บทที่ 2

แบบจำลองของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง (Distribution System) ทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากระบบผลิตไฟฟ้า (Generating System) โดยผ่านระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) เพื่อจะทำการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (Substation) สายป้อน (Feeder) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) และสายจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำ

หน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่สำคัญประการหนึ่งคือการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา มีความมั่นคงในการส่งมากที่สุด หากเกิดเหตุขัดข้องก็สามารถแก้ไขให้มีไฟฟ้าดับคืนในเวลารวดเร็วหรือทำให้มีระยะเวลาการขัดข้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ หากการทำหน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่สมบูรณ์ เป็นต้นว่า ไม่สามารถทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากเกิดการขัดข้องอุปกรณ์แล้วก็จะมีผลต่อความ เชื่อถือได้ต่อระบบโดยรวมได้ ด้วยเหตุดังกล่าวการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องทราบภาวะการทำงานและล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบด้วยเช่นกัน

โดยทั่วไปเมื่อสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยได้รับแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งย่อยก็จะแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงแล้วส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงจำหน่ายซึ่งมีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง หลังจากนั้นจึงส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำไปยังบ้านเรือนหรือธุรกิจห้างร้านทั่วไป แต่บางกรณีอาจส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงของโรงงานโดยตรง โดยไม่ผ่านหม้อแปลงระบบจำหน่าย และมีโรงงานบางแห่งซื้อไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าแล้วสร้างสถานีจ่ายไฟเป็นของตัวเอง

2.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเหนือหัว (Overhead Axial System) และระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Cable System) การเลือกใช้ระบบประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และความประหยัด เป็นต้น แต่ที่พบเห็นโดยทั่วไปเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเหนือหัวเนื่องจากมีราคาต่ำกว่าระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดินมาก แต่อย่างไรก็ตามในบริเวณที่

มีบ้านเรือนหนาแน่น ต้องเดินสายไฟข้ามแม่น้ำ หรือภายในนิคมอุตสาหกรรม นิยมใช้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดินเนื่องจากสายใต้ดินเป็นสายที่มีฉนวนหุ้ม ย่อมมีความปลอดภัยและความมั่นคงสูงกว่าการใช้สายจำหน่ายเหนือหัวซึ่งมักเป็นสายเปลือย

สำหรับลักษณะรูปแบบของระบบจำหน่ายนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ [12]

1.) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network)

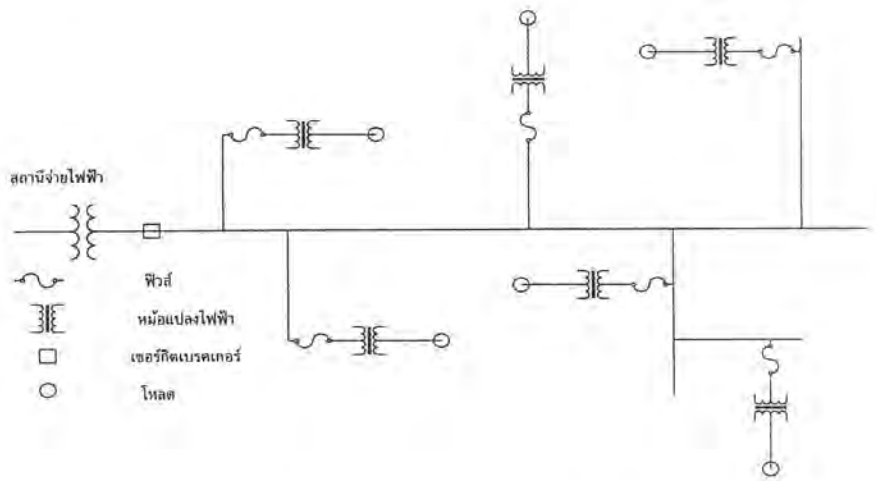
2.) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network)

3.) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network)

2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลคือระบบที่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าไปในสายจำหน่ายเพียงด้านเดียวและมีสาขาแยกต่อออกไปดังแสดงในรูปที่ 2.1 การวางระบบจำหน่ายแบบนี้เมื่อมีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถที่จะเพิ่มระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้กลายเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network) หรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network) ต่อไปได้

ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลนิยมใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟในชนบท เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าประเภทนี้ลงทุนต่ำ มีการป้องกันระบบได้โดยวิธีง่าย ๆ และลักษณะของการวางสายแบบนี้สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าต่ำ



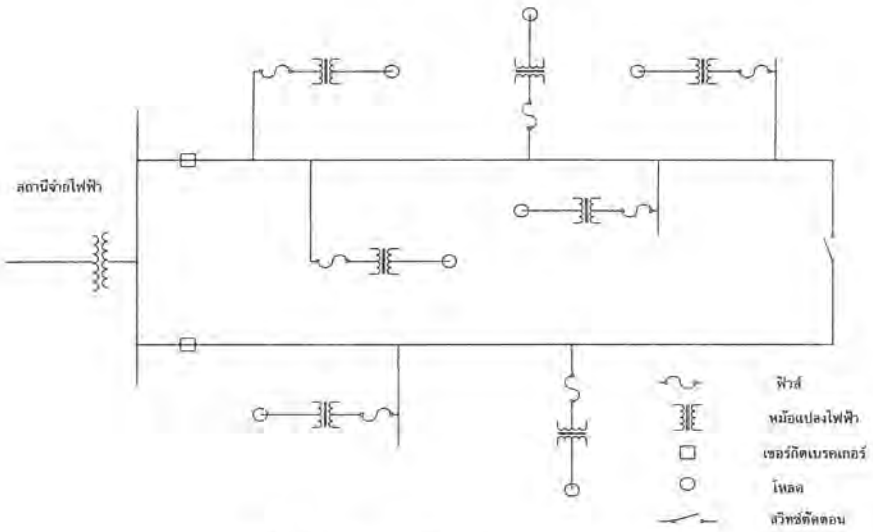
รูปที่ 2.1 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน

ลักษณะระบบจำหน่ายแบบนี้จะทำเป็นรูปแบบวงแหวนกล่าวคือมีการจ่ายไฟเข้าที่ต้นทางและปลายทางโดยสถานีจ่ายไฟฟ้าแห่งเดียวกันตามรูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายแบบนี้ในการใช้

งานจริงบางครั้งจะเปิดวงจรออกทำให้ระบบไม่เป็นวงแหวน การทำเช่นนี้ก็จะทำให้การป้องกันระบบนั้นทำได้ง่ายขึ้น

ระบบจำหน่ายแบบวงแหวนนี้สามารถนำไปใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรมได้ ข้อดีของระบบนี้คือ เมื่ออุปกรณ์ตัวหนึ่งตัวใดเกิดขัดข้องก็สามารถทำการตัดส่วนนั้นออกไปและวงจรส่วนที่เหลืออยู่ก็สามารถทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไปอีกได้ ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงขึ้นกว่าระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แต่ข้อเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนคือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะกระทำได้โดยผ่านสถานีจ่ายไฟฟ้าเพียงสถานีเดียว ดังนั้นถ้าเกิดขัดข้องขึ้นภายในสถานีจ่ายไฟฟ้า ย่อมทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง และระบบป้องกันระบบจำหน่ายวงแหวนก็ยังต้องมีขีดความสามารถสูงขึ้นกว่าระบบแบบเรเดียลเนื่องจากระบบป้องกันต้องตรวจสอบให้ทราบว่าเกิดการลัดวงจรขึ้นที่อุปกรณ์ตัวใดเพื่อที่จะได้ตัดอุปกรณ์ส่วนนั้นออกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

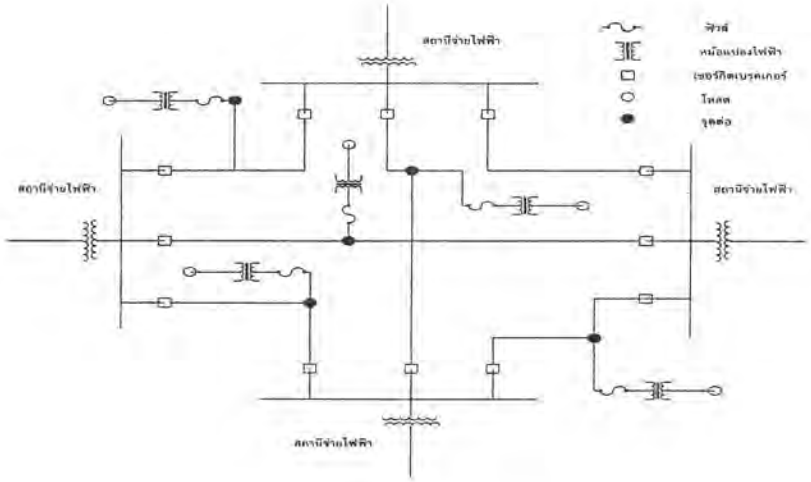


รูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายแบบวงแหวน

2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห

ตามรูปที่ 2.3 เป็นรูปของระบบจำหน่ายแบบร่างแห สังเกตได้ว่าการต่อกันของสายจำหน่ายจะมีลักษณะเหมือนแหที่กระจายออกไปครอบคลุมแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ และมีสถานีจ่ายไฟฟ้าเข้าในระบบจำหน่ายได้หลายจุด

ข้อดีของระบบนี้คือระบบจำหน่ายแบบนี้มีความเชื่อถือได้สูงกว่าทุกระบบที่กล่าวมาและสามารถสร้างสถานีจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ง่ายเมื่อโหลดผู้ใช้ไฟเพิ่มขึ้น แต่ระบบจำหน่ายแบบนี้ต้องลงทุนในการก่อสร้างระบบค่อนข้างสูงเช่นกัน เนื่องจากระบบดังกล่าวต้องสร้างสายส่งและอุปกรณ์ป้องกันเป็นจำนวนมาก และในขณะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร (Short Circuit) จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรขนาดสูงมากได้



รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายแบบร่างแห

2.2 อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตามมาตราฐานการก่อสร้าง วัสดุ อุปกรณ์ และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ก็ต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักต่าง ๆ [19] ดังนี้

1. สายไฟฟ้า (Conductor) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ สายเปลือยและสายหุ้มฉนวน การเลือกใช้สายไฟฟ้าแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หากต้องการระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อได้สูงควรใช้สายเคเบิลใต้ดินแต่ก็จะลงทุนสูงตามไปด้วย

2. หม้อแปลง (Distribution Transformer) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ต่ำลงเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าใหผู้ใช้ประเภทต่าง ๆ ด้วยระบบแรงต่ำต่อไป

3. เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker) โดยทั่วไปใช้ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถทำงานปิดกลับโดยอัตโนมัติได้

4. รีโครสเซอร์ (Recloser)

4.1 ใช้ติดตั้งในระบบจำหน่ายที่มีปัญหาเกิดฟอลท์แบบชั่วคราวบ่อย ๆ

4.2 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกอยู่ที่อยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าตั้งแต่ 10 กิโลเมตรขึ้นไป และในสายเมนหรือสายแยกใดที่มีปัญหาการเกิดฟอลท์แบบชั่วคราวบ่อยครั้งหรือเป็นสายจำหน่ายที่มีความสำคัญก็อาจพิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

4.3 อาจพิจารณาติดตั้งรีโครสเซอร์ที่สถานีไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแทนเซอร์กิตเบรคเกอร์

4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโครสเซอร์ต้องพิจารณาให้สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และค่ากระแสฟอลท์ซึ่งอาจเกิดขึ้น ณ. จุดนี้ จะต้องมีค่าไม่มากกว่าพิกัดการตัดกระแสของรีโครสเซอร์

5. ดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ (Dropout Fuse Cutout) เป็นอุปกรณ์ป้องกันอีกชนิดหนึ่ง

5.1 ติดตั้งในสายแยกที่มีระยะทางเกินกว่า 1 กิโลเมตร และในสายย่อยที่มีระยะทางเกินกว่า 5 กิโลเมตร

5.2 กรณีสายแยกที่มีระยะทางไม่เกิน 1 กิโลเมตร และสายย่อยที่มีระยะทางไม่เกิน 5 กิโลเมตร อาจติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์ได้ถ้าพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมเพียงพอเช่น มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟฟ้ามาก

5.3 ในสายเมนไม่ควรติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์ หรือถ้าจะติดตั้งก็ควรมีน้อยที่สุดโดยพิจารณาแล้วเห็นว่ามีความจำเป็น

5.4 ดรอพเอาท์ฟิวส์ที่ติดตั้งจะต้องทำงานสัมพันธ์กับเซอร์กิตเบรคเกอร์รีโครสเซอร์หรือดรอพเอาฟิวส์ด้วยกัน

6. สวิตช์สำหรับตัดโหลด(Load Break Switch)และสวิตช์แบบน้ำมัน(Oil Switch)

6.1 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนเข้าเมืองที่สำคัญ อาจติดตั้งทุก ๆ 20 กิโลเมตรก็ได้

6.2 ติดตั้งในสายเชื่อมโยงตำแหน่งที่จะมีการเชื่อมโยงระหว่างฟีดเดอร์หรือระหว่างสถานีไฟฟ้า

6.3 กรณีสายแยกใดที่มีโหลดมากและต้องติดตั้งสวิตช์ตัดตอนให้พิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

7. สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch)

7.1ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนที่สถานีไฟฟ้าและก่อนเข้าสายเคเบิลแรงสูง

7.2 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนก่อนเข้าและออกจากรีโครสเซอร์และโวลท์เตจเรคกูเลเตอร์

7.3 ติดตั้งเป็นสวิตช์บายพาสที่รีโครสเซอร์

7.4 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนออกจากเมืองที่สำคัญ

8. สวิตช์แบบอากาศ (Air Switch)

8.1 ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเพื่อเป็นสวิตช์สำหรับทำบายพาส

8.2 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกแทนตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนเมื่อต้องการปิดหรือเปิดวงจรขณะที่มีโหลด

9. เสาไฟฟ้า คอนสายและลูกถ้วย (Pole,Crossarm and Insulator)

สำหรับการศึกษาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นโดยทั่ว ๆไปจะพิจารณาอุปกรณ์เป็น 2 ชนิดเท่านั้น [8,9] ได้แก่ สายไฟฟ้าและหม้อแปลง ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆอาจพิจารณารวมอยู่ในอุปกรณ์ 2 ชนิดนี้ เช่น ลูกถ้วยสามารถพิจารณาร่วมกับสายไฟฟ้าได้ เป็นต้น สำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งปกติจะติดตั้งอยู่ภายในสถานีจ่ายไฟนั้น ในการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้า [17] ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์รวมอยู่ด้วยแล้ว

2.3 สภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งสถานะการทำงานที่สำคัญของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่นเซอร์กิตเบรคเกอร์ สายไฟฟ้า และหม้อแปลง ได้เป็น 3 ประเภทคือ การทำงานตามปกติ การล้มเหลวแบบเปิดวงจร (Open circuit) และการล้มเหลวแบบลัดวงจร (Closed circuit)

สำหรับการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้งแบบปกติปิดและปกติเปิดซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนกว่าอุปกรณ์อื่น ๆนั้นพอที่จะกล่าวสรุปถึงตัวอย่างการทำงานได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติเปิด (Normally closed) ประกอบด้วยการทำงานในลักษณะต่างดังนี้

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

สำหรับกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติเปิด (Normallly open) พอจะสรุปลักษณะการทำงานได้ดังนี้

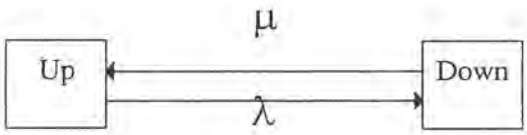
- ปิดวงจรสำเร็จเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวที่จะปิดวงจรเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านบัสบาร์
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่ง

การทำงานในลักษณะต่าง ๆดังกล่าวเป็นเพียงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การที่ระบบทั้งระบบล้มเหลวนั้นสาเหตุดังกล่าวอาจเป็นเพียงสาเหตุทางอ้อมเท่านั้น

2.4 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติ อุปกรณ์แต่ละชนิดต่างก็จะทำหน้าที่ต่าง ๆกันดังกล่าวข้างต้น แต่เมื่อต้องการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสถานะ (State model) เพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับใช้พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดขัดข้องของอุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ ขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน

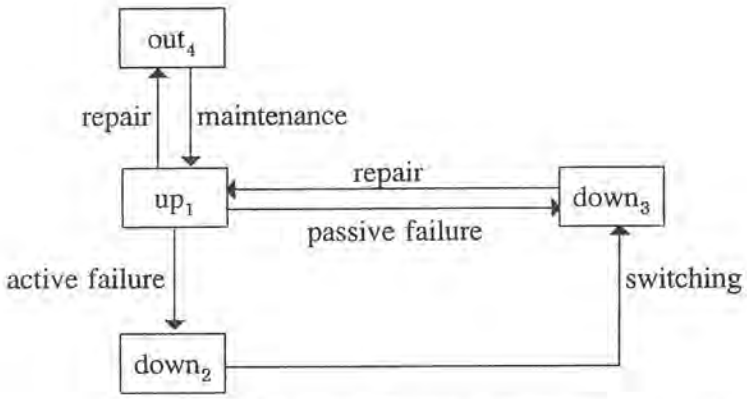
โดยทั่วไปเราอาจจำลองสถานะการทำงานของอุปกรณ์แบ่งได้เป็น 2 สถานะคือสถานะที่อุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ (Up) และสถานที่อุปกรณ์ขัดข้องใช้งานไม่ได้ (Down) ดังนั้นแบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองดังกลาวประกอบด้วย 2 สถานะซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยอัตราการล้มเหลว (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) กล่าวคือในการเปลี่ยนสถานะจากการทำงานตามปกติไปเป็นสถานะล้มเหลวจะเป็นไปตามอัตราการล้มเหลว และการเปลี่ยนสถานะในทางกลับกันจะเป็นไปตามอัตราการซ่อมแซม แบบจำลองนี้มีข้อดีที่เป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการเข้าใจและวิเคราะห์หากแต่เมื่อนำไปใช้พิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อน เช่น อุปกรณ์ในระบบป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น แบบจำลองดังกล่าวจะไม่สามารถจำลองถึงลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ตามความเป็นจริงบางประการ เช่น การตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบแอคทีฟและแบบพาสสีฟ เป็นต้น

เพื่อที่จะพิจารณาถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลอง 4 สถานะ [5,17] ดังรูปที่ 2.5 ขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการพิจารณาประเภทการล้มเหลวของอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสมกว่าแบบจำลอง 2 สถานะ โดยที่แบบจำลอง 4 สถานะประกอบด้วยความล้มเหลวแบบพาสสีฟ ความล้มเหลวแบบแอคทีฟและการซ่อมบำรุงอุปกรณ์



รูปที่ 2.5 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์

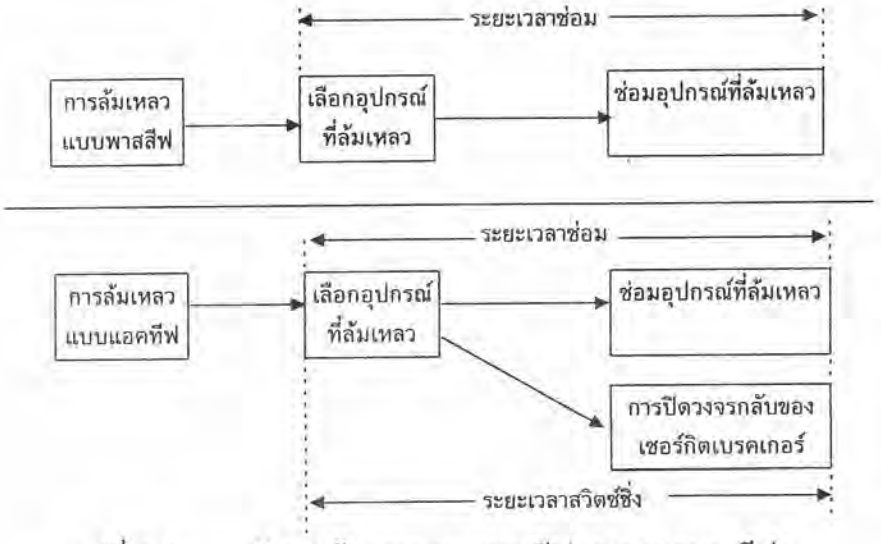
ความล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive Failure) เป็นความล้มเหลวหรือความขัดข้องของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำงานได้และไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่เหลือซึ่งยังทำงานได้ตามปกติ อุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวดังกล่าวสามารถทำให้ทำงานได้อีกโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ตัวที่เกิดการล้มเหลวนั้น ตัวอย่างเช่น การระเบิดของหม้อแปลง สายไฟขาด เป็นต้น

ความล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active Failure) เป็นความล้มเหลวของอุปกรณ์หรือความขัดข้องที่เป็นเหตุให้เกิดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆในเขตการป้องกันขั้นปฐมภูมิ (Primary zone) ที่อยู่รอบ ๆอุปกรณ์ที่ล้มเหลวหรือสาเหตุของข้อขัดข้องนั้น ในทางปฏิบัติหลังจากสามารถจัดการกับสาเหตุดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้วก็จะทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และส่วนที่ผิดปกติออกจากการใช้งานซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ล้มเหลวแบบแอคทีฟจะถูกแยกออกไปและเซอร์กิตเบรคเกอร์จะปิดวงจรกลับมาอีกครั้ง ทำให้การใช้งานทั้งหมดหรือบางส่วนกลับคืนมา จะสังเกตุได้ว่าอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้นจะกลับมาใช้งานได้อีกครั้งก็ต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนแปลงทดแทนด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การลัดวงจรแล้วทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจร เป็นต้น

จากหลักการข้างต้นสามารถอธิบายความแตกต่างของความล้มเหลวแบบพาสสีฟและแบบแอคทีฟได้ดีขึ้นด้วยแผนผังตามรูปที่ 2.6 เมื่อระยะเวลาซ่อม (Repair time) เป็นระยะเวลาซ่อมอุปกรณ์ที่ล้มเหลวหรือระยะเวลาที่เกิดการล้มเหลว คือเป็นช่วงเวลานับตั้งแต่เกิดการล้มเหลวจนถึงเวลาที่อุปกรณ์กลับมาใช้งานได้อีกครั้งโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ สำหรับระยะเวลาสวิตช์ชิ่ง (Switching time) นั้นเป็นระยะเวลาที่นับจากเริ่มเปิดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันหรือสวิตช์ตัดตอนเนื่องจากการขัดข้องจนกระทั่งทำการปิดวงจรกลับคืนได้สำเร็จ

แบบจำลอง 4 สถานะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อาจมีการล้มเหลวและการกลับคืนสู่การทำงานแบบต่าง ๆกัน หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองดังกล่าวกับการทำงานจริงของอุปกรณ์นั้นจะพบว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์จะทำงานในสถานะปกติคือ สถานะที่ 1 แล้วต่อมาอาจล้มเหลวแบบแอคทีฟ เช่น เกิดการลัดวงจร อุปกรณ์ทำงานเข้าสู่สถานะที่ 2 จากนั้นเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสามารถทำการสวิตชิงเพื่อนำอุปกรณ์ออกจากระบบซึ่งเปรียบเสมือนการเข้าสู่

สถานะที่ 3 แล้วจึงทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติในสถานะที่ 1 หรือบางกรณีจากการทำงานปกติในสถานะที่ 1 อุปกรณ์อาจเกิดการล้มเหลวแบบพาสสีฟ เช่น การเปิดวงจร ทำให้อุปกรณ์เข้าสู่สถานะที่ 3 หลังจากนั้นจึงซ่อมแซมให้กลับมาสู่สถานะที่ 1 อีกครั้ง หรือจากสถานะที่ 1 อาจมีการซ่อมบำรุงทำให้เข้าสู่สถานะที่ 4 หลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยจึงกลับเข้าสู่สถานะที่ 1 ตามเดิม



รูปที่ 2.6 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแบบแอคทีฟ

อุปกรณ์ต่าง ๆในระบบจำหน่ายอาจไม่จำเป็นต้องมีสถานะการทำงานครบทั้ง 4 สถานะตามแบบจำลองข้างต้น หากแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้น ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการนำแบบจำลอง 4 สถานะดังแสดงในรูปที่ 2.5 มาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานของสายไฟฟ้าและหม้อแปลง โดยไม่คำนึงถึงสถานะการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ในสถานะที่ 4 เนื่องจากในทางปฏิบัติ ระบบจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นแบบเรเดียลการวางแผนบำรุงรักษาอุปกรณ์โดยการดับไฟฟ้าจึงไม่ค่อยเกิดขึ้นเนื่องจากจะทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นเวลานาน อีกทั้งในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับซึ่งเมื่อมีการวางแผนซ่อมบำรุงอุปกรณ์จะต้องมีการแจ้งให้ผู้ใช้ไฟทราบถึงการดับไฟฟ้าทำให้ผู้ใช้ไฟมีความเสียหายของเนื่องจากไฟฟ้าดับลดลงหรือไม่มีเลย