บทที่ 2

แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆในสถานีไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆที่เป็นส่วนประกอบของสถานีไฟฟ้าในการประเมินความเชื่อถือได้นั้นจำเป็นต้องทราบภาวะการทำงานและล้มเหลวของอุปกรณ์ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอแบบจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ด้วย

2.1 หน้าที่ของสถานีไฟฟ้า

โดยทั่วไปสถานีไฟฟ้ามีหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยอาศัยอุปกรณ์ควบคุมสำหรับตัดต่อวงจรให้มีการจ่ายพลังงานผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆตามความเหมาะสม นอกจากหน้าที่ดังกล่าวแล้วยังมีรายละเอียดดังนี้ [19]

1. ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟหรือลูกค้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา
2. มีการปกคลุมเครือข่ายเหนือพื้นที่ที่ต้องการมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
3. มีความมั่นคงในการส่งมากที่สุด
4. ระยะเวลาการขัดข้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
5. ให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าและเครือข่ายที่พอเหมาะ
6. ส่งกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่ตามเป้าหมาย
7. ส่งกำลังไฟฟ้าด้วยแรงดันที่ระบุไว้
8. ส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังลูกค้าด้วยค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

สถานีไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบส่ง และระบบจ่ายจะมีหน้าที่เพิ่มเติมจากสถานีไฟฟ้าทั่วไปดังนี้

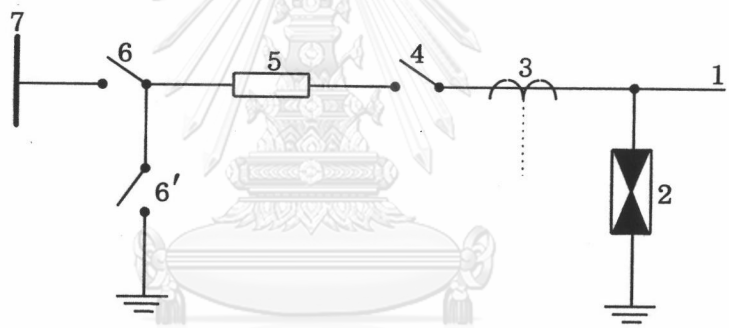
1. มีการป้องกันระบบส่ง
2. มีการควบคุมการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า
3. มีเสถียรภาพทั้งในภาวะอยู่ตัวและภาวะชั่วขณะ
4. มีการตัดโหลดและการป้องกันการสูญเสียทางซิงโครนัส
5. มีการควบคุมแรงดัน คือมีการลดการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟโดยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ หรือมีการเปลี่ยนแท็ป
6. มีความมั่นคงในการส่งโดยจัดเตรียมความจุของสายส่งให้เพียงพอและมีความสะดวกในการสับเปลี่ยนเส้นทางของการส่ง

7. มีการส่งข้อมูลโดยผ่านทางสายส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อการตรวจจับ เช่น เพื่อการควบคุมและการป้องกัน
8. มีการถ่ายโอนพลังงานผ่านสายส่งและสายที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อ
9. มีความมั่นคงในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยการป้อนเข้าไปตามจุดต่าง ๆ
10. มีการกระจายโหลดอย่างประหยัดและมีหน้าที่การทำงานต่าง ๆที่สัมพันธ์กัน

หากการทำหน้าที่เหล่านี้ของสถานีไฟฟ้าไม่สมบูรณ์ เป็นต้นว่า ไม่สามารถทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากเกิดการขัดข้องอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแล้วก็จะมีผลต่อความเชื่อถือได้ต่อระบบโดยรวมได้

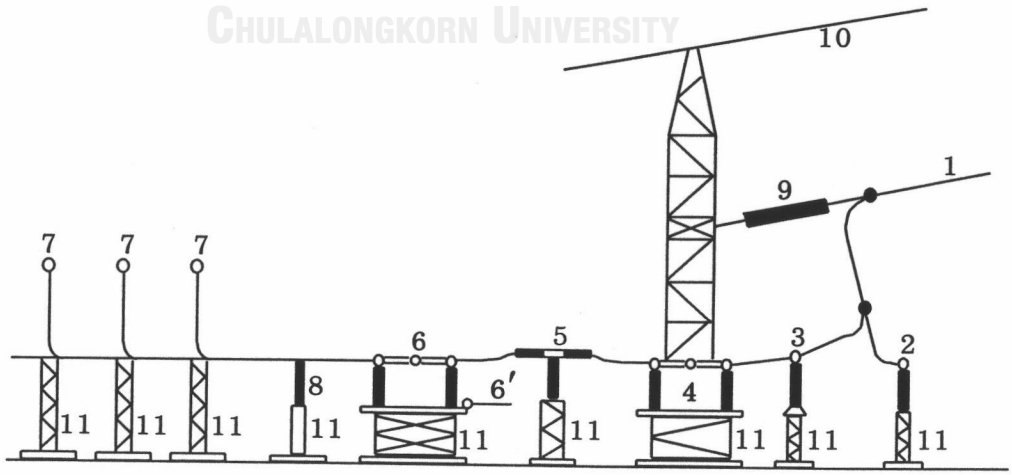
2.2 การจัดเรียงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า

การจัดเรียงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้ามักแสดงด้วยแผนภาพเส้นเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ก) เช่นเดียวกับวงจรระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ซึ่งในความเป็นจริงจะมีการจัดเรียงอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.2 ข)



ก) แผนภาพเส้นเดี่ยวแสดงโครงสร้างของสถานีไฟฟ้า

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ข) การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า

รูปที่ 2.1 ตัวย่างการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า

โดยที่ 1. สายส่ง
2. กับดักเสิร์จ (Surge arrester)
3. หม้อแปลงกระแส (CT)
4. ตัวตัดวงจรสาย (Insulator line side)
5. เซอร์กิตเบรคเกอร์
6. ตัวตัดวงจร (Disconnecting switch)
6′. สวิตช์ลงดิน (Earthing switch)
7. บัสบาร์
8. ฉนวนรองรับ
9. ฉนวนยึด (Gantry)
10.สายของสถานีไฟฟ้า (Substation wire)
11.โครงสร้างรองรับ

จากรูปที่ 2.1 นี้จะเห็นว่าสถานีไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆมากมายซึ่งรายละเอียดของหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2.3 การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้านอกจากจากจะต้องทราบลักษณะการจัดเรียงวงจรจากแผนภาพเส้นเดี่ยวแล้วยังต้องทราบลักษณะหน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาแบบจำลองการทำงานซึ่งจะนำไปใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2.3 อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานีไฟฟ้าจะทำหน้าที่ต่าง ๆตามที่กล่าวมาได้ก็ต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆดังนี้

1. หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในสถานีไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นหรือลงก็ได้

2. เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นอุปกรณ์สวิตชิงและตัดการไหลของกระแส โดยพื้นฐานแล้วเซอร์กิตเบรคเกอร์จะประกอบขึ้นด้วยชุดเคลื่อนที่และชุดอยู่กับที่ สามารถเปิดวงจรด้วยกลไกทางกล การตัดกระแสทำให้เกิดอาร์คซึ่งจะถูกดับได้โดยใช้ตัวกลางที่เหมาะสม เซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อทุกจุดที่มีการสวิทชิงในสถานีไฟฟ้า

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 โครงสร้างเหล่านี้ใช้เป็นโครงในการรองรับอุปกรณ์ต่าง ๆ

8. อุปกรณ์ชดเชยต่าง ๆนับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมแรงดัน อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

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

-ตัวเก็บประจุขนาน (Shunt capacitors)นั้นจะติดตั้งใกล้จุดโหลดในสถานีจ่ายสำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ตัวเก็บประจุขนานสามารถนำมาใช้ได้ระหว่างที่มีโหลดแบบเหนี่ยวนำ

-รีแอคเตอร์ขนาน (Shunt reactors) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบสายส่ง EHV มีหน้าที่ชดเชยกำลังรีแอคทีฟของความจุของสายส่งในช่วงที่มีโหลดต่ำ ๆ

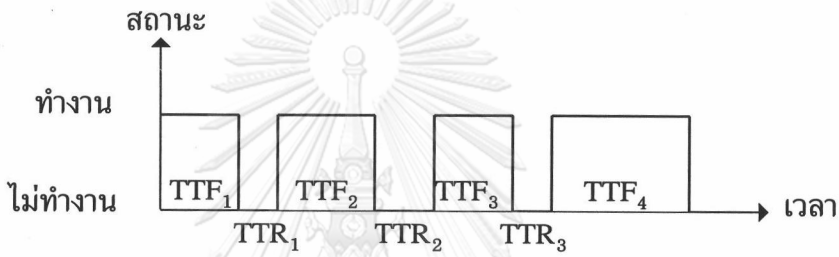
9. อุปกรณ์นำกระแสในสายส่งกำลัง (Power line carrier current equipment) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการส่งและการรับสัญญาณความถี่สูง ได้แก่ สัญญาณเสียง สัญญาณการส่งข้อมูล สัญญาณสำหรับการป้องกัน และสัญญาณควบคุม

สำหรับการศึกษาความเชื่อถือได้นั้นโดยทั่ว ๆไปจะพิจารณาอุปกรณ์เป็น 3 ชนิดเท่านั้น [11] ได้แก่ บัส หม้อแปลง และเซอร์กิตเบรคเกอร์ ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้านั้นการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆอาจพิจารณารวมอยู่ในอุปกรณ์ 3 ชนิดนี้ เช่น หม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสอาจพิจารณาร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติพารามิเตอร์ต่าง ๆในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบโดยรวมนั้นจะสัมพันธ์ใกล้ชิดอยู่กับการกระจายความน่าจะเป็นที่แสดงถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบ เช่น ระยะเวลาการทำงานอย่างต่อเนื่องของอุปกรณ์ตัวหนึ่งก่อนที่จะเกิดการล้มเหลวหรือเหตุการณ์ขัดข้องขึ้น (Time to failure : TTF) ค่า TTF ของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบอาจมีการกระจายที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับสถิติการทำงานของอุปกรณ์ นั่นคือสำหรับอุปกรณ์ตัวหนึ่ง ๆอาจจะมีค่า TTF ได้หลายค่าต่าง ๆกันดังแสดงในรูปที่ 2.2

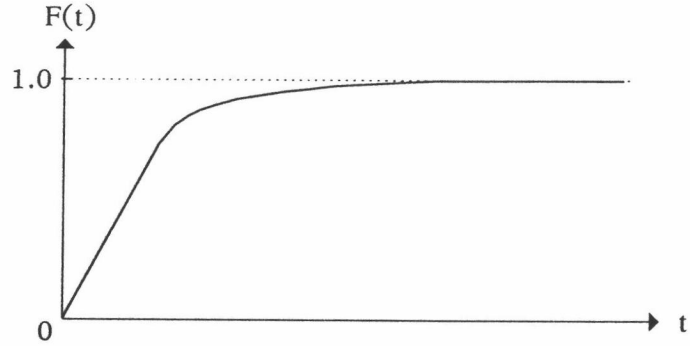


รูปที่ 2.2 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

จากค่า TTF ในช่วงต่าง ๆจากรูปที่ 2.2 นี้เราสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของ TTF ได้เรียกว่า MTTF (Mean time to failure) ซึ่งถือเป็นตัวแทนของระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนระยะเวลาการซ่อมแซม (Time to repair : TTR) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่อุปกรณ์เกิดการขัดข้องก็สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยได้ทำนองเดียวกันเรียกว่า MTTR (Mean time to repair)

ในทางปฏิบัติค่า TTF และ TTR ของอุปกรณ์แต่ละชนิดอาจมีการกระจายที่แตกต่างกันและไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบ ดังนั้นค่าดังกล่าวจึงได้จากการศึกษาและทดสอบตัวอย่างตลอดจนจากตารางบันทึกข้อมูลซึ่งสัมพันธ์กับการทำงานของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบนั้น ๆ [6]

การศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นโดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative probability distribution function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าตัวแปรสุ่มจาก 0 ถึง 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (t) และฟังก์ชันการกระจายสะสม (F(t))

หากเราลองพิจารณาถึงการทำงานของอุปกรณ์ตัวหนึ่งซึ่งกำลังทำงานอยู่ ณ เวลาเริ่มต้น (t=0) นั้นความน่าจะเป็นของความล้มเหลว ณ เวลาดังกล่าวมีค่าเป็นศูนย์ ขณะที่เวลาผ่านไปจนกระทั่งเวลานานมาก $t \longrightarrow \infty$ ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของอุปกรณ์นั้นจะมีค่าเป็น 1 เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์ดังกล่าวจะล้มเหลวหรือขัดข้องอย่างแน่นอนหลังจากใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง ลักษณะธรรมชาติของอุปกรณ์นี้จึงเทียบเคียงได้กับฟังก์ชันการกระจายสะสมและการวัดความน่าจะเป็นของความล้มเหลวก็เป็นฟังก์ชันของเวลา การประเมินความเชื่อถือได้ในลักษณะดังกล่าวนี้ก็คือระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ (t) นั่นเอง ส่วนฟังก์ชันการกระจายการสะสมที่แสดงถึงการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์หลังจากใช้งานไปเป็นระยะเวลาหนึ่งก็คือ ฟังก์ชันการกระจายความล้มเหลวสะสม หรือการกระจายความล้มเหลวสะสมนั่นเอง ใช้สัญลักษณ์เป็น Q(t) ส่วนฟังก์ชันของอุปกรณ์ที่แสดงถึงความสามารถในการทำงาน (Survior function) คือ R(t) สามารถคำนวณได้จาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$R(t) = 1-Q(t) \tag{2.1}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลง(Derivative)ของฟังก์ชันการกระจายสะสมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องคือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function : PDF) หรือเรียกว่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความล้มเหลว ใช้สัญลักษณ์เป็น f(t) สามารถคำนวณได้จาก

$$f(t) = \frac{d(Q)}{dt} = - \frac{d(R)}{dt} \tag{2.2}$$

หรือ

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt \tag{2.3}$$

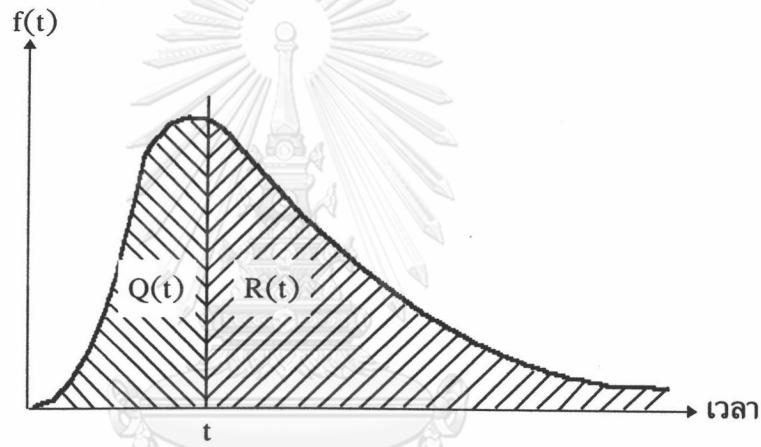
และ

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \qquad (2.4)$$

จากทฤษฎีความน่าจะเป็นพื้นที่ภายใต้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความล้มเหลวจะต้องเป็น 1 ดังนั้นจากสมการ 2.4 เขียนใหม่ได้เป็น

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)tdt \qquad (2.5)$$

จากสมการ 2.3 และ 2.5 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ f(t) และมีพื้นที่ใต้กราฟเป็น Q(t) และ R(t) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ f(t)

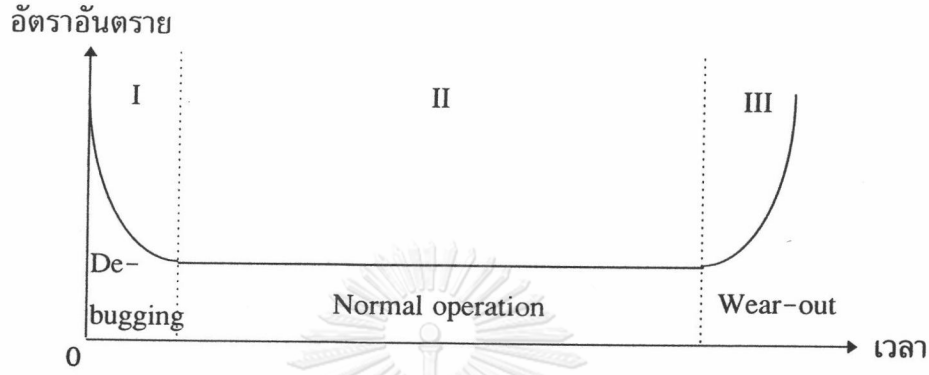
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เรามักใช้อัตราอันตราย (Hazard rate: h(t)) อธิบายการทำงานของอุปกรณ์ในรูปของอัตราการเปลี่ยนสถานะ (Transition rate) ซึ่งขึ้นอยู่กับโอกาสซึ่งแสดงถึงเหตุการณ์เฉพาะที่เกิดขึ้น เช่น ซ่อมแซม ล้มเหลว หรือสวิตชิง โดยที่อัตราอันตรายดังกล่าวมีความหมายครอบคลุมถึงการล้มเหลวหรือการซ่อมแซมได้ สำหรับ h(t) นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของอุปกรณ์ตัวอย่างที่ล้มเหลวในระยะเวลาหนึ่งและจำนวนตัวอย่างที่ศึกษา ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ตัวอย่างชนิดหนึ่งมีจำนวน 100 ชิ้น และอุปกรณ์ตัวอย่างอีกชนิดหนึ่งมีจำนวน 1,000 ชิ้น ถ้าจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ตัวอย่างแต่ละชนิดมีค่าเท่ากันย่อมแสดงว่าอุปกรณ์ชนิดแรกมีอัตราอันตรายสูงกว่าภายใต้การศึกษาที่ระยะเวลาเท่ากัน ดังนั้น h(t) จึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$h(t) = \frac{NF}{NC} \qquad (2.6)$$

โดยที่ NF หมายถึงจำนวนความล้มเหลวต่อหน่วยเวลา
และ NC หมายถึงจำนวนอุปกรณ์ศึกษา

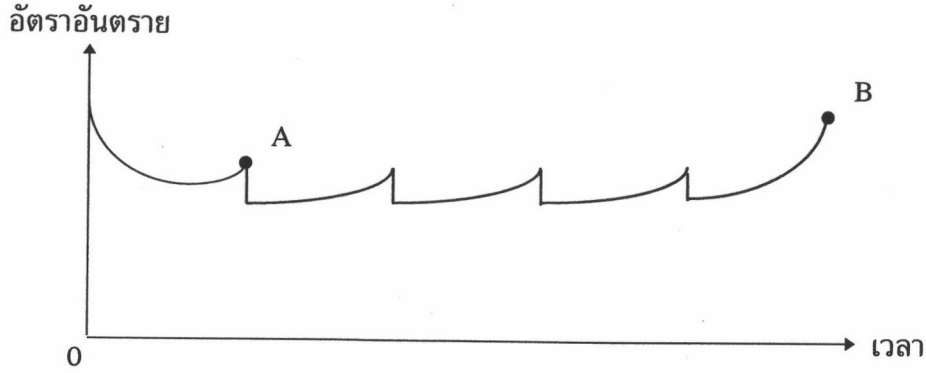
ตามปกติอุปกรณ์จะมีอัตราอันตรายต่างกันในช่วงเวลาต่าง ๆของการใช้งานดังแสดงดังรูปที่ 2.5 [2, 6, 7, 14]



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมไม่ได้

จากรูปที่ 2.5 เราพอจะแบ่งช่วงเวลาออกได้เป็น 3 เขต คือ I แสดงเขตของการเริ่มใช้งาน อัตราอันตรายในเขตนี้จะลดลงเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มักจะพบความผิดพลาดเนื่องจากการออกแบบหรือการผลิตที่ไม่เหมาะสม ในเขต II เป็นเขตของการทำงานตามปกติ ในเขตนี้จะมีอัตราอันตรายคงที่ และเขต III เป็นเขตที่อัตราอันตรายจะเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องจากความเสื่อมตามอายุการใช้งานของอุปกรณ์ แต่ในกรณีที่อุปกรณ์นั้นซ่อมแซมได้แล้วโดยทั่วไปค่าอัตราอันตรายจะเป็นไปในลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6 [7]

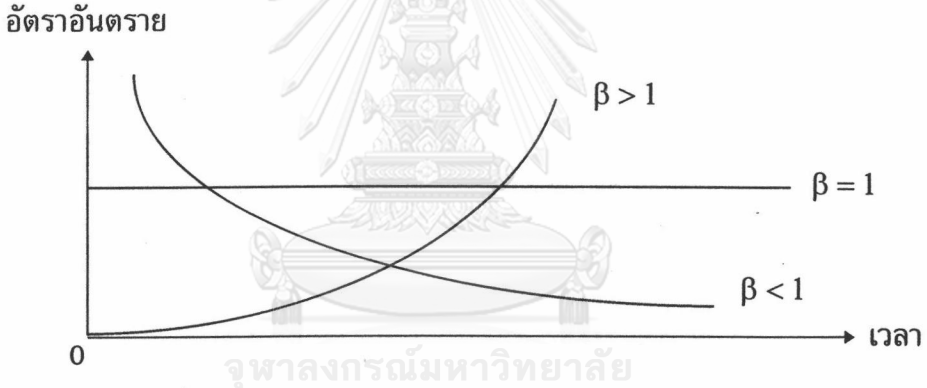
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอัตราอันตรายของอุปกรณ์ที่ซ่อมได้

จากรูปที่ 2.6 นี้มีลักษณะคล้ายกับการนำกราฟจากรูปที่ 2.5 หลายๆ รูปมาต่อกัน เพียงแต่ที่จุด A นั้นอัตราอันตรายจะไม่สูงมากนักเนื่องจากมีการซ่อมแซม หลังจากการซ่อมแซมนี้อัตราอันตรายก็จะลดลงเนื่องจากมีการตรวจสอบแก้ไขจุดบกพร่องของอุปกรณ์ และอัตราอันตรายนี้ก็จะคงที่ไปช่วงระยะเวลาการใช้งานหนึ่งทำนองเดียวกับช่วง II ของกราฟในรูปที่ 2.5 เมื่อใช้งานไปด้วยระยะเวลาหนึ่งอุปกรณ์ก็จะเริ่มเสื่อมทำให้อัตราอัตรายล้มเหลวเริ่มสูงขึ้นทำนองเดียวกับช่วง III ของกราฟในรูปที่ 2.5 แต่อัตรายนี้จะไม่สูงมากเช่นเดียวกับที่จุด A อุปกรณ์จะมีอัตราอัตรายมากน้อยสลับกันเช่นนี้กระทั่งการซ่อมแซมเริ่มไม่คุ้มค่าหรือไม่สามารถซ่อมแซมได้อัตราอันตรายของอุปกรณ์จึงสูงขึ้นที่จุด B หรือเทียบได้กับช่วง III ในกราฟรูปที่ 2.5 นั่นเอง

จากรูปที่ 2.5 นั้นในเขต I และ III เราสามารถใช้ฟังก์ชันการกระจายแบบ Weibull ที่มีค่าพารามิเตอร์บอกรูปทรง(β)ต่างกัน ส่วนในเขต II จะใช้ฟังก์ชันกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียลด้วยค่าคาดหวัง (Expected value) เท่ากับ 1/MTTF ซึ่งหมายถึงการกระจายแบบ Weibull ที่ $\beta = 1$ นั่นเอง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 อัตราอันตรายที่ใช้ฟังก์ชัน Weibull ที่มี β ต่างๆ กัน

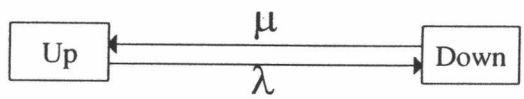
หากพิจารณาพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้แล้วจะพบว่าประกอบด้วยสถานะการทำงานต่างๆ เช่น สถานะที่อุปกรณ์ทำงานและล้มเหลว เป็นต้น ซึ่งในการประเมินความเชื่อถือได้จะมีการสร้างแบบจำลองขึ้นดังจะกล่าวต่อไป

2.5 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ต่างๆ ก็จะทำหน้าที่ต่างๆ กันดังกล่าวข้างต้น แต่เมื่อต้องการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสถานะ (State model)

เพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับใช้พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดขัดข้องของอุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ ขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน

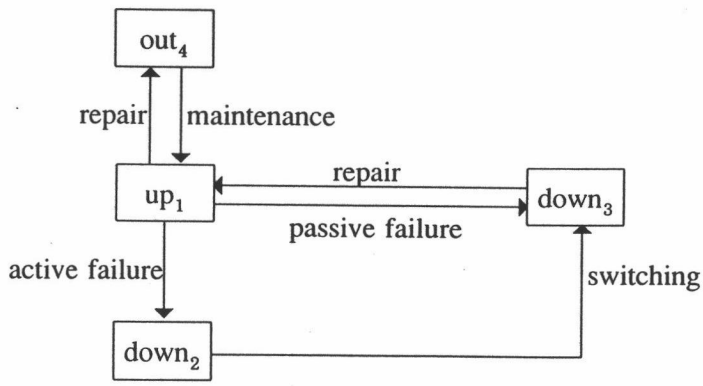
โดยทั่วไปเราอาจจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์แบ่งได้เป็น 2 สถานะคือสถานะที่อุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ (Up) และสถานที่อุปกรณ์ขัดข้องใช้งานไม่ได้ (Down) ดังนั้นแบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

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

เพื่อที่จะพิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆในสถานีไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลอง 4 สถานะ [11] ดังรูปที่ 2.9 ขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการพิจารณาประเภทการล้มเหลวของอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสมกว่าแบบจำลอง 2 สถานะ



รูปที่ 2.9 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อาจมีการล้มเหลวและการกลับคืนสู่การทำงานแบบต่าง ๆกัน หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองดังกล่าวกับการทำงานจริงของอุปกรณ์นั้นจะพบว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์จะทำงานในสถานะปกติคือ สถานะที่ 1 แล้วต่อมาอาจล้มเหลวแบบแอคทีฟ เช่น เกิดการลัดวงจร ทำให้เข้าสู่ภาวะที่ 2 จากนั้นเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสามารถทำการสวิตชิงเพื่อนำอุปกรณ์ออกจากระบบซึ่งเปรียบเสมือนสถานะที่ 3 แล้วจึงทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติในสภาวะที่ 1 หรือบางกรณีจากการทำงานปกติในสภาวะที่ 1 อุปกรณ์อาจเกิดการล้มเหลวแบบพาสสีฟ เช่น การเปิดวงจร ทำให้ไปสู่ภาวะที่ 3 หลังจากนั้นจึงซ่อมแซมให้กลับมาสู่สภาวะที่ 1 อีกครั้ง หรือจากสภาวะที่ 1 อาจมีการซ่อมบำรุงทำให้เข้าสู่สภาวะที่ 4 หลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยจึงกลับเข้าสู่สภาวะที่ 1 ตามเดิม

อุปกรณ์ต่าง ๆในสถานีไฟฟ้าอาจไม่จำเป็นต้องมีสถานะการทำงานครบทั้ง 4 สถานะตามแบบจำลองข้างต้น หากแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้น ๆ สำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนนั้นมีสถานะการทำงานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสถึงแม้จะเป็นไปได้ทั้ง 4 สถานะ แต่โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีการล้มเหลวแบบพาสสีฟทำให้แบบจำลอง 2 สถานะก็สามารถนำมาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการนำแบบจำลอง 4 สถานะดังแสดงในรูปที่ 2.9 มาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และแบบจำลอง 2 สถานะมาจำลองการทำงานของหม้อแปลงและบัสบาร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY