

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง รวมทั้งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง และแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบ

2.1 แนวคิดพื้นฐาน

โดยทั่วไปหน้าที่หลักของการไฟฟ้าคือจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวัดความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วจะวัดกันที่ดัชนีความเชื่อถือได้

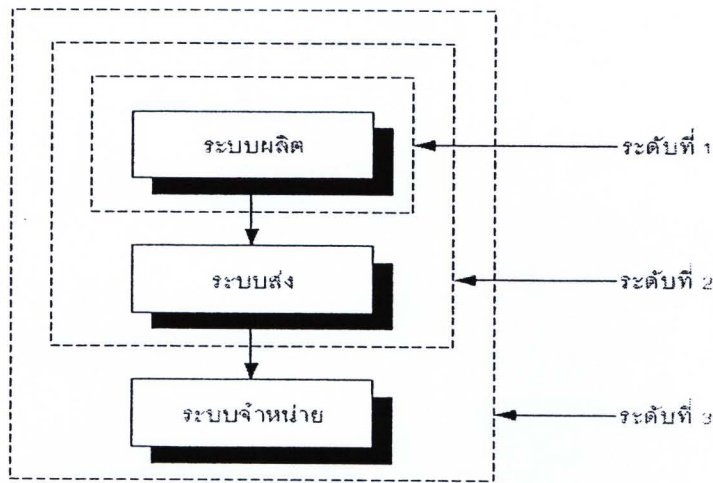
เราสามารถแบ่งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าตามแนวทางที่กำหนดกันทั่วไปดังนี้ [4]

- 1) ความเพียงพอของระบบ (System adequacy)
- 2) ความมั่นคงของระบบ (System security)

ความเพียงพอของระบบ หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและพลังงานทั้งหมดได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยที่อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังยังคงทำงานภายในพิกัดและมีระดับแรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด การศึกษาความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับความเพียงพอของระบบ เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state condition) เพื่อทำการตรวจสอบปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้ากำลัง

ความมั่นคงของระบบ หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดซึ่งเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบหรืออุปกรณ์ในระบบเกิดขัดข้องทันทีทันใดโดยไม่ทราบล่วงหน้า เป็นต้น การศึกษาความเชื่อถือได้ในด้านความมั่นคงของระบบจะทำการวิเคราะห์ในสภาวะพลวัต (Dynamic condition)

โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกหน้าที่การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้จึงสามารถแบ่งระดับชั้นในการศึกษาได้ 3 ระดับเช่นกัน ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขอบเขตการทำงานพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง

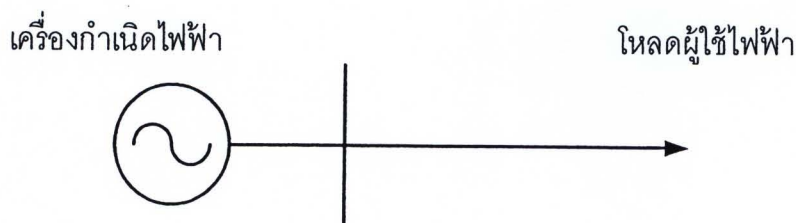
จากขอบเขตหน้าที่การงานดังแสดงในรูปที่ 2.1 หากพิจารณาในแง่การประเมินความเชื่อถือได้โดยรวมแล้วจะสามารถแบ่งลำดับชั้น (Hierarchical level: HL) ของการศึกษาได้เป็น 3 ระดับ ตามการแบ่งขอบเขตของการงาน ได้ดังนี้

ระดับชั้นที่ 1 (HL1) เป็นการพิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้า

ระดับชั้นที่ 2 (HL2) เป็นการพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบส่งไฟฟ้า

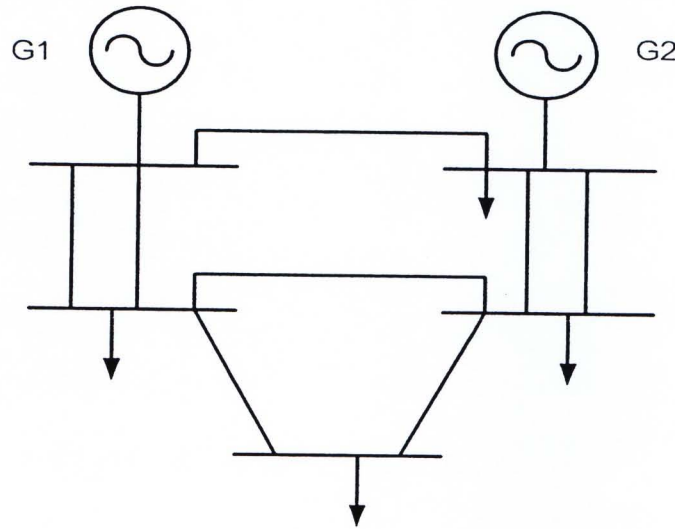
ระดับชั้นที่ 3 (HL3) เป็นการพิจารณารวมทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระดับชั้นที่ 1 (Hierarchical Level One, HL1) พิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าเพียงระบบเดียว เป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า เป็นการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบอันเป็นผลเนื่องจากสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้กำลังการผลิตรวมของระบบไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด ในการสร้างแบบจำลองจะพิจารณารายละเอียดเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถจำลองระบบที่ทำการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1 ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1

ระดับชั้นที่ 2 (Hierarchical Level Two, HL2) เป็นการพิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าเข้าด้วยกันโดยจะเรียกว่าระบบไฟฟ้าผสม (Composite system) ซึ่งเป็นระดับชั้นที่วิทยานิพนธ์นี้ใช้พิจารณา โดยจะรวมผลของแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระดับชั้นที่ 1 เข้ากับแบบจำลองระบบสายส่ง

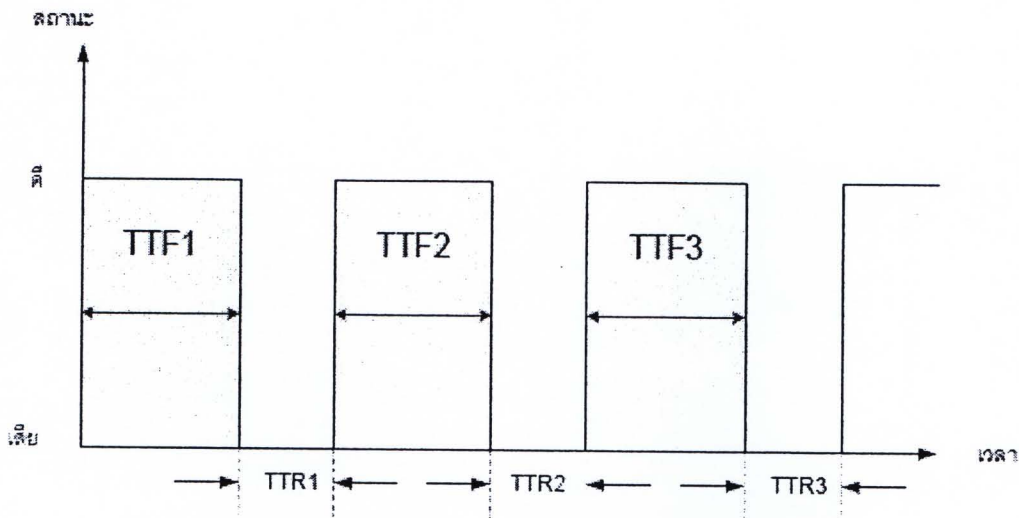


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแบบจำลองระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 2

ระดับชั้นที่ 3 (Hierarchical Level Three, HL3) เป็นการพิจารณารวมทั้ง 3 ระบบ คือระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าด้วยกัน ซึ่งหากวิเคราะห์โดยละเอียดจะยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นในทางปฏิบัติจะเลือกวิเคราะห์เฉพาะระบบจำหน่าย แต่จะนำผลค่าดัชนีที่เป็นจุดโหนดที่ได้จากระดับชั้นที่ 2 (HL2) มาวิเคราะห์ร่วมด้วย

2.2 แบบจำลองรอบการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบ

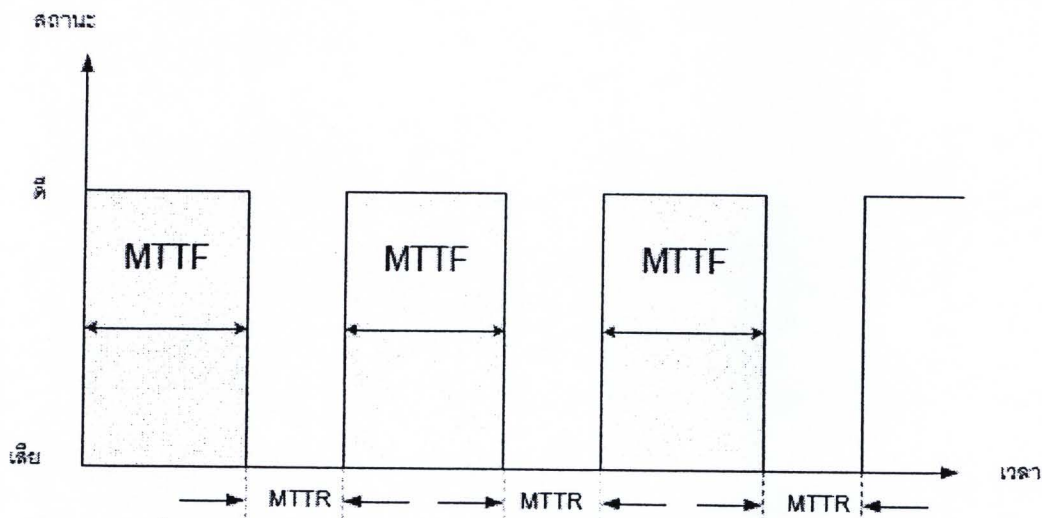
โดยทั่วไปการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าที่พิจารณา เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง นั้นมีสถานะการทำงานสลับกันระหว่างสถานะ “ดี” และ “เสีย” โดยสถานะ “เสีย” นั้นมักเกิดจากการที่อุปกรณ์ขัดข้องหรือเสียหายแต่หลังจากทำการซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อยแล้วก็สามารถใช้งานได้ต่อไปหากพิจารณาอุปกรณ์ที่มีแบบจำลองการทำงานเป็นแบบ 2 สถานะ คือ “ดี” และ “เสีย” จะพบว่าการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นวัฏจักรของเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

โดย TTF_i คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ “ดี” ซึ่ง สามารถทำงานได้ในครั้งที่ i
 TTR_i คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ “เสีย” ซึ่งแสดงถึงระยะเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ครั้งที่ i

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ “ดี” และ ช่วงเวลาที่ระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ “เสีย” ในแต่ละช่วงอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพิจารณาแบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเพื่อเป็นตัวแทนการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวในระยะยาวจะใช้ค่าประมาณเป็นระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะ “ดี” และระยะเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ “เสีย” ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำงานค่าสถานะการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

โดยที่

MTTF คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ "ดี" (ค่าเฉลี่ยของ TTF)

MTTR คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ "เสีย" (ค่าเฉลี่ยของ TTR)

แนวคิดทางด้านความถี่และช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์สามารถอธิบายได้โดยอาศัยแบบจำลองของอุปกรณ์ที่สามารถซ่อมได้ (Repairable component) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า สถานะการทำงานของอุปกรณ์มี 2 สถานะคือ ดี (Up) และ เสีย (Down) ดังนั้น หากกำหนดให้

$P(s)$ คือ ความน่าจะเป็นของภาวะที่อยู่ในสถานะ s

$M(s)$ คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่จะอยู่ในสถานะ s

$T(s)$ คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยเมื่อกลับมาสู่สถานะ s อีกครั้ง หรือคาบของเวลา

$$P(s) = \frac{M(s)}{T(s)} \quad (2.1)$$

จากรูปที่ 2.5 ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะ "ดี (Up)" และ สถานะ "เสีย (Down)" แสดงได้ดังสมการที่ (2.2) คือ

$$P_{up} = \frac{m}{m+r} \quad ; \quad P_{down} = \frac{r}{m+r} \quad (2.2)$$

โดย m คือ MTTF ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ "ดี"

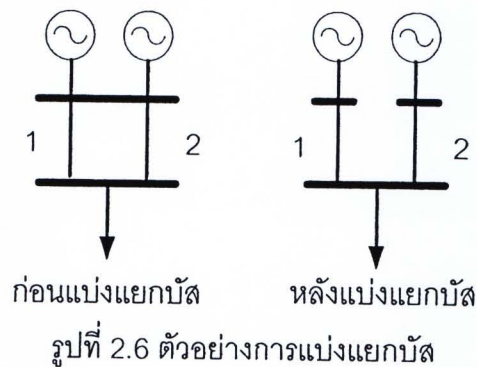
r คือ MTTR ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ "เสีย"

2.3 ผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากการปรับเปลี่ยน โครงข่าย

ดังที่ได้กล่าวในบทนำ การขยายระบบส่งไฟฟ้าจะส่งผลให้กระแสลัดวงจรในระบบมีค่าสูงขึ้น โดยในกรณีของ กฟผ. ระดับกระแสลัดวงจรในพื้นที่เขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่สถานีไฟฟ้าแรงสูง บางแห่งมีค่าสูงกว่าค่า Interrupting Capacity (IC) ของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า (Circuit breaker) ทาง กฟผ. จึงได้ดำเนินการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการปรับเปลี่ยนโครงข่ายระบบไฟฟ้า ซึ่งได้แก่การแบ่งแยกบัส และการเปิดวงจรสายส่ง โดยวิธีการและผลกระทบต่อนความเชื่อถือได้ของการแบ่งแยกบัส และการเปิดวงจรสายส่ง จะแสดงในหัวข้อถัดไป

2.3.1 การแบ่งแยกบัส [5]

การแบ่งแยกบัสเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหากระแสลัดวงจรสูง เพราะเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือในการแก้ปัญหาสูง และลงทุนไม่มาก โดยการแบ่งแยกบัสในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเปรียบเสมือนการลดการเชื่อมต่อแบบขนานของสายส่ง หรือหม้อแปลงในระบบ ทำให้ค่าความต้านทานโดยรวมของระบบมีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ขนาดของกระแสลัดวงจร ณ จุดต่างๆ ของระบบมีค่าลดลง หลักการของการแยกบัส จะทำภายในสถานีไฟฟ้าที่มีบัสซึ่งมีจุดต่ออย่างเช่น สายส่ง หม้อแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต่ออยู่ร่วมกันที่บัสอย่างน้อย 2 จุดต่อ โดยสามารถแยกบัสได้ทั้งชนิด PV บัส และ PQ บัส หรือบัสที่ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อในระบบส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งไม่มีโหลดหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ อย่างไรก็ตามแม้ว่าวิธีการแบ่งแยกบัสจะช่วยลดค่ากระแสลัดวงจรได้ แต่ทว่าอาจจะทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลง โดยสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.6



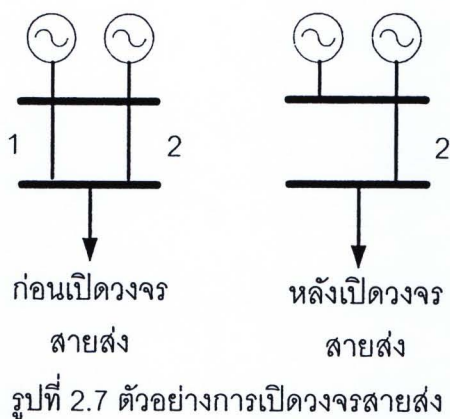
จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ากรณีก่อนแบ่งแยกบัสหากสายส่งเส้นที่ 2 หลุดออกจากระบบ จะเห็นได้ว่าโหลดจะได้รับกำลังการผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองอยู่ แต่เมื่อพิจารณากรณีหลังแบ่งแยกบัส หากสายส่งเส้นที่ 2 หลุดออกจากระบบเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าโหลดจะได้รับกำลังการผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น ซึ่งจากกรณีนี้ชี้ให้เห็นว่าการแบ่งแยกบัสมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลงนั่นเอง

2.3.2 การเปิดวงจรสายส่ง [6]

วิธีนี้สามารถลดปริมาณของกระแสลัดวงจรได้โดยการเลือกเปิดสายส่งบางวงจรออกเพื่อเป็นการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ ซึ่งในทางปฏิบัตินี้ได้มีการเปิดสายส่งบางวงจรออกในระบบบางส่วนของประเทศไทย โดยปกติมักเลือกเปิดวงจรสายส่งที่อยู่ใกล้กับระบบผลิตที่มีขนาดใหญ่ โดยการเปิดวงจรสายส่งนี้ทำได้ โดยเพียงเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้งอยู่ทั้งทางต้นสายส่งและปลายสายส่ง เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการรื้อสายส่งออกทั้งเส้น

เนื่องจากปริมาณกระแสลัดวงจรเป็นสัดส่วนแบบผกผันกับค่าอิมพีแดนซ์สมมูลที่จุดที่เกิดการลัดวงจร ดังนั้นหากต้องการให้กระแสลัดวงจรมีค่าลดลงจึงอาจใช้วิธีการเปิดวงจรสายส่ง

เพื่อให้ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลมีค่าเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าวิธีการเปิดวงจรสายส่งจะช่วยลดค่ากระแสลัดวงจรได้ แต่ทว่าอาจจะทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลง โดยสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.7



จากรูปที่ 2.7 กรณีก่อนเปิดวงจรสายส่งจะเห็นว่าโหลดจะไม่ได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าก็ต่อเมื่อสายส่งเส้นที่ 1 และสายส่งเส้นที่ 2 หลุดออกจากระบบพร้อมกัน ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์นี้ต่ำ แต่เมื่อพิจารณากรณีหลังเปิดวงจรสายส่งเส้นที่ 1 ออก จะเห็นได้ว่าเหลือสายส่งเส้นที่ 2 เพียงเส้นเดียว ดังนั้นความน่าจะเป็นที่โหลดจะไม่ได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากกรณีหลังจะสูงกว่า