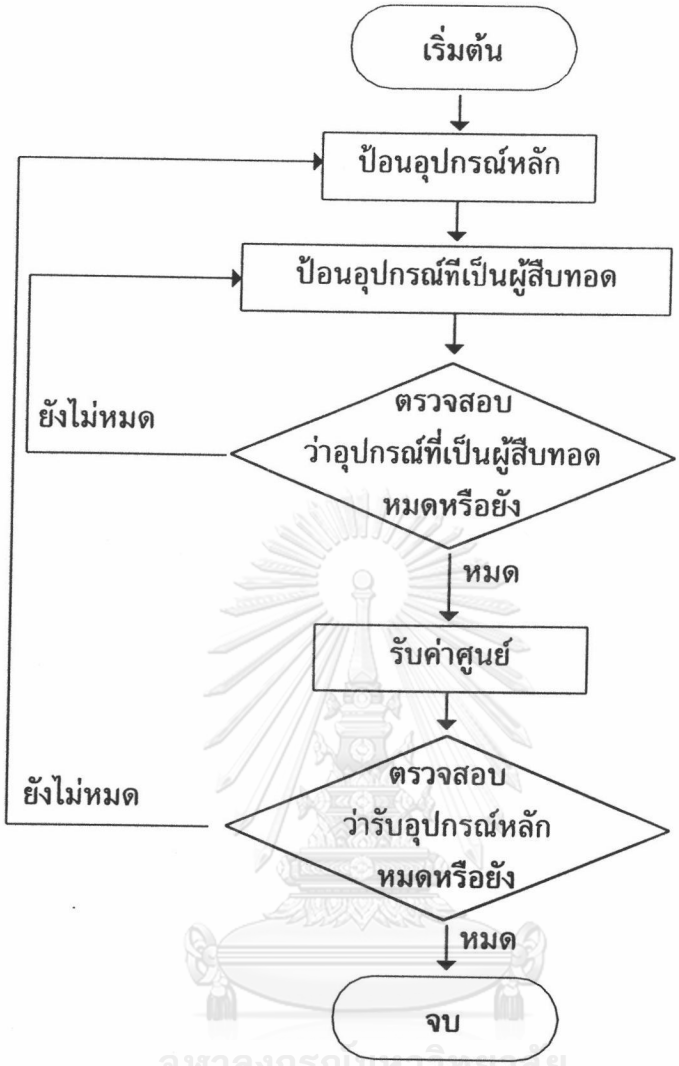
4.2.1 การป้อนข้อมูลเข้าและจัดเก็บข้อมูลทางโครงสร้างโดยใช้หลักการของผู้สืบทอด

ในการป้อนข้อมูลทางโครงสร้างหรือลักษณะการจัดเรียงอุปกรณ์ของระบบเช่น การจัดเรียงแบบ Single bus แบบ Ring bus แบบ Main & transfer bus หรือแบบอื่น ๆ เข้าคอมพิวเตอร์ได้นั้นอาศัยหลักของผู้สืบทอด (Successor) [10] ซึ่งอาศัยการอ้างอิงถึงอุปกรณ์ตัวถัดไปที่พลังงานไฟฟ้าสามารถส่งต่อไปได้โดยอุปกรณ์ตัวถัดไปนี้เปรียบเสมือนผู้รับมรดกหรือผู้สืบทอดที่ได้รับการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าหรือเทียบได้กับสมบัติจากผู้เป็นพ่อแม่ ตัวอย่างเช่น A: B,C หมายความว่าจากอุปกรณ์ A นี้สามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าต่อไปยังอุปกรณ์ B และ C หลักการนี้ได้นำมาใช้แทนหลักการของอินซิเดนซ์เมตริกซ์ซึ่งมีหลักการเก็บค่าในลักษณะเป็นเมตริกซ์ด้วยสมาชิกที่มีค่า 0 หรือ 1 ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ A ต่ออยู่ระหว่างปม 1 และปม 2 แถวของเมตริกซ์ซึ่งแสดงถึงการต่ออุปกรณ์ A จะได้ [1 1 0 0 0] โดยค่า 0 ในหลักที่ 3 4 และ 5 หมายความว่าอุปกรณ์ A ไม่ได้ต่ออยู่กับปม 3 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าหลักการผู้สืบทอดมีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลแบบระบุตัวอุปกรณ์ ส่วนหลักการอินซิเดนซ์เมตริกซ์มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลแบบเป็นจำนวนด้วยค่าสมาชิก 0 และ 1 ซึ่งต้องมีจัดเก็บลักษณะการต่อทุกปมสำหรับแต่ละอุปกรณ์ทำให้มีการใช้ขนาดหน่วยความจำของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากขึ้น ประกอบกับเนื่องจากการคำนวณดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้อินซิเดนซ์เมตริกซ์ (Incidence matrix) ดังเช่นในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโหลดโฟลว์ เพียงแต่ต้องการเก็บข้อมูลเฉพาะโครงสร้างของระบบว่ามีการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์อย่างไร ทำให้วิธีการสืบทอดนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสม สำหรับขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลแบบสืบทอดได้นำแสดงไว้ในรูปที่ 4.2



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงการประเมินความเชื่อถือได้โดยวิธีจำลองเหตุการณ์



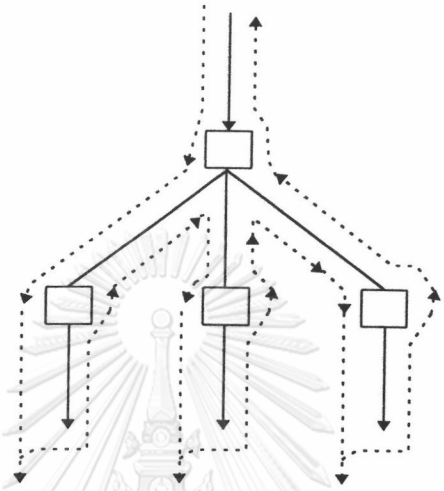
รูปที่ 4.2 แผนผังแสดงการป้อนโครงสร้างของระบบโดยอาศัยหลักการของผู้สืบทอด

ในการป้อนข้อมูลของอุปกรณ์นั้นนอกเหนือจากค่าทางสถิติแล้วสิ่งที่ต้องป้อน คือ ลักษณะการถ่ายทอดพลังงานของอุปกรณ์นั้นจะส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ตัวใดก็ทำการระบุหมายเลขของอุปกรณ์ถัดไปตัวนั้น ถ้าไม่มีอุปกรณ์ตัวต่อไปหรืออุปกรณ์นั้นเป็นตัวสุดท้ายก็ใส่หมายเลขศูนย์ ในขณะเดียวกันเราก็ต้องใส่ชนิดอุปกรณ์ตัวนั้นลงไปด้วย จากการนำข้อมูลเข้าในลักษณะนี้เราไม่จำเป็นต้องใส่ปม (Nodes) แม้ว่าอุปกรณ์นั้นจะทำหน้าที่เสมือนปมในวงจรไฟฟ้าก็ตาม

จากการสร้างและจัดเก็บโครงสร้างของระบบซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่เก็บไว้ในลักษณะสืบทอดนั้นเราจะหาชุดเส้นทางต่ำสุด (Mininal path sets) เพื่อการตรวจสอบการล้มเหลวของระบบในขั้นตอนต่อไป การหาเส้นทางจ่ายกำลังไฟฟ้านี้ทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

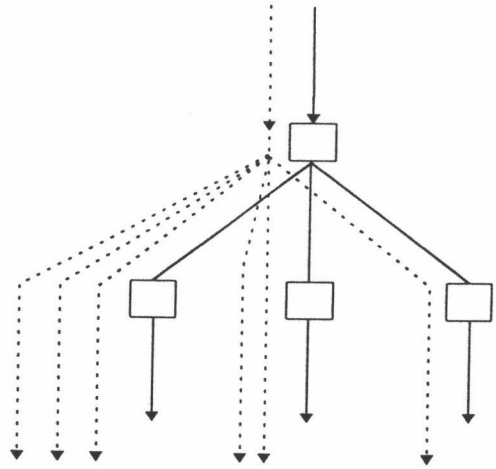
I 17978909

1) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีวนพิจารณาย้อนกลับไปกลับมาแบบดั้งเดิม [20] ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปนี้จะเห็นว่าเส้นประซึ่งแสดงเส้นทางที่โปรแกรมคอมพิเตอร์ได้ตรวจสอบหาเส้นทางที่เป็นไปได้จะมีลักษณะที่ต้องผ่านอุปกรณ์ทั้งขาไปและขากลับ วิธีการนี้ถึงจะมีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อการเข้าใจแต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ต้องทำงานหนักเพราะต้องพิจารณาผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ



รูปที่ 4.3 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีดั้งเดิม

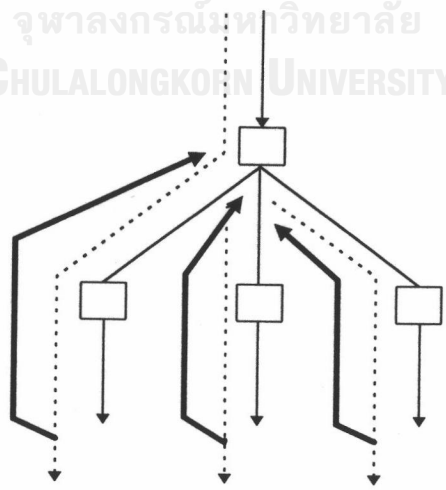
2) การตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม [11] ดังรูปที่ 4.4 แสดงวิธีการหาเส้นทางโดยอาศัยการสุ่มหาอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ตัวถัดไป วิธีนี้มีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมเพราะไม่ต้องสร้างฟังก์ชันในการพิจารณาเส้นทางที่ซับซ้อน แต่ใช้ฟังก์ชันสุ่มซึ่งเป็นฟังก์ชันมาตรฐานที่มีอยู่แล้วในภาษาคอมพิวเตอร์แต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ยังคงต้องทำงานหนักเพราะการสุ่มนั้นต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ได้ครบทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ประกอบกับการสุ่มนั้นมีโอกาสทำให้เกิดเส้นทางที่ซ้ำซ้อนกับเส้นทางที่เคยหาไว้แล้ว ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ตัวหนึ่งมีอุปกรณ์ตัวถัดไปต่ออยู่ 3 ตัว หากจะทำการพิจารณาหาอุปกรณ์หนึ่งในสามตัวนี้อาจต้องสุ่มถึง 10 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าในการสุ่มนั้นต้องมีอุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวอยู่ จะได้ครบเส้นทางที่เป็นไปได้ทุกเส้นทาง นอกจากนี้ต้องคอยตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่สุ่มขึ้นมานั้นไม่ก่อให้เกิดวงรอบ (Loops) เช่น ในระบบ Ring bus เมื่อตรวจสอบหาเส้นทางจนถึงอุปกรณ์ตัวสุดท้ายของเส้นทางแล้ว และการสุ่มครั้งต่อ ๆไปทำให้อุปกรณ์ตัวสุดท้ายดังกล่าวเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางนี้เป็นครั้งที่ 2 อีกก็หมายความว่าขณะนี้ได้เกิดวงรอบขึ้นแล้ว กรณีทำนองนี้จึงอาจทำให้เกิดการวนรอบของการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำให้หาที่สิ้นสุดของการทำงานไม่ได้



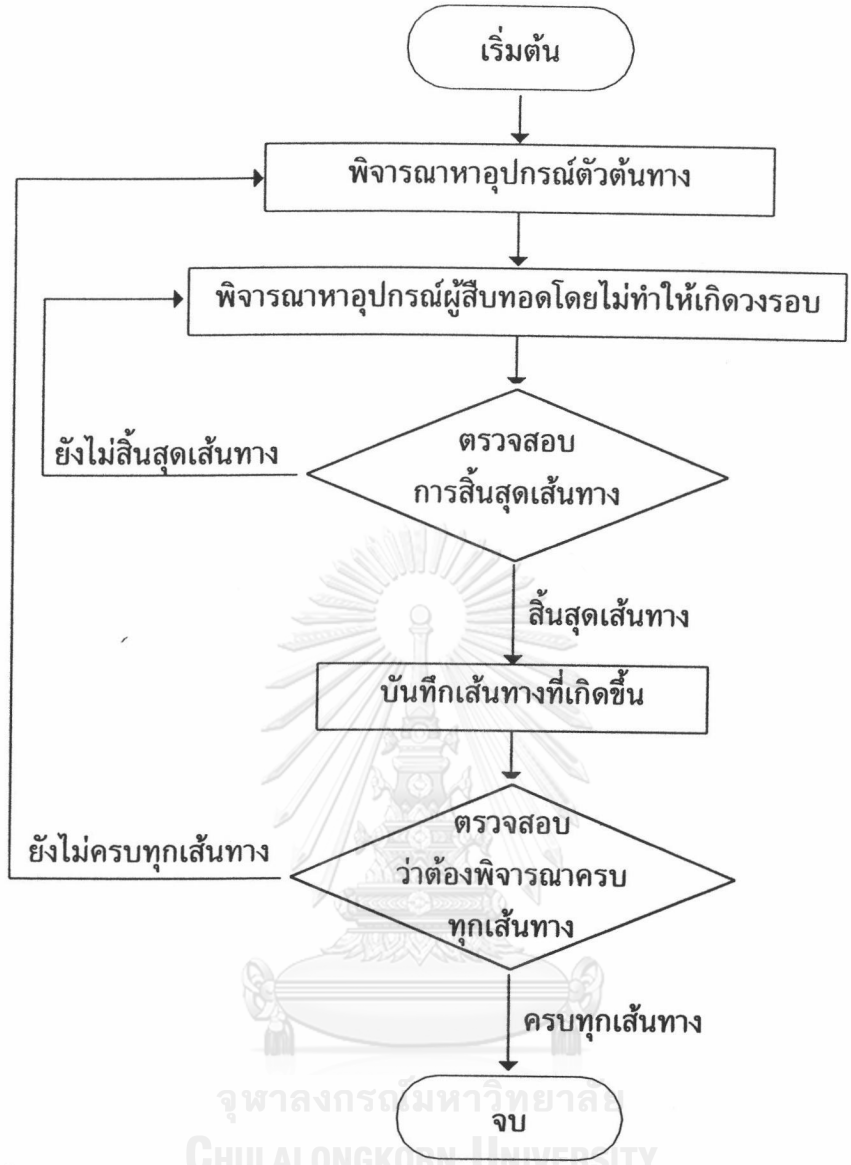
รูปที่ 4.4 เส้นประแสดงการหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน

3) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำจุดปมตามที่แสดงในรูปที่ 4.5 นี้จะใช้หลักการพิจารณาอุปกรณ์ถัดไปทีละตัวจนถึงปลายทาง จากการที่ได้ผ่านอุปกรณ์ตัวที่อุปกรณ์ถัดไปอยู่หลายตัวซึ่งอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่เป็นจุดปมเช่นบัสบาร์หรือไม่ก็ได้เราก็ให้คอมพิวเตอร์จำอุปกรณ์นั้นไว้ แล้วพอถึงปลายทางก็กระโดดย้อนกลับไปเริ่มที่จุดแยกนั้นเป็นการเริ่มต้นเส้นทางใหม่ วิธีนี้ไม่ต้องสุ่มเป็นจำนวนครั้งมาก ๆ การตรวจสอบการวนรอบก็ยังต้องมีเหมือนเดิม เพียงแต่หากพบว่ามีการวนรอบแล้วไม่ต้องไปเริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นใหม่ ด้วยข้อดีต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นวิธีการดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้ในการสร้างเส้นทางการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าดังแสดงเป็นแผนผังการทำงานในรูปที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.5 เส้นประแสดงการหาเส้นทางโดยมีเส้นหนาแสดงการกระโดดกลับไปที่จุดแยกที่จำไว้

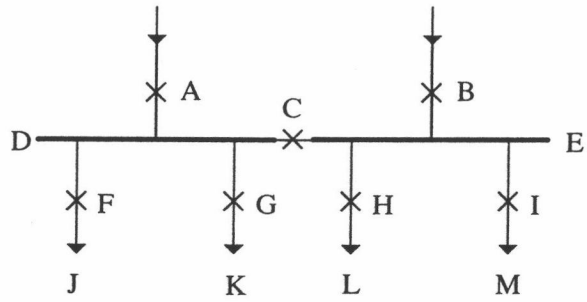


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด

กล่าวโดยสรุปแล้ววิธีการตรวจหาเส้นทางทั้ง 3 วิธีข้างต้นทำเป็นการตรวจสอบเพื่อคำนวณผลการล้มเหลวของระบบ กล่าวคือ เมื่อทราบว่ามีอุปกรณ์ตัวใดบ้างที่ล้มเหลวแล้วจะนำผลการล้มเหลวของอุปกรณ์เหล่านั้นมาตรวจสอบกับเส้นทางทั้งหมดว่ายังมีเส้นทางอื่นที่จะนำไปสู่จุดโหลดที่กำลังพิจารณาได้หรือไม่ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.7 นั้นสมมุติว่าจากการสุ่มซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไปทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ตัวที่ล้มเหลวก็คือเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่อยู่ติดกับจุดโหลดที่กำลังพิจารณา (F) ก็แสดงว่าเหตุการณ์นี้ทำให้จุดโหลดดังกล่าวขาดการจ่ายพลังงานหรือล้มเหลวนั่นเองเนื่องจากเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวนี้มีอยู่ในทุกเส้นทางระหว่างแหล่ง

จ่ายกับจุดโหลดที่กำลังพิจารณา (J) จากระบบตัวอย่างนี้เส้นทางระหว่างขาเข้าและจุดโหลด J ได้แก่เส้นทางที่ผ่านอุปกรณ์ ADF และ BECF

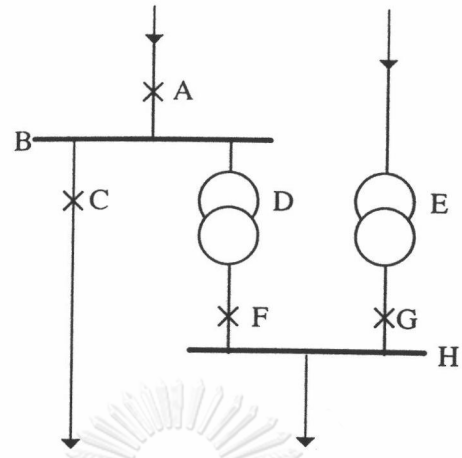


รูปที่ 4.7 ระบบการจัดเรียงบัสแบบ Single sectionalized bus

การพิจารณาอุปกรณ์ที่ล้มเหลวเทียบกับเส้นทางที่มีอยู่จริงข้างต้นนี้เป็นหลักเบื้องต้นในการพิจารณาถึงการล้มเหลวที่ปลายทางเท่านั้นซึ่งดูเสมือนว่าการตรวจเส้นทางนั้นเป็นเพียงการพิจารณาอุปกรณ์จากต้นทางจนถึงปลายทางที่สนใจศึกษาเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงยังต้องพิจารณาเส้นทางที่เป็นเส้นทางเทียมด้วย เส้นทางเทียมนี้ก็คือเส้นทางที่ไม่ปรากฏจริงในภาวะทำงานปกติ หากแต่เส้นทางนี้จะปรากฏขึ้นเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับอุปกรณ์บางตัว ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ต่อเชื่อมระหว่างบัสในรูปที่ 4.7 นั้นเป็นแบบปกติเปิดพบว่าจะมีเส้นทางจากแหล่งจ่ายถึงจุดโหลดเพียงเส้นทางเดียวในภาวะปกติคือเส้นทางที่ผ่านอุปกรณ์ ADF แต่หากสมมุติว่าเกิดเหตุขัดข้องที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่ติดกับแหล่งจ่ายก็จะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่เชื่อมระหว่างบัสนี้เปลี่ยนสภาพมาเป็นปิดวงจรได้โดยทำการสวิตชิงเซอร์กิตเบรคเกอร์ C จึงทำให้เกิดเส้นทางใหม่ขึ้นมาที่ไม่มีในภาวะปกติ กรณีเส้นทางที่เกิดขึ้นใหม่นี้ดังกล่าวนี้ก็ถือเป็นเส้นทางหนึ่งที่จะต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน หากแต่ในภาวะปกติจะไม่ปรากฏเส้นทางนี้ขึ้นจึงเรียกเส้นทางนี้ว่าเป็นเส้นทางเทียม

การพิจารณาเส้นทางไม่เพียงแต่พิจารณาอุปกรณ์ที่ต่อระหว่างแหล่งจ่ายกับจุดโหลดที่สนใจทั้งเส้นทางที่มีอยู่จริงและไม่มีอยู่จริงในภาวะปกติตามที่กล่าวมาแล้วเท่านั้น หากแต่ต้องพิจารณาอุปกรณ์ระหว่างแหล่งจ่ายกับจุดโหลดทุกจุดไม่ว่าจุดนั้นจะเป็นจุดที่เรากำลังสนใจหรือไม่ก็ตาม ตัวอย่างเช่น ระบบในรูปที่ 4.8 นั้นหากสมมุติเราสนใจจุดโหลดที่ออกจากบัส H เส้นทางทั้งหมดนั้นมี 2 เส้นทาง ได้แก่ เส้นทางที่ผ่านหม้อแปลงตัวซ้ายและเส้นทางที่ผ่านหม้อแปลงตัวขวา แต่จะมีอีกหนึ่งเส้นทางซึ่งไม่ใช่เส้นทางที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายกับจุดโหลดที่กำลังพิจารณา คือเส้นทางที่ผ่านอุปกรณ์ ABC กรณีดังกล่าวจุดโหลดไม่ได้ H ไม่ได้รับการพิจารณารวมอยู่ด้วยหากแต่จำเป็นต้องถือว่าเป็นเส้นทางหนึ่งที่จะต้องพิจารณาเนื่องจากจุดโหลด H นั้นอาจเกิดล้มเหลวได้ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากการลัดวงจร

ที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ C พร้อม ๆกับเกิดการเปิดวงจรของหม้อแปลง E ซึ่งจะส่งผลให้จุดโหลดที่สนใจไม่ได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายได้

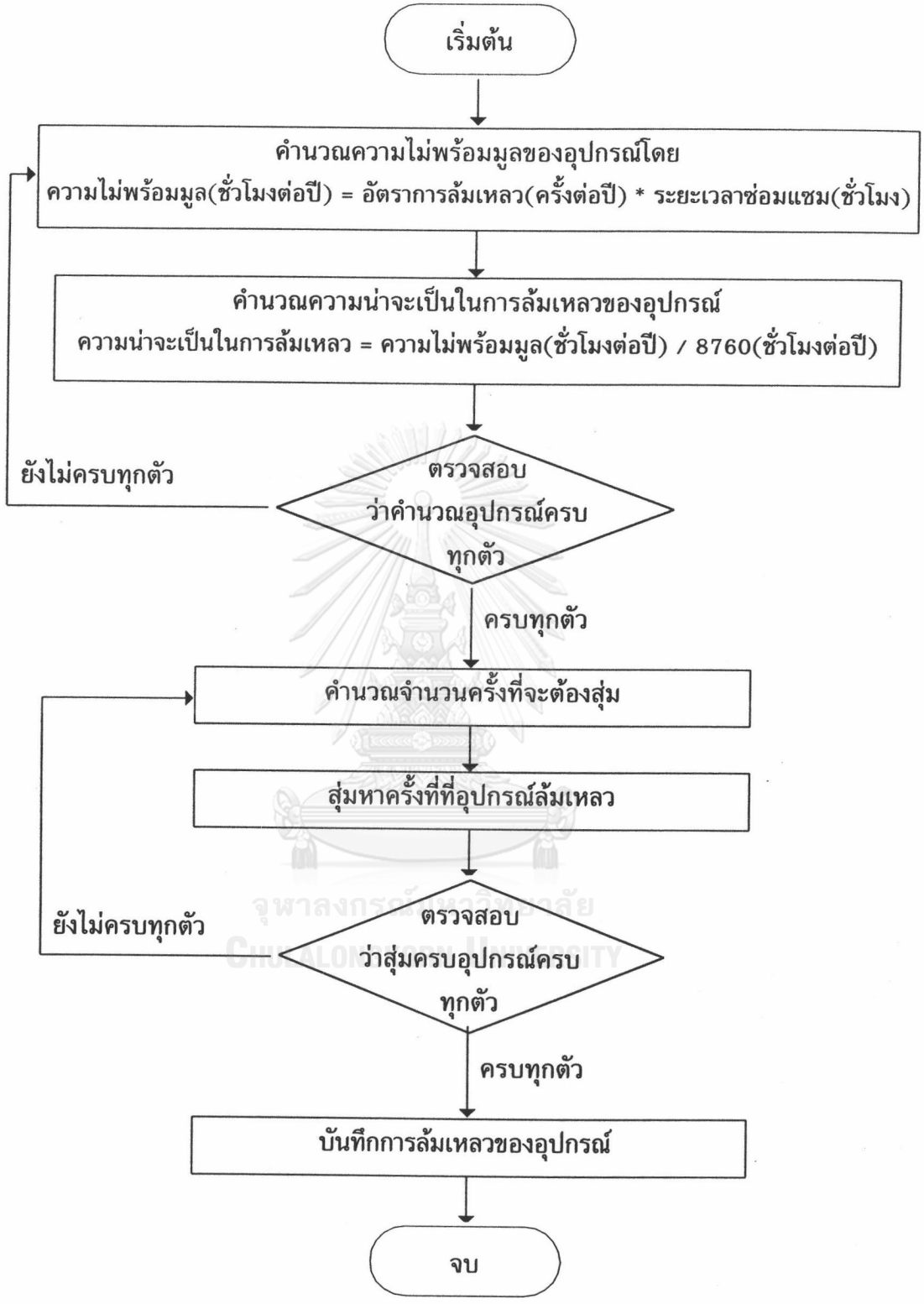


รูปที่ 4.8 ระบบตัวอย่างที่สนใจจุดโหลดที่ออกจากบัส H

จากที่กล่าวยกตัวอย่างทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการพิจารณาหาเส้นทางนั้นต้องอ้างอิงกับเหตุการณ์ที่อาจเกิดได้จริงทุกภาวะการล้มเหลวของอุปกรณ์จึงจะทำให้การจำลองหรือเลียนแบบเหตุการณ์ให้ผลได้เหมือนความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นเส้นทางที่ได้มาจากขั้นตอนนี้จึงไม่ได้มีเพียงแต่เส้นทางที่เกิดจากการจัดเรียงอุปกรณ์ที่ปรากฏให้เห็นในภาวะปกติเท่านั้น หากแต่ต้องพิจารณาเส้นที่อาจเกิดขึ้นในภายหลังและเส้นทางที่จ่ายโหลดให้จุดอื่น ๆซึ่งไม่ได้เป็นจุดโหลดที่สนใจด้วย

4.2.2 <u>การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการล้มเหลวของอุปกรณ์</u>

สำหรับการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการล้มเหลวของอุปกรณ์ในขั้นนี้จะเป็นการเตรียมจำนวนครั้งที่จะทำการสุ่มดังแสดงในรูปที่ 4.9 สมมุติอุปกรณ์มีอัตราการล้มเหลว = 0.01 ครั้งต่อปี และระยะเวลาซ่อมแซมในแต่ละครั้งเฉลี่ยคือ 1 ชั่วโมง ดังนั้นความไม่พร้อมมูล = 0.01 x 1 = 0.01 ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นค่าความน่าจะเป็นจะได้ = $0.01/8760 = 1.142 \times 10^{-6}$ นั่นหมายความว่าหากเป็นวิธีมอนติคาร์โลแบบโดยตรงแล้วโดยตรงแล้วการสุ่มหาจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ตัวนี้ล้มเหลวประมาณ 1 ครั้ง อาจจะต้องสุ่มถึง 1 ล้านครั้ง และอาจต้องสุ่มเพิ่มนับหลายล้านรอบเพื่อความแม่นยำหรือให้คำตอบลู่เข้า เพราะเนื่องจากในการสุ่ม 1 ล้านครั้งจากที่ควรจะพบเหตุการณ์ล้มเหลวเพียง 1 ครั้ง แต่เมื่อสุ่มจริง ๆ อาจพบถึง 2 หรือ 3 ครั้ง หรืออาจไม่พบเลย



รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและสุ่มหาการล้มเหลวของอุปกรณ์

วิธีมอนติคาร์โลแบบ Dagger ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีหลักการดังต่อไปนี้ จากตัวอย่างอัตราล้มเหลวและระยะเวาลาซ่อมแซมดังข้างบน ในเมื่อเราทราบแล้วว่าใน 1 ล้านครั้งจะมีเหตุการณ์ล้มเหลวอยู่ 1 ครั้ง แต่ยังไม่ทราบว่าเกิดที่ครั้งใดเราจึงเปลี่ยนจากการที่ต้องสุ่มถึง 1 ล้านครั้งมาเป็นสุ่มเพียงครั้งเดียวเพื่อหาครั้งที่ที่อุปกรณ์ตัวนั้นล้มเหลว เพียงเท่านี้ก็สามารถลดจำนวนครั้งจาก 1 ล้านเหลือ 1 ครั้ง นอกจากนี้ยังเป็นการลดความคลาดเคลื่อนได้อีกด้วย เนื่องจากเป็นที่แน่นอนว่าใน 1 ล้านครั้งนี้จะมีครั้งที่ล้มเหลวที่สุ่มขึ้นมาเพียง 1 ครั้งเท่านั้นจะไม่มีโอกาสเป็น 2 ครั้ง 3 ครั้ง หรือไม่พบเลย ทำให้จำนวนรอบเพื่อหาการลู่เข้าลดลงไปอีก

ในการหาจำนวนครั้งที่จะต้องสุ่มสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีฟังก์ชันโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์หาโดยเฉพาะ โดยอาศัยสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$U = \lambda r \qquad (4.1)$$

โดยที่ U = ความไม่พร้อมมูล

λ = อัตราการล้มเหลว

และ r = ระยะเวลาการซ่อมแซม

ต่อจากนั้นนำตัวเลขที่สุ่มของแต่ละอุปกรณ์มาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก เพื่อความสะดวกในการหาการล้มเหลวของระบบ เสร็จแล้วตรวจหาตัวเลขจากน้อยไปมากโดยพิจารณาทั้งระบบ ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ 3 ตัว มีตัวเลขสุ่มดังนี้

อุปกรณ์ตัวที่ 1 เลขสุ่มคือ 2A, 10P, 50P,....

อุปกรณ์ตัวที่ 2 เลขสุ่มคือ 5P, 10P, 100A,...

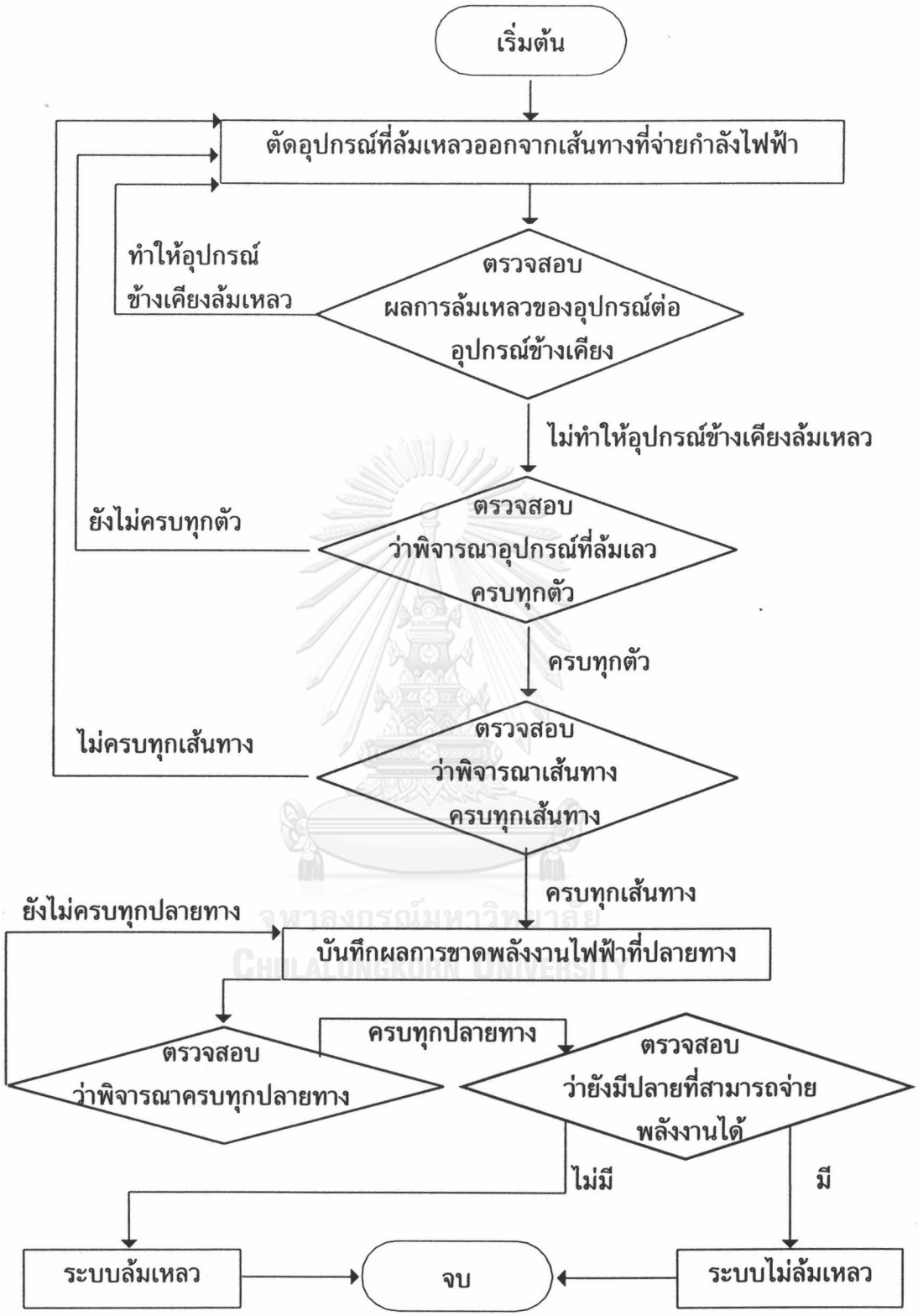
อุปกรณ์ตัวที่ 3 เลขสุ่มคือ 1A, 10P, 31A,...

โดยที่ A หมายถึง การล้มเหลวแบบแอคทีฟ และ P หมายถึง การล้มเหลวแบบพาสสีฟ

นั่นคือ ในครั้งที่ 1 อุปกรณ์ตัวที่ 3 ล้มเหลว ส่วนระบบจะล้มเหลวหรือไม่ต้องตรวจสอบต่อไป ในทำนองเดียวกันครั้งที่ 2 อุปกรณ์ตัวที่ 2 ล้มเหลวเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ และในครั้งที่ 10 อุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวล้มเหลวพร้อมกัน ส่วนตัวอักษร A และ P เป็นการกำกับชนิดการล้มเหลวควบคู่กันไปเพื่อประโยชน์ในการหาการล้มเหลวของระบบต่อไป

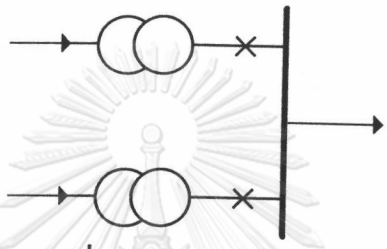
4.2.3 <u>การตรวจสอบผลการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่มีต่อระบบ</u>

สำหรับการพิจารณาการล้มเหลวของระบบจะเป็นการพิจารณาชนิดการล้มเหลวของอุปกรณ์ประกอบร่วมกับเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ซึ่งตรวจหาไว้ตามขั้นตอนที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.10 การจัดวงจรของอุปกรณ์ที่จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่น ๆซึ่งก่อให้เกิดจุดโหลดล้มเหลวได้ เช่น ระบบตัวอย่างในรูปที่ 4.11 การลัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์



รูป 4.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบผลการล้มเหลวของอุปกรณ์ต่อระบบ

ตัวบนทางด้านบัสบาร์ก็จะทำให้จุดโหลดล้มเหลว แต่หากเกิดการล้มเหลวที่อุปกรณ์เดียวกันแต่เป็นลักษณะแบบหลุดจากวงจรหรือเปิดวงจรก็จะไม่ทำให้จุดโหลดล้มเหลวได้ โดยปกติแล้วถ้าเกิดการลัดวงจรที่หม้อแปลงตัวบน ที่จุดโหลดก็ไม่ควรล้มเหลวเนื่องจากเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ติดกับหม้อแปลงจะเปิดวงจรเพื่อตัดความผิดพร่องนี้ แต่หากเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวนี้เกิดการค้างไม่ตัดวงจรตามที่ควรจะเป็นก็จะทำให้จุดโหลดล้มเหลวได้เช่นกัน กรณีล้มเหลวอื่น ๆตามที่กล่าวมาแล้วในส่วนของการล้มเหลวของอุปกรณ์และตัวอย่างดังแสดงในส่วนของการหาเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ในหัวข้อ 4.2.1 ก็นับเป็นกรณีล้มเหลวที่จุดโหลดที่สนใจที่เป็นไปได้ซึ่งต้องนำมาพิจารณาด้วยเช่นกัน



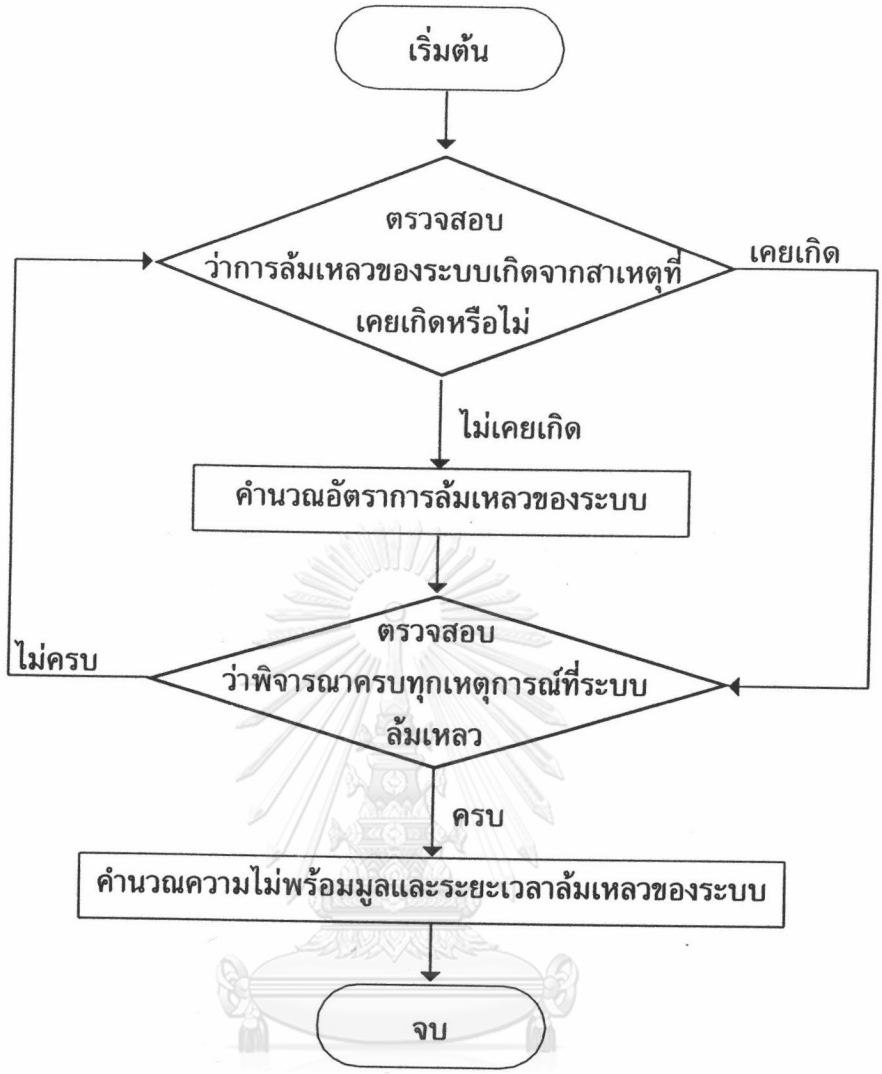
รูปที่ 4.11 ระบบตัวอย่าง

4.2.4 <u>การบันทึกการล้มเหลวของระบบ</u>

หลังจากการตรวจสอบผลการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่มีต่อระบบแล้วจะพบว่าการล้มเหลวของอุปกรณ์บางตัวอาจทำให้ระบบล้มเหลวหรือไม่ก็ได้ เช่นการล้มเหลวของอุปกรณ์ตัวหนึ่งในทำให้เส้นทางที่มีอุปกรณ์ตัวนั้นใช้งานไม่ได้ หากระบบยังมีเส้นทางอื่นที่จ่ายพลังงานได้เช่นระบบในรูปที่ 4.11 ก็อาจถือว่าสถานีไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้โดยไม่ล้มเหลว แต่หากระบบไม่มีเส้นทางอื่นให้จ่ายพลังงานได้เช่นในระบบอนุกรมแล้วสถานีไฟฟ้านั้นก็ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าและอาจถือว่าล้มเหลวได้ ดังนั้นถ้าพบเหตุการณ์ที่ระบบล้มเหลวหลังการตรวจสอบการล้มเหลวของระบบแล้วจึงต้องทำการบันทึกการล้มเหลวของระบบ แต่ถ้าระบบไม่ล้มเหลวก็ข้ามไปคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆต่อไป

4.2.5 <u>การคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ</u>

สำหรับการคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆมีขั้นตอนดังรูปที่ 4.12 เริ่มจากต้องตรวจสอบเหตุการณ์ที่ระบบล้มเหลวก่อนว่าเคยเกิดซ้ำกับเหตุการณ์เดิมหรือไม่ เพื่อเป็นการลดการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณอัตราล้มเหลวทุกครั้งที่ระบบเกิดการล้มเหลว แต่จะอาศัยการเปรียบเทียบเหตุการณ์แทน เช่นจากการสุ่มครั้งหนึ่งและตรวจสอบผลการ



รูปที่ 4.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ล้มเหลวของบัสบาร์ของระบบ ๆหนึ่งพบว่าระบบล้มเหลวเป็นครั้งแรกก็คำนวณค่าดัชนีต่าง ๆเก็บเอาไว้ เมื่อสุ่มครั้งต่อ ๆไปหากพบกรณีล้มเหลวที่บัสบาร์นี้เหมือนในกรณีที่เคยเกิดขึ้นนี้อีกก็นำค่าที่คำนวณไว้มาใช้ได้เลยไม่ต้องไปเริ่มต้นคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆใหม่อีก ในการคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆนี้ถ้าการล้มเหลวของระบบเกิดจากอุปกรณ์เพียงตัวเดียวอัตราการล้มเหลวของระบบเนื่องจากอุปกรณ์ตัวนี้ก็จะเท่ากับอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ตัวนี้ แต่ถ้าการล้มเหลวของระบบเกิดอุปกรณ์หลายตัวก็สามารถคำนวณอัตราการล้มเหลวได้ดังสมการที่ 4.2

$$\lambda_S = \lambda_A\lambda_B(r_A+r_B) \qquad (4.2)$$

โดยที่ λ_S คืออัตราการล้มเหลวของระบบ

λ_A คืออัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ A

λ_B คืออัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ B

r_A คือระยะเวลาการล้มเหลวของอุปกรณ์ A

r_B คือระยะเวลาการล้มเหลวของอุปกรณ์ B

จากการที่ทราบจำนวนครั้งที่ระบบล้มเหลวก็จะทราบความน่าจะเป็นของความล้มเหลวโดยนำจำนวนครั้งที่จุดโหลดล้มเหลวหารด้วยจำนวนสูงสุดในช่วงที่จะสุ่มได้ ค่าที่ได้นี้ก็คือค่าความไม่พร้อมมูล เนื่องจากเป็นค่าความน่าจะเป็นจึงไม่มีหน่วย แต่ถ้าคูณด้วย 8,760 ซึ่งเป็นจำนวนชั่วโมงใน 1 ปี จะได้หน่วยเป็นชั่วโมงต่อปี สำหรับระยะเวลาล้มเหลวของระบบนั้นคำนวณได้จากผลหารระหว่างค่าความไม่พร้อมมูลและอัตราการล้มเหลวของระบบ

4.2.6 <u>การตรวจสอบการลู่เข้า</u>

สำหรับการตรวจสอบการลู่เข้านั้นเนื่องจากในแต่ละรอบจะได้ค่าความไม่พร้อมมูลประจำรอบแตกต่างกันไปตามโอกาสที่อุปกรณ์ในระบบจะล้มเหลวแล้วทำให้จุดโหลดล้มเหลว การที่จะทำให้ค่าความไม่พร้อมมูลลู่เข้าหรือมีแนวโน้มว่าจะคงที่นั้นทำได้โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยไปเรื่อย ๆหลังจากจบกระบวนการในแต่ละรอบดังนี้

$$U_i = \frac{\sum_{k=1}^{i} U_k}{i} \qquad (4.3)$$

โดย i คือ รอบที่ใด ๆหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการในแต่ละรอบ

U_i คือ ค่าความไม่พร้อมมูลเฉลี่ยตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบที่ i

และ U_k คือ ค่าความไม่พร้อมมูลจากการคำนวณของแต่ละรอบ

ตัวอย่างเช่นหลังการคำนวณในรอบที่ 1 สมมุติว่าได้ค่า $U = 1.0*10^6$ ก็จะได้ $U_1 = 1.0*10^6$ หลังการคำนวณในรอบที่ 2 สมมุติว่าได้ค่า $U = 1.2*10^6$ ก็จะได้ $U_2 = (1.0*10^6 + 1.2*10^6) = 1.1*10^6$ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งจบการคำนวณ

ในส่วนของอัตราการล้มเหลวของระบบเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการในแต่ละรอบจะคำนวณโดยใช้หลักการเดียวกับการคำนวณอัตราล้มเหลวของระบบภายในรอบคือการเปรียบเทียบเทียบเหตุการณ์ โดยการคำนวณเฉพาะการล้มเหลวที่เกิดจากสาเหตุที่ไม่ซ้ำซ้อนจากที่เคยเฉิดมาเพื่อลดภาระการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.7 การคำนวณค่าดัชนีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับค่าดัชนีอื่น ๆที่เกี่ยวข้องคำนวณได้จากค่าความไม่พร้อมมูล (U) อัตราการล้มเหลว (λ) และระยะเวลาการล้มเหลว (r) ของระบบที่คำนวณไว้ข้างต้นดังนี้

ค่าความไม่พร้อมมูลของระบบ (A)	$= 1 - U$	(4.4)
ระยะเวลาที่ระบบใช้งานได้ (m)	$= 1/\lambda$	(4.5)
ระยะเวลาวัฏจักร (T)	$= m + r$	(4.6)
ความถี่ (f)	$= 1/T$	(4.7)
อัตราการใช้เวลาในการล้มเหลวของระบบ (μ)	$= 1/r$	(4.8)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY