

บทที่ 5

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

จากบทที่ 4 ได้กล่าวถึงผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวต่ออุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า ในแต่ละรูปแบบต่างๆ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกพิจารณากรณีที่ส่งผลต่อการทำงานร่วมกันของฟิวส์และรีโคสเซอร์ การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ที่ผิดพลาดไปจะส่งผลให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลง สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายในหัวข้อที่ 5.2-5.3 หลังจากนั้นจะเป็นการพูดถึงการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้เมื่อพิจารณาการทำงานที่ผิดพลาดของฟิวส์และรีโคสเซอร์ในหัวข้อที่ 5.4

5.1 ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

ในประเทศไทยการไฟฟ้าทั้งสามแห่ง คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะถูกประเมินมาตรฐานคุณภาพบริการทุกปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตเริ่มถูกประเมินที่ปี 2552) เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของการไฟฟ้าทั้งสามแห่ง ซึ่งจะมีการแยกประเมินออกเป็น 2 มาตรฐานคือ มาตรฐานทางด้านเทคนิคและมาตรฐานคุณภาพบริการ โดยมาตรฐานทางด้านเทคนิค จะมีดัชนีที่ใช้ในการประเมินต่างออกไประหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะมีดัชนีที่ใช้ประเมินด้วยกัน 7 ดัชนี และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะมีด้วยกัน 2 ดัชนี คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับ และ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับ [21] ซึ่งดัชนีดังกล่าวนี้จะจะเป็นดัชนีที่ใช้การการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงมีความสำคัญเพราะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยนิยามของความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า หมายถึง ความคาดหวังว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องโดยมีกระแสไฟฟ้าขัดข้องน้อยที่สุด โดยที่ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) ความเพียงพอของระบบ (System adequacy)

2) ความมั่นคงของระบบ (System security)

ความเพียงพอของระบบ หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและพลังงานทั้งหมดได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยที่อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังยังคงทำงานภายในพิกัดและมีระดับแรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด การศึกษาความ

เชื่อถือได้ที่เกี่ยวกับความเพียงพอของระบบ เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state condition) เพื่อทำการตรวจสอบปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้ากำลัง

ความมั่นคงของระบบ หมายถึงความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดซึ่งเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบหรืออุปกรณ์ในระบบเกิดขัดข้องทันทีทันใดโดยไม่ทราบล่วงหน้า เป็นต้น การศึกษาความเชื่อถือได้ในด้านความมั่นคงของระบบจะทำการวิเคราะห์ในสภาวะพลวัต (Dynamic condition)

สำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะใช้วิธีดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด รายละเอียดแสดงได้ดังหัวข้อที่ 5.2

5.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด (Reliability Indices at Load Point) [12, 22]

ดัชนีที่ใช้วัดความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดใดๆ ขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ระหว่างจุดจ่ายไฟ (Supply) กับจุดโหลดนั้นๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ทำให้อุปกรณ์ที่เกิดขัดข้อง กลับคืนสภาวะการทำงานได้ตามปกติและต่อเข้ากับระบบได้อีกด้วย การคำนวณค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของระบบที่ต่ออนุกรม สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\lambda_i = \sum \lambda_k \quad (5.1)$$

$$U_i = \sum \lambda_k r_k \quad (5.2)$$

$$r_i = \frac{U_i}{\lambda_i} = \frac{\sum \lambda_k r_k}{\sum \lambda_k} \quad (5.3)$$

โดย

k คือ จำนวนอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรม

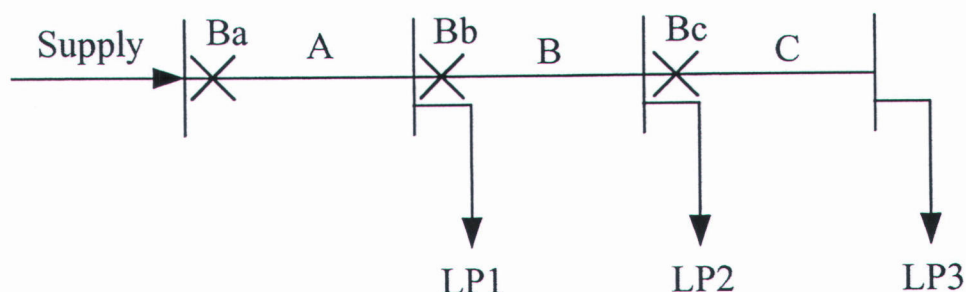
i คือ จุดโหลด

λ คือ อัตราขัดข้องของอุปกรณ์

r คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์

U คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปีของอุปกรณ์

ตัวอย่างตามรูปที่ 5.1 เป็นระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่ประกอบด้วยสายไฟฟ้า เบรกเกอร์ บัสบาร์ ต่ออนุกรมกัน การคำนวณความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP1 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba ด้วย ความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP2 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A และสายไฟ B รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba และ Bb ส่วนความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP3 จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของสายไฟ A, B และ C รวมทั้งเบรกเกอร์ Ba, Bb และ Bc



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างระบบแบบเรเดียล 3 จุดโหลด

กำหนดอัตราการล้มเหลวและช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเฉลี่ยแต่ละครั้งของสายไฟ A, B และ C ตามตารางที่ 5.1 โดยความเชื่อถือได้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ Ba, Bb และ Bc เป็น 100% สำหรับผลจากการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด แสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของอุปกรณ์ของระบบตัวอย่าง

สายไฟ	อัตราการล้มเหลว (ครั้ง/ปี)	ระยะเวลาที่เกิดการขัดข้อง(ชั่วโมง/ปี)
A	0.2	6
B	0.1	5
C	0.15	8

ตารางที่ 5.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดของระบบตัวอย่าง

จุดโหลด	อัตราการล้มเหลว (ครั้ง/ปี)	ระยะเวลาที่เกิดการขัดข้อง (ชั่วโมง/ปี)	ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้อง ในหนึ่งปีของอุปกรณ์(ชั่วโมง/ปี)
L1	0.2	6	1.2
L2	0.3	5.7	1.7
L3	0.45	6.4	2.9

5.3 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าและอ้างอิงโหลด (Customer and Load Oriented Index) [12, 22]

ดัชนีที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย จะประกอบด้วยดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า และอ้างอิงโหลด โดยดัชนีที่ใช้ประเมินมีดังต่อไปนี้

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) หมายถึง ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ครั้งต่อปีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่ไฟดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \\ &= \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \end{aligned} \quad (5.4)$$

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) หมายถึง ดัชนีบอกจำนวนเวลาที่ไฟดับเฉลี่ยของทั้งระบบ มีหน่วยเป็น ชั่วโมงต่อปีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{SAIDI} &= \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายเกิดไฟดับตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \\ &= \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \end{aligned} \quad (5.5)$$

นอกจากนี้ยังมีดัชนีอื่นๆ อย่างไรก็ตามดัชนีดังกล่าวนี้ไม่นิยมนำมาใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้จึงขออธิบายนิยามของดัชนีแต่ละตัวดังนี้

CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index) หมายถึง ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟดับเฉลี่ยของผู้ใช้ไฟฟ้า

CAIFI แตกต่างจาก SAIFI คือตัวหารของ SAIFI จะใช้จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด อย่างไรก็ตาม CAIFI จะใช้จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดผลกระทบ คือ ที่มีไฟดับเท่านั้น ดังนั้นค่า CAIFI จึงเป็นค่าที่ไม่นิยามหาเนื่องจากหาค่าค่อนข้างยาก

CAIDI (Customer Average Interruption Duration) หมายถึง ดัชนีแสดงจำนวนเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อครั้ง

ASAI (Average Service Availability Index) หมายถึง ดัชนีที่บอกการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย

ASUI (Average Service Unavailability Index) หมายถึง ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าใช้ของลูกค้านเฉลี่ย

สำหรับดัชนีด้านพลังงานไฟฟ้ามีด้วยกันหลายตัว เช่น AENS ACCI และ ENS สำหรับรายละเอียดและสมการที่ใช้ในการคำนวณจะขอยกตัวอย่างดัชนีที่เลือกใช้นั้น นั่นคือ ENS

ENS (Energy Not Supplied Index) หมายถึง ดัชนีแสดงถึงค่าพลังงานที่จ่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการ คำนวณได้ดังสมการ

$$ENS = \sum L U_i \quad (5.6)$$

โดย

N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่จุดโหลด i

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

L คือ ค่าโหลดเฉลี่ยของ ณ จุดโหลด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาดัชนีความเชื่อถือที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าและโหลด 3 ดัชนี คือ SAIFI, SAIDI และ ENS เพื่อประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เนื่องจากดัชนีดังกล่าวเป็นดัชนีที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้นำมาใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

5.4 การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้เมื่อพิจารณาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับ

รีโคลสเซอร์

เมื่อพิจารณาถึงความผิดพลาดในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งทำให้วงจรที่ไม่ได้เกิดลัดวงจรถูกตัดออกจากระบบโดยไม่จำเป็น ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวต้องพบกับเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณากรณีที่การทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโคลสเซอร์ทำงานผิดพลาด จากความผิดพลาดดังกล่าวจะทำให้การลัดวงจรแบบชั่วคราวเปลี่ยนเป็นการลัดวงจรแบบถาวร ทำให้ระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเจอกับเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลานานเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับระยะเวลาในการซ่อมแซมหรือระยะเวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์ของฟิวส์ เป็นผลทำให้ค่าระยะที่เกิดเหตุขัดข้อง (Outage time) เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์ความ

เชื่อถือได้เมื่อพิจารณาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ จึงได้ทำการแบ่งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานแต่ละตัวออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์กรณีการลัดวงจรแบบชั่วคราว กับค่าพารามิเตอร์กรณีการลัดวงจรแบบถาวร ดังสมการต่อไปนี้

$$\lambda_k = \lambda_{p,k} + \lambda_{t,k} \quad (5.7)$$

โดยที่ $\lambda_{p,k}$ และ $\lambda_{t,k}$ คืออัตราการขัดข้องของอุปกรณ์กรณีการลัดวงจรแบบถาวรและแบบชั่วคราวของอุปกรณ์ k ตามลำดับ สำหรับระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันจะแบ่งเช่นเดียวกันกับอัตราการขัดข้องของอุปกรณ์ ดังนั้นระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันแสดงได้ดังสมการที่ (5.8)-(5.9)

$$U_{p,k} = \lambda_{p,k} r_{p,k} \quad (5.8)$$

$$U_{t,k} = \lambda_{t,k} r_{t,k} \quad (5.9)$$

โดยที่ $U_{p,k}$ และ $U_{t,k}$ คือระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปีของอุปกรณ์ป้องกันกรณีการลัดวงจรแบบถาวรและชั่วคราวของอุปกรณ์ k ตามลำดับและ $r_{p,k}$ และ $r_{t,k}$ คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์กรณีการลัดวงจรแบบถาวรและแบบชั่วคราวของอุปกรณ์ k ตามลำดับ สำหรับค่า $r_{t,k}$ กรณีที่ไม่เกิดการทำงานที่ผิดพลาดระยะเวลาดังกล่าวจะมีค่าน้อยมากดังนั้นจึงไม่พิจารณาค่าดังกล่าว อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์ ฟิวส์จะทำงานก่อนที่รีโคสเซอร์ช่วงการทำงานแบบเร็ว ถ้าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นเป็นการลัดวงจรแบบชั่วคราว จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวต้องเจอกับเหตุการณ์ไฟดับเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นซึ่งเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนฟิวส์นั่นเอง ดังนั้นค่า $r_{t,k}$ คือระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนฟิวส์

สำหรับระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องในหนึ่งปีของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัว และระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัว เมื่อพิจารณาการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโคสเซอร์แสดงได้ดังสมการที่ (5.10)-(5.11) ตามลำดับ

$$U_k = U_{p,k} + U_{t,k} \quad (5.10)$$

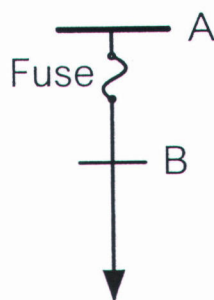
$$r_k = \frac{U_k}{\lambda_k} \quad (5.11)$$

การพิจารณาค่าอัตราขัดข้องแบบชั่วคราวของอุปกรณ์ที่จะนำมาคำนวณค่าดัชนีพื้นฐานเพื่อนำไปใช้คำนวณหาดัชนีประเมินความเชื่อถือได้ จากรูปที่ 5.2 จะแยกการพิจารณาจุดการ

ลัดวงจรในสายย่อย 2 ตำแหน่งคือ ที่จุดหลังฟิวส์ และจุดก่อนหน้าหม้อแปลงแรงดันต่ำ (จุด B รูปที่ 5.2) สำหรับจุดหลังฟิวส์จะถือว่าฟิวส์ที่ติดตั้งจะใกล้เคียงกับสายป้อนมากและค่าอิมพีแดนซ์ของฟิวส์มีค่าน้อยมาก ดังนั้นการพิจารณาลัดวงจรที่จุดหลังฟิวส์นั้นจะพิจารณาการลัดวงจรที่สายป้อนหลักแทน (จุด A รูปที่ 5.2) การพิจารณาค่าอัตราขีดข้องแบบชั่วคราวของอุปกรณ์เมื่อพิจารณาการทำงานร่วมกันของฟิวส์กับรีโกลสเซอร์ชนิดผลาด จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กรณีคือ

- 1) เมื่อการลัดวงจรที่จุด A และการลัดวงจรที่จุด B ทำให้เกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโกลสเซอร์ ค่าอัตราขีดข้องแบบชั่วคราวของอุปกรณ์ที่นำมาคิดคือค่าอัตราขีดข้องของสายส่ง A-B
- 2) เมื่อการลัดวงจรที่จุด A ทำให้เกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโกลสเซอร์ และการลัดวงจรที่จุด B ไม่ก่อให้เกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาด ค่าอัตราขีดข้องแบบชั่วคราวของอุปกรณ์ที่นำมาคิดคือค่าอัตราขีดข้องของสายส่ง A-B หาดด้วยสอง
- 3) เมื่อการลัดวงจรที่จุด A และการลัดวงจรที่จุด B ไม่ทำให้เกิดการการทำงานร่วมกันที่ผิดพลาดของฟิวส์กับรีโกลสเซอร์ ดังนั้นจึงไม่ทำการพิจารณาอัตราขีดข้องของอุปกรณ์ป้องกันที่เกิดจากการลัดวงจรแบบชั่วคราว

โดยค่าอัตราขีดข้องของอุปกรณ์จะกำหนดให้มาจากเหตุการณ์ลัดวงจรทั้งหมด



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งการวิเคราะห์การลัดวงจร