บทที่ 3

การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า

ตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น การวิเคราะห์ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มต้นจากการประเมินความไม่พร้อมมูลของสถานีไฟฟ้าก่อน จากนั้นจึงจะนำผลดังกล่าวไปใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า โดยจะกล่าวถึง อุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานีไฟฟ้า การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์ แบบจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า และตัวอย่างการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า ตามลำดับ

3.1 อุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานีไฟฟ้า

โดยทั่วไปสถานีไฟฟ้ามีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าและควบคุมการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยอาศัยอุปกรณ์ควบคุมสำหรับตัดต่อวงจรให้มีการจ่ายพลังงานผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ตามความเหมาะสม สถานีไฟฟ้าจะทำหน้าที่ดังกล่าวได้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้[1]

1.หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในสถานีไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นหรือลงก็ได้

2.เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นอุปกรณ์สวิทช์ชิงและตัดการไหลของกระแส โดยพื้นฐานแล้วเซอร์กิตเบรคเกอร์จะประกอบขึ้นด้วยชุดเคลื่อนที่และชุดอยู่กับที่ สามารถเปิดวงจรด้วยกลไกทางกล การตัดกระแสทำให้เกิดอาร์คซึ่งจะถูกดับได้โดยใช้ตัวกลางที่เหมาะสม เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อทุกจุดที่มีการสวิทช์ชิงในสถานีไฟฟ้า

3.อุปกรณ์ตัดตอน (Isolators) เป็นอุปกรณ์ที่แยกวงจรภายใต้ภาวะไร้กระแส โดยทั่วไปจะติดตั้งตามการติดตั้งของเซอร์กิตเบรคเกอร์ อุปกรณ์ตัดตอนสามารถเปิดวงจรหลังการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ หลังจากการเปิดวงจรของอุปกรณ์ตัดตอนอุปกรณ์สวิตช์ลงดิน (Earthing switch) จะปิดวงจรเพื่อช่วยคายประจุตกค้างให้ไหลลงดิน

4.หม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน ใช้แปลงกระแสและแรงดันให้มีค่าต่ำลงตามลำดับเพื่อจุดประสงค์ในการวัด ควบคุม และป้องกัน

5.กับดักเสอร์จ(Surge arresters)ทำหน้าที่นำแรงดันที่สูงเกินไปลงดินและป้องกันอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าต่อแรงดันที่สูงเกิน

6.บัสบาร์มีทั้งแบบเป็นแท่งแข็งและแบบที่เปลี่ยนรูปได้ บัสแบบที่เปลี่ยนรูปได้ทำด้วยตัวนำ ACSR และวางอยู่บนฉนวนที่ขึงตึง บัสแบบเป็นแท่งแข็งนั้นทำด้วยท่ออลูมิเนียมและวางอยู่บนเสาฉนวน

7.โครงเหล็กกัลวาไนส์ (Galvanised steel structures) ทำด้วยโครงของเหล็กที่เป็นมุมหรือเป็นช่องหรือเป็นท่อที่เชื่อมหรือยึดเข้าด้วยกัน โครงสร้างเหล่านี้ใช้เป็นโครงในการรองรับอุปกรณ์ต่างๆ

8. อุปกรณ์ชดเชยต่างๆ นับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมแรงดันอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

-ตัวเก็บประจุอนุกรม (Series capacitors) ซึ่งบางครั้งจะติดตั้งแบบอนุกรมตามสายส่ง ไฟกระแสสลับ EHV (Extra high voltage) เพื่อชดเชยรีแอคแตนซ์ของสายส่ง

-ตัวเก็บประจุขนาน (Shunt capacitors)นั้นจะติดตั้งใกล้จุดโหลดในสถานีจ่ายสำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ตัวเก็บประจุขนานสามารถนำมาใช้ได้ระหว่างที่มีโหลดแบบเหนี่ยวนำ

-รีแอคเตอร์ขนาน (Shunt reactors) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบสายส่ง EHV มีหน้าที่ชดเชยกำลังรีแอคทีฟของความจุของสายส่งในช่วงที่มีโหลดต่ำๆ

9. อุปกรณ์นำกระแสในสายส่งกำลัง (Power line carrier current equipment) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการส่งและการรับสัญญาณความถี่สูง ได้แก่ สัญญาณเสียง สัญญาณการส่งข้อมูล สัญญาณสำหรับการป้องกัน และสัญญาณควบคุม

สำหรับการศึกษาความเชื่อถือได้นั้นโดยทั่วๆไปจะพิจารณาอุปกรณ์หลักในสถานีจ่ายไฟฟ้าเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ บัส หม้อแปลง และเซอร์กิตเบรคเกอร์ ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้านั้นการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆอาจพิจารณารวมอยู่ในอุปกรณ์ 3 ชนิดนี้ เช่น หม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสอาจพิจารณาร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์ เป็นต้น

3.2 การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์[6]

เนื่องจากโครงสร้างสถานีไฟฟ้าทั่วไปจะไม่ซับซ้อนมากนัก ในทางปฏิบัติจึงนิยมประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีวิเคราะห์มากกว่าที่จะใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ซึ่งต้องใช้เวลามากกว่า การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์สามารถสรุปได้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ป้อนข้อมูลการจัดเรียงบัสของสถานีไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงสายป้อนเข้าและสายจ่ายออกจากสถานีไฟฟ้า การจัดเรียงร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ เป็นต้น ทั้งนี้วิธีการป้อนข้อมูลดังกล่าวสามารถครอบคลุมการจัดเรียงบัสแบบมาตรฐานเช่น Main and transfer bus และ Double bus double breaker

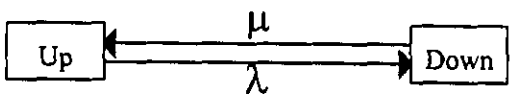
ขั้นที่ 2 หาชุดเส้นทางต่ำสุด(Minimal path sets) เพื่อทำการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบในขั้นตอนต่อไป[6]

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบการล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานีไฟฟ้าเพื่อหากรณีต่าง ๆ ทุกกรณีที่ทำให้เส้นทางต่ำสุดทุกเส้นทางถูกตัดขาดซึ่งหมายถึงการล้มเหลวของอุปกรณ์หรือจุดโหลดซึ่งอยู่ปลายทาง

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าดัชนีโดยอาศัยข้อมูลที่รวบรวมได้จากขั้นที่ 3

3.3 แบบจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า[1]

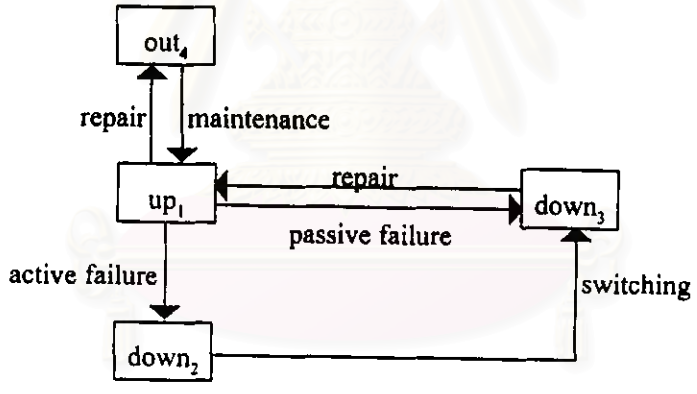
โดยทั่วไปเราอาจจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์แบ่งได้เป็น 2 สถานะคือสถานะที่อุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ (Up) และสถานะที่อุปกรณ์ขัดข้องใช้งานไม่ได้ (Down) ดังนั้นแบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย 2 สถานะซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยอัตราการล้มเหลว (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) กล่าวคือในการเปลี่ยนสถานะจากการทำงานตามปกติไปเป็นสถานะล้มเหลวจะเป็นไปตามอัตราการล้มเหลว และการเปลี่ยนสถานะในทางกลับกันจะเป็นไปตามอัตราการซ่อมแซม แบบจำลองนี้มีข้อดีที่เป็นแบบจำที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและทำการวิเคราะห์ หากแต่เมื่อนำไปใช้พิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อน เช่น อุปกรณ์ในระบบป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น แบบจำลองดังกล่าวจะไม่สามารถจำลองถึงลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ตามความเป็นจริงบางประการ เช่น การตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบแอคทีฟและแบบพาสสีฟ เป็นต้น

เพื่อที่จะพิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลอง 4 สถานะ ดังรูปที่ 3.2 ขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการพิจารณาประเภทการล้มเหลวของอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสมกว่าแบบจำลอง 2 สถานะ



รูปที่ 3.2 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อาจมีการล้มเหลวและการกลับคืนสู่การทำงานแบบต่างๆกัน หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองดังกล่าวกับการทำงานจริงของอุปกรณ์นั้นจะพบว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์จะทำงานในสถานะปกติคือ สถานะที่ 1 แล้วต่อมาอาจล้มเหลวแบบแอคทีฟ เช่น เกิดการลัดวงจร ทำให้เข้าสู่ภาวะที่ 2 ซึ่งในกรณีดังกล่าวอาจทำให้อุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงทำงานด้วย จากนั้นเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสามารถทำการสวิทช์ชิงเพื่อนำอุปกรณ์ดังกล่าวออกจากระบบซึ่งเปรียบเสมือนสถานะที่ 3 แล้วจึงทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติในสภาวะที่ 1 หรือบางกรณีจากการทำงานปกติในสภาวะที่ 1 อุปกรณ์อาจเกิด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การล้มเหลวแบบพาสสีฟ เช่น การเปิดวงจร ทำให้ไปสู่ภาวะที่ 3 หลังจากนั้นจึงซ่อมแซมให้กลับมาสู่สภาวะที่ 1 อีกครั้ง หรือจากสภาวะที่ 1 อาจมีการซ่อมบำรุงทำให้เข้าสู่สภาวะที่ 4 หลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยจึงกลับเข้าสู่สภาวะที่ 1 ตามเดิม

อุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าอาจไม่จำเป็นต้องมีสถานะการทำงานครบทั้ง 4 สถานะตามแบบจำลองข้างต้น หากแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้นๆ สำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนนั้นมีสถานะการทำงานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 สถานะ ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสถึงแม้จะเป็นไปได้ทั้ง 4 สถานะ แต่โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีการล้มเหลวแบบพาสสีฟทำให้แบบจำลอง 2 สถานะก็สามารถนำมาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานได้ ด้วยเหตุดังกล่าวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้แบบจำลอง 2 สถานะกับอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้าและบัส ส่วนเซอร์กิตเบรคเกอร์ จะใช้ 4 สถานะ

3.4 ตัวอย่างการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์เนื่องจากสถานีไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Reliability Evaluation of Electrical Power Station(REEPS) ซึ่งพัฒนาขึ้น จากงานวิจัยตามเอกสารอ้างอิง [2] โดยนำแบบจำลอง 4 สถานะดังแสดงในรูปที่ 3.2 มาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และแบบจำลอง 2 สถานะมาจำลองการทำงานของหม้อแปลงและบัสบาร์ และใช้ข้อมูลสถิติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลสถิติของอุปกรณ์[6]

Equipment	λ(f/yr)	λ^a (f/yr)	r (Hrs)	s (Hrs)	Pc
Transformer	0.1	0.1	50.0	1.0	-
Circuit Breaker	0.02	0.01	3	1.0	0.06
Busbar	0.024	0.024	2	-	-
Disconnecting Switch	-	-	-	-	-

โดยที่

λ = อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์

λ^*=อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์เฉพาะที่เป็นความล้มเหลวแบบแอคทีฟ

r = ระยะเวลาซ่อมแซม

s = ระยะเวลาสวิทช์ชิง

Pc=ความน่าจะเป็นที่เซอร์กิตเบรคเกอร์จะไม่ทำงานเมื่อถูกสั่งให้ทำงาน

ระยะเวลาซ่อม (Repair time) เป็นระยะเวลาซ่อมอุปกรณ์ที่ล้มเหลวหรือระยะเวลาที่เกิดการล้มเหลว ถือเป็นช่วงเวลาตั้งแต่เกิดการล้มเหลวถึงเวลาที่อุปกรณ์กลับมาใช้งานได้อีกครั้งโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนตัว

ระยะเวลาสวิทช์ชิง (Switching time) เป็นคาบเวลานับจากเวลาที่เกิดสวิตชิงเนื่องจากเหตุขัดข้องจนกระทั่งสวิตชิงนั้นกระทำเสร็จ

ความล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive failure) เป็นความล้มเหลวที่อุปกรณ์ไม่ทำงานและไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่เหลือซึ่งยังทำงานได้ตามปกติ อุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวดังกล่าวสามารถทำให้ใช้งานได้อีก โดยการซ่อมหรือเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวนั้น ตัวอย่างเช่น การเปิดวงจร และการเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์อย่างที่ไม่ควรเป็น

ความล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failure) เป็นความล้มเหลวซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆในเขตการป้องกันขั้นต้น (Primary zone) ที่อยู่รอบ ๆ อุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้น จากนั้นจึงทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และส่วนที่ยังปกติอยู่ออกจากการใช้งาน โดยทั่วๆไปอุปกรณ์ที่ล้มเหลวแบบแอคทีฟจะถูกแยกออกไปและเซอร์กิตเบรคเกอร์จะปิดวงจรกลับอีกมาครั้ง ทำให้การใช้งานทั้งหมดหรือบางส่วนกลับคืนมา จะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้นจะกลับมาใช้งานได้อีกครั้งก็ต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนตัวด้วยเช่นกัน

ความไม่พร้อมมูล(Unavailability) เป็นสัดส่วนเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาที่อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติกับคาบเวลาการทำงานของอุปกรณ์นั้น

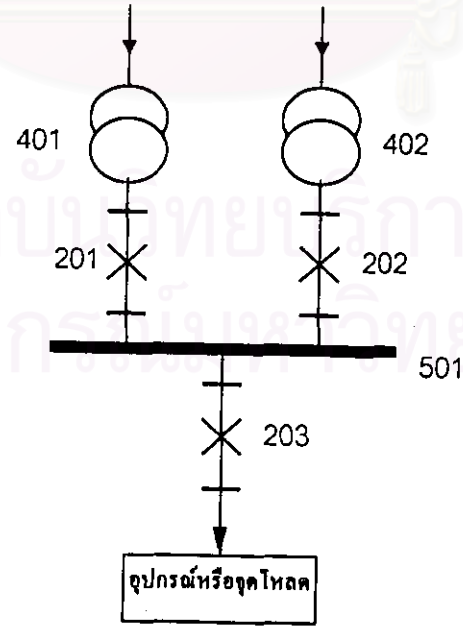
ตัวอย่างการประเมินค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์เนื่องจากสถานีไฟฟ้าในรูปที่ 3.3 โดยอาศัยขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เหตุการณ์ที่ทำให้สถานีไฟฟ้าตัวอย่างไม่สามารถจ่ายโหลดได้

Events	f(f/y)	r(h)	u(h/y)
203T	0.02000	3.00000	0.06000
501T	0.02400	2.00000	0.04800
201T+202T	0.00000	1.50002	0.00000
201T+402T	0.00001	2.83182	0.00003
202T+401T	0.00001	2.83182	0.00003
401T+402T	0.00011	25.02854	0.00285
201A	0.01000	1.00000	0.01000
202A	0.01000	1.00000	0.01000
401A+201S	0.00600	1.00000	0.00600
402A+202S	0.00600	1.00000	0.00600
Total	0.07614	1.87714	0.14292

หมายเหตุ

T	หมายถึงการล้มเหลวแบบแอคทีฟหรือพาสซีฟ
A	หมายถึงการล้มเหลวแบบแอคทีฟ
S	หมายถึงเซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ทำงานตามคำสั่ง
+	หมายถึงเหตุการณ์สองเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 3.3 สถานีไฟฟ้าตัวอย่าง

รายการเหตุการณ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ได้ละเลยเหตุการณ์ที่มีความน่าจะเป็นน้อยมาก ๆ เช่นเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ล้มเหลวพร้อมกันสามอุปกรณ์เป็นต้น เพราะถือว่ามีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้น้อยมาก

สำหรับกรณีล้มเหลวแบบ T พร้อมกันสองอุปกรณ์สามารถคำนวณอัตราการล้มเหลวเฉลี่ย ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย และความไม่พร้อมมูล(λ_p, r_p, U_p) ได้ดังสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 [9,2,1]

$$\lambda_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \tag{3.1}$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \tag{3.2}$$

$$U_p = f_p r_p \approx \lambda_p r_p \tag{3.3}$$

ในกรณีนี้จะได้ความน่าจะเป็นในการล้มเหลวของอุปกรณ์หรือจุดโหลดเนื่องจากสถานีไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.14292/8760 = 0.0000163 ซึ่งเป็นข้อมูลซึ่งพร้อมนำไปใช้สำหรับการสุ่มสถานะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 6 และ 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย