การประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการมอนติคาร์โล

นายวิศนุพงษ์ เด่นไชยรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELIABILITY AND INTERRUPTED ENERGY RATE EVALUATION OF ELECTRICAL SYSTEMS USING MONTE CARLO METHOD

Mr. Witsanupong Denchairat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการมอนติคาร์โล
โดย	นายวิศนุพงษ์ เด่นไชยรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิศนุพงษ์ เด่นไชยรัตน์ : การประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (RELIABILITY AND INTERRUPTED ENERGY RATE EVALUATION OF ELECTRICAL SYSTEMS USING MONTE CARLO METHOD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์, 125 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบไฟฟ้าภายในอาคาร และได้คำนวณการลงทุนระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาภายใต้เงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ การจัดอันดับเทียร์ คือเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด ซึ่งการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับจะมีโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ทำให้การจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับมีความเชื่อถือได้ที่แตกต่างกัน โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลแบบวิธีสุ่มช่วงเวลาทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า มาวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม แล้วนำมาหาอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าดังกล่าว จากผลการศึกษายังสามารถนำมาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบระบบไฟฟ้าต่างๆ ในการลงทุน เพื่อความคุ้มค่าและเหมาะสมกับการความต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....

ปีการศึกษา 2558

5570380821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: RELIABILITY / INTERRUPTED ENERGY RATE / MONTE CARLO METHOD / TIER CLASSIFICATION

WITSANUPONG DENCHAIRAT: RELIABILITY AND INTERRUPTED ENERGY RATE EVALUATION OF ELECTRICAL SYSTEMS USING MONTE CARLO METHOD. ADVISOR: ASST. PROF. SOTDHIPONG PHICHAISAWAT, Ph.D., 125 pp.

This thesis presents reliable and interrupted energy rate evaluation for a low voltage power system in buildings and calculation of electrical power system investment for industrial factories based on Tier Classification.

Tier Classification is a benchmark which using for evaluate a power supply system for load. Each level of Tier Classification has different structures that make each level of Tier Classification has different reliability. This thesis evaluates a reliability index by the simulation of Monte Carlo with state duration sampling method for Industrial factory electrical power system analysis in industrial factories and brings out a result of the interrupted energy rate. This analysis can be used for comparision of electrical power systems with worth investment and suitable requirement.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2015		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

นอกจากนั้นขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์ และ ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยผลักดันและสนับสนุนในด้านการศึกษามาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ทุกๆท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจและให้การสนันสนุนมาโดยตลอดจบสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง.....ฏ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 4

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินการ..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเชื่อถือได้ ในระบบไฟฟ้ากำลัง 7

2.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 7

2.2 ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 8

2.3 การแบ่งระดับชั้นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 9

2.4 สรุป 13

บทที่ 3 หลักการเบื้องต้นของการจัดอันดับเทียร์ 14

3.1 ที่มาและความสำคัญของการจัดอันดับเทียร์..... 14

3.2 ประวัติของการจัดอันดับเทียร์..... 15

3.3 คำจำกัดความของการจัดอันดับเทียร์ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.4 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ 16
3.4.1 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1 (Tier 1) 16
3.4.2 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 2 (Tier 2) 17
3.4.3 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3) 18
3.4.4 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4) 20
3.5 สรุป 21
บทที่ 4 การวิเคราะห์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 22
4.1 ชนิดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 22
4.1.1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) 22
4.1.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) 22
4.1.3. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker: CB) 23
4.1.4. แผงสวิตช์ 23
4.1.5. เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible power supply: UPS) 24
4.1.6. เอทีเอส (Automatic transfer switch: ATS) 24
4.1.7. สายไฟฟ้า (Conductor) 25
4.1.8. อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าจากตู้แร็ค (Protocol data unit : PDU) 25
4.2 การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ 25
4.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ 27
4.3.1 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะ (Two-state model) 28
4.3.2 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 3 สถานะ (Three-state model) 28
4.3.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 4 สถานะ (Four-state model) 29
4.4 พิจารณาอุปกรณ์ในระบบที่มีเงื่อนไขพิเศษ 30
4.4.1 พิจารณาเงื่อนไขพิเศษสำหรับเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า 30

หน้า

4.4.2 พิจารณาเงื่อนไขพิเศษสำหรับเอทีเอส 36

4.5 การจำแนกประเภทความล้มเหลวของอุปกรณ์ 40

4.5.1 การล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive failures) 40

4.5.2 การล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failures) 40

4.6 สรุป 42

บทที่ 5 ทฤษฎี และหลักการที่ใช้ในการประเมินความน่าเชื่อถือได้ 43

5.1 การประเมินความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล 44

5.1.1 การสุ่มสถานะ (State sampling method) 44

5.1.2 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน (State duration sampling method) 45

5.1.3 การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ 48

5.2 เกณฑ์การหยุดการคำนวณ (Stopping criteria) 48

5.2.1 การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการทำงานไว้ที่ค่าหนึ่ง 48

5.2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์ 48

5.2.3 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 49

5.3 สรุป 50

บทที่ 6 การตรวจสอบความล้มเหลวและการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบ 51

6.1 การตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ 51

6.1.1 การตรวจหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Minimal path set) 51

6.1.1.1 วิธีเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ 52

6.1.1.2 วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปกลับมา 52

6.1.1.3 วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม 53

6.1.1.4 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม 54

6.1.1.5 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำสาขา 54

หน้า

6.2 การประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ 58
6.2.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด 59
6.2.1.1 อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย 59
6.2.1.2 ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ย 59
6.2.1.3 ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี 59
6.2.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า 60
6.2.2.1 ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย 60
6.2.2.2 ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย 61
6.2.2.3 ดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 61
6.2.2.4 ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 62
6.2.2.5 ดัชนีแสดงการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 62
6.2.2.6 ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 63
6.2.2.7 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า 63
6.2.2.8 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 64
6.2.2.9 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการจริงแต่ขาดหายไปในช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 รายโดยเฉลี่ย 64
6.3 สรุป 65
บทที่ 7 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้า 66
7.1 แบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า 66
7.1.1 แบบจำลองความเสียหายแยกตามโครงสร้างค่าไฟฟ้า 66
7.1.2 แบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟในนิคมอุตสาหกรรม 67
7.1.3 แบบจำลองความเสียหายตาม Thai Standard Industrial Classification (TSIC) 67

หน้า

7.1.4 แบบจำลองความเสียหายของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ 68
7.2 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted energy rate evaluation) 69
7.3 สรุป 70
บทที่ 8 การทดสอบวิเคราะห์ผลความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า........ 71
8.1 การประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า 73
8.1.1 ระบบทดสอบระบบที่ 1 75
8.1.2 ระบบทดสอบระบบที่ 2 83
8.1.3 ระบบทดสอบระบบที่ 3 90
8.1.4 ระบบทดสอบระบบที่ 4 97
8.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบ 104
8.2.1 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด 104
8.2.2 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า 114
8.2.3 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ 116
8.3 เปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนของระบบไฟฟ้า 117
บทที่ 9 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 118
9.1 สรุปผลการทดสอบ 118
9.2 ข้อเสนอแนะ 118
รายการอ้างอิง 120
ภาคผนวก 122
ภาคผนวก ก 123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 125

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลและข้อกำหนดของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ 21

ตารางที่ 7.1 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าตาม Thai Standard Industrial Classification (TSIC). 67

ตารางที่ 7.2 แบบจำลองตามฟังก์ชั่นความเสียหาย CCDF ในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง 68

ตารางที่ 7.3 แบบจำลองตามฟังก์ชั่นความเสียหาย CCDF ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมอภาค....69

ตารางที่ 8.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทดสอบ 74

ตารางที่ 8.2 รายละเอียดของโหลดในแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบ 75

ตารางที่ 8.3 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 1..............................78

ตารางที่ 8.4 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 1............................78

ตารางที่ 8.5 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 1 79

ตารางที่ 8.6 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 2..............................82

ตารางที่ 8.7 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 2............................82

ตารางที่ 8.8 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 2 83

ตารางที่ 8.9 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 3..............................86

ตารางที่ 8.10 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 3..........................86

ตารางที่ 8.11 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 3.........................87

ตารางที่ 8.12 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 4.............................90

ตารางที่ 8.13 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 4..........................90

ตารางที่ 8.14 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 4.........................91

ตารางที่ 8.15 มูลค่าการลงทุนของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบ 105

ตารางที่ ก ราคาประมาณการอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 123

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมกับความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าย่อย 3

ภาพที่ 2.1 การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 7

ภาพที่ 2.2 ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 8

ภาพที่ 2.3 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้ 10

ภาพที่ 2.4 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1 10

ภาพที่ 2.5 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 2 11

ภาพที่ 2.6 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 3 12

ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1 16

ภาพที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 2 17

ภาพที่ 3.3 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 18

ภาพที่ 3.4 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 20

ภาพที่ 4.1 ช่วงเวลาการทำงานปกติของอุปกรณ์ 25

ภาพที่ 4.2 การทำงานค่าสถานะการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 26

ภาพที่ 4.3 พารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ช่วงเวลาการทำงาน 27

ภาพที่ 4.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์ 28

ภาพที่ 4.5 แบบจำลอง 3 สถานะของอุปกรณ์ 29

ภาพที่ 4.6 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์ 29

ภาพที่ 4.7 ลักษณะการทำงานของยูพีเอส 31

ภาพที่ 4.8 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time เท่ากับ TTR. 32

ภาพที่ 4.9 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time มากกว่า TTR. 33

ภาพที่ 4.10 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time น้อยกว่า TTR. 35

ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาพที่ 4.12 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 37
ภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 38
ภาพที่ 4.14 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 39
ภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 39
ภาพที่ 4.16 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ 40
ภาพที่ 4.17 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแอคทีฟ 41
ภาพที่ 5.1 วิธีการสุ่มสถานการณ์ทำงานของแต่ละอุปกรณ์.. 44
ภาพที่ 5.2 ระบบตัวอย่างสำหรับวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน 46
ภาพที่ 5.3 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่เกิดจากการสุ่ม 47
ภาพที่ 5.4 ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน 50
ภาพที่ 6.1 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา...................................... 53
ภาพที่ 6.2 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน 53
ภาพที่ 6.3 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม 54
ภาพที่ 6.4 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางจากผู้มาก่อนของสาขา 55
ภาพที่ 6.5 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ... 56
ภาพที่ 6.6 แสดงขั้นตอนการหาเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้า.. 57
ภาพที่ 6.7 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า... 58
ภาพที่ 8.1 ขั้นตอนการประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ 71
ภาพที่ 8.2 แผนภาพเส้นเดียวของโรงงานอุตสาหกรรมที่นำมาทดสอบ 73
ภาพที่ 8.3 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 1 76
ภาพที่ 8.4 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบ
ระบบที่ 1... 77
ภาพที่ 8.5 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 79

หน้า

ภาพที่ 8.6 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 80
ภาพที่ 8.7 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 80
ภาพที่ 8.8 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 81
ภาพที่ 8.9 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 81
ภาพที่ 8.10 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 82
ภาพที่ 8.11 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 2 83
ภาพที่ 8.12 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบ ระบบที่ 2 84
ภาพที่ 8.13 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 86
ภาพที่ 8.14 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 87
ภาพที่ 8.15 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 87
ภาพที่ 8.16 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 88
ภาพที่ 8.17 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 88
ภาพที่ 8.18 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 89
ภาพที่ 8.19 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 3 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาพที่ 8.20 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบ
ระบบที่ 3 91
ภาพที่ 8.21 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 93
ภาพที่ 8.22 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 3
จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 94
ภาพที่ 8.23 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 3
จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 94
ภาพที่ 8.24 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 95
ภาพที่ 8.25 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 3
จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 95
ภาพที่ 8.26 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 3
จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 96
ภาพที่ 8.27 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 4 97
ภาพที่ 8.28 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบ
ระบบที่ 4 98
ภาพที่ 8.29 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 100
ภาพที่ 8.30 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 4
จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 101
ภาพที่ 8.31 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 4
จุดโหลดที่ 1 (LP.1) 101
ภาพที่ 8.32 การลู่เข้าของดัชนีการล้มเหลว ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 102
ภาพที่ 8.33 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 4
จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาพที่ 8.34 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 10 (LP.10) 103
ภาพที่ 8.35 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.1 104
ภาพที่ 8.36 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.1 104
ภาพที่ 8.37 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.2 105
ภาพที่ 8.38 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.2 105
ภาพที่ 8.39 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.3 106
ภาพที่ 8.40 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.3 106
ภาพที่ 8.41 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.4 107
ภาพที่ 8.42 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.4 107
ภาพที่ 8.43 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.5 108
ภาพที่ 8.44 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.5 108
ภาพที่ 8.45 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.6 109
ภาพที่ 8.46 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.6 109
ภาพที่ 8.47 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.7 110
ภาพที่ 8.48 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.7 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาพที่ 8.49 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.8 111
ภาพที่ 8.50 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.8 111
ภาพที่ 8.51 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.9 112
ภาพที่ 8.52 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.9 112
ภาพที่ 8.53 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.10 113
ภาพที่ 8.54 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.10 113
ภาพที่ 8.55 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI ทั้ง 4 ระบบ 114
ภาพที่ 8.56 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ASAI ทั้ง 4 ระบบ 115
ภาพที่ 8.57 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ENS ทั้ง 4 ระบบ 115
ภาพที่ 8.58 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ IER ทั้ง 4 ระบบ 116
ภาพที่ 8.59 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ ICPE ทั้ง 4 ระบบ 117

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ นอกจากนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาในแต่ละบทที่จะนำเสนอต่อไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น และเมื่อเศรษฐกิจของประเทศก็มากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องอยู่ในระดับสูงมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะองค์กร หน่อยงาน และอุตสาหกรรมสำคัญต่างๆ ของประเทศ เช่น หน่วยงานราชการ นิคมอุตสาหกรรม โรงงานต่างๆ โรงพยาบาล หน่วยงานทางการเงิน ซึ่งหากขาดพลังงานไฟฟ้าแม้เพียงชั่วขณะอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อองค์กรดังกล่าวเป็นอย่างมาก จากสาเหตุดังกล่าวทำให้การไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการไฟฟ้าฝ่ายผลิต(กฟผ) การไฟฟ้านครหลวง(กฟน) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ) จะต้องจัดหาและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ให้แก่ลูกค้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

นอกเหนือจากความน่าเชื่อถือได้ในการจัดหาและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากหน่วยงานการไฟฟ้าทั้ง 3 หน่วยงานแล้ว ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าของสถานที่ของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน การออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือได้ที่สูงก็จะช่วยลดปัญหาไฟฟ้าดับได้เป็นอย่างดี การออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือได้สูงนั้นจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูง โดยจะต้องเพิ่มอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือได้สูงเข้าสู่ระบบ เช่น เพิ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ยูพีเอส (UPS) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GENERATOR) หรือติดตั้งหม้อแปลงเพื่อรับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเพิ่ม เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าวการประเมินความเชื่อถือได้เชิงปริมาณ(Quantitative Reliability) [1]-[3] และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ(Interrupted Energy Rate) [3]-[5] จึงนำมาใช้เพื่อช่วยในการพิจารณาตัดสินใจในการออกแบบระบบและประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

การวิเคราะห์และประเมินความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังจะพิจารณาอยู่ 3 ระดับขั้น ได้แก่ ระดับขั้นที่ 1 พิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ระดับขั้นที่ 2 พิจารณารวมระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้า ระดับขั้นที่ 3 พิจารณาระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งในการประเมินความน่าเชื่อถือได้ของทั้ง 3 ระดับขั้นดังกล่าวนั้นอยู่ในส่วนความรับผิดชอบของการไฟฟ้าทั้งสิ้น ซึ่งหากจะพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจึงควรพิจารณาใน

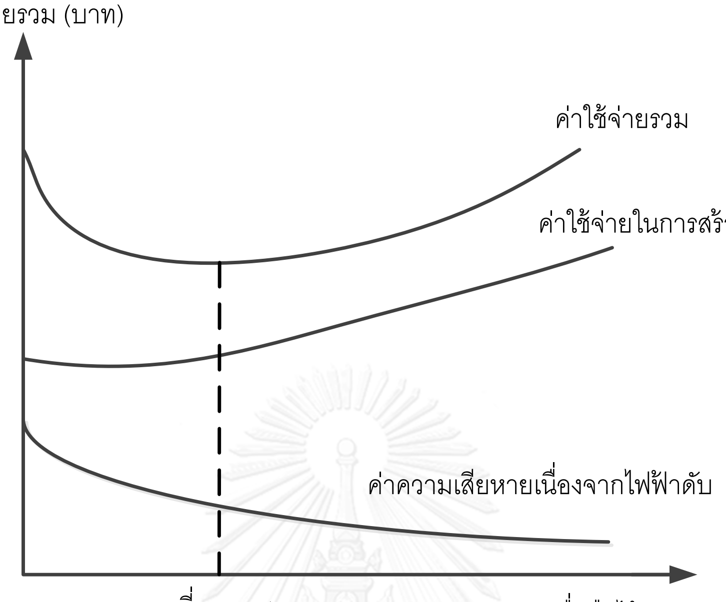
ส่วนของการออกแบบระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายนั้นๆ โดยพิจารณาในกรณีที่เป็นสถานที่ต่างๆ เช่น หน่วยงานราชการ นิคมอุตสาหกรรม โรงงานต่างๆ โรงพยาบาล หน่วยงานทางการเงิน ซึ่งความน่าเชื่อถือได้เป็นดัชนีที่บอกถึงความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดับขึ้นของระบบ โดยคำนวณมาจากค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ โดยอยู่รูปแบบของดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด (Load-point Reliability Indices) และดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer-oriented Indices) จากสถานที่ต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ในปัจจุบันล้วนมีการทำงานหรือเก็บข้อมูลต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดที่เป็นคอมพิวเตอร์มีความสำคัญมาก จึงได้มีการจัดอันดับบเทียร์ (Tier Classification) อันดับต่างๆ ขึ้นมาเพื่อเป็นข้อกำหนดให้แก่ระบบคอมพิวเตอร์

เทียร์(Tier) คือ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินระบบไฟฟ้าการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด โดยเป็นมาตรฐานที่บอกให้รู้ว่าระบบไฟฟ้าสำหรับสถานที่นั้นๆ มีประสิทธิภาพและมีความเน่าเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด การจัดอันดับเทียร์(Tier Classification) แบ่งระดับเกณฑ์มาตรฐานของระบบการจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดออกเป็น 4 ระดับ คือ เทียร์ระดับที่ 1 (Tier 1) เทียร์ระดับที่ 2 (Tier 2) เทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3) เทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4) โดยการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับนั้นอาจจะพิจารณาจากค่าความพร้อมมูล ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือได้เป็นต้น ทำให้โครงสร้างพื้นฐานของระบบการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้การเลือกใช้อาจจะพิจารณาความสำคัญของโหลดหรืออาจจะพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้งานของโหลด เป็นต้น

วิธีการประเมินความน่าเชื่อถือได้ [1], [3], [7] แบ่งออกเป็น 2 วิธีการหลัก คือ 1 วิธีการวิเคราะห์(Analytical Method) ซึ่งวิธีการแรกนี้จะอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของอุปกรณ์แล้วคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ โดยมีข้อดีคือให้ผลการประเมินที่มีความแม่นยำและใช้เวลาน้อยในการคำนวณ แต่มีข้อเสียคือ ข้อจำกัดในการประเมินระบบที่มีโครงสร้างการทำงานที่ซับซ้อน ส่วนวิธีการที่ 2 คือ วิธีการจำลองเหตุการณ์(Simulation Method) ซึ่งใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) เป็นการจำลองสถานการณ์ที่เป็นเหตุขัดข้องต่างๆ ของอุปกรณ์ในระบบ วิธีนี้มีความยืดยุ่นกว่าวิธีวิเคราะห์จึงสามารถประเมินระบบที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ(Interrupted Energy Rate) คือ ดัชนีที่คำนวณจากความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ(Outage Costs) [3]-[5] ซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายหรือมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับถูกสำรวจจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ โดยสถาบันวิจัยด้านพลังงานต่างๆ โดยสามารถนำความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับมาใช้คำนวณควบคู่กับดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบเพื่อประเมินเป็นอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ดังนั้นอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเป็นดัชนีที่บอกถึงมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับที่เกิดขึ้นจริงของระบบ การลดค่าความเสียหายดังกล่าวสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและความ

น่าเชื่อถือได้สูงเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบสูงขึ้นตามไปด้วย จากภาพที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงจุดที่ระบบมีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสมที่สุดนั้นค่าใช้จ่ายรวมจะมีค่าต่ำที่สุด



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมกับความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าย่อย

จากภาพที่ 1.1 จะเห็นว่าดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับสามารถใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ระบบได้ ซึ่งช่วยตัดสินใจในการออกแบบระบบไฟฟ้าและประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษาการประเมินระบบไฟฟ้าโดยใช้ดัชนีความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ โดยคำนวณดัชนีด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ (Monte carlo Simulation Method) และใช้การออกแบบระบบไฟฟ้าตามเงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าด้วยด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์
2) เพื่อศึกษาการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า
3) เพื่อศึกษามูลค่าการลงทุน ของการออกแบบระบบไฟฟ้า ภายใต้เงื่อนไขของการจัดอันดับเทียร์
4) เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ภายใต้เงื่อนไขของการจัดอันดับเทียร์

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) ทำการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า ภายใต้เงื่อนไขของการจัดอันดับเทียร์เท่านั้น
2) ศึกษาเฉพาะในสภาวะอยู่ตัวเท่านั้น (Steady-state Condition)
3) พิจารณาวิธีการประเมินความเชื่อถือได้โดยวิธีมอนติคาร์โลจำลองเหตุการณ์
4) พิจารณาจำลองสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบโดยใช้แบบจำลองสองสถานะ (Two-state model)
5) พิจารณาปัจจัยมูลค่าการลงทุนเริ่มต้นของระบบไฟฟ้า โดยพิจารณาจากมูลค่าของอุปกรณ์

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินการ

1) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการประเมินความเชื่อถือได้ (Reliability evaluation) และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการจัดอันดับเทียร์ และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่จะนำมาใช้ทดสอบ
5) ศึกษาการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
6) ทำการทดสอบระบบ วิเคราะห์ผลการทดสอบ และสรุปผล
7) เรียบเรียง พิมพ์ผลงานการวิจัย และจัดเข้าเล่มเพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถทำการประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า ของการจัดอันดับเทียร์ เพื่อช่วยตัดสินใจในการออกแบบระบบและประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน
2) สามารถประเมินความน่าเชื่อถือได้ของสถานที่ต่างๆ หรือสถานที่ๆ ต้องการความมั่งคงของระบบไฟฟ้าที่ดี เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล องค์กรหรือหน่วยงานเกี่ยวกับการเงินและทรัพย์สิน และหน่วยงานราชการ ได้อย่างเหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 9 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในบทต่อไป

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเชื่อถือได้ ในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งแสดงรายละเอียด 3 ประเด็นสำคัญ คือ 1) เรื่องแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 2) ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง และ 3) การแบ่งระดับชั้นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและหลักการเบื้องต้นของการจัดอันดับเทียร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ได้แก่ ที่มาและความสำคัญของการจัดอันดับเทียร์ ประวัติของการจัดอันดับเทียร์ คำจำกัดความของการจัดอันดับเทียร์ และมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการของการจัดอันดับเทียร์

บทที่ 4 นำเสนอการวิเคราะห์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วย 4 ประเด็นสำคัญ คือ 1) ชนิดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า 2) การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ 3) แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ 4) พิจารณาอุปกรณ์ในระบบที่มีเงื่อนไขพิเศษ และ 5) การจำแนกประเภทความล้มเหลวของอุปกรณ์

บทที่ 5 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วย 2 ประเด็นสำคัญ คือ 1) การประเมินความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล และ 2) การประเมินความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์

บทที่ 6 กล่าวถึงวิธีการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ได้แก่ วิธีการและขั้นตอนของการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ และวิธีการพิจารณาอุปกรณ์ที่มีการต่อแบบขนานกัน และยังจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

บทที่ 7 กล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังกล่าวถึงแบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (Customer damage function) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับที่สำรวจมาจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบบจำลองดังกล่าวถูกใช้ในการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ

บทที่ 8 บทนี้จะนำเสนอการทดสอบประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า โดยจะนำเสนอดัชนีและค่าต่างๆของระบบไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ รวมถึงเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพท์ที่ได้

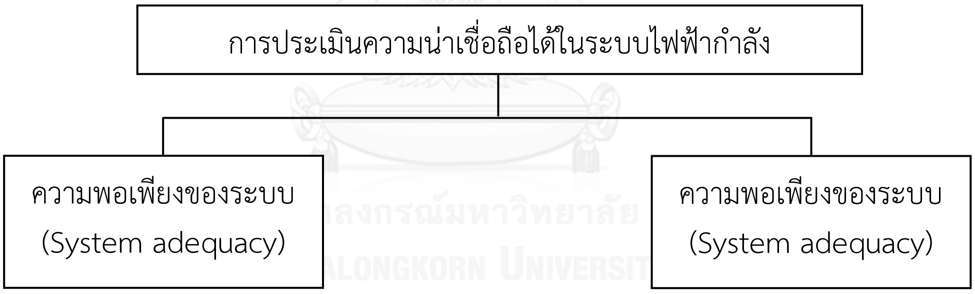
บทที่ 9 บทสรุปของวิทยานิพนธ์ และข้อเสนอแนะต่างๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในบทนี้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 2) ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 3) การแบ่งระดับชั้นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยรายละเอียดในส่วนต่างๆ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง [6]-[10]

ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึง ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังจุดโหลดได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้และอยู่ในระดับที่จุดโหลดต้องการ การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ความพอเพียงของระบบ (System adequacy) และ ความมั่นคงของระบบ (System security) แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

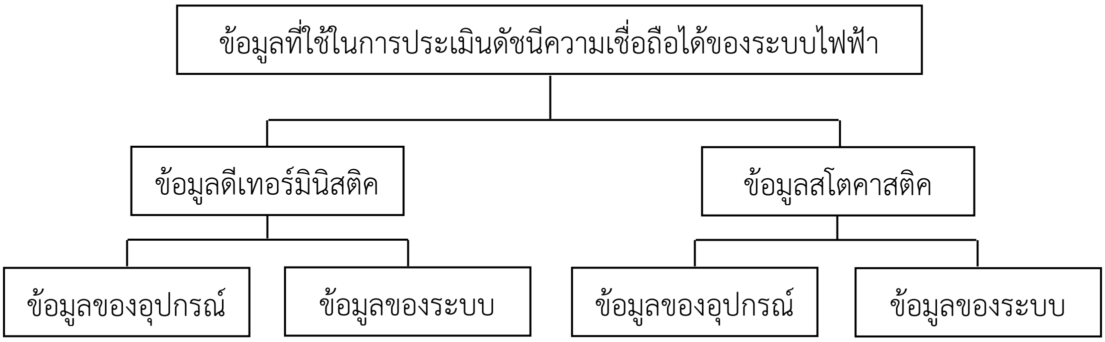
ความพอเพียงของระบบ (System adequacy) หมายถึง ความสามารถของระบบที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลด โดยที่อุปกรณ์ในระบบยังคงทำงานภายในพิกัดและมีระดับแรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด การศึกษาความเชื่อถือได้ในด้านความพอเพียงของระบบ เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state condition) เพื่อตรวจสอบปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้แบบจำลองระบบในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state network model) เช่น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load flow analysis) สำหรับปัญหาที่จะทำการตรวจสอบ ได้แก่ การมีกำลังผลิตไม่เพียงพอ (Insufficient generation) อุปกรณ์ในระบบส่งรับโหลดเกินพิกัด (Line overload) หรือปัญหาเกี่ยวกับระดับแรงดันที่บัสไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด (Voltage violation) เป็นต้น

ความมั่นคงของระบบ (System security) หมายถึง ความสามารถของระบบที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดที่เกิดขึ้นกับระบบ เช่น การเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบ หรือมีอุปกรณ์ในระบบเกิดขัดข้องทันทีทันใดโดยไม่ทราบล่วงหน้า เป็นต้น การศึกษาความเชื่อถือได้ในด้านความมั่นคงของระบบ เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะพลวัต (Dynamic condition) โดยใช้แบบจำลองพลวัต (Dynamic model) เพื่อที่จะตรวจสอบปัญหาที่อาจเกิดขึ้น โดยที่ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ ความไม่มีเสถียรภาพ (Instability) การเกิดโหลดเกินแบบต่อเนื่อง (Overload cascading) เป็นต้น อีกแง่มุมที่สำคัญของความมั่นคงของระบบ คือ ความคงสภาพไว้ของระบบ (Integrity) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการรักษาการเชื่อมต่อกันของระบบไว้เมื่อเกิดการรบกวนที่รุนแรงในระบบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงในส่วนของความพอเพียงของระบบเท่านั้น เนื่องจากศึกษาในส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พอเพียงต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบหรือจุดโหลดที่สนใจ

2.2 ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง [6]-[10]

การประเมินหรือการวิเคราะห์พฤติกรรมความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบเริ่มแพร่หลายตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1930 เป็นต้นมา เหตุผลที่การประเมินความเชื่อถือได้ไม่เป็นที่แพร่หลายในช่วงก่อนเวลาดังกล่าวก็คือ การขาดแคลนข้อมูล เหตุผลในด้านข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งยังมีประสิทธิภาพไม่สูงพอ และขาดเทคนิควิธีการประเมินค่าความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม แต่ในปัจจุบันข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้นั้นได้รับการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบมากขึ้น และเทคโนโลยีเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ก็มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เทคนิควิธีการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังจึงถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

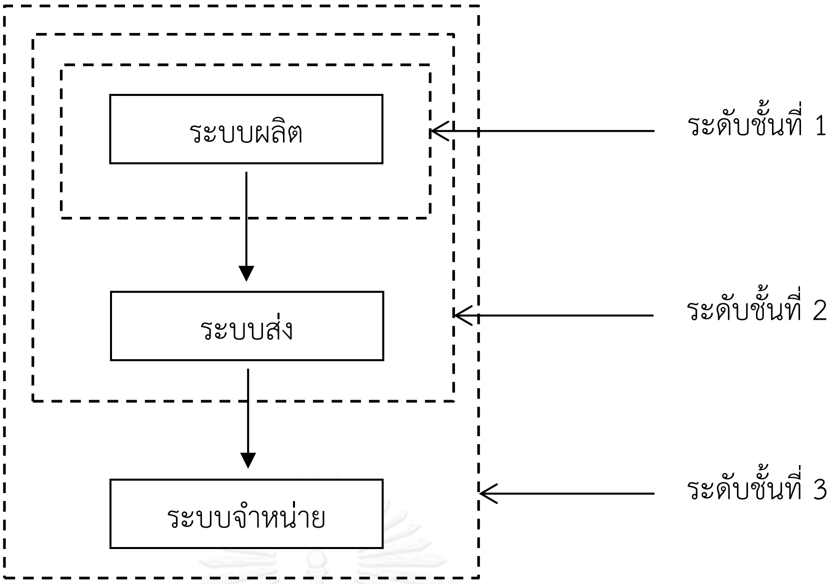
การจัดประเภทข้อมูลสำหรับใช้ประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ข้อมูลดีเทอร์มินิสติค (Deterministic data) คือ ข้อมูลที่ประกอบด้วยข้อมูลของอุปกรณ์ (Component data) และข้อมูลของระบบ (System data) ซึ่งข้อมูลของอุปกรณ์เป็นข้อมูลที่สอดคล้องกับคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์แต่ละชนิด เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าความนำไฟฟ้า (Susceptance) ของสายส่ง ตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งค่าที่กล่าวมาข้างต้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อยู่ทั่วไปแล้วในการคำนวณทางวิศวกรรม สำหรับข้อมูลของระบบเป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายผลตอบสนองของระบบและวิธีการแก้ไข (Remedial action) ภายใต้เหตุการณ์การเกิดเหตุขัดข้อง ตัวอย่างเช่น มีสายส่ง 2 สายส่งเดินขนานกันหากมีเส้นใดเส้นหนึ่งเกิดเหตุขัดข้องแล้ว จะมีวิธีการจัดการกับการรับโหลดของสายส่งที่เหลืออย่างไร อาจจะตัดสายส่งเส้นนั้นออกจากระบบไปหรือว่าปล่อยให้ทำงานต่อไปในภาวะโหลดเกินหรือว่ามีวิธีการแก้ไขอื่นๆ ที่จะจัดการเพื่อรักษาการทำงานของระบบโดยรวมให้สามารถทำงานต่อไปได้

ข้อมูลสโตคาสติค (Stochastic data) ข้อมูลประเภทนี้เป็นข้อมูลของตัวแปรสุ่ม (Random variable) ซึ่งจะใช้ในการจำลองพฤติกรรมหรือความน่าจะเป็นของอุปกรณ์สำหรับสถานการณ์การทำงานที่แตกต่างกัน โดยมีค่าที่ไม่แน่นอน สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทเช่นเดียวกับข้อมูลดีเทอร์มินิสติค โดยข้อมูลของอุปกรณ์ (Component data) ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับโอกาสที่อาจจะเกิดการขัดข้อง (Failure parameter) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ (Repair parameter) เป็นต้น สำหรับข้อมูลของระบบ (System data) ได้แก่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกรณีการเกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ภายในระบบตั้งแต่ 2 อุปกรณ์ขึ้นไป เป็นต้น

2.3 การแบ่งระดับชั้นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง [6]-[10]

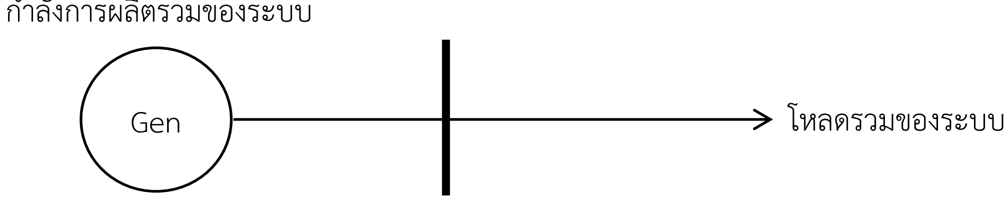
โดยทั่วไปสามารถจำแนกหน้าที่การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย ดังนั้นการศึกษาความเชื่อถือได้จึงสามารถแบ่งระดับชั้นในการศึกษาได้ 3 ระดับเช่นกัน แสดงได้ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้

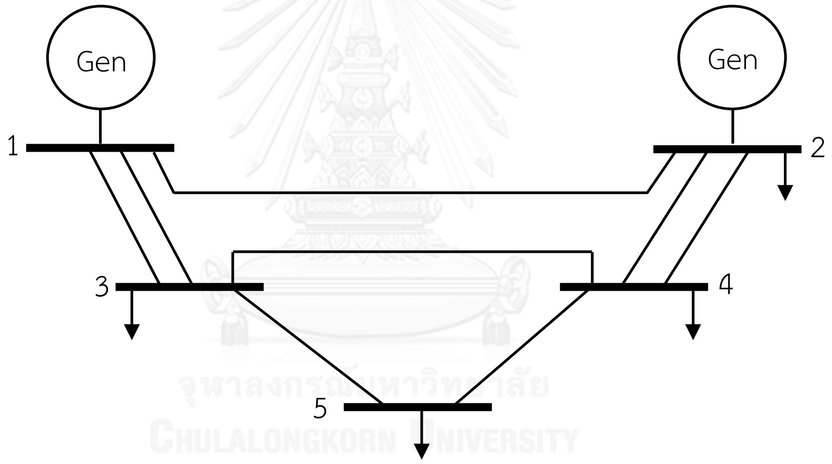
จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าการการศึกษาความเชื่อถือได้ในระดับที่ 1 นั้นจะศึกษาเฉพาะระบบผลิต และระดับที่ 2 เป็นการศึกษาระบบผลิตและระบบส่งรวมเข้าด้วยกัน ส่วนระดับที่ 3 จะศึกษารวมทั้งระบบผลิต ระบบส่งและระบบจำหน่ายรวมเข้าด้วยกันทั้งหมด

ระดับที่ 1 (Hierarchical level one: HL 1) เป็นการพิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยเป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นการหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบอันเป็นผลเนื่องจากสถานะของการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้กำลังการผลิตรวมของระบบไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด ในการสร้างแบบจำลองจะพิจารณารายละเอียดเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแบบจำลองความต้องการไฟฟ้า ดังนั้น เราจึงสามารถทำการจำลองระบบสำหรับประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1 แสดงได้ดังภาพที่ 2.4



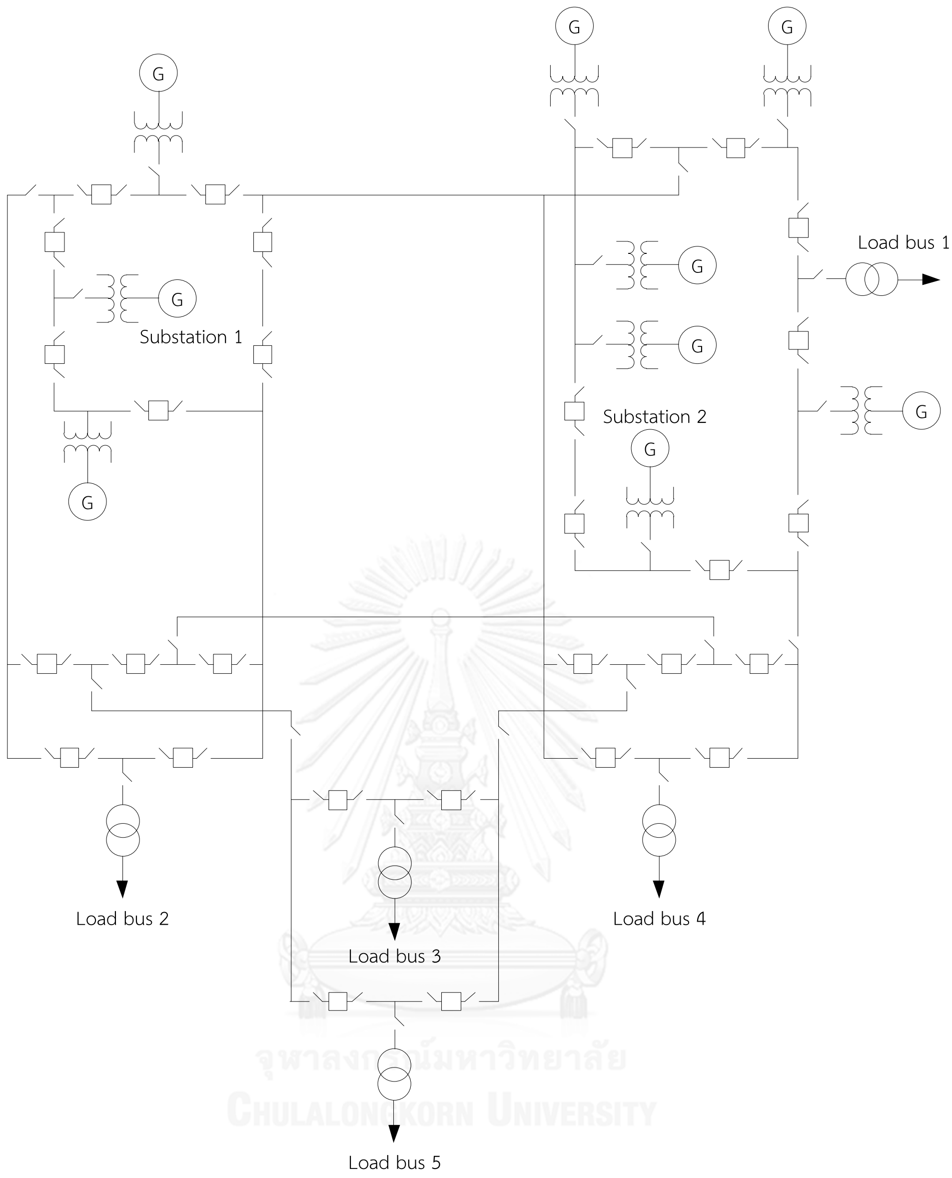
ภาพที่ 2.4 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1

ระดับที่ 2 (Hierarchical level two : HL 2) เป็นการพิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้า และระบบส่งไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยจะเรียกว่าระบบไฟฟ้าผสม (Composite system) หรือระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (Bulk power system) ซึ่งจะรวมผลของแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระดับชั้นที่ 1 เข้ากับแบบจำลองระบบส่ง และรวมถึงหม้อแปลงไฟฟ้าตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ จากนั้นใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบสามารถจ่ายให้กับโหลดบัสต่างๆ ในแต่ละสถานะของการเกิดเหตุขัดข้อง โดยปัญหาหลักที่เราจะพิจารณาในส่วนนี้จะประกอบด้วย ปัญหากำลังการผลิตในสถานะของการเกิดเหตุขัดข้องนั้นไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดบัสต่างๆ ในระบบ ปัญหาสายส่งรับกำลังเกิน และปัญหาระดับแรงดันในระบบ โดยหากระบบไฟฟ้ากำลังเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น วิธีการจัดสรรกำลังการผลิต และการตัดโหลด (Generation rescheduling and load shedding) จะถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหา ตัวอย่างของระบบที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 2 แสดงได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 2

ระดับที่ 3 (Hierarchical level three: HL 3) เป็นการพิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งหากวิเคราะห์โดยละเอียดจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราจึงทำการวิเคราะห์ในส่วนของระบบจำหน่าย แต่จะนำผลของดัชนีความเชื่อถือได้ที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ จากการคำนวณในระดับ HL 2 มาใช้วิเคราะห์ร่วมด้วย ในระดับนี้จะพิจารณาความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสต่างๆ ในภาพแบบของ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า ตัวอย่างของระบบที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 3 แสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองของระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 3

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่รับกำลังไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายอยู่ในระดับ HL 3 ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้านั้นพิจารณาถึงการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในระบบ การเชื่อมต่อกันและระดับความน่าเชื่อได้ของอุปกรณ์ และพิจารณารวมถึงดัชนีความน่าเชื่อได้ในส่วนของระดับ HL3 โดยกำหนดให้เป็นระบบจากการไฟฟ้า (Utility) โดยจะประเมินที่จุดโหลดต่างๆ ในระบบในรูปแบบของดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดและดัชนีน่าเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้าเช่นเดียวกับระดับ HL3

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเชื่อถือได้ ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยอธิบายถึงแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ความพอเพียงของระบบ (System adequacy) ความมั่นคงของระบบ (System security) ต่อมาอธิบายถึงข้อมูลสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยที่ประเภทข้อมูลสำหรับใช้ประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลดีเทอร์มินิสติค (Deterministic data) และ ข้อมูลสโตคาสติค (Stochastic data) สุดท้ายอธิบายถึงการแบ่งระดับชั้นของการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งแบ่งได้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 (Hierarchical level one: HL 1) ระดับที่ 2 (Hierarchical level two : HL 2) และ ระดับที่ 3 (Hierarchical level three: HL 3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
หลักการเบื้องต้นของการจัดอันดับเทียร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและหลักการเบื้องต้นของการจัดอันดับเทียร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ได้แก่ ที่มาและความสำคัญของการจัดอันดับเทียร์ ประวัติของการจัดอันดับเทียร์ คำจำกัดความของการจัดอันดับเทียร์ และมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการของการจัดอันดับเทียร์

3.1 ที่มาและความสำคัญของการจัดอันดับเทียร์ [9], [11], [12]

เทียร์ (Tier) คือ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด โดยเป็นมาตรฐานที่บอกให้รู้ว่าระบบไฟฟ้าสำหรับสถานที่ดังกล่าวนั้นมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด

การจัดอันดับเทียร์ (Tier Classification) คือ การจัดแบ่งระดับเกณฑ์มาตรฐานของระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด โดยตามมาตรฐานสามารถแบ่งการจัดอันดับเทียร์ออกได้เป็น 4 ระดับด้วยกัน คือ การจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1 (Tier 1), การจัดอับดับเทียร์ระดับที่ 2 (Tier 2), การจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3) และการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4) โดยการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับนั้นอาจจะพิจารณาจากค่าความพร้อมมูล ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือ เป็นต้น ทำให้โครงสร้างพื้นฐานของระบบการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับมีความแตกต่างกัน โดยผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม เช่น อาจพิจารณาจากความสำคัญของโหลดหรืออาจพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้งานของโหลด เป็นต้น

สถาบันอัพไทม์ (Uptime Institute) คือ สถาบันที่เป็นผู้จัดตั้งกฎเกณฑ์และมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ (Tier Classification Standard) ขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการกำหนดลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของการออกแบบระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีค่าความน่าเชื่อถือที่ต้องการ และยังสามารถนำไปใช้พัฒนาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศและระบบศูนย์กลางข้อมูลขององค์กรต่างๆ โดยโหลดที่จะทำการพิจารณาเป็นหลัก ได้แก่ คอมพิวเตอร์ (Computer) โดยมาตรฐานดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อปี 1965 และได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายจากอุตสาหกรรมโดยทั่วไป และองค์กรหรือบริษัทต่างๆ ที่ส่วนมากจะใช้อุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหว (Sensitive equipment) เช่น คอมพิวเตอร์ในการทำงานเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ประวัติของการจัดอันดับเทียร์ [9], [11], [12]

สถาบันอัพไทม์ (Uptime Institute) ได้กำหนดการจัดอันดับของเทียร์ออกเป็น 4 ระดับด้วยกัน โดยแบ่งตามความความพร้อมมูลของโครงสร้างพื้นฐาน โดยที่การจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1 (Tier 1) ปรากฏครั้งแรกในช่วงต้นปี 1965 โดยมีค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลักต้องไม่ต่ำกว่า 99.67% ต่อมาได้มีการพัฒนาแนวความคิดที่จะสร้างระบบที่มีการกระจายพลังงานไฟฟ้าและมีค่าความพร้อมมูลของโครงสร้างพื้นฐานที่ดีขึ้น ดังนั้น จึงได้เกิดการจัดตั้งระบบการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3) และระบบการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4) ขึ้นในปี 1985 และ 1995 ตามลำดับ

ระบบการจัดอับดับเทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3) และระบบการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4) นั้นต้องการแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เป็นอิสระต่อกันอย่างน้อย 2 ระบบ ทำให้ระบบทั้งสองมีค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลักที่ดีขึ้น ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้น โดยต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 99.98% และ 99.99% ตามลำดับ

3.3 คำจำกัดความของการจัดอันดับเทียร์ [9], [11], [12]

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นคำกว้างๆ ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศทั้งหมด รวมถึงเซอร์เวอร์ เครือข่าย และส่วนประกอบในเทคโนโลยีสารสนเทศอื่นๆ

ความสามารถที่ทดแทนกันได้ของอุปกรณ์ คือ ส่วนประกอบต่างๆ ที่นอกเหนือจากส่วนประกอบหลักของโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานทดแทนกันได้ในกรณีที่อุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดเหตุขัดข้องหรือเกิดการล้มเหลวขึ้นโดยไม่ทำให้ระบบเกิดการล้มเหลว หรืออาจกล่าวได้ว่า การมีอุปกรณ์สำรองนั่นเอง ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความสามารถที่ทดแทนกันได้ของอุปกรณ์มีดังนี้ N+1 หมายถึง การมีอุปกรณ์สำรองจำนวน 1 อุปกรณ์และสัญลักษณ์ N+2 หมายถึง การมีอุปกรณ์สำรองจำนวน 2 อุปกรณ์ เป็นต้น

ความสามารถในการใช้งานได้ คือ ค่าความสามารถขออุปกรณ์ตัวหนึ่งๆ ที่สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดเหตุขัดข้องหรือเกิดการล้มเหลวขึ้น โดยสาเหตุของการล้มเหลวของอุปกรณ์อาจเกิดจากหลายประการ เช่น ความผิดพลาดจากการติดตั้งอุปกรณ์ หรือการใช้งานอุปกรณ์เป็นระยะเวลานานเกินไปโดยไม่มีการซ่อมบำรุง เป็นต้น

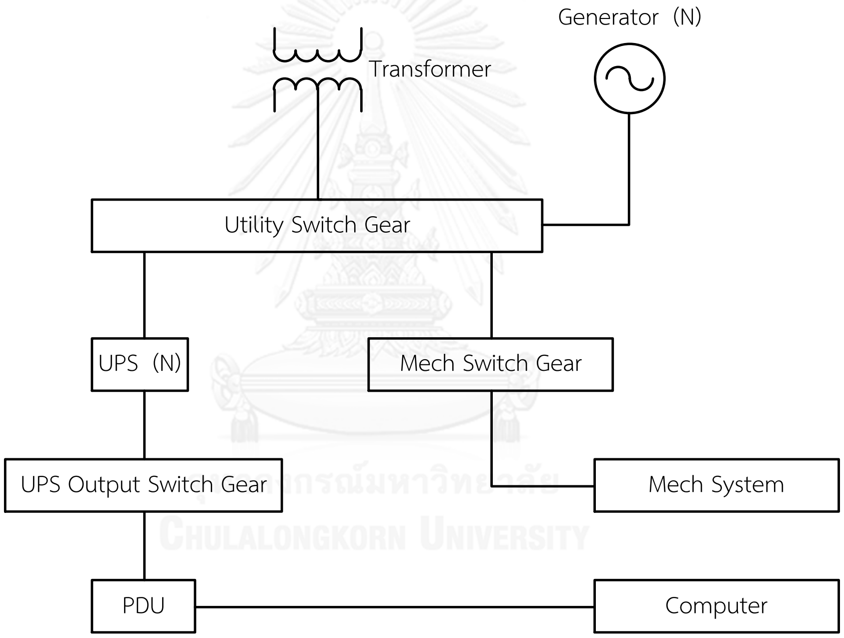
การทนต่อความผิดพลาด คือระบบที่ยังคงสามารถทำงานในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องหรือความผิดพร่องขึ้นกับอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งโดยไม่คาดคิด หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ยังคงสามารถทำงานได้หรือไม่ได้รับผลกระทบในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องขึ้นกับอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งภายในระบบ

ความสามารถในการซ่อมบำรุงร่วมกัน คือ ความสามารถที่จะทำการซ่อมบำรุงระบบหรืออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งภายในระบบได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโหลดหรือส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์

3.4 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ [9], [11]-[13]

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า การจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับจะมีลักษณะที่แตกต่างกันโดยรายละเอียดของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1 (Tier 1)



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 1

<u>ข้อกำหนดทางโครงสร้างพื้นฐาน</u>

- มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระเพียงแหล่งเดียว
- ไม่มีอุปกรณ์ทดแทนหรืออุปกรณ์สำรองในกรณีที่อุปกรณ์เกิดการล้มเหลวหรือเกิดเหตุขัดข้องขึ้น เช่น เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)
- ค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลัก (คอมพิวเตอร์) ต้องไม่ต่ำกว่า 99.67%

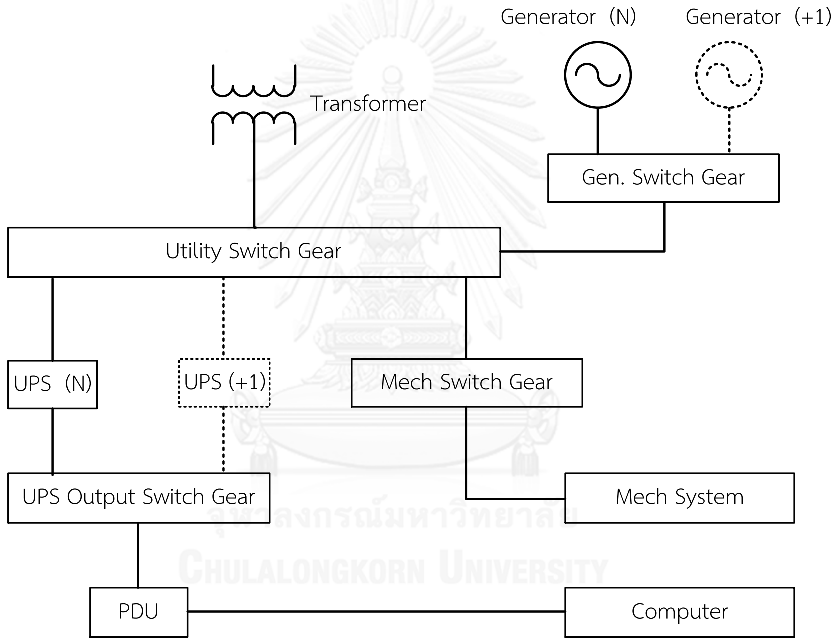
<u>ผลการทดสอบระบบเบื้องต้น</u>

- ความผิดพลาดของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบใดๆ ในระบบจะส่งผลกระทบทั้งระบบ

<u>ผลกระทบในการปฏิบัติงาน</u>

- ถ้าหากเกิดความผิดพลาดขึ้นที่ส่วนใดของระบบก็ตามจะทำให้ระบบเกิดการล้มเหลว
- ถ้าหากต้องการที่จะทำการซ่อมบำรุงระบบจะต้องทำการปิดระบบทั้งระบบ
- การทำงานของสัญญาณเตือนเมื่อเกิดไฟไหม้ อุปกรณ์การดับไฟ หรือการตัดการทำงานยามฉุกเฉิน อาจจะทำให้เกิดความขัดข้องแก่โหลดได้

3.4.2 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 2 (Tier 2)



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระบบที่ 2

<u>ข้อกำหนดทางโครงสร้างพื้นฐาน</u>

- มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระเพียงแหล่งเดียว
- มีอุปกรณ์ทดแทนหรืออุปกรณ์สำรองในกรณีที่อุปกรณ์เกิดการล้มเหลวหรือเกิดเหตุขัดข้อง เช่น เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible power supply : UPS), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)
- ค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลัก (คอมพิวเตอร์) ต้องไม่ต่ำกว่า 99.75%

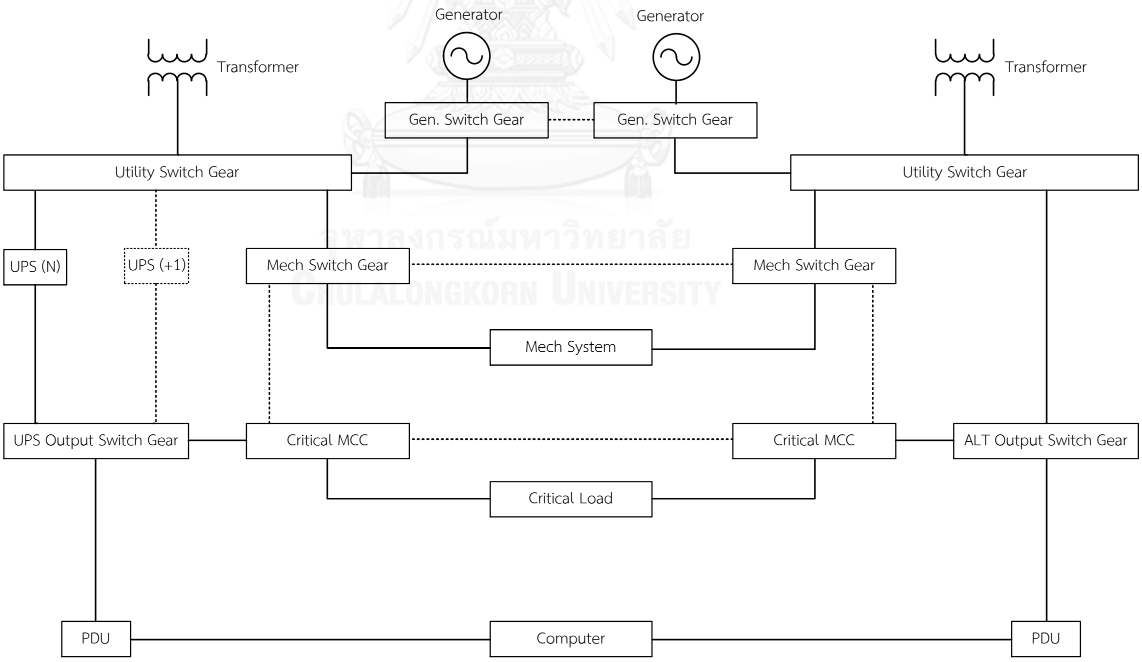
<u>ผลการทดสอบระบบเบื้องต้น</u>

- ความผิดพลาดของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบใดๆ ในระบบจะส่งผลกระทบต่อระบบทั้งระบบ คือ ระบบจะเกิดเหตุขัดข้องหรือล้มเหลวนั่นเอง ยกเว้นแต่กรณีที่ เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เกิดเหตุขัดข้องขึ้นระบบจะไม่ล้มเหลว เพราะมีสำรองอยู่

<u>ผลกระทบในการปฏิบัติงาน</u>

- ระบบนี้มีความไวต่อการขัดข้องจากทั้งการทำงานหรือจากความผิดพลาดของระบบ คือ ถ้าหากความผิดพลาดขึ้นที่ส่วนใดของระบบก็ตามจะทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวเพราะมีอุปกรณ์สำรองอยู่
- ถ้าหากต้องการที่จะทำการซ่อมบำรุงระบบจะต้องทำการปิดระบบทั้งระบบ
- การทำงานของสัญญาณเตือนเมื่อเกิดไฟไหม้ อุปกรณ์การดับไฟ หรือการตัดการทำงานยามฉุกเฉิน อาจจะทำให้เกิดความขัดข้องแก่โหลดได้

3.4.3 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 (Tier 3)



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3

<u>ข้อกำหนดทางโครงสร้างพื้นฐาน</u>

- มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ 2 แหล่ง
- แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ 2 แหล่ง สามารถทดแทนกันได้ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระแหล่งใดแหล่งหนึ่งเกิดการขัดข้องขึ้น ระบบก็จะไม่เกิดการล้มเหลว
- ค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลัก (คอมพิวเตอร์) ต้องไม่ต่ำกว่า 99.98%

<u>ผลการทดสอบระบบเบื้องต้น</u>

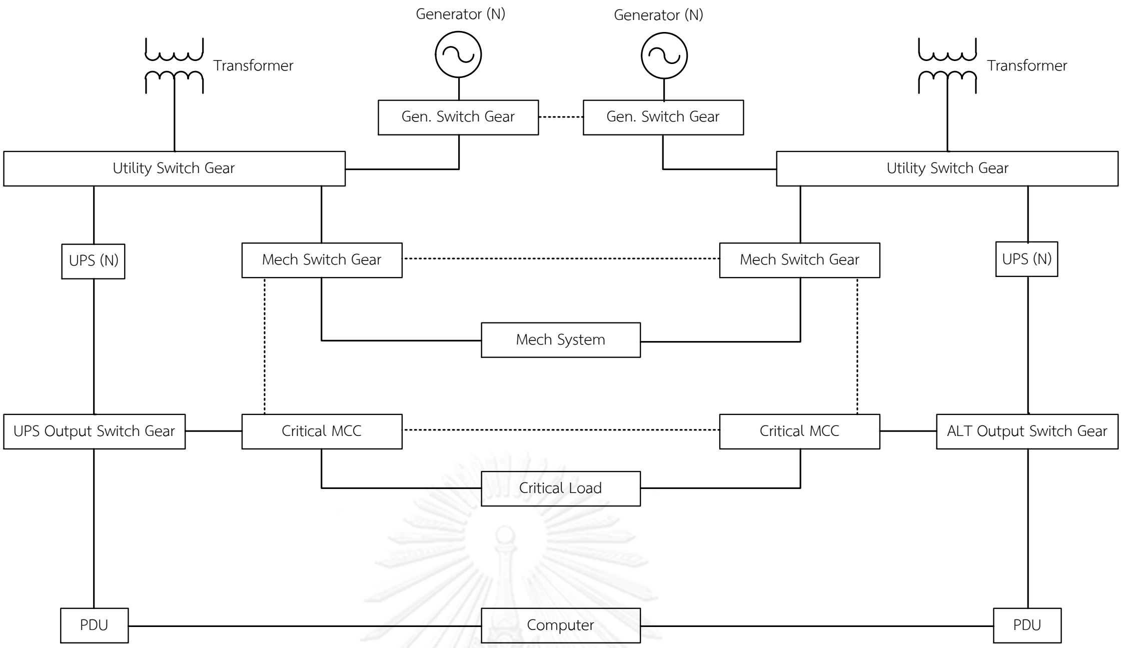
- ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดที่ร้ายแรงหรือที่ไม่นอกเหนือจากที่คาดการณ์ไว้ขึ้นกับระบบ อาจจะไม่ส่งผลให้โหลดเกิดการล้มเหลว
- อุปกรณ์แต่ละตัวหากเกิดความผิดพลาดขึ้นหรือต้องการที่จะซ่อมบำรุงอุปกรณ์ตัวนั้นๆ จะสามารถทำได้โดยอาจจะไม่ส่งผลกระทบต่อโหลด

<u>ผลกระทบในการปฏิบัติงาน</u>

- ระบบนี้จะมีผลต่อการขัดข้องในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดอย่างเดียวที่นอกเหนือจากที่ได้เตรียมการไว้ล่วงหน้า
- การซ่อมบำรุงสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโหลด เพราะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระให้แก่โหลด 2 แหล่งจ่าย
- การทำงานของสัญญาณเตือนเมื่อเกิดไฟไหม้ อุปกรณ์การดับไฟ หรือการตัดการทำงานยามฉุกเฉิน อาจจะทำให้เกิดความขัดข้องแก่โหลดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.4 มาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4 (Tier 4)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างพื้นฐานของการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 4

ข้อกำหนดโครงสร้างพื้นฐาน

- มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ 2 แหล่ง
- แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ 2 แหล่ง สามารถทดแทนกันได้ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระแหล่งใดแหล่งหนึ่งเกิดการขัดข้อง ระบบจะไม่เกิดการล้มเหลว
- ค่าความพร้อมมูลของจุดโหลดหลัก (คอมพิวเตอร์) ต้องไม่ต่ำกว่า 99.99%

ผลการทดสอบระบบเบื้องต้น

- ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดที่ร้ายแรงหรือที่ไม่นอกเหนือจากที่คาดการณ์ไว้ขึ้นกับระบบจะไม่ส่งผลให้โหลดเกิดการล้มเหลว
- อุปกรณ์แต่ละตัวหากเกิดการผิดพลาดขึ้นหรือต้องการที่จะซ่อมบำรุงอุปกรณ์ตัวนั้นๆ จะสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโหลด

ผลกระทบในการปฏิบัติงาน

- ระบบนี้จะมีผลต่อการขัดข้องในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดอย่างเดียวที่นอกเหนือจากที่ได้เตรียมการไว้ล่วงหน้า
- การซ่อมบำรุงสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโหลด
- การทำงานของสัญญาณเตือนเมื่อเกิดไฟไหม้ อุปกรณ์การดับไฟ หรือการตัดการทำงานยามฉุกเฉิน อาจจะทำให้เกิดความขัดข้องแก่โหลดได้

จากมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ทั้ง 4 ระดับที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถสรุปเปรียบเทียบข้อมูลและข้อกำหนดของการจัดอันดับเทียร์ในแต่ระดับดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลและข้อกำหนดของการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ

ข้อมูลและข้อกำหนด	เทียร์ระดับที่			
	1	2	3	4
ปีที่นำมาใช้ครั้งแรก	1965	1970	1985	1995
แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	ระบบ	ระบบ	ระบบ+ระบบ	ระบบ+ระบบ
เส้นทางการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า	1	1	ทำงานได้สองทางพร้อมๆ กัน	ทำงานได้สองทางพร้อมๆ กัน
ความสามารถในการซ่อมบำรุงร่วมกันได้	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี
ความทนต่อความผิดพลาด (เหตุการณ์เดียว)	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี
ช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาดต่อปี (ชั่วโมงต่อปี)	28.8	22.0	1.6	0.8
ความพร้อมมูล ต้องไม่ต่ำกว่า	99.67%	99.75%	99.98%	99.99%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอที่มาความสำคัญ และประวัติของการจัดอันดับเทียร์ โดยอธิบายถึงผู้ก่อตั้งกฎเกณฑ์และมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ รวมถึงคำจำกัดความของการจัดอันดับเทียร์ และสุดท้ายนำเสนอมาตรฐานของการจัดอันดับเทียร์ทั้ง 4 ระดับ และได้นำมาเปรียบเทียบข้อมูลและข้อกำหนดต่างๆ ของการจัดอันดับเทียร์ทั้ง 4 ระดับเพื่อให้เห็นเช็ดเจนขึ้น

บทที่ 4
การวิเคราะห์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงหน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้า รวมถึงแบบจำลองสภาวะการทำงานของอุปกรณ์

4.1 ชนิดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์หลักๆ ในระบบไฟฟ้ามีหน้าที่และการทำงานดังต่อไปนี้

4.1.1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) [14]

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับปรับระดับแรงดันไฟฟ้าจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า หม้อแปลงที่ใช้ในที่นี้เป็นหม้อแปลงที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าจากระบบแรงดันปานกลาง (Medium voltage system) เป็นระบบแรงดันต่ำ (Low voltage system) ซึ่งทั่วไปเรียกว่าหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformer) โดยปกติหม้อแปลงจำหน่ายจะถูกเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนและระบายความร้อน ซึ่งปัจจุบันมี 2 แบบ คือ

หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-immersed transformer) โดยของเหลวที่นิยมใช้เป็นฉนวนและตัวระบายความร้อน คือ น้ำมันหม้อแปลง (Mineral Oil) หรือของเหลวที่ติดไฟยากหรือไม่สามารถติดไฟได้ (Less-Flammable or Non-Flammable liquid) หม้อแปลงน้ำมันนั้น (Oil-type Transformers) นิยมใช้กันมากกับงานภายนอกอาคารเนื่องจากมีราคาถูกและไม่นิยมติดตั้งภายในอาคารเพราะน้ำมันสามารถติดไฟได้ ส่วนหม้อแปลงแบบใช้ของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-insulated Transformer) โดยทั่วไปใช้สารซิลิโคน (Silicone) เป็นฉนวน ซึ่งจุดติดไฟยากและไม่เป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม หม้อแปลงชนิดนี้จึงถูกอนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้

หม้อแปลงแบบแห้ง (Dry-type transformer) หม้อแปลงชนิดนี้นิยมใช้สารเรซิน (Resin) ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟยากเป็นฉนวนและตัวระบายความร้อน โดยการอัดสารเรซินไว้ระหว่างขดลวดของหม้อแปลง ดังนั้นจึงเรียกหม้อแปลงชนิดนี้ว่า หม้อแปลงคาสท์เรซิน (Cast Resin Transformer) หม้อแปลงชนิดนี้นิยมติดตั้งภายในอาคารเนื่องจากมีความปลอดภัยจากอันตรายที่เกิดจากการระเบิดเนื่องจากน้ำมันของหม้อแปลงน้ำมัน โดยทั่วไปหม้อแปลงชนิดนี้ใช้ระบบพัดลมในการป้องกันความร้อนเกินสำหรับขดลวด

4.1.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [14]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กก็จะได้พลังงานไฟฟ้าออกมา ชุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator set) ประกอบด้วยตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และรวมถึงเครื่องต้นกำลัง (Engine prime mover) แผงควบคุม (Control panel) และสวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer switch) เครื่องต้นกำลังที่ใช้ในที่นี่มีหลายชนิด เช่น เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine) หรือเครื่องยนต์กังหันแก๊ส (Gas turbine) หรือเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นต้น ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกใช้เมื่อระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ เกิดขัดข้อง หรือถูกใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ เพื่อจ่ายในช่วง Peak-load ซึ่งช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบไฟฟ้า

4.1.3. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker: CB) [14]

เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้าในภาวะปกติ และจะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดภาวะผิดปกติอันเนื่องมาจากการใช้กำลังเกิน (Overload) หรือการลัดวงจร (Short circuit) หลังจากแก้ไขสิ่งผิดปกติเรียบร้อยแล้วจะสามารถสับสวิตช์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดอีกครั้ง เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะภายนอกและการใช้งานดังนี้

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบโมลด์เคส (Molded case circuit breaker: MCCB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บริภัณฑ์ตรวจจับและตัดต่ออยู่ภายในโครงกรอบที่ทำด้วยวัสดุฉนวนซึ่งสามารถป้องกันอาร์กและความร้อน และทนต่อแรงทางกลได้ ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา เนื่องจากความชื้น ฝุ่นและวัสดุแปลกปลอมเข้าถึงอุปกรณ์ที่อยู่ในโครงกรอบได้ยาก

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบแอร์ (Air circuit breaker: ACB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ดับอาร์กไฟฟ้าในอากาศ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่และติดตั้งอย่างเปิดโล่งเห็นได้ชัดเจน ACB มีบริภัณฑ์และกลไกอยู่เป็นจำนวนมากและสามารถเพิ่มเติมบริภัณฑ์เข้าไปได้อย่างสะดวก โดย ACB สามารถแบ่งชนิดตามการติดตั้งได้ 2 ชนิดคือ

1. แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type) ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์จะยึดติดกับวงจรหลัก โดยยึดติดด้วยสกรูอย่างแข็งแรง เวลาถอดออกเพื่อบำรุงจะต้องดับไฟและใช้เวลามาก

2. แบบดึงออกได้ (Drawout Type) ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์จะติดตั้งบนโครงล้อเลื่อนที่สามารถเลือนไปตามตารางที่เตรียมไว้ ซึ่งจะสะดวกในการถอดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออก ทำให้สามารถลดเวลาไฟฟ้าดับจากการซ่อมบำรุงได้

4.1.4. แผงสวิตช์ **(Switchboards)** [14]

แผงสวิตช์คือแผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าหรือจากด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงเพื่อไปจ่ายส่วนต่างๆ ในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึง แผงสวิตช์หลัก (Main distribution board: MDB) นอกจากนี้ ระบบไฟฟ้ายังมีแผงสวิสช์ย่อยอื่นๆ เช่น แผงสวิสช์ย่อย (Sub distribution board: SDB) ซึ่งใช้สำหรับรับไฟฟ้าจากแผงสวิตช์หลัก เพื่อจ่ายไปยังแผงย่อย (Panel

boards) ต่างๆ ในระบบ ซึ่งแผงย่อยเป็นแผงสวิตช์ชนิดหนึ่งเช่นกัน โดยนิยมเรียกว่า ศูนย์กลางโหลด (Load center) ซึ่งใช้สำหรับแยกไฟฟ้าที่ได้รับออกเป็นวงจรย่อยเพื่อจ่ายไปยังจุดโหลด

แผงสวิตช์มีส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

โครงห่อหุ้ม (Enclosure) ทำมาจากแผ่นโลหะและต้องมีการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ทนต่อแรงทางกลจากภายนอก ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีหรือความชื้น และทนต่อความร้อนซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อม การเกิดการผิดพร่องในระบบ รวมถึงอาร์กที่เกิดจากการลัดวงจร

บัสบาร์ (Busbars) คือ อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างสายประธานและสายป้อน บัสบาร์ส่วนมากทำจากทองแดงที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก เนื่องจากต้องนำกระแสปริมาณมากๆ เสมอ ดังนั้นถ้าหากเกิดการผิดพร่องขึ้นจะก่อให้เกิดแรงกระชากที่ตัวบัสบาร์ ซึ่งการยึดบัสบาร์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบระบบโดยทั่วไปบัสบาร์มี 2 ประเภท คือ บัสบาร์เปลือย (Bare busbar) และ บัสบาร์ที่ถูกหุ้มด้วยฉนวน (Insulated busbar)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker: CB) ที่อยู่ในแผงสวิตช์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการติดตั้ง คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับสายป้อน (Feeder circuit breaker) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีหน้าที่ป้องกันสายป้อนเส้นต่างๆ และเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับวงจรประธาน (Main circuit breaker) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีหน้าที่ป้องกันสายประธาน

4.1.5. เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible power supply: UPS) [9]

เครื่องสำรองไฟฟ้าหรือยูพีเอสเป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยมีระยะเวลาน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลยในการโอนย้ายการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบปกติไปยังพลังงานไฟฟ้าจากยูพีเอส นอกจากนี้ยูพีเอสยังสามารถใช้สำหรับรักษาคุณภาพของไฟฟ้า เช่น สามารถกรองความถี่รบกวนทางไฟฟ้า ปรับแรงดัน และความถี่ไฟฟ้า เพราะฉะนั้นยูพีเอสจึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการรับพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องและอ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนในระบบไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสาร เป็นต้น หลักการทำงานของยูพีเอส คือ ในช่วงเวลาที่ไม่เกิดไฟฟ้าดับยูพีเอสเก็บพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ โดยใช้อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากไฟฟ้าในระบบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเก็บสะสมในแบตเตอรี่ และหากเกิดไฟฟ้าดับยูพีเอสจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังจุดโหลดแทน โดยใช้อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้าสลับเพื่อจ่ายไปยังจุดโหลด

4.1.6. เอทีเอส (Automatic transfer switch: ATS) [3]

เอทีเอส คือ สวิตช์ที่ทำหน้าที่โอนย้ายการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักไปยังระบบไฟสำรองเมื่อระบบไฟฟ้าหลักเกิดขัดข้องโดยทำงานแบบอัตโนมัติ เอทีเอสชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ เอทีเอสชนิดโอเพนทรานซิชั่น (Open transition transfer: OTT) และชนิดโคลสทรานซิชั่น (Closed transition transfer: CTT) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกใช้งานในลักษณะใด

4.1.7. สายไฟฟ้า (Conductor) [14]

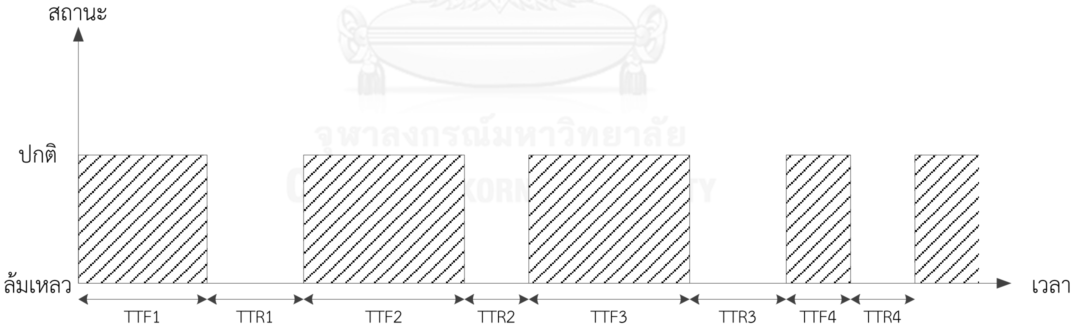
สายไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยสามารถติดตั้งสายไฟฟ้าในอากาศหรือในท่อตามความสะดวกในการนำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

4.1.8. อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าจากตู้แร็ค (Protocol data unit : PDU) [9]

อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าจากตู้แร็ค คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นชุดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับวงจรย่อย โดยมีหลายขนาดให้เลือกตามความเหมาะสมกับการใช้งาน และยังสามารถแบ่งโหลดออกเป็นสัดส่วนได้ตามพิกัดกำลังที่ใช้และฟังค์ชั่นการใช้งาน

4.2 การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ [1], [6]-[10], [17]

โดยปกติแล้วอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจะมีหน้าที่แตกต่างกันตามที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่หากพิจารณาพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แล้วการทำงานปกติของอุปกรณ์ต่างๆ จะมีความคล้ายคลึงกัน ถ้าพิจารณาการทำงานเพียงสองสถานะแล้วการทำงานปกติของอุปกรณ์จะประกอบด้วยสถานะทำงานปกติ (Up) สลับกับสถานะล้มเหลว (Down) โดยพบว่าการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นวัฏจักรของเวลา ดังแสดงในภาพที่ 4.1



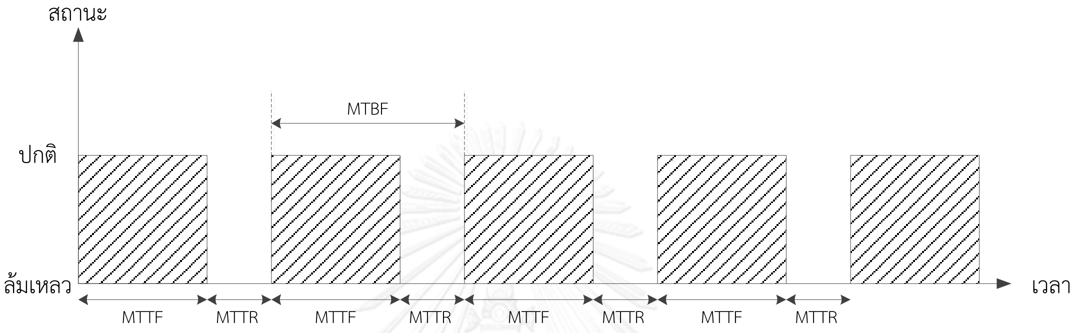
ภาพที่ 4.1 ช่วงเวลาการทำงานปกติของอุปกรณ์

โดยที่

TTFi (Time to failure) คือ ระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ในสถานะทำงานปกติ ซึ่งแสดงการทำงานได้ในครั้งที่ i (ปี)

TTRi (Time to repair) คือ ระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ในสถานะล้มเหลว หรือระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำการซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อยจนกลับมาใช้งานได้เป็นปกติ ซึ่งแสดงถึงระยะเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ครั้งที่ i (ชั่วโมง)

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานปกติ (TTF) และ ช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว (TTR) ในแต่ละช่วงอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพิจารณาแบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเพื่อเป็นตัวแทนการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวในระยะยาวจะใช้ค่าประมาณเป็นระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะทำงานปกติ และระยะเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว ซึ่งในการประเมินความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์จะใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานปกติ และช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การทำงานค่าสถานะการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

โดยที่

MTTF (Mean time to failure) คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานปกติ (ปี/ครั้ง)

MTTR (Mean time to repair) คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว (ชั่วโมง/ครั้ง)

MTBF (Mean time between failure) คือ ช่วงเวลาในหนึ่งคาบการทำงานของอุปกรณ์ ตั้งแต่ช่วงเวลาที่อุปกรณ์ทำงานจนเกิดเหตุขัดข้องและทำการซ่อมแซมจนสามารถกลับมาทำงานได้อีกครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ MTTF+MTTR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานปกติ และ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว สามารถใช้คำนวณอัตราเฉลี่ยการล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure rate: λ) และ อัตราเฉลี่ยการซ่อมแซมของอุปกรณ์ (Repair rate: μ) ดังแสดงในสมการที่ (4.1) และ (4.2) และพารามิเตอร์ที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงได้ดังภาพที่ 4.3

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (4.1)$$

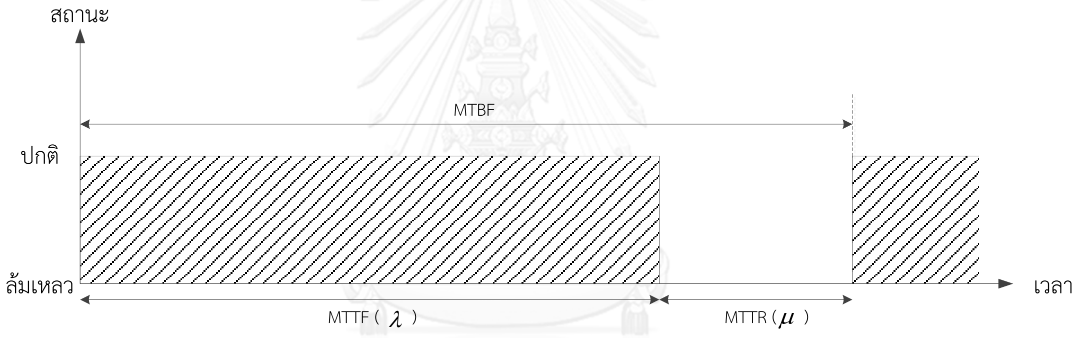
โดยที่

λ คือ อัตราเฉลี่ยการล้มเหลวของอุปกรณ์

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (4.2)$$

โดยที่

μ คือ อัตราเฉลี่ยการซ่อมแซมของอุปกรณ์



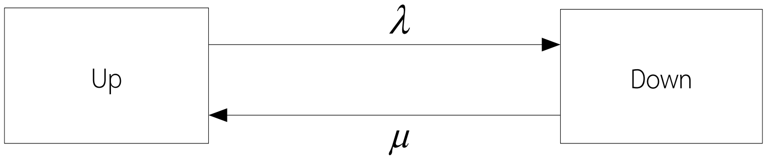
ภาพที่ 4.3 พารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ช่วงเวลาการทำงาน

4.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ [6]-[9], [17]

ในทางอุปกรณ์แต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน แต่เมื่อต้องการประเมินความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสถานะ (State model) เพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับใช้ในการพิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดการขัดข้องของอุปกรณ์นั้นๆ ขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน และพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบนอกจากจะจำลองได้สองสถานะตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ยังสามารถจำลองสถานะได้หลายสถานะตามความซับซ้อนของการทำงานของอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะ (Two-state model)

โดยทั่วไปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์จะเป็นแบบ 2 สถานะ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์ คือ สถานะที่อุปกรณ์ทำงานตามปกติ (Up) และสถานะที่อุปกรณ์ล้มเหลว (Down) ดังนั้น แบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะ



ภาพที่ 4.4 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

แบบจำลองนี้มีข้อดี คือ ง่ายต่อการเข้าใจและการวิเคราะห์ แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถจำลองการทำงานที่ซับซ้อนของบางอุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์ที่เมื่อล้มเหลวแล้วสามารถโอนย้ายอุปกรณ์ออกจากระบบโดยอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือเอทีเอส เป็นต้น หรืออุปกรณ์ที่จะต้องทำการซ่อมบำรุง เป็นต้น

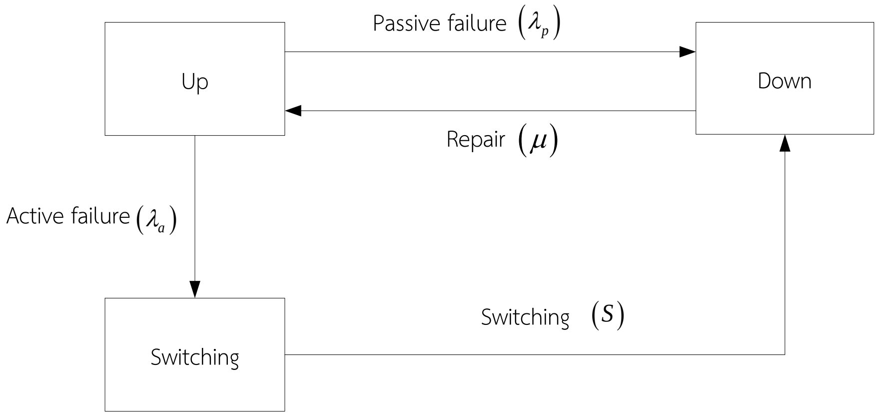
4.3.2 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 3 สถานะ (Three-state model)

แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 3 สถานะ (Three-state model) ถูกพัฒนามาจากแบบจำลองแบบ 2 สถานะ โดยสามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่เมื่อล้มเหลวแล้วสามารถโอนย้ายอุปกรณ์ออกจากระบบได้ โดยใช้อุปกรณ์สวิตช์อย่างเช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือเอทีเอส เป็นต้น การโอนย้ายอุปกรณ์สามารถแบ่งได้สองกรณีโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีแรก เมื่ออุปกรณ์ล้มเหลว อุปกรณ์สวิตช์ขั้นปฐม (Primary zone) อย่างเช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ของวงจรประธาน (Main circuit breaker) จะถูกเปิดวงจรเพื่อนำอุปกรณ์มาซ่อมแซมเพื่อให้กลับมาทำงานได้ตามปกติ ซึ่งในกรณีนี้จุดโหลดที่ไม่ถูกต่อจากอุปกรณ์จะได้รับไฟฟ้าหลังจากอุปกรณ์นี้ถูกแยกออกไปซ่อมแซมแล้วอุปกรณ์สวิตช์ขั้นปฐมถูกปิดวงจร ในขณะที่จุดโหลดที่ต่อจากอุปกรณ์นี้จะไม่ได้รับไฟฟ้าจนกระทั่งอุปกรณ์กลับมาทำงานได้ตามปกติ

กรณีที่สอง คือ กรณีที่ระบบมีแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง เมื่ออุปกรณ์ล้มเหลว อุปกรณ์สวิตช์จะถูกเปิดวงจรเพื่อโอนย้ายจุดโหลดที่ต่อจากอุปกรณ์นี้ไปยังแหล่งจ่ายสำรอง จากนั้นอุปกรณ์จะถูกซ่อมแซมเพื่อให้กลับมาทำงานได้ตามปกติ จุดโหลดจะกลับมารับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหลักได้อีกครั้ง

แบบจำลอง 3 สถานะจึงประกอบด้วยสถานะที่อุปกรณ์ทำงานตามปกติ (Up) สถานะที่อุปกรณ์ถูกโอนย้าย (Switching) และสถานะที่อุปกรณ์ล้มเหลว (Down) ดังแสดงในภาพที่ 4.5

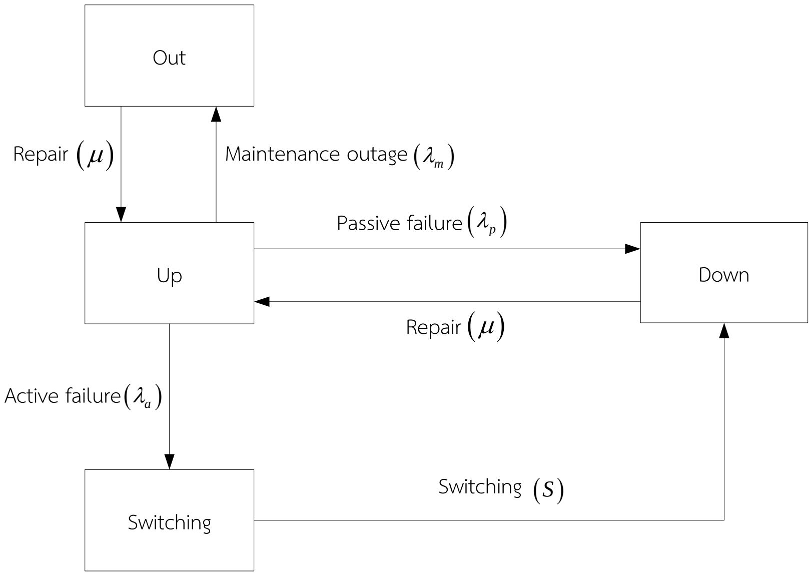


ภาพที่ 4.5 แบบจำลอง 3 สถานะของอุปกรณ์

จากภาพที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่า ถ้าอุปกรณ์ล้มเหลวแล้วสามารถกลับมาทำงานหลังจากการซ่อมแซมจะเรียกว่าความล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive failures) ในขณะที่ถ้าอุปกรณ์ล้มเหลวแล้วอุปกรณ์ถูกโอนย้ายโดยอุปกรณ์สวิตซ์ จะเรียกว่าความล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failures)

4.3.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 4 สถานะ (Four-state model)

แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 4 สถานะ (Four-state model) ถูกพัฒนามาจากแบบจำลอง 3 สถานะ โดยสามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการบำรุงรักษาได้ แบบจำลองอุปกรณ์ 4 สถานะ ประกอบด้วย สถานะที่อุปกรณ์ทำงานตามปกติ (Up) สถานะที่อุปกรณ์ถูกโอนย้าย (Switching) สถานะที่อุปกรณ์ล้มเหลว (Down) และสถานะที่อุปกรณ์ถูกบำรุงรักษา (Maintenance) ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์

จากภาพที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่าพบเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์ทั้งหมด 3 เหตุการณ์ ใน 4 สถานะ คือ เหตุการณ์แรกถ้าอุปกรณ์ล้มเหลวและไม่ส่งผลต่ออุปกรณ์ป้องกันหรืออุปกรณ์อื่น โดยที่สามารถกลับมาทำงานหลังจากการซ่อมแซมจะเรียกว่าเหตุการณ์ล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive failures) ในขณะเหตุการณ์ที่ 2 ถ้าอุปกรณ์ล้มเหลวและส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน โดยที่อุปกรณ์ป้องกันทำการตัดวงจรเพื่อให้อุปกรณ์ที่ล้มเหลวออกจากระบบ หลังจากนั้นโอนย้ายระบบหรือโหลดโดยอุปกรณ์สวิตช์ชิ่งหรืออุปกรณ์ป้องกัน จะเรียกว่าเหตุการณ์ล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failures) และเหตุการณ์สุดท้ายถ้าอุปกรณ์ถึงช่วงระยะเวลาต้องบำรุงรักษา ต้องนำอุปกรณ์ตัวนั้นออกไปซ่อมบำรุงรักษาเหตุการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเหตุขัดข้องในช่วงการบำรุงรักษา (Maintenance outage)

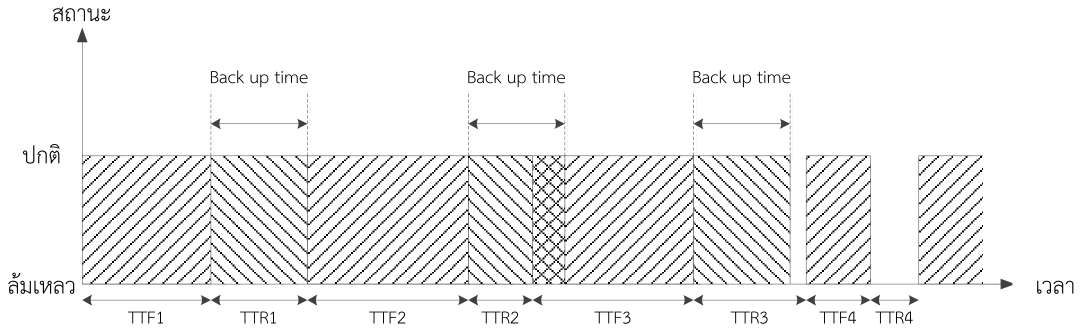
วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะ แทนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจและการวิเคราะห์

4.4 พิจารณาอุปกรณ์ในระบบที่มีเงื่อนไขพิเศษ [9]

เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องแม่นยำ จำเป็นจะต้องทำการสร้างแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานที่มีเงื่อนไขพิเศษ ได้แก่ เครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) และ เอทีเอส (Automatic transfer switch : ATS)

4.4.1 พิจารณาเงื่อนไขพิเศษสำหรับเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

สำหรับระบบไฟฟ้าในอาคารสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนประกอบที่สำคัญที่ช่วยให้ระบบไฟฟ้าดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นนั้น ได้แก่ เครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) ซึ่งยูพีเอสนับเป็นส่วนประกอบหลักสำหรับการจัดอันดับเทียร์ทั้ง 4 ระดับ ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาลักษณะการทำงานของยูพีเอสให้มีเงื่อนไขใกล้เคียงกับลักษณะการทำงานจริงมากที่สุด ซึ่งลักษณะการทำงานของยูพีเอสสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 4.7

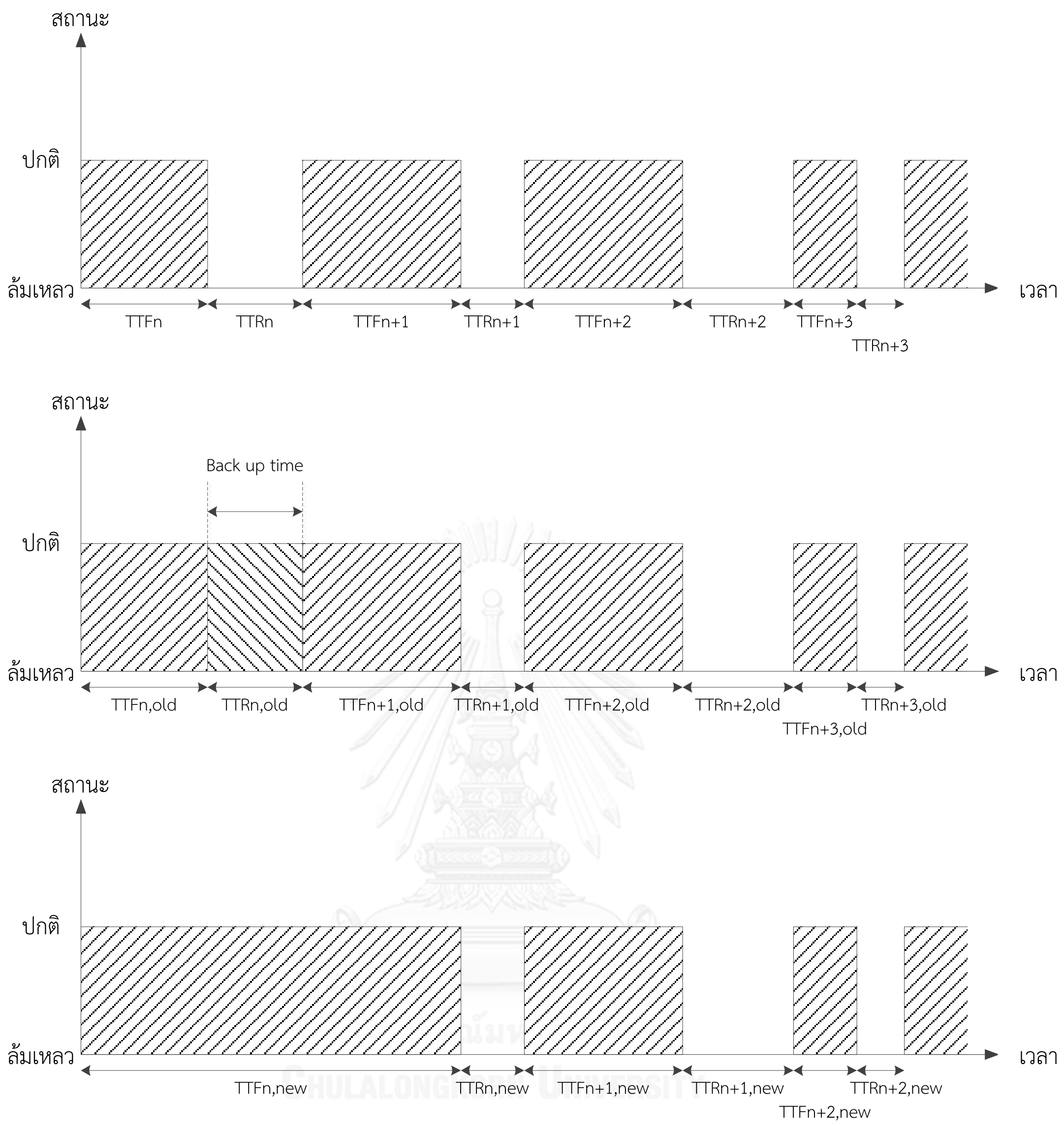


ภาพที่ 4.7 ลักษณะการทำงานของยูพีเอส

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าเราสามารถพิจารณาลักษณะการทำงานของยูพีเอสออได้เป็น 3 กรณี คือ 1) Back up time เท่ากับ TTR., 2) Back up time มากกว่า TTR., และ 3) Back up time น้อยกว่า TTR. ซึ่งแต่ละกรณีมีรายละอียดดังนี้

Back up time เท่ากับ TTR.

ลักษณะการทำงานของเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) ในกรณีที่ช่วงระยะเวลาที่ยูพีเอสสามารถสำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ (Back up time) มีค่าเท่ากันกับช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ (Time to repair : TTR) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time เท่ากับ TTR.

จากภาพที่ 4.8 จะได้ว่าช่วงระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังการพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.3)

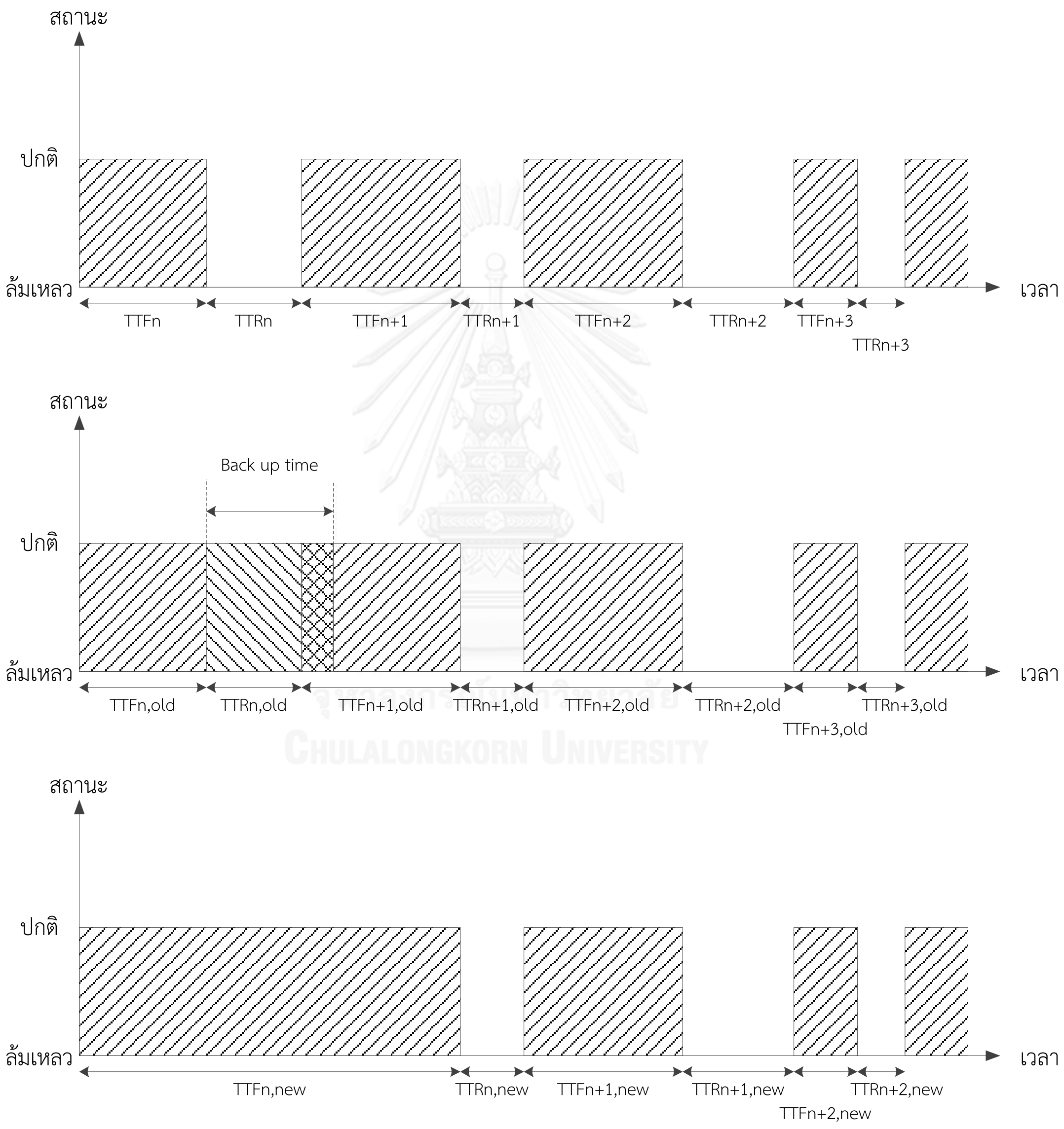
$$TTFn,new = TTFn,old + TTRn,old + TTFn{+}1,old \qquad (4.3)$$

และช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังจากพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.4)

$$TTRn,new = TTRn{+}1,old \qquad (4.4)$$

<u>Back up time มากกว่า TTR.</u>

ลักษณะการทำงานของเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) ในกรณีที่ช่วงระยะเวลาที่ยูพีเอสสามารถสำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ (Back up time) มีค่ามากกว่าช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ (Time to repair : TTR) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time มากกว่า TTR.

จากภาพที่ 4.9 จะได้ว่าช่วงระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังการพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.5)

$$TTFn,new = TTFn,old + TTRn,old + TTFn+1,old \quad (4.5)$$

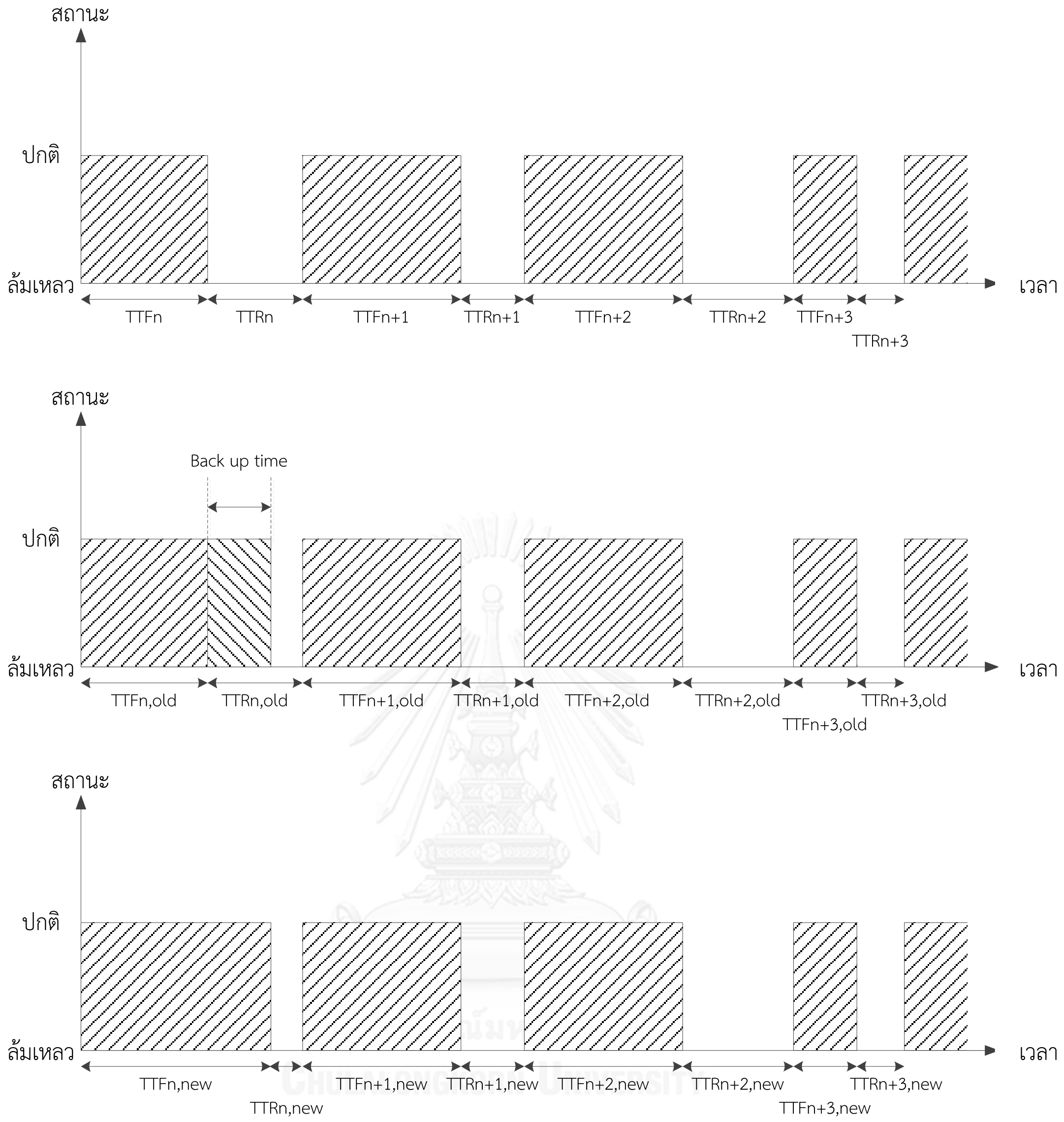
และช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังจากพิจาณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.6)

$$TTRn,new = TTRn+1,old \quad (4.6)$$

<u>Back up time น้อยกว่า TTR.</u>

ลักษณะการทำงานของเครื่องสำรองพลังงานไฟฟ้า (Uninterruptible power supply : UPS) ในกรณีที่ช่วงระยะเวลาที่ยูพีเอสสามารถสำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ (Back up time) มีค่าน้อยกว่าช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ (Time to repair : TTR) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.10 แบบจำลองการทำงานของยูพีเอสกรณี Back up time น้อยกว่า TTR.

จากภาพที่ 4.10 จะได้ว่าช่วงระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังการพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.7)

$$TTFn,new \;=\; TTFn,old + Back\ up\ time \qquad (4.7)$$

และช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังจากพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอสสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.8)

$$TTRn,new \;=\; TTRn,old - Back\ up\ time \qquad (4.8)$$

โดยที่

TTFn,old คือ ช่วงระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะก่อนพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอส

TTFn,new คือ ช่วงระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอส

TTRn,old คือ ช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะก่อนพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอส

TTRn,new คือ ช่วงระยะเวลาการซ่อมแซมของอุปกรณ์ของคาบการทำงานลำดับที่ n ในสภาวะหลังพิจารณาเงื่อนไขของยูพีเอส

Back up time คือ ช่วงระยะเวลายูพีเอสสามารถสำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้

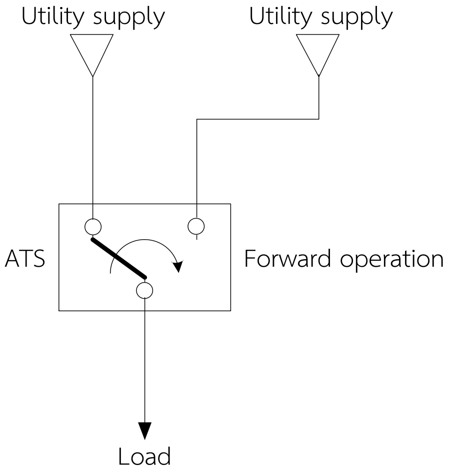
4.4.2 พิจารณาเงื่อนไขพิเศษสำหรับเอทีเอส

สำหรับระบบไฟฟ้าในอาคารสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนประกอบที่สำคัญที่ช่วยให้ระบบไฟฟ้าดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นอีกชนิด ได้แก่ เอทีเอส (Automatic transfer switch : ATS) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการจัดอันดับเทียร์ระดับที่ 3 และระดับที่ 4 ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาลักษณะการทำงาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ 1) ส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับการไฟฟ้า, 2) ส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ 3) ส่งผ่านระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งแต่ละกรณีมีรายละเอียดดังนี้

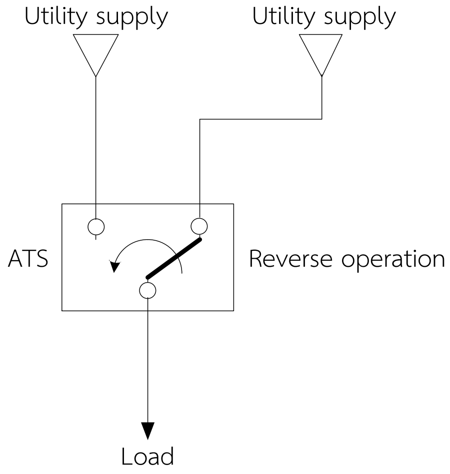
<u>ส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับการไฟฟ้า</u>

การทำงานของเอทีเอส (Automatic transfer switch : ATS) ที่ถูกใช้งานในลักษณะส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับการไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.11 (ก) ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า

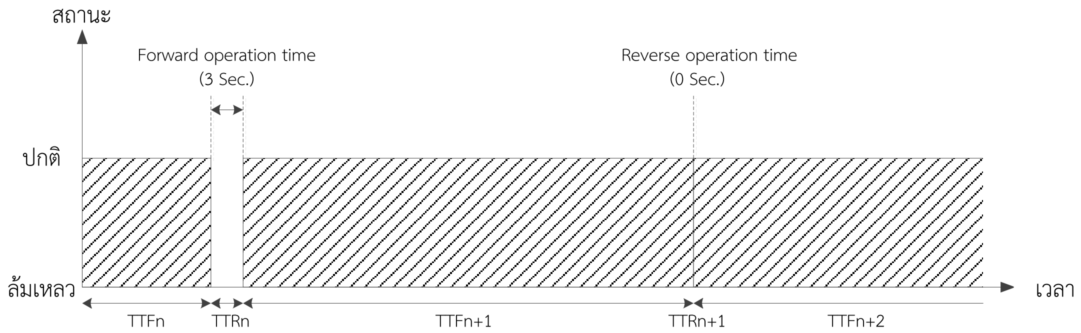


ภาพที่ 4.11 (ข) ลักษณะการทำงานแบบย้อนหลับ

ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเอทีเอสจะมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า (Forward operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะเดินหน้า (Forward operation time) ประมาณ 2 วินาที และลักษณะการทำงานแบบย้อนกลับ (Reverse operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะย้อนกลับ (Reverse operation time) น้อยมากจนไฟแทบจะไม่กระพริบเลย (Closed Transition) ดังนั้นเราจึงสามารถจำลองลักษณะการทำงานของเอทีเอสได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.12

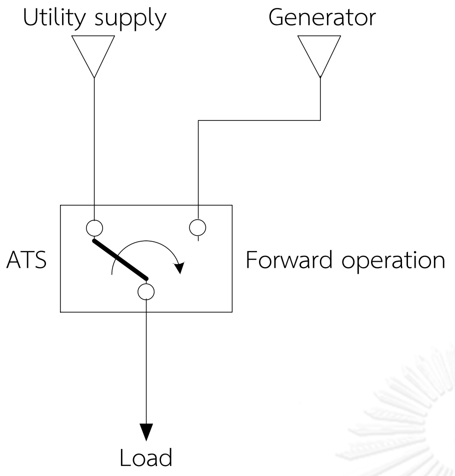
CHULALONGKORN UNIVERSITY



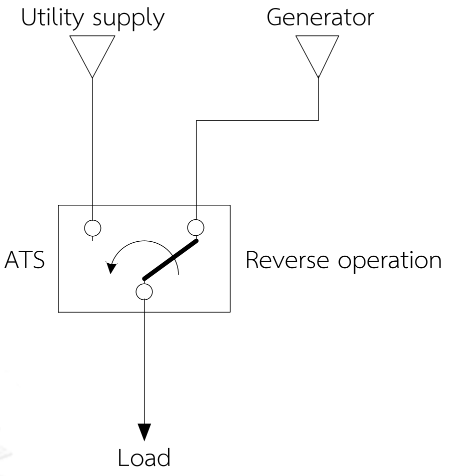
ภาพที่ 4.12 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

<u>ส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า</u>

การทำงานของเอทีเอส (Automatic transfer switch : ATS) ที่ถูกใช้งานในลักษณะส่งผ่านระหว่างการไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.13



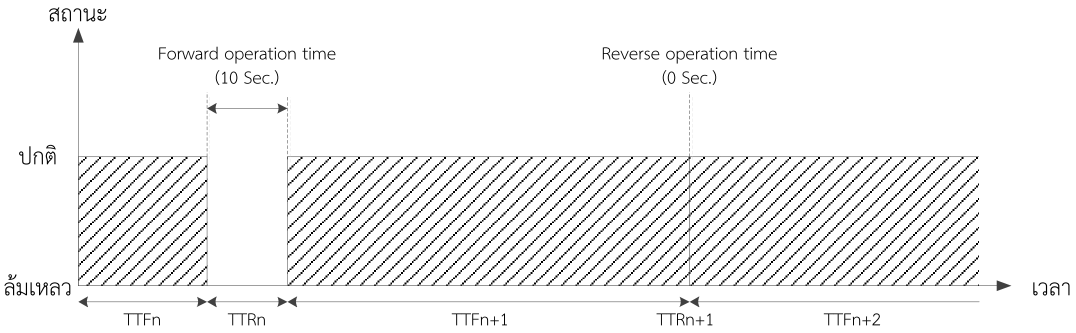
ภาพที่ 4.13 (ก) ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า



ภาพที่ 4.13 (ข) ลักษณะการทำงานแบบย้อนกลับ

ภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

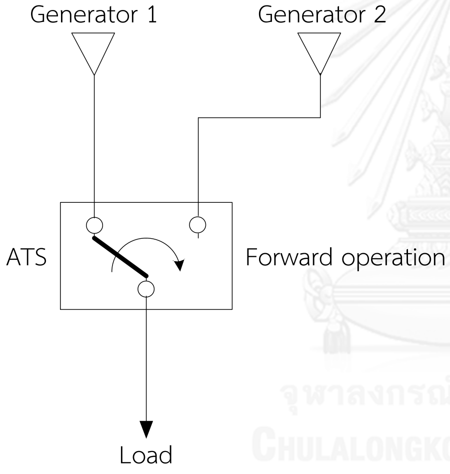
จากภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเอทีเอสจะมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า (Forward operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะเดินหน้า (Forward operation time) ประมาณ 10 วินาที และลักษณะการทำงานแบบย้อนกลับ (Reverse operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะย้อนกลับ (Reverse operation time) น้อยมากจนไฟแทบจะไม่กระพริบเลย (Closed Transition) สาเหตุของการที่ช่วงเวลาการทำงานในลักษณะเดินหน้ามีค่ามากกว่าช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะย้อนกลับเพราะต้องรอช่วงจังหวะของการซิงโครไนส์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบนั่นเอง ดังนั้นเราจึงสามารถจำลองลักษณะการทำงานของเอทีเอสได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.14



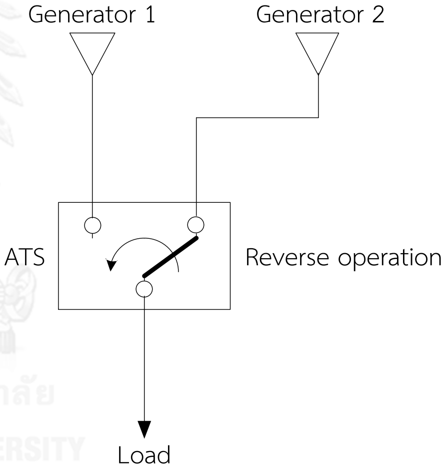
ภาพที่ 4.14 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

<u>ส่งผ่านระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า</u>

การทำงานของเอทีเอส (Automatic transfer switch : ATS) ที่ถูกใช้งานในลักษณะส่งผ่านระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 (ก) ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า

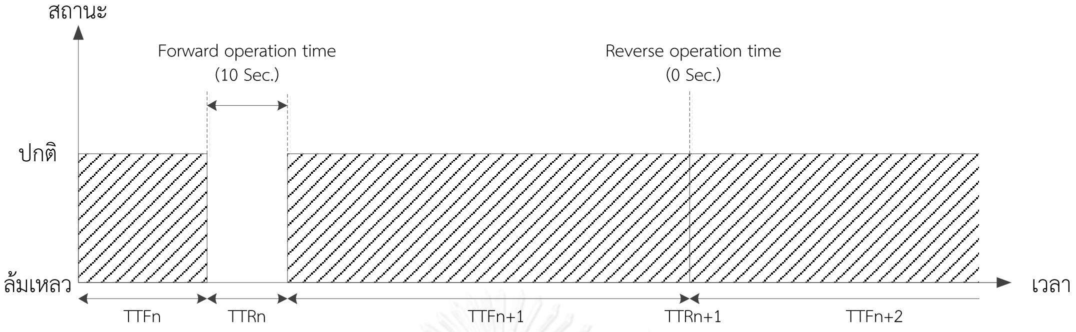


ภาพที่ 4.15 (ข) ลักษณะการทำงานแบบย้อนกลับ

ภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเอทีเอสจะมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะการทำงานแบบเดินหน้า (Forward operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะเดินหน้า (Forward operation time) ประมาณ 10 วินาที และลักษณะการทำงานแบบย้อนกลับ (Reverse operation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานในลักษณะนี้จะใช้ระยะเวลาในการสวิตช์หรือที่เรียกว่า ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะย้อนกลับ (Reverse operation time) น้อยมากจนไฟแทบจะไม่กระพริบเลย (Closed Transition) สาเหตุที่ช่วงระยะเวลาการทำงานในลักษณะย้อนกลับใช้เวลาน้อยมากก็

เพราะว่าการทำงานในลักษณะย้อนกลับนั้นจะทำการตรวจเช็คก่อนว่ามีไฟฟ้าจากอีกแหล่งจ่ายนั้นพร้อมใช้งานแล้วถึงค่อยทำการสวิตซ์ไป ดังนั้นเราจึงสามารถจำลองลักษณะการทำงานของเอทีเอสได้ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 แบบจำลองการทำงานของเอทีเอสแบบเดินหน้าและแบบย้อนกลับ

4.5 การจำแนกประเภทความล้มเหลวของอุปกรณ์ [6], [9], [10], [15]

การจำแนกประเภทการล้มเหลวของอุปกรณ์สามารถแบ่งได้ตามเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์ ซึ่งเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์ คือ เหตุการณ์ที่อุปกรณ์ในระบบล้มเหลว หรืออยู่ในช่วงบำรุงรักษา แล้วส่งผลให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดโหลดหรือระบบได้ โดยสามารถแบ่งเหตุการณ์การล้มเหลวของอุปกรณ์ได้ ดังนี้

4.5.1 การล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive failures)

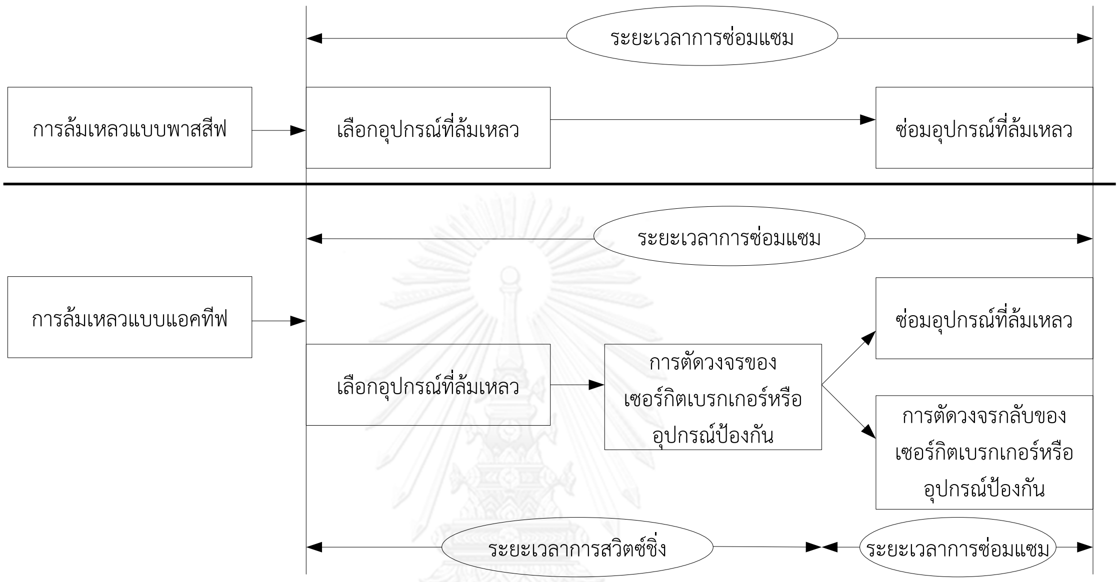
การล้มเหลวแบบพาสสีฟ คือ การล้มเหลวหรือเสียของอุปกรณ์แล้วไม่ส่งผลต่ออุปกรณ์ป้องกัน โดยอุปกรณ์ที่เหลือยังคงทำงานได้ตามปกติ ซึ่งอุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวดังกล่าวสามารถทำงานได้อีกครั้งโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวนั้น ตัวอย่างเช่น การเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผิดปกติ โดยอุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ข้างเคียงไม่ทำงาน

4.5.2 การล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failures)

การล้มเหลวแบบแอคทีฟ คือ การล้มเหลวของอุปกรณ์ที่เป็นเหตุให้เกิดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในเขตการป้องกันปฐมภูมิ (Primary protection zone) ที่อยู่รอบอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้น ในทางปฏิบัติหลังจากที่อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานเพื่อจัดการกับอุปกรณ์ที่ล้มเหลวดังกล่าวเพื่อที่จะทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ส่วนที่เกิดล้มเหลวแบบแอคทีฟออกไป และอุปกรณ์ป้องกันจะปิดวงจรกลับมาอีกครั้งหนึ่ง ทำให้การทำงานบางส่วนกลับคืนมา จะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้นจะกลับมาใช้งานได้อีกครั้งจะต้องมีการซ่อมแซม หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ทดแทน ตัวอย่างเช่น การเกิด

ความผิดพร่องในอุปกรณ์ใดๆ ต้องมีการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ข้างเคียงเพื่อตัดอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพร่องออกจากวงจร

ตามหลักการข้างต้นสามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างการล้มเหลวแบบแอคทีฟ และการล้มเหลวแบบพาสสีฟ โดยมีแผนผังการล้มเหลวของอุปกรณ์แบบพาสสีฟและแอคทีฟ ดังภาพที่ 4.17 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแอคทีฟ



ภาพที่ 4.17 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแอคทีฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะเวลาซ่อมแซม (Repair time) เป็นระยะเวลาซ่อมอุปกรณ์ที่ล้มเหลว หรือระยะเวลาที่อุปกรณ์เกิดการล้มเหลว คือ เป็นช่วงเวลานับตั้งแต่เกิดการล้มเหลวจนถึงเวลาที่อุปกรณ์กลับมาใช้งานได้อีกครั้ง โดยการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่

ระยะเวลาสวิตซ์ชิ่ง (Switching time) เป็นระยะเวลาที่นับจากเริ่มเปิดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน หรือสวิตซ์ตัดตอน เพื่อนำอุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวแบบแอคทีฟออกจากวงจรสำเร็จ แล้วทำการปิดอุปกรณ์ป้องกันหรือสวิตซ์ตัดตอนกลับคืนวงจรได้สำเร็จ

แบบจำลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อาจมีการล้มเหลวและกลับสู่การทำงานแบบต่างๆ หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองดังกล่าวกับการทำงานจริงของอุปกรณ์นั้น จะพบว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์จะทำงานในสถานะปกติ คือ สถานะที่ 1 แล้วต่อมาอาจล้มเหลวแบบแอคทีฟ เช่น เกิดการลัดวงจร ทำให้เข้าสู่สภาวะที่ 2 จากนั้นเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานสามารถทำการสวิตซ์ชิ่งเพื่อนำอุปกรณ์ออกจาระบบซึ่งเปรียบเสมือนสถานะที่ 3 แล้วจึงทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติ

ในสภาวะที่ 1 หรือบางกรณี จากการทำงานปกติในสภาวะที่ 1 อุปกรณ์อาจเกิดการล้มเหลวแบบพาสสีฟ เช่น การเปิดวงจรทำให้เข้าสู่สภาวะที่ 3 หลังจากนั้นจึงซ่อมแซมให้กลับมาสู่สภาวะที่ 1 อีกครั้ง หรือจากสภาวะที่ 1 อาจมีการซ่อมบำรุงทำให้เข้าสู่สภาวะที่ 4 หลังจากปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยจึงกลับเข้าสู่สภาวะที่ 1 ตามเดิม

เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบการจัดอันดับเทียร์อาจไม่จำเป็นต้องมีสถานการณ์ทำงานครบทั้ง 4 สถานะตามแบบจำลองข้างต้น หากขึ้นอยู่กับการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้นๆ สำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนนั้นมีสถานการณ์ทำงานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 สถานะ แต่โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีการล้มเหลวแบบพาสสีฟทำให้แบบจลอง 2 สถานะก็สามารถนำมาใช้จำลองพฤติกรรมการทำงานได้

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า โดยที่มีรายละเอียดแบ่งเป็น 5 ส่วน คือ ชนิดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า, การกระจายความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์, แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์, พิจารณาอุปกรณ์ในระบบที่มีเงื่อนไขพิเศษ และสุดท้ายกล่าวถึงการจำแนกประเภทการล้มเหลวของอุปกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ทฤษฎี และหลักการที่ใช้ในการประเมินความน่าเชื่อถือได้

ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า [1], [8]-[10], [16] หมายถึง ความคาดหวังว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยมีกระแสไฟฟ้าขัดข้องน้อยที่สุด ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจึงเป็นดัชนีที่แสดงถึงความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าที่สำคัญตัวหนึ่ง นอกเหนือจากความเสถียรภาพของระบบที่มีต่อสิ่งรบกวน คุณภาพของกระแสไฟฟ้า

โดยทั่วไปการประเมินความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีการวิเคราะห์ (Analytical method) แบ่งออกเป็นวิธีการย่อยได้ 4 วิธี คือ
   - วิธีลดทอนเครือข่าย (Network reduction method)
   - วิธีการความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional probability method)
   - วิธีมินิมัลคัตเซต (Minimal cut set method)
   - วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว (Fault tree analysis method)
2. วิธีการจำลองเหตุการณ์ (Simulation method) แบ่งออกเป็นวิธีการย่อยได้ 3 วิธี คือ
   - วิธีการสุ่มสถานะ (State sampling method)
   - วิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน (State duration sampling method)
   - วิธีการสุ่มการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบ (System state transition sampling method)

วิธีการประเมินความน่าเชื่อถือได้ทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกัน โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นวิธีที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของอุปกรณ์ในระบบแล้วคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ตามแบบจำลองที่ทำขึ้นโดยใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยตรง ซึ่งจะให้ผลแม่นยำและเหมาะสมกับระบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่มีจุดด้อยเนื่องจาก วิธีการคำนวณจะมีความซับซ้อนและคำนวณได้ยากหากระบบมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนขึ้น ส่วนวิธีการจำลองเหตุการณ์ เป็นการประมาณค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้โดยการจำลองเหตุการที่เกิดขึ้นและสุ่มพฤติกรรมของระบบ แม้ว่าจะต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก แต่สามารถจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation) อาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสุ่มผ่านแบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมของระบบจริงโดยที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานในระบบจะมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น จำนวนครั้งที่เกิดการล้มเหลว ช่วงเวลาขณะเกิดการล้มเหลว ช่วงเวลาในการซ่อมแซม เป็นต้น โดยการสุ่มนั้นจะถูกกระทำซ้ำหลายๆ ครั้งจากกระบวนการดังกล่าวจะนำสู่การ

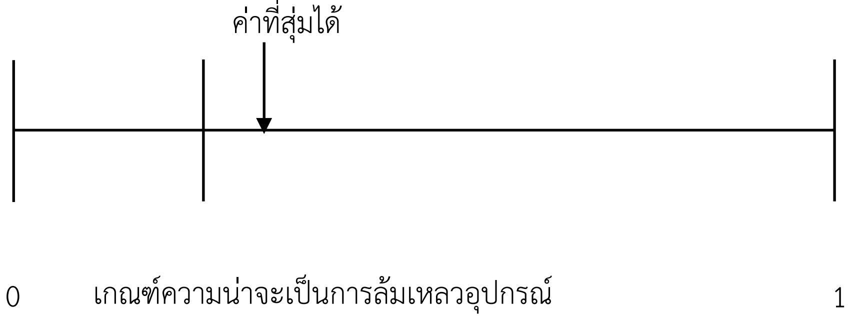
ตรวจสอบ และทำนายรูปแบบพฤติกรรมของระบบในช่วงเวลาที่จำลองเหตุการณ์ เพื่อที่จะได้ค่าการกระจายของความถี่หรือความน่าจะเป็นของดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง และเป็นการประมาณค่าความคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของดัชนีความเชื่อถือได้แบบต่างๆ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการประเมินความน่าเชื่อถือได้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation)

5.1 การประเมินความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

วิธีการประเมินความน่าเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation) [1], [8]-[10], [16] นั้นเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินความน่าเชื่อถือได้ เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถจัดการกับปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี และสามารถวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดก่อน ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการประเมินความน่าเชื่อถือได้โดยใช้ วิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลทั้ง 3 แบบได้แก่ 1) การสุ่มสถานะ 2) การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน และ 3) การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ ซึ่งเป็นการสุ่มที่แต่ละสถานะเกี่ยวเนื่องกัน

5.1.1 การสุ่มสถานะ (State sampling method)

การสุ่มสถานะเป็นการสุ่มสถานะของอุปกรณ์แต่ละตัวโดยการสุ่มตัวเลข U ในช่วง [0, 1] หากตัวเลขที่สุ่มมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ตัวนั้นล้มเหลว ถือว่าอุปกรณ์นั้นอยู่ในสถานะปกติ แต่หากว่าตัวเลขที่สุ่มน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ตัวนั้นล้มเหลว ถือว่าอุปกรณ์นั้นอยู่ในสถานะล้มเหลว แสดงดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 วิธีการสุ่มสถานการณ์ทำงานของแต่ละอุปกรณ์

โดยข้อดีของวิธีการนี้คือเป็นวิธีการสุ่มที่ไม่ยุ่งยาก และข้อมูลที่จำเป็นก็มีเพียงค่าความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ตัวนั้นๆ จะล้มเหลว แต่ถ้าต้องการคำนวณค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับความถี่ต้องอาศัยหลักการคำนวณเพิ่มเติมที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น และทำให้เสียเวลามากขึ้น

5.1.2 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน (State duration sampling method)

การสุ่มช่วงเวลาการทำงานเป็นการสุ่มโดยมีสมมติฐานว่า ช่วงเวลา (T) ของอุปกรณ์หนึ่งๆ ที่อยู่ในสถานะปกติ หรือ สถานะล้มเหลว ซึ่งสถานะปกติของอุปกรณ์เป็นการกระจายตัวแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential distribution) และสถานะล้มเหลวของอุปกรณ์เป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) พิจารณาสถานะปกติของอุปกรณ์ที่มีการกระจายตัวแบบซึ่งมีรูปแบบแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential distribution) โดยมีรูปแบบของฟังก์ชั่นความหนาแน่น (Density function) ตาม (5.1)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{5.1}$$

เมื่อ $\lambda > 0$ และ $t \geq 0$
โดยที่

λ คือ อัตราความล้มเหลว

t คือ เวลา

ดังนั้น ค่าความไม่พร้อมมูล (U) ที่เวลา T คำนวณได้ (5.2)

$$U = f(t) = \int_0^T \lambda e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\lambda t} \tag{5.2}$$

จะได้

$$T = -\frac{1}{\lambda}\ln(1-U) \tag{5.3}$$

แต่ $1-U$ มีการกระจายเช่นเดียวกับ U ดังนั้น

$$T_{up} = -\frac{1}{\lambda}\ln(U) \tag{5.4}$$

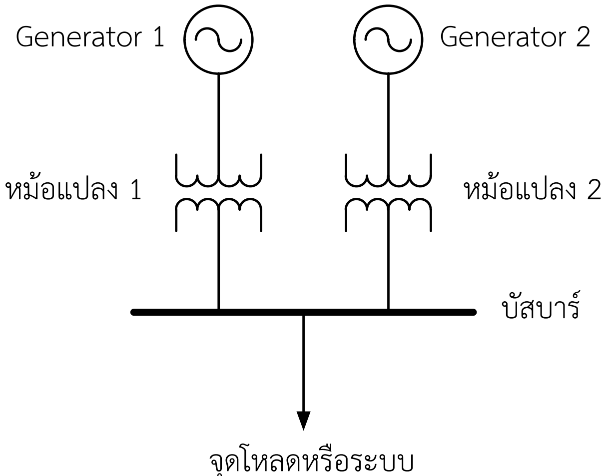
ในทำนองเดียวกัน หากเราสมมติให้ช่วงเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์โดยเริ่มตั้งแต่อุปกรณ์ล้มเหลวจนกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง มีการกระจายแบบปกติ โดยสามารถคำนวณได้ตาม (5.5)

$$T_{down} = r + (Z \times \sigma_r) \tag{5.5}$$

โดยที่

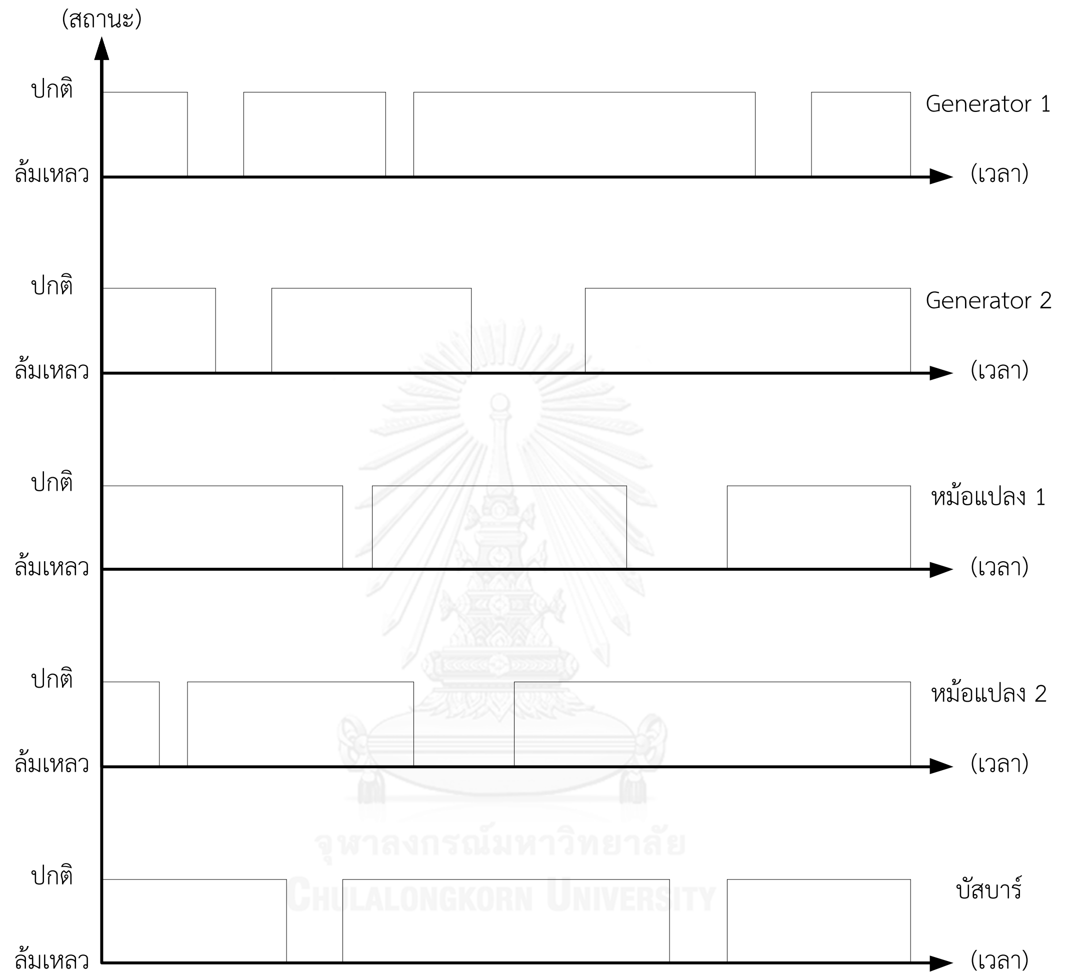
T_{up}	คือ ระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์
T_{down}	คือ ระยะเวลาการล้มเหลว หรือซ่อมแซมของอุปกรณ์
U	คือ ตัวเลขสุ่มสำหรับการกระจายแบบเอ็กโพแนนเชียล (Exponential Uniform distributed random numbers)
Z	คือ ตัวเลขสุ่มสำหรับการกระจายแบบปกติ (Normally Uniform distributed random numbers)
r	คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซมอุปกรณ์ มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\mu}$ (เวลา)
σ_r	คือ ความแปรปรวนของระยะเวลาซ่อมแซม มีค่าเท่ากับ $0.1 \times r$

ด้วยวิธีที่กล่าวมาจะสามารถสุ่มช่วงระยะเวลาการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ซึ่งอยู่ในสถานะหนึ่งๆ จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะได้ และเมื่อทำการสุ่มซ้ำกับอุปกรณ์ทุกตัวจนครบ และทำจนครบระยะเวลาก็จะได้ข้อมูลของระบบ จากตัวอย่างภาพที่ 5.2 ระบบตัวอย่างสำหรับวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน แสดงตัวอย่างกรณีที่อุปกรณ์ในระบบมีเพียง 5 อุปกรณ์



ภาพที่ 5.2 ระบบตัวอย่างสำหรับวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน

โดยระบบตัวอย่างดังภาพที่ 5.2 เมื่อทำการสุ่มช่วงระยะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์จนครบจะได้ข้อมูลของระบบซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่เกิดจากการสุ่ม

วิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงานของในแต่ละอุปกรณ์มีข้อดี คือ สามารถจำลองลักษณะการกระจายของสถานะการทำงานของอุปกรณ์ โดยใช้การกระจายตัวของความน่าจะเป็นในการทำงานของอุปกรณ์แบบใดก็ได้ และสามารถคำนวณดัชนีเกี่ยวกับความถี่ และระยะเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ต้องใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สูงกว่า ใช้เวลาการคำนวณมากกว่าและมีความซับซ้อนสูง แต่เนื่องจากในปัจจุบันสมรรถนะของคอมพิวเตอร์นั้นเพิ่มสูงขึ้นมาก ดังนั้นข้อเสียดังกล่าวจึงไม่เป็นปัญหาสำหรับวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน

5.1.3 การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ

ระบบที่พิจารณามีจำนวนอุปกรณ์ทั้งสิ้น m อุปกรณ์ โดยมีสมมติฐานว่าช่วงเวลาของอุปกรณ์แต่ละตัวที่จะอยู่ในสถานะปกติ หรือ ล้มเหลว มีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล ระบบจะมีสถานะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ $\{S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}\}$ หากสถานะปัจจุบันคือ $S^{(k)}$ และอัตราการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับสถานะดังกล่าว คือ λ_i (i คือ1,...,m) โดย λ_i จะหมายถึงอัตราการล้มเหลวหากอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสภาวะปกติ และ λ_i จะหมายถึงอัตราการซ่อมแซมหากอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสภาวะล้มเหลว

ดังนั้นช่วงเวลาในแต่ละสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ i ในระบบ T_i ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีฟังก์ชั่นความหนาแน่น $f(t)=\lambda e^{-\lambda t}$ สำหรับการเปลี่ยนสถานะของระบบจะถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ตัวแรกในระบบ ซึ่งก็คือช่วงเวลา T_i ที่ระบบจะอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะเป็นไปตามสมการที่ (5.6)

$$T=\min\{T_i\} \tag{5.6}$$

5.2 เกณฑ์การหยุดการคำนวณ (Stopping criteria) [9], [10]

สำหรับเกณฑ์การหยุดการคำนวณของการจำลองเหตุการณ์ตามวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลนั้นนิยมใช้เกณฑ์ 3 แบบ คือ

1) การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการทำงานไว้ที่ค่าหนึ่ง

2) การหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์

3) การกำหนดค่าสูงสุดของค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการทำงานไว้ที่ค่าหนึ่ง

การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดจะกำหนดตามความเหมาะสมตามแต่ละเหตุการณ์ที่ทดสอบ ซึ่งวิธีนี้จะไม่ได้รับความยอมรับมากนัก เนื่องจากการทดสอบไม่สามารถรู้ได้ว่าต้องกำหนดจำนวนรอบการทดสอบเท่าไร

5.2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์

การหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงไว้ในสมการที่ (5.9)

$$\varepsilon = \frac{\left| X_i - \hat{X} \right|}{\hat{X}} \times 100 \tag{5.9}$$

โดยที่

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)

X_i คือ ค่าดัชนีตัวที่ i

$\hat{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของดัชนี

5.2.3 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของดัชนีแสดงไว้ในสมการที่ (5.10)

$$U = \frac{S}{\hat{X}\sqrt{n}} \tag{5.10}$$

โดยที่

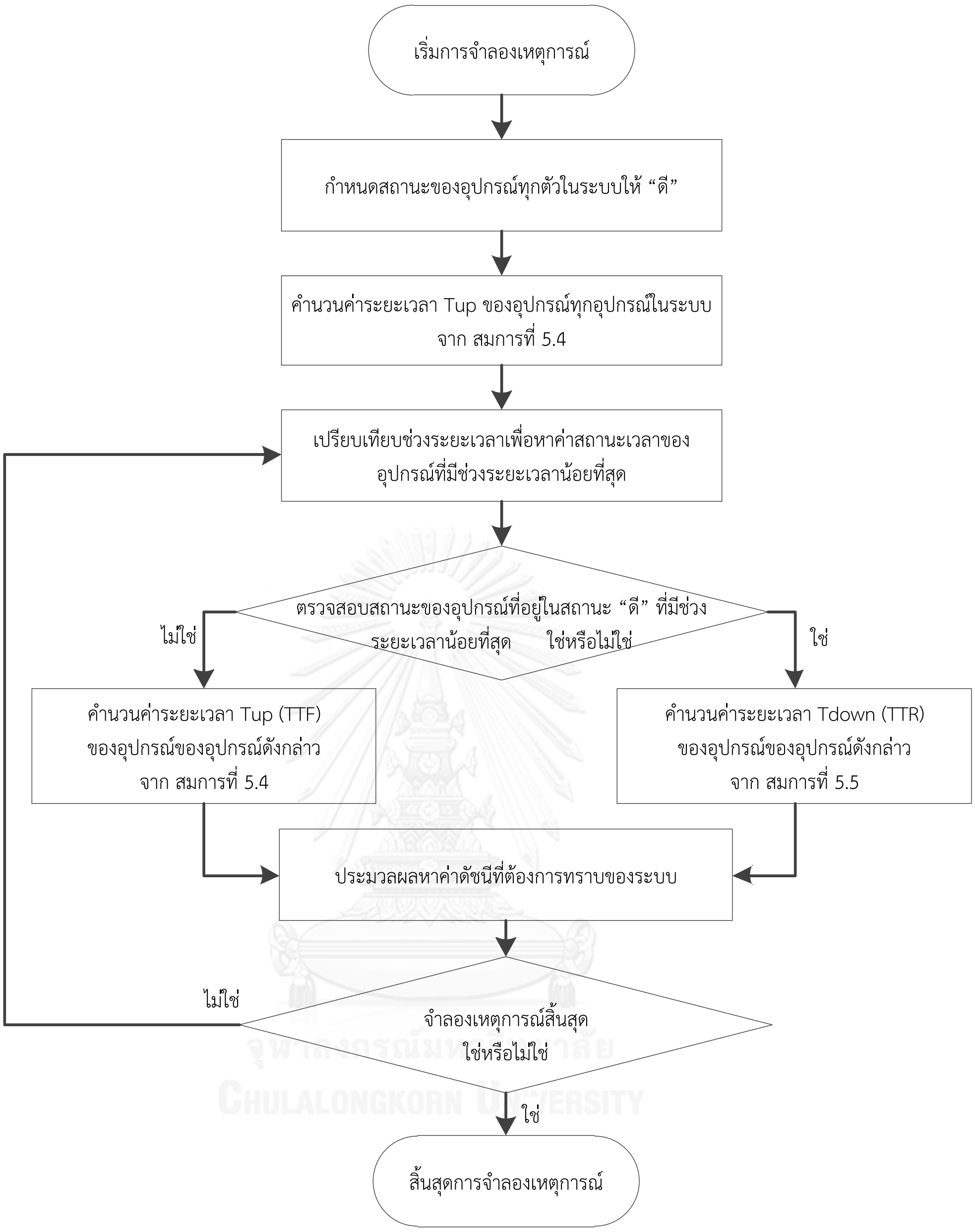
U คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของดัชนี

S คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของดัชนี

n คือ จำนวนครั้งของการสุ่ม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เกณฑ์การหยุดการคำนวณโดยการกำหนดค่าสูงสุดของค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์ และอาศัยวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงานดังที่กล่าวในหัวข้อ (5.1.2) เนื่องจากสามารถทำการจำลองลักษณะการกระจายของสถานการณ์การทำงานของอุปกรณ์โดยใช้การกระจายแบบใดก็ได้ ซึ่งสามารถคำนวณดัชนีที่เกี่ยวกับความถี่และระยะเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และยังเป็นวิธีที่นิยมใช้และสามารถคำนวณดัชนีทุกชนิดได้โดยง่าย

ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ ซึ่งทฤษฎีและหลักที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้โดย วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) และนำเสนอเกณฑ์การหยุดการคำนวณ โดยที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยวิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน และเกณฑ์การหยุดการคำนวณโดยวิธีการกำหนดค่าสูงสุดของค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นเปอร์เซ็นต์

บทที่ 6
การตรวจสอบความล้มเหลวและการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ได้แก่ วิธีการและขั้นตอนของการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ และวิธีการพิจารณาอุปกรณ์ที่มีการต่อแบบขนานกัน และยังจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า การตรวจสอบความล้มเหลวและการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบ

6.1 การตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ

ในการพิจารณาระบบใดระบบหนึ่ง เราจำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ ของระบบ เช่น โครงสร้างของระบบ จำนวนอุปกรณ์ภายในระบบ จำนวนแหล่งจ่ายของระบบ และจำนวนจุดที่ต้องพิจารณา เป็นต้น ที่สำคัญ คือ เราต้องทราบว่าในขณะที่อุปกรณ์ภายในระบบเกิดเหตุขัดข้องหรือล้มเหลวขึ้นแล้ว จะส่งผลกระทบให้จุดที่เราสนใจหรือจุดที่เรากำลังทำการพิจารณาเกิดการล้มเหลวขึ้นตามไปด้วยหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเข้ามาตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ

เมื่อเราทราบข้อมูลที่จุดที่เราต้องการพิจารณา ได้แก่ เวลาที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างปกติ จำนวนครั้งที่ระบบเกิดการล้มเหลว และเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวจนกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง ในช่วงเวลาหนึ่งที่เราต้องการพิจารณา ก็จะสามารถคำนวณค่าดัชนีต่างๆ ที่เราต้องการทราบ ณ จุดโหลดนั้นได้

นอกจากต้องทราบข้อมูลต่างๆ ของระบบที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จำเป็นจะต้องทราบเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบไปยังจุดโหลดต่างๆ ด้วย ซึ่งจะใช้วิธีการตรวจหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

6.1.1 การตรวจหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Minimal path set)

เส้นทางที่สั้นที่สุด (Minimal path set) ของเส้นทางจ่ายไฟฟ้าของระบบ หมายถึง กลุ่มอุปกรณ์ที่ต่อกันในระบบแบบอนุกรมจากต้นทางไปยังปลายทางหรือจุดโหลดโดยกลุ่มอุปกรณ์นั้นต้องอยู่บนเส้นทางที่สั้นที่สุด ซึ่งการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้ 1) วิธีเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ (Connection matrix techniques), 2) วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปกลับมา, 3) วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม, 4) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม, 5) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำสาขา

6.1.1.1 วิธีเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ (Connection matrix techniques)

วิธีการนี้อาศัยหลักการความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ โดยนำระบบที่ต้องการหาเส้นทางมาแปลงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ แล้วนำเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นนั้นมาหาเส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด โดยสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีคูณเมตริกซ์และวิธีเคลื่อนย้ายโนด ซึ่งมีวิธีการดังนี้

<u>วิธีคูณเมตริกซ์ (Matrix multiplication)</u>

วิธีการนี้ใช้วิธีคูณเมตริกซ์ที่ถูกสร้างจากหลักการข้างต้นด้วยตัวเมตริกซ์นั้นเอง หรือการยกกำลังนั่นเอง โดยจะทำการยกกำลังจนกว่าเมตริกซ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

<u>วิธีเคลื่อนย้ายโนด (Node removal)</u>

วิธีการนี้สามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเฉพาะระหว่างโนดเริ่มต้น และโนดสิ้นสุดที่ต้องการเท่านั้น โดยการเคลื่อนย้ายโนดที่ไม่ใช้โนดเริ่มต้น และโนดสิ้นสุดออกจากเมตริกซ์จนกระทั่งขนาดเมตริกซ์ลดลงเหลือขนาด 2x2 สมการที่ใช้คำนวณในการเคลื่อนย้ายโนด k ออกจากเมตริกซ์ คือ

$$M_{ij} = N_{ij} + (N_{ik}N_{kj}) \tag{6.1}$$

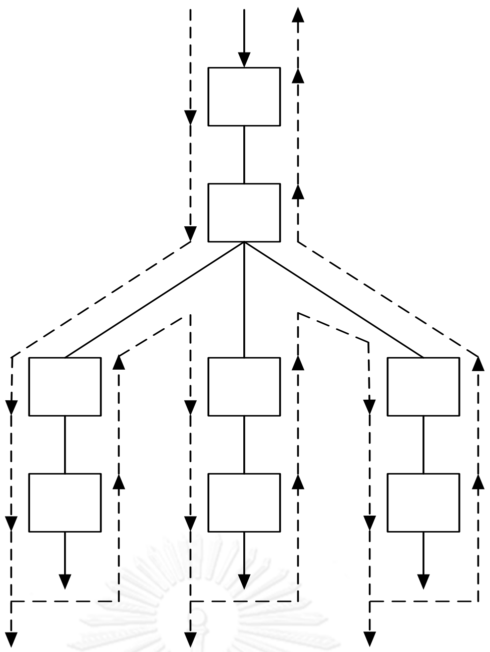
โดยที่

M_{ij} คือ เมตริกซ์ใหม่ที่เคลื่อนย้ายโนด k แล้ว โดยที่ $i, j \neq k$

วิธีเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ (Connection matrix techniques) มีข้อดีคือ ให้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และแม่นยำ แต่มีข้อเสียในด้านการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพราะว่าผลการคำนวณที่ได้เป็นสมการตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ซึ่งยากที่จะนำผลที่ได้ไปคำนวณหาดัชนีอื่นๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

6.1.1.2 วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปกลับมา

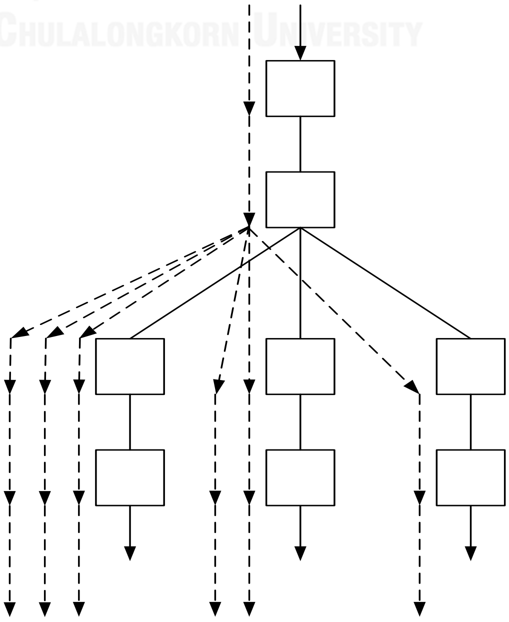
วิธีนี้เป็นการตรวจหาเส้นทางแบบพิจารณาย้อนกลับไปกลับมาแบบดั้งเดิม ดังแสดงในภาพที่ 6.1 จากภาพนี้จะเห็นว่าเส้นประ ซึ่งแสดงเส้นทางที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ตรวจสอบหาเส้นทางที่เป็นไปได้จะมีลักษณะที่ต้องผ่านอุปกรณ์ทั้งขาไปและขากลับ วิธีการนี้ถึงจะมีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อความเข้าใจ แต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ต้องทำงานหนัก เพราะต้องพิจารณาผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ



ภาพที่ 6.1 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา

6.1.1.3 วิธีการตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม

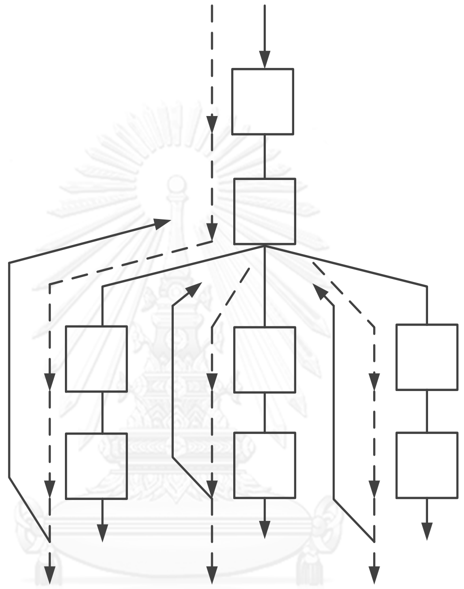
ในภาพที่ 6.2 แสดงวิธีการหาเส้นทางโดยอาศัยการสุ่มหาอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ตัวถัดไป วิธีนี้มีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมเพราะไม่ต้องสร้างฟังก์ชั่นในการพิจารณาเส้นทางที่ซับซ้อน แต่ใช้ฟังก์ชั่นสุ่มซึ่งเป็นฟังก์ชั่นมาตรฐานที่มีอยู่แล้วในภาษาคอมพิวเตอร์ แต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ยังคงต้องทำงานหนักเพราะการสุ่มนั้นต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ได้ครบทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ประกอบกับการสุ่มนั้นมีโอกาสทำให้เกิดเส้นทางที่ซ้ำซ้อนกับเส้นทางที่เคยหาไว้แล้ว



ภาพที่ 6.2 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน

6.1.1.4 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม

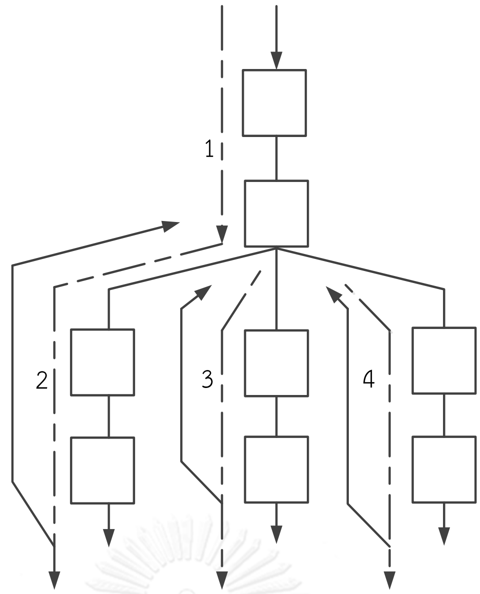
การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปมดังแสดงในภาพที่ 6.3 นี้ใช้หลักการพิจารณาอุปกรณ์ถัดไปทีละตัวจนถึงปลายทาง จากการที่ได้ผ่านอุปกรณ์ตัวที่อยู่ถัดไปอยู่หลายตัว ซึ่งอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่เป็นจุดปม เช่น บัสบาร์หรือไม่ก็ได้ โดยให้คอมพิวเตอร์จำอุปกรณ์นั้นไว้ เมื่อถึงปลายทางจึงกระโดดย้อนกลับไปเริ่มที่จุดแยกนั้นเป็นการเริ่มต้นเส้นทางใหม่ วิธีนี้ไม่ต้องสุ่มเป็นจำนวนครั้งมากๆ การตรวจสอบการวนรอบก็ยังเหมือนเดิม เพียงแต่หากพบว่ามีการวนรอบแล้วไม่ต้องไปเริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นใหม่



ภาพที่ 6.3 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม

6.1.1.5 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำสาขา

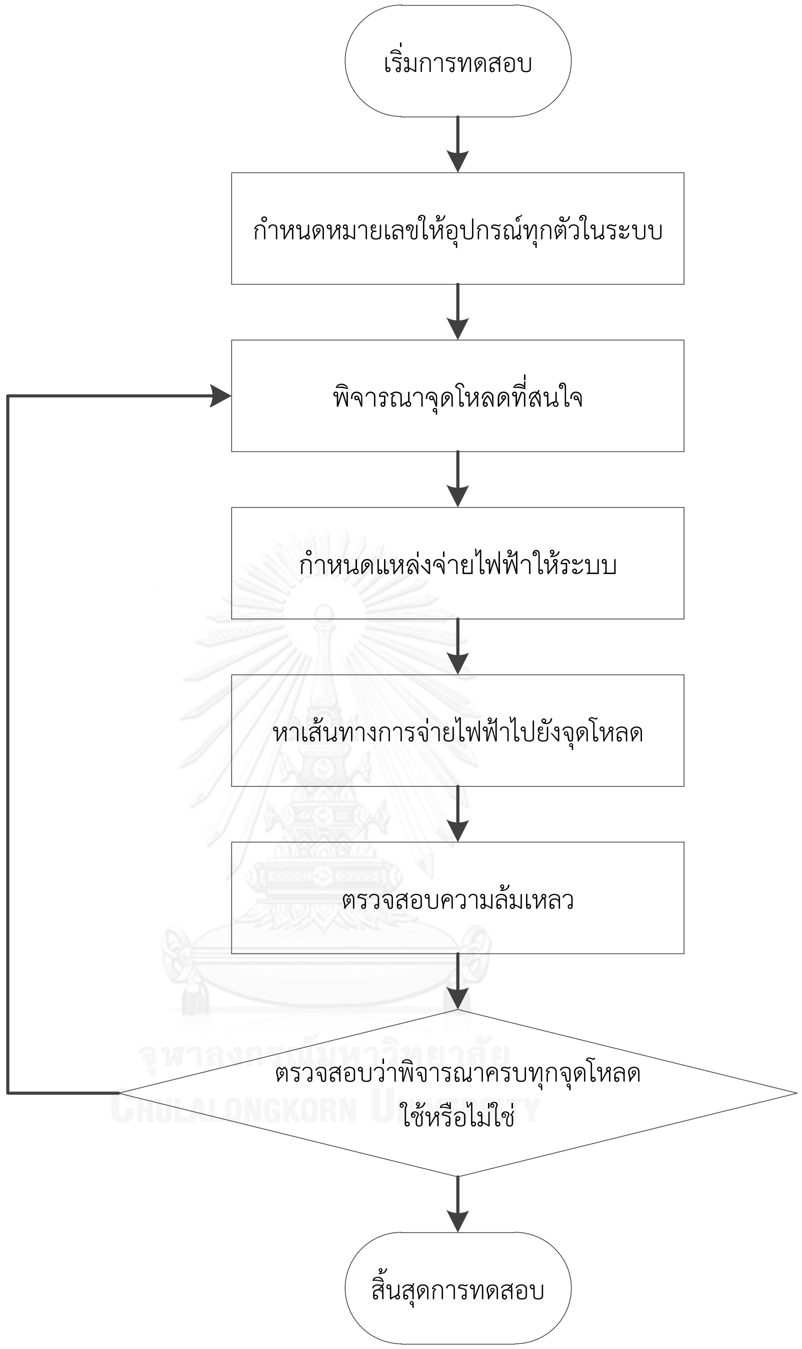
การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำสาขาหรือการตรวจหาเส้นทางแบบผู้มาก่อนของสาขา (Predecessor of branch) ดังแสดงในภาพที่ 6.4 พิจารณาสาขา (Branch) ถัดไปทีละสาขาจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยนิยามของสาขา คือ เส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าจากจุดส่งไปถึงจุดแยกของกระแสไฟฟ้าหรือจุดสิ้นสุดทางเดินของกระแสไฟฟ้า จากภาพที่ 6.4 พบว่ามีสาขาของระบบ 4 สาขา ซึ่งวิธีนี้ข้อดี คือ เพียงทราบแค่สาขาของระบบโดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาอุปกรณ์ที่อยู่ในสาขา ซึ่งการหาเส้นทางจะพิจารณาอุปกรณ์ที่อยู่ที่ต้นสุดและปลายสุดของแต่ละสาขาเท่านั้น ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงไม่ต้องทำงานหนักในการที่จะต้องพิจารณาทุกอุปกรณ์ นอกจากนี้วิธีนี้สามารถจำสาขาที่ปลายของสาขาเป็นจุดปมได้จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาย้อนกลับไปกลับมาซึ่งเป็นข้อดีที่เหมือนกับวิธีแบบจดจำปม



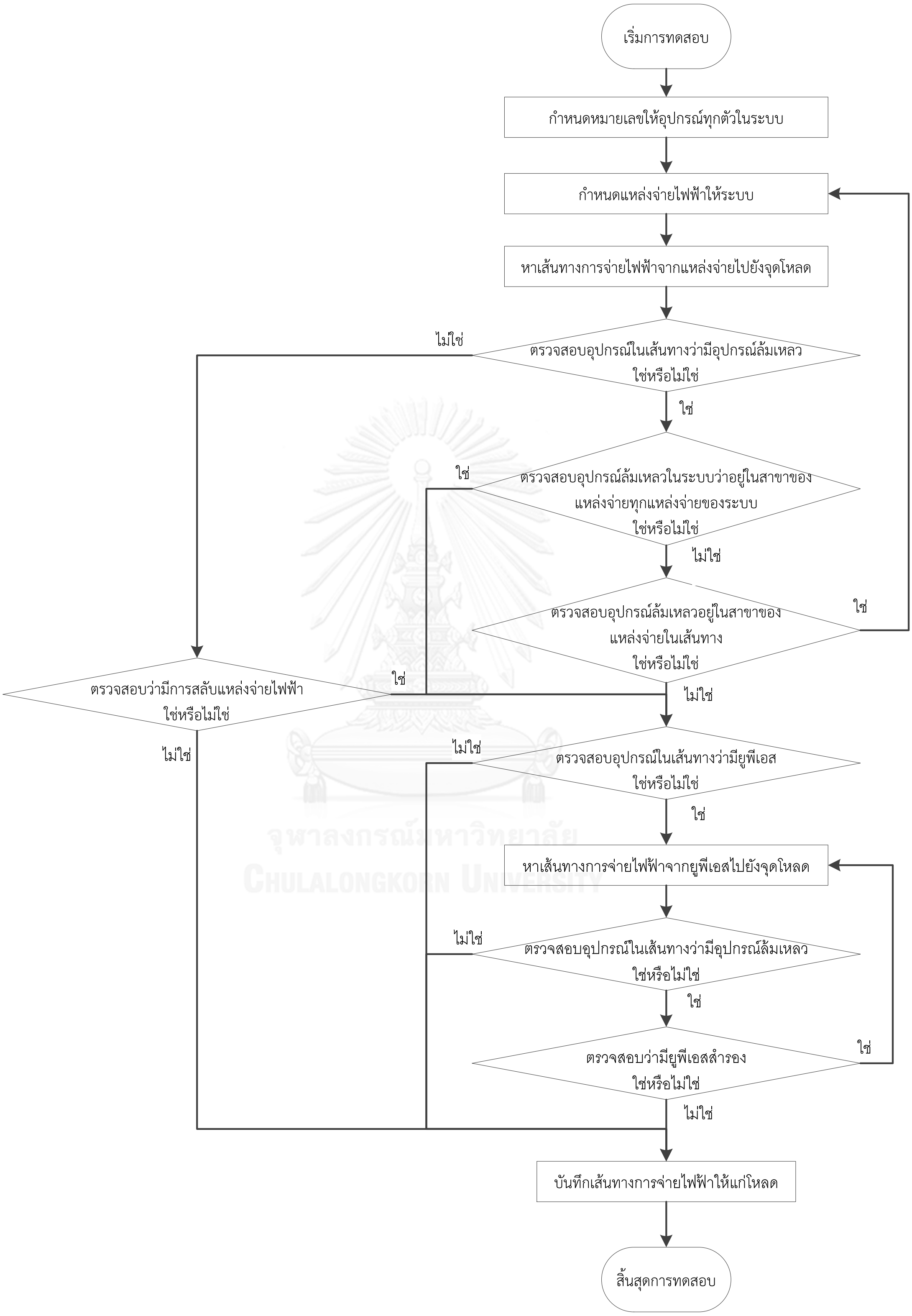
ภาพที่ 6.4 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางจากผู้มาก่อนของสาขา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธีการตรวจหาเส้นทางการจ่ายของไฟฟ้า โดยวิธีผู้มาก่อนของสาขา เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนสามารถจัดการหาเส้นทางของระบบที่มีรูปแบบซับซ้อนได้ดีกว่ารวดเร็วกว่าวิธีอื่น เนื่องจากวิธีนี้จะหาเฉพาะเส้นทางจากสาขาที่เชื่อมต่อกันระหว่างแหล่งจ่ายถึงจุดโหลด จึงทำให้ทราบได้ว่าเส้นทางใดที่เคยผ่านมาแล้ว โดยไม่จำเป็นต้องหาเส้นทางซ้ำ และการหาเส้นทางจะไม่สนใจว่าจะมีอุปกรณ์อยู่บนเส้นทางกี่อุปกรณ์ ซึ่งการหาเส้นทางพอถึงจุดสุดปลายทางไม่จำเป็นต้องไปเริ่มที่จุดเริ่มต้นใหม่ จึงช่วยทำให้คอมพิวเตอร์ไม่ต้องทำงานหนักในการพิจารณาเส้นทางเพื่อหาคำตอบ และง่ายในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากเหตุผลข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการนี้

ขั้นตอนที่ใช้ในการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 6.5 โดยจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ระบบที่จะทำการพิจารณาต้องมีโครงสร้างของระบบเป็นแบบเรเดียล (Radial) เท่านั้น และเนื่องจากในระบบนั้นมีอุปกรณ์ที่มีเงื่อนไขพิเศษตามที่ระบุไว้ในข้อ 4.9 ดังนั้นวิธีการหาเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังจุดโหลดจึงแสดงได้ ดังภาพที่ 6.6



ภาพที่ 6.5 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบ



ภาพที่ 6.6 แสดงขั้นตอนการหาเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

6.2 การประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้

การคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงสถิติการทำงานหรือการคาดการณ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบว่าจะเกิดเหตุขัดข้องขึ้นบ่อยครั้งหรือเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้นแล้วต้องใช้เวลาซ่อมแซมนานหรือไม่ เพื่อที่จะสามารถทำการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตามปกติอีกครั้ง ซึ่งดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่นิยมพิจารณาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และ 2) ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.7

ภาพที่ 6.7 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด

ดัชนีความเชื่อถือได้พื้นฐาน ณ จุดโหลดที่นิยมใช้ ได้แก่

6.2.1.1 อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย

อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย (Average failure rate : λ) หมายถึงความถี่ของการล้มเหลวหรือการไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ณ จุดโหลดตามที่กำหนดไว้โดยค่าเฉลี่ย ความถี่ดังกล่าวมักจะมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อหนึ่งปี

6.2.1.2 ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ย

ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ย (Average outage time : $\boldsymbol{r}$) หมายถึงช่วงเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องหรือเกิดไฟฟ้าดับ ณ จุดโหลดนั้น ในแต่ละครั้งจนระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติ

6.2.1.3 ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี

ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี (Average annual outage time : $\boldsymbol{U}$) หมายถึงช่วงระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องรวมกันทั้งหมดในหนึ่งปี

การคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ณ จุดโหลด ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลจะมีสมการในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{N}{\sum T_u} \tag{6.2}$$

$$r = \frac{\sum T_d}{N} \tag{6.3}$$

$$U = \frac{\sum T_d}{\sum T_u + \sum T_d} \tag{6.4}$$

โดยที่

T_U คือ เวลาที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้

T_d คือ เวลาที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดได้

N คือ จำนวนครั้งที่เสียในช่วงเวลาที่ทำการสุ่ม

λ คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

r คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์

6.2.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

จากค่าดัชนีพื้นฐาน ณ จุดโหลด จะนำไปคำนวณดัชนีความน่าเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer-oriented index) ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้ที่บอกถึงค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ไฟดับและจำนวนเวลาที่ไฟดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 ราย ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบกันระหว่างระบบต่างๆ ได้ และยังทำให้สามารถตั้งเป้าหมายจำนวนครั้งหรือเวลาที่จะปรับปรุงให้ดีขึ้นและดำเนินการให้เป็นไปตามเป้าหมายได้ ดัชนีดังกล่าวได้แก่

6.2.2.1 ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย

ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย (System average interruption frequency index : SAIFI) หมายถึง ดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ปี โดยสามารถคำนวณได้ตาม (6.5)

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \tag{6.5}$$

โดยที่

λ คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.2 ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย (System average interruption duration index : SAIDI) หมายถึง ดัชนีแสดงช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ชั่วโมง/ราย/ปี โดยสามารถคำนวณได้ตาม (6.6)

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \qquad (6.6)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.3 ดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Customer average interruption frequency index : CAIFI) หมายถึง ดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ปี โดยสามารถคำนวณได้ตาม (6.7)

$$\text{CAIFI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับทั้งหมด}}$$

$$\text{CAIFI} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum M_i} \qquad (6.7)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

M คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับ

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.4 ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงช่วงระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Customer average interruption duration index : CAIDI) หมายถึง ดัชนีแสดงช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ชั่วโมง/ครั้ง โดยสามารถคำนวณได้ตาม (6.8)

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตลอดปี}}$$

$$\text{CAIDI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \qquad (6.8)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

λ คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.5 ดัชนีแสดงการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Average service availability index : ASAI) สามารถคำนวณได้ตาม (6.9)

$$\text{ASAI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนชั่วโมงที่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย}}{\text{ผลรวมของจำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายต้องการไฟฟ้า}}$$

$$\text{ASAI} = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \qquad (6.9)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.6 ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Average service unavailability index : ASUI) สามารถคำนวณได้ตาม (6.10)

$$\text{ASUI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนชั่วโมงที่ไม่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย}}{\text{ผลรวมของจำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายต้องการไฟฟ้า}}$$

$$\text{ASUI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \qquad (6.10)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.7 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Energy not supplied : ENS) หมายถึง ดัชนีที่แสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี สามารถคำนวณได้ตาม (6.11)

$$\text{ENS} = \text{ผลรวมของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า}$$

$$\text{ENS} = \sum P_i U_i \qquad (6.11)$$

โดยที่

U คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในหนึ่งปี

P คือ โหลดเฉลี่ยที่จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.8 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Average Energy not supplied : AENS) หมายถึง ดัชนีที่แสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ราย/ปี สามารถคำนวณได้ตาม (6.12)

$$\text{AENS} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}}$$

$$\text{AENS} = \frac{ENS}{\sum N_i} \qquad (6.12)$$

โดยที่

ENS คือ ผลรวมของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.2.2.9 ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการจริงแต่ขาดหายไปในช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 รายโดยเฉลี่ย

ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการจริงแต่ขาดหายไปในช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 รายโดยเฉลี่ย (Average customer curtailment index : ACCI) มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ราย/ปี สามารถคำนวณได้ตาม (6.13)

$$\text{AENS} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับทั้งหมด}}$$

$$\text{AENS} = \frac{ENS}{\sum M_i} \qquad (6.13)$$

โดยที่

ENS คือ ผลรวมของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับ

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

6.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการการตรวจสอบความล้มเหลวของระบบไฟฟ้า โดยอธิบายวิธีการหาเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังจุดโหลด ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธีการตรวจหาเส้นทางการจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยการตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำสาขาหรือการตรวจหาเส้นทางแบบผู้มาก่อนของสาขา และท้ายสุดได้นำเสนอการประเมินดัชนีความน่าเชื่อถือได้ โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้า

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังกล่าวถึงแบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (Customer damage function) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับที่สำรวจมาจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบบจำลองดังกล่าวถูกใช้ในการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ

7.1 แบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า [3]-[5], [20]

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ตามโครงการศึกษาอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ (โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ในปี 2556 โครงการดังกล่าวได้ทำการศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจที่เกิดกับผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้าดับ โดยทำการเก็บข้อมูลความเสียหายจากผู้ใช้ไฟฟ้าหลากหลายประเภทจากพื้นที่ต่าง ผ่านแบบสอบถามโดยวิธีสัมภาษณ์ตรงและอินเตอร์เน็ต และเก็บข้อมูลในรูปแบบของค่าความเสียหายในแต่ละระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้า ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองความเสียหาย ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายในรูปแบบของจำนวนเงิน (บาท) ต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW-peak) กับระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับโดยแยกตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและตามพื้นที่ต่างๆ รายละเอียดของแต่แบบจำลองความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยแบ่งแยกออกเป็น 4 ประเภทคือ

7.1.1 แบบจำลองความเสียหายแยกตามโครงสร้างค่าไฟฟ้า

แบบจำลองนี้จะแบ่งตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าตามโครงสร้างค่าไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย

ประเภทที่ 1 บ้านพักอาศัย

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก เช่น ร้านขายของ อาคารพาณิชย์ ซึ่งเป็นกิจการที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 30 กิโลวัตต์

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง คือ กิจการที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 2,000 กิโลวัตต์

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ คือ กิจการที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 2,000 กิโลวัตต์

ประเภทที่ 5 ธุรกิจเฉพาะอย่าง คือ ธุรกิจภัตตาคาร โรงแรม ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

ประเภทที่ 6 หน่วยงานราชการและองค์กรไม่แสวงผลกำไร

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร.

นอกจากนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทในแบบจำลองนี้ยังแบ่งตามพื้นที่การจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอีกด้วย

7.1.2 แบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟในนิคมอุตสาหกรรม

โดยจะแบ่งตามพื้นที่การจ่ายไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

7.1.3 แบบจำลองความเสียหายตาม Thai Standard Industrial Classification (TSIC)

ผู้ใช้ไฟฟ้าตามแบบจำลองประเภทนี้แบ่งออกเป็น 9 หมวดหลัก ตามที่แสดงในตารางที่ 7.1 นอกจากนี้แบบจำลองนี้ยังแบ่งตามพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอีกด้วย

ตารางที่ 7.1 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าตาม Thai Standard Industrial Classification (TSIC)

หมวดที่	TSIC	ประเภทผู้ใช้
1	31	การผลิตอาหารเครื่องดื่มและยาสูบ
2	32	การผลิตสิ่งทอ สิ่งถัก เครื่องแต่งกาย หนังสัตว์ และผลิตภัณฑ์หนังสัตว์
3	33	การผลิตไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ รวมทั้งเครื่องเรือน
4	34	การผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ การพิมพ์ และการพิมพ์โฆษณา
5	35	การผลิตเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ยาง และพลาสติก
6	36	การผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ ยกเว้นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน
7	37	อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน
8	38	การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์
9	39	อุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ

7.1.4 แบบจำลองความเสียหายของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มักจะได้รับความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับในแต่ละครั้งเป็นจำนวนเงินสูงมากจึงมีการจัดทำแบบจำลองชนิดนี้ขึ้น โดยแบ่งตามพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิทยานิพนธ์นี้ประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบจำลองความเสียหายที่ 3 คือ แบบจำลองความเสียหายตาม Thai Standard Industrial Classification (TSIC) เนื่องจากแบบจำลองนี้ได้ระบุประเภทของอุตสาหกรรมซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกค่าความเสียหายที่ตรงกับระบบไฟฟ้าของอุตสาหกรรมที่ต้องการ โดยใช้ฟังก์ชั่นความเสียหายแบบรวมประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า (Composite Customer Damage Function : CCDF) ในแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งแสดงในตารางที่ 7.2 และ ตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.2 แบบจำลองตามฟังก์ชั่นความเสียหาย CCDF ในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง

ค่าความเสียหายตาม TSIC ในพื้นที่จ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง							
TSIC	ระยะเวลาไฟฟ้าดับ (Bath / kW-average)						
	3 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	180 นาที	240 นาที	480 นาที
31	17.97	34.60	129.98	141.19	180.04	217.98	307.62
32	14.20	37.78	45.79	53.07	75.40	90.28	149.83
33	4.88	22.35	44.22	66.10	131.72	175.47	350.47
34	12.93	23.26	36.49	47.93	82.45	105.46	197.50
35	46.39	77.45	95.09	120.49	150.58	168.47	240.03
36	5.59	48.88	85.64	98.79	138.24	164.55	286.91
37	14.01	21.44	62.09	65.13	75.35	81.41	105.66
38	38.92	53.01	64.10	73.99	103.65	123.43	202.54
39	41.48	80.10	101.13	120.73	179.56	218.77	375.63

ตารางที่ 7.3 แบบจำลองตามฟังก์ชั่นความเสียหาย CCDF ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ค่าความเสียหายตาม TSIC ในพื้นที่จ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค							
TSIC	ระยะเวลาไฟฟ้าดับ (Bath / kW-average)						
	3 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	180 นาที	240 นาที	480 นาที
31	23.76	74.17	107.49	118.00	170.28	215.30	409.80
32	51.80	98.31	112.97	123.73	156.00	177.51	263.58
33	1.28	17.93	78.66	88.89	119.59	140.10	222.24
34	13.78	40.42	107.23	122.10	182.47	212.22	331.22
35	58.34	133.25	147.36	154.76	176.96	192.45	263.71
36	15.68	61.49	252.34	279.19	359.75	413.45	630.55
37	42.28	59.65	80.65	86.97	97.28	112.46	248.21
38	58.73	129.03	151.10	165.47	222.39	251.13	366.59
39	18.19	33.69	71.19	85.47	142.03	170.59	284.86

7.2 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted energy rate evaluation)

จากที่กล่าวมาข้างต้น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับคำนวณมาจากค่าความเสียหายจากแบบจำลองความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ [3]-[5], [20] โดยคำนวณร่วมกับค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้และโหลดเฉลี่ยของระบบ ดังนั้น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับจึงเป็นดัชนีที่บอกถึงมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับที่จะเกิดขึ้นจริงของระบบ ซึ่งอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted energy rate : IER) มีหน่วยเป็น บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และอัตราค่าความเสียหายต่อครั้งเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (Interruption Cost per Event : ICPE) มีหน่วยเป็น บาท/ครั้ง สำหรับการคำนวณค่าดัชนี IER และ ICPE จะต้องอาศัยฟังก์ชั่นความเสียหาย CCDF และ สถิติไฟฟ้าดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$IER = \frac{\sum_{k=1}^{N} (CCDF(t_k) \times P_k)}{\sum_{k=1}^{N} (P_k \times t_k)} \quad \text{(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)} \qquad (7.1)$$

$$ICPE = \frac{\sum_{k=1}^{N} (CCDF(t_k) \times P_k)}{N} \quad \text{(บาท/ครั้ง)} \qquad (7.2)$$

โดยที่

$CCDF(t_k)$	คือ มูลค่าความเสียหายของการเกิดไฟฟ้าดับ ครั้งที่ k
P_k	คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้เมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ครั้งที่ k
t_k	คือ ระยะเวลาไฟฟ้าดับของการเกิดไฟฟ้าดับ ครั้งที่ k
N	คือ จำนวนการเกิดไฟฟ้าดับทั้งหมด

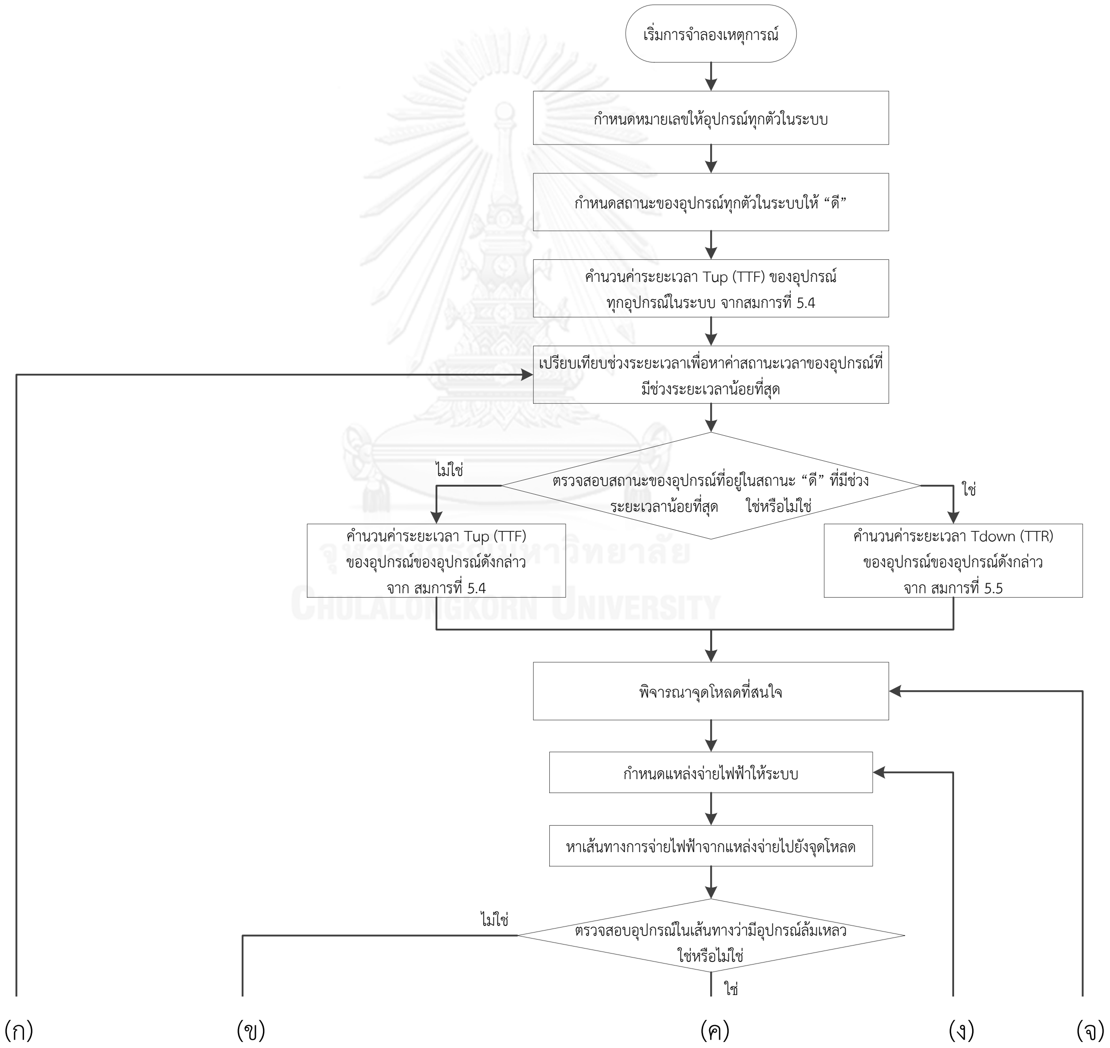
7.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้าโดยมีรายละเอียด 2 ส่วนคือ ส่วนแรกแบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer damage function) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับที่สำรวจมาจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ แบบจำลองดังกล่าวถูกใช้ในการคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ และส่วนที่สองคือ การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted energy rate evaluation) ซึ่งได้นำเสนอวิธีการในการคำนวนอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับต่างๆ

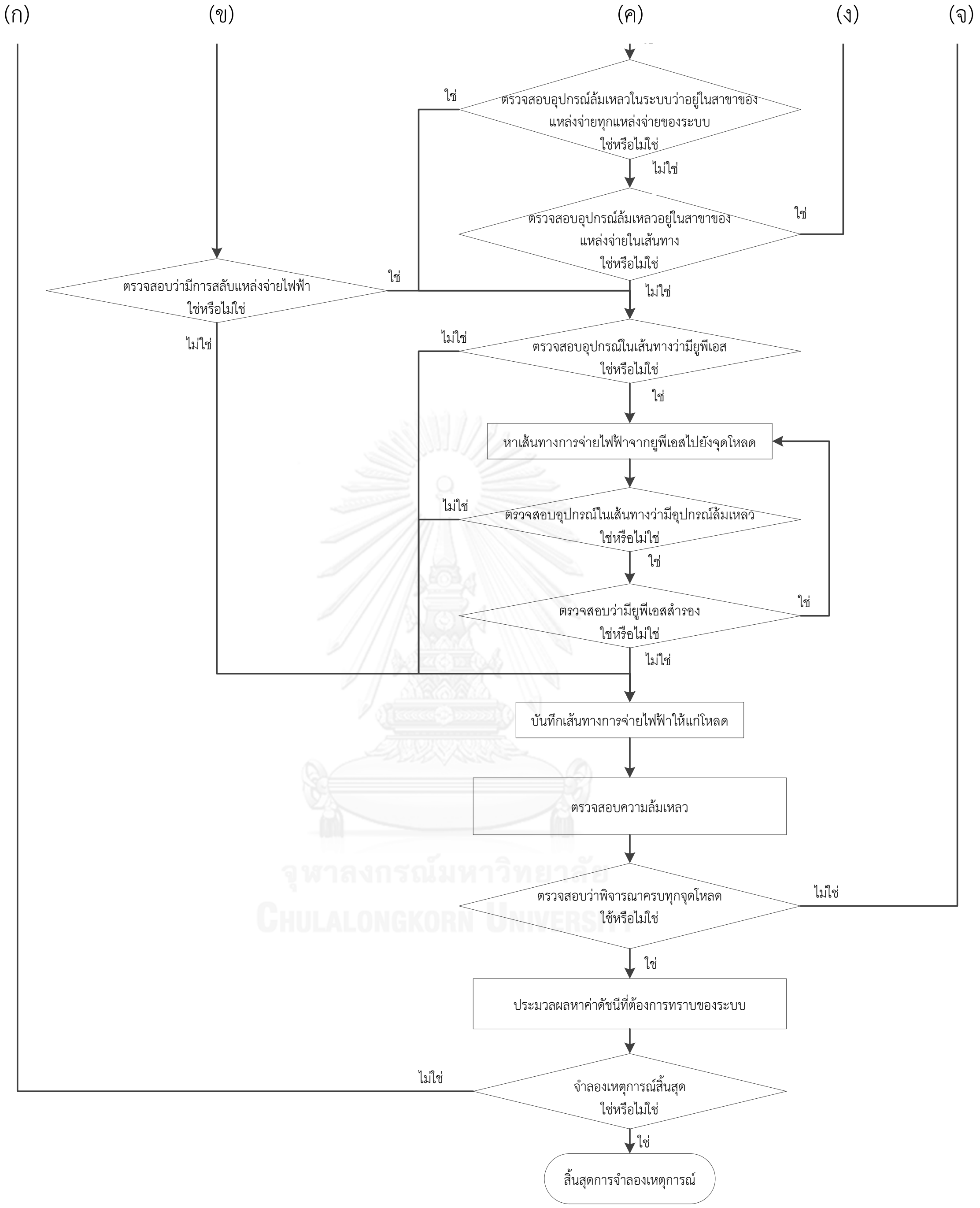
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8
การทดสอบวิเคราะห์ผลความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า

บทนี้จะนำเสนอตัวอย่างการทดสอบประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า โดยจะนำเสนอดัชนีและค่าต่างๆของระบบไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ เปรียบเทียบ รวมถึงวิเคราะห์ผลลัพท์ที่ได้ ซึ่งขั้นตอนการประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8.1



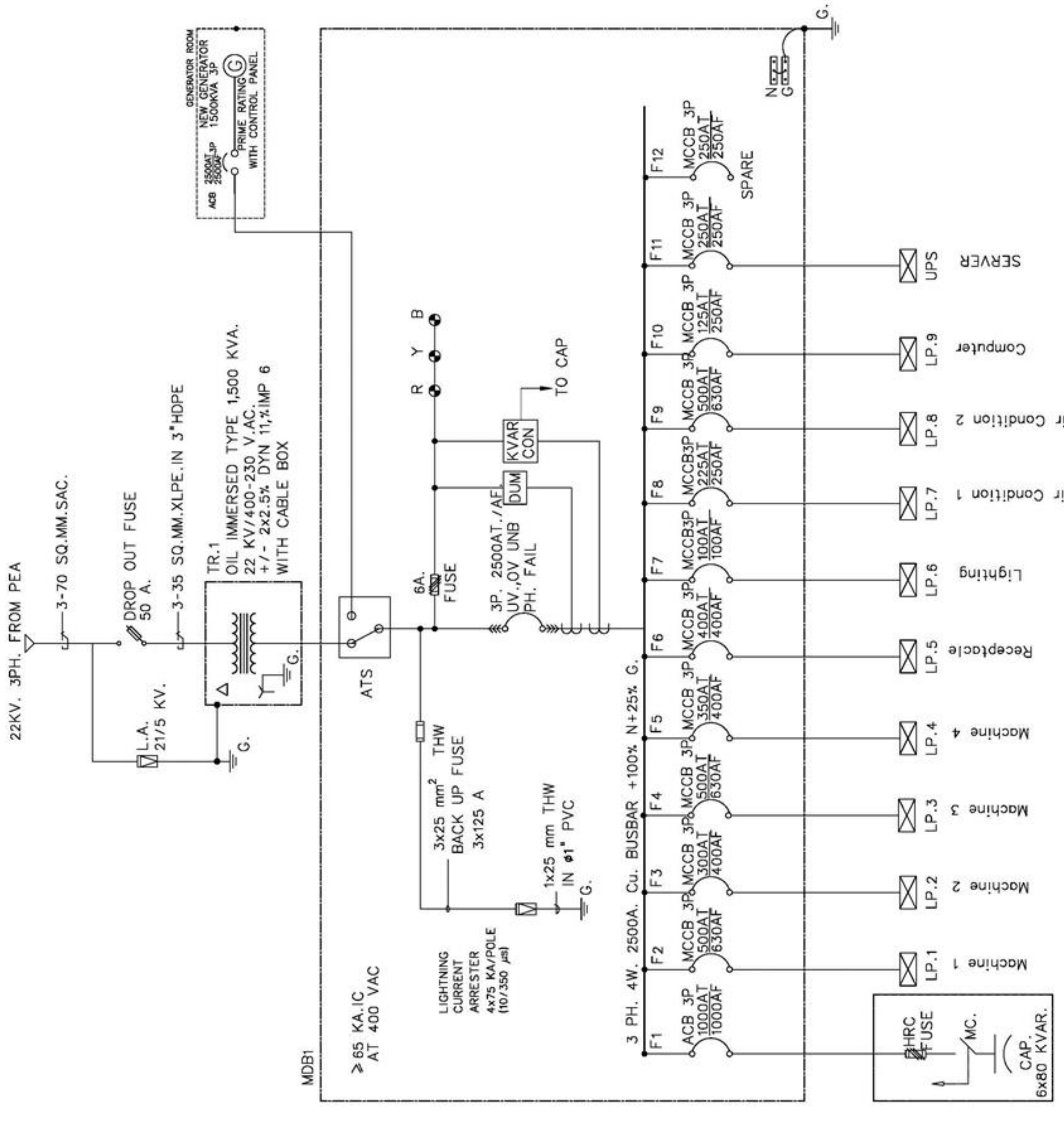
ภาพที่ 8.1 ขั้นตอนการประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ



ภาพที่ 8.1 ขั้นตอนการประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (ต่อ)

8.1 การประเมินความน่าเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า

การทดสอบประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบไฟฟ้า ได้นำระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ แห่งหนึ่งมาทำการทดสอบ ดังภาพที่ 8.1 โดยนำระบบไฟฟ้าของโรงงานดังกล่าวมาดับแปลงระบบไฟฟ้าให้อยู่ในโครงสร้างของการจัดอันดับเทียร์ ในระดับต่าง



ภาพที่ 8.2 แผนภาพเส้นเดียวของโรงงานอุตสาหกรรมที่นำมาทดสอบ

ในระบบไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆหลายชนิด ซึ่งรายละเอียดคุณสมบัติและค่าสำหรับคำนวณดัชนีค่าความน่าเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งใช้ข้อมูลตาม IEEE Std 493™ -2007. [2] ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าใช้ข้อมูลจาก กฟภ. [19] แสดงตามตารางที่ 8.1 และรายละเอียดของโหลดในแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบ แสดงตามตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทดสอบ

Item.	Item Description	Failure rate (f/yr)	MTTR (hr/f)
1.	Power source from PEA.	5.540000	2.9400
2.	Loadbreak, Fuse, >15 kV.	0.101540	4.0000
3.	Transformer, liquid, forced air, <=5000 kVA	0.012630	3.6500
4.	Cable, in Tray, <=600 V, (100 m)	0.032040	0.0000
5.	Cable, aboveground, in conduit,<=600 V, (100 m)	0.002932	0.1131
6.	Cable, aboveground, in conduit, <=600 V, (200 m)	0.005864	0.2262
7.	Automatic Transfer Switch : ATS > 600 A.	0.031870	1.6400
8.	Diesel engine generator,packaged, 250 kW to 1.5 MW,standby	0.123500	18.2800
9.	Control panel, generator, wo/switchgear	0.011110	2.1100
10.	Circuit breaker,Drawout type,>600A	0.023520	14.8000
11.	Bus bar	0.009490	7.2900
12.	Circuit breaker, 600V. Fixed,including molded case, <= 600A	0.002810	8.0000
13.	UPS	0.009380	2.0000
14.	Control panel, switch gear control	0.019620	1.2700

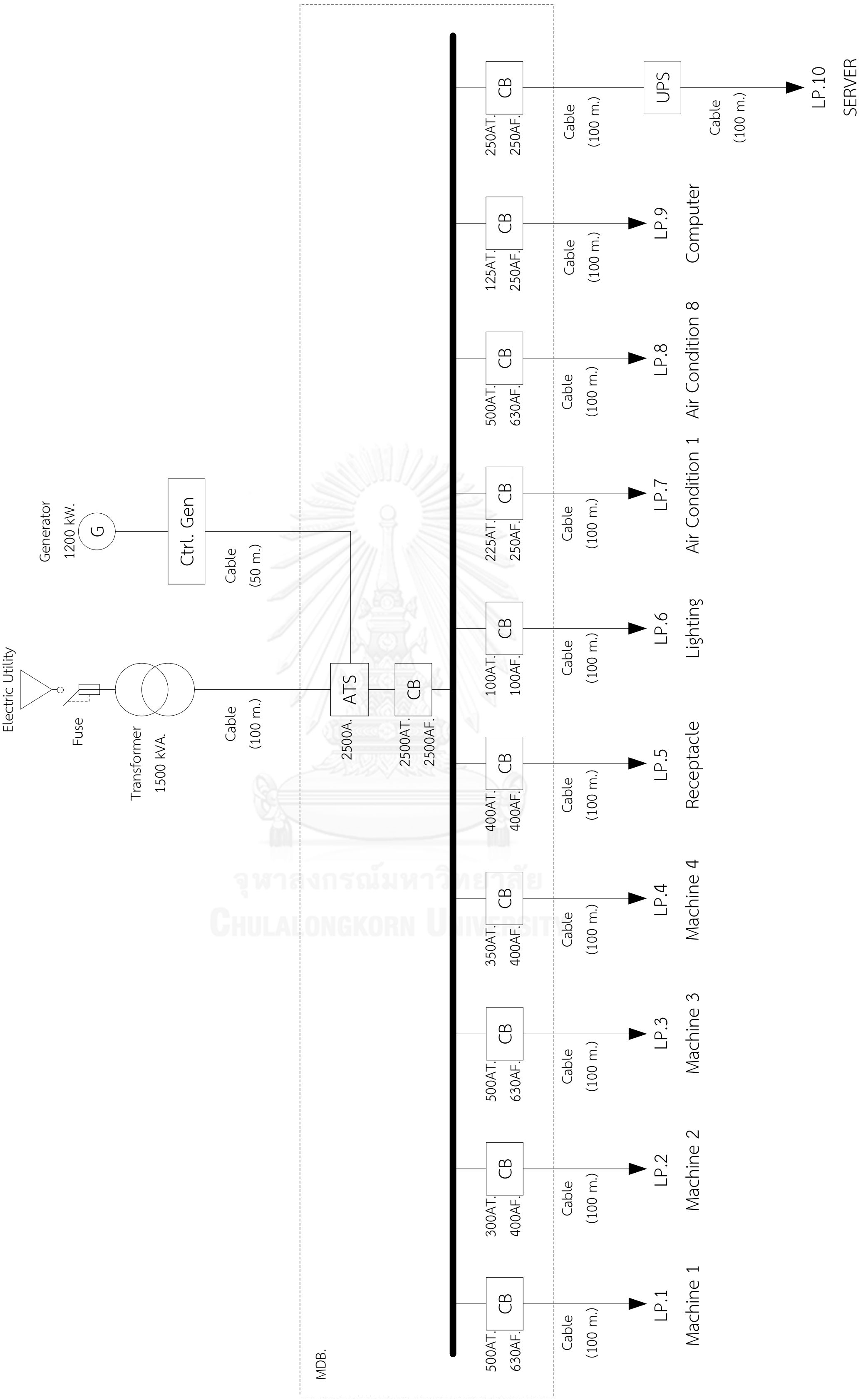
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.2 รายละเอียดของโหลดในแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบ

จุดโหลด (LP)	อุปกรณ์	จำนวนอุปกรณ์ ณ จุดนั้น	จำนวนอุปกรณ์ที่ล้มเหลว ณ จุดนั้น	กำลังไฟฟ้า	Load factor
1	Machine. 1	5	5	33000VA/ชุด	0.8
2	Machine. 2	3	3	33000VA/ชุด	0.8
3	Machine. 3	5	5	33000VA/ชุด	0.8
4	Machine. 4	4	4	27500VA/ชุด	0.8
5	Receptacle	200	200	200VA/ชุด	0.6
6	Lighting	500	500	100VA/ชุด	0.8
7	Air Condition 1	6	6	12500VA/ชุด	0.6
8	Air Condition 2	10	10	17000VA/ชุด	0.6
9	Computer	66	66	1000VA/ชุด	0.8
10	Server	10	10	1500VA/ชุด	0.8

8.1.1 ระบบทดสอบระบบที่ 1

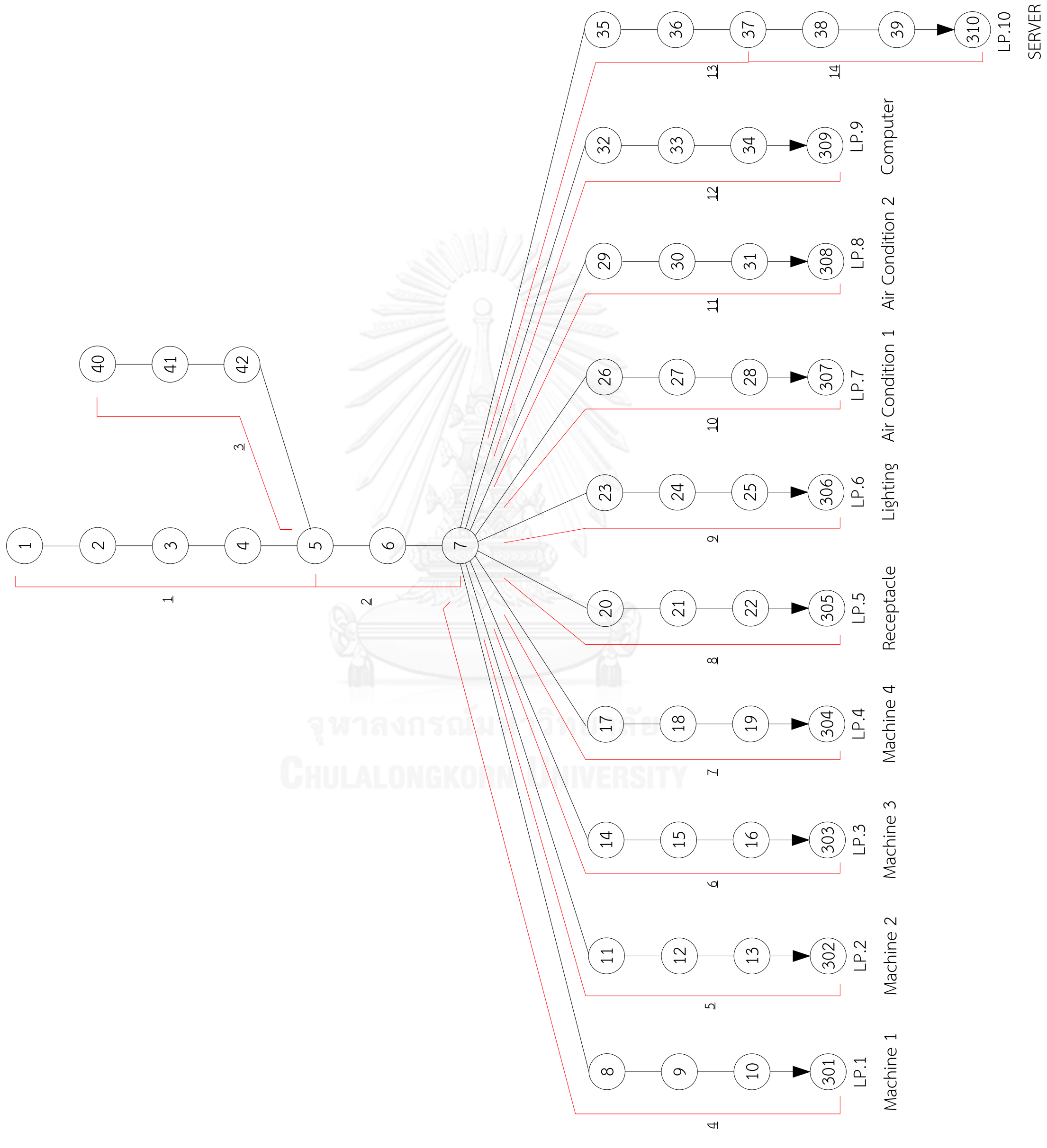
ระบบไฟฟ้าระบบที่ 1 ที่นำมาประเมินนี้มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ ในระดับที่ 1 (Tier 1) ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 8.3



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 8.3 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 1

กำหนดหมายเลขให้กับทุกอุปกรณ์ ทุกสาขา และทุกจุดโหลดในระบบทดสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณค่าดัชนีต่างๆ ของระบบ โดยแผนภาพที่แสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 8.4



ภาพที่ 8.4 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบระบบที่ 1

จากการคำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อได้ของระบบทดสอบระบบที่ 1 จะได้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดตามที่แสดงในตารางที่ 8.3 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงในตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.3 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 1

จุดโหลด (LP)	λ (f/yr)	r (hr/f)	U (hr/yr)	Unavailability	Availability
1	2.578806	0.461556	1.190263	0.000305	0.999695
2	2.590508	0.459983	1.191590	0.000304	0.999696
3	2.593712	0.460494	1.194389	0.000294	0.999706
4	2.564896	0.459276	1.177995	0.000318	0.999682
5	2.575543	0.466868	1.202438	0.000315	0.999685
6	2.579788	0.461109	1.189563	0.000304	0.999696
7	2.580021	0.459975	1.186746	0.000324	0.999676
8	2.591504	0.460231	1.192690	0.000327	0.999673
9	2.569443	0.439109	1.128265	0.000315	0.999685
10	2.150017	0.516869	1.111277	0.000146	0.999854

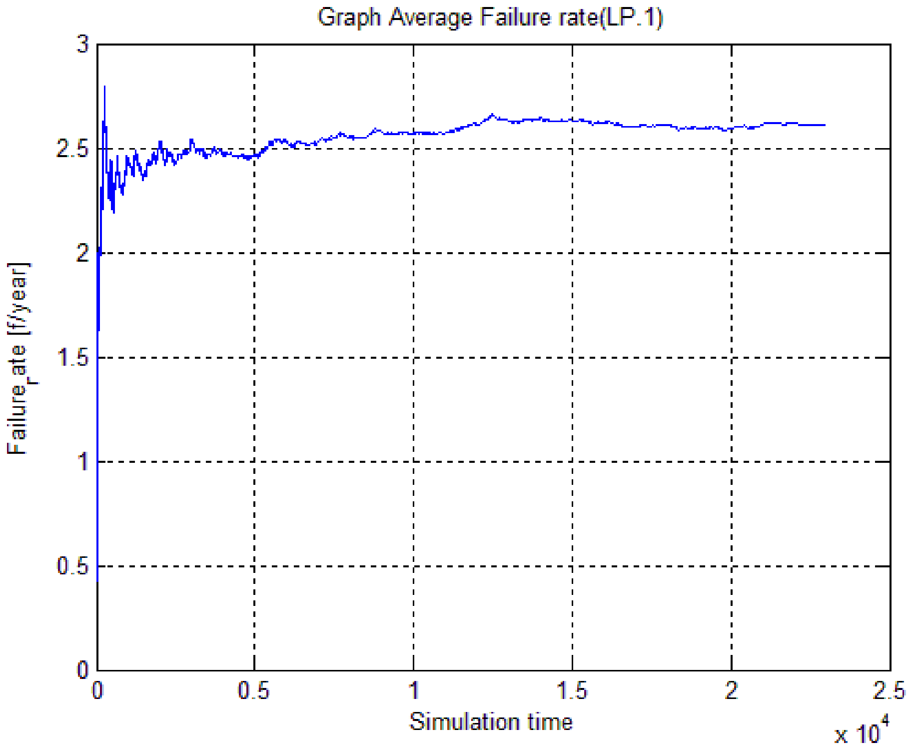
ตารางที่ 8.4 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 1

ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
SAIFI	2.537424	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
SAIDI	1.176522	ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
CAIFI	2.537424	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
CAIDI	0.464547	ชั่วโมง / ครั้ง
ASAI	0.999705	-
ASUI	0.000295	-
ENS	208.7064	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / ปี
AENS	0.257981	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
ACCI	0.257981	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี

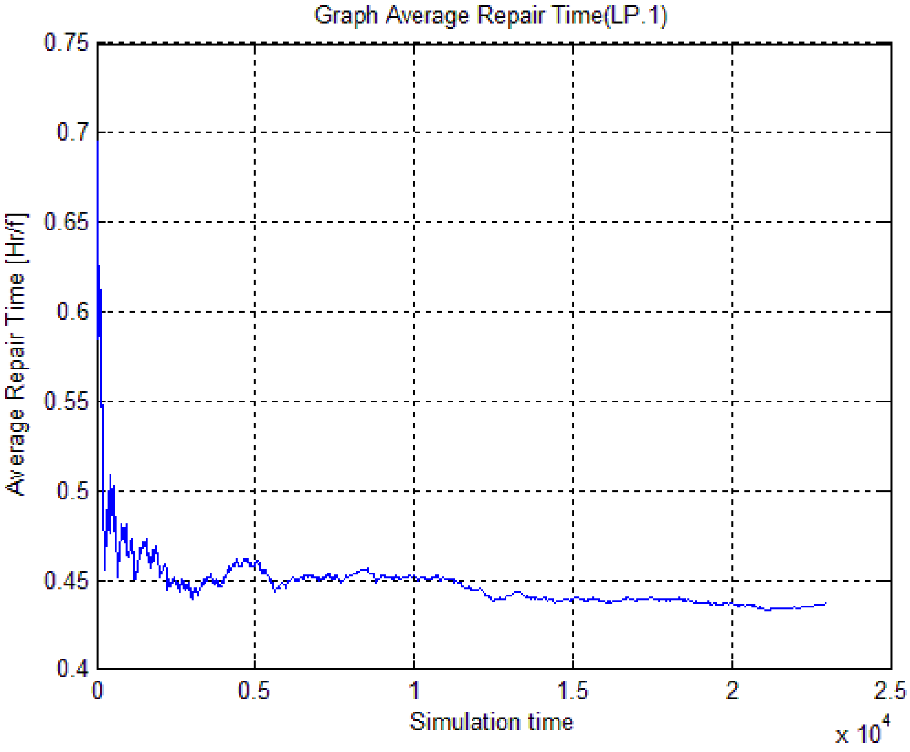
จากดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 1 นำมาหาค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ตามแสดงในตารางที่ 8.5 โดยให้ระบบทดสอบระบบที่ 1 เป็นระบบไฟฟ้าตาม TSIC 38 (การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์)

ตารางที่ 8.5 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 1

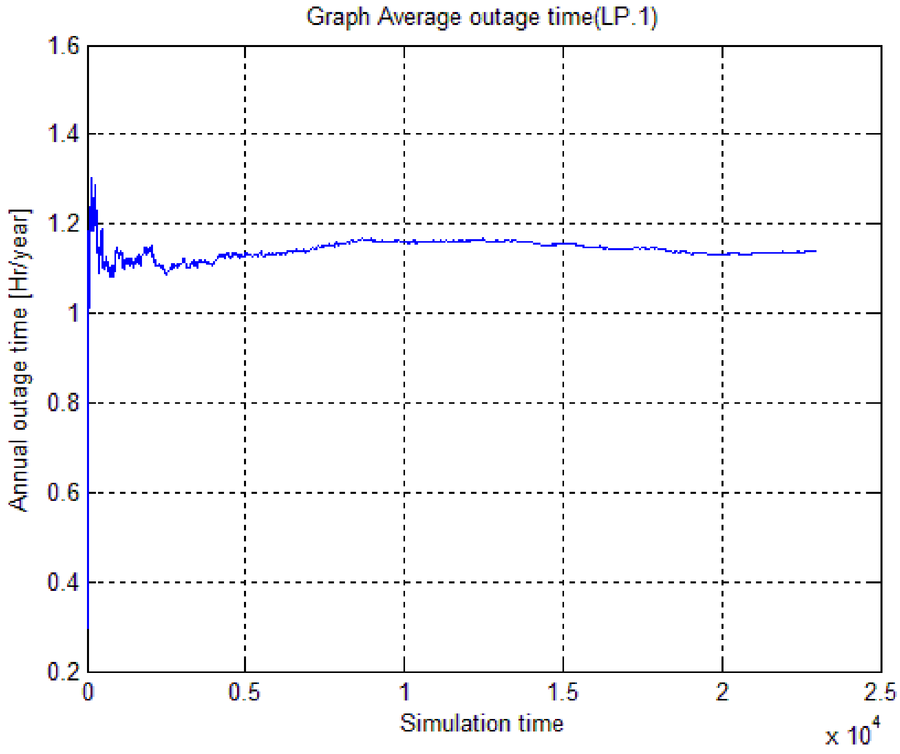
ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
IER	129.933	บาท / กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
ICPE	15682.578	บาท / ครั้ง



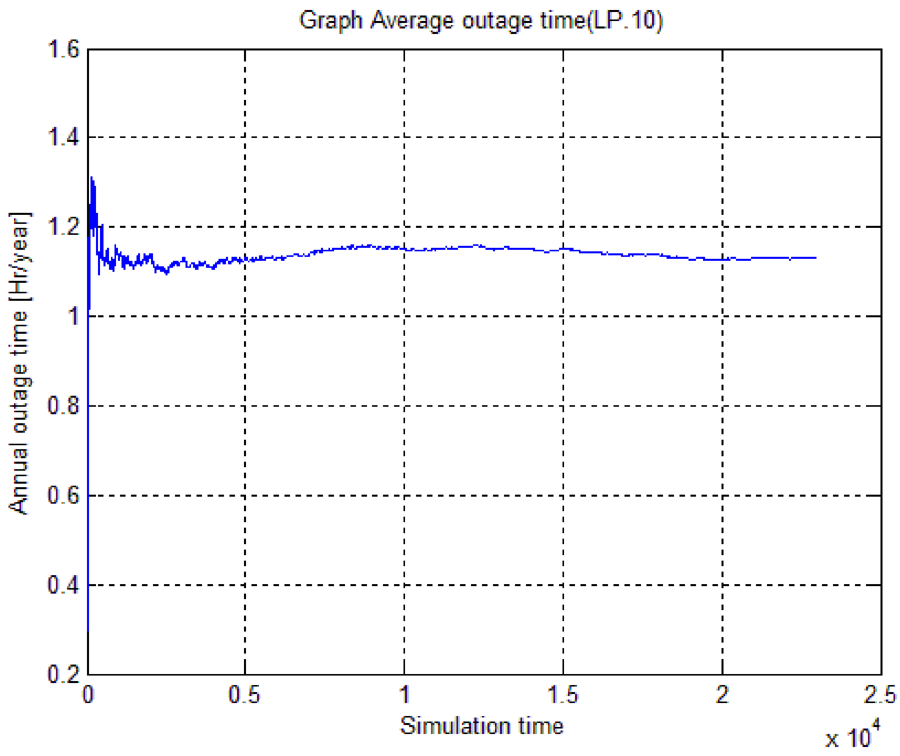
ภาพที่ 8.5 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



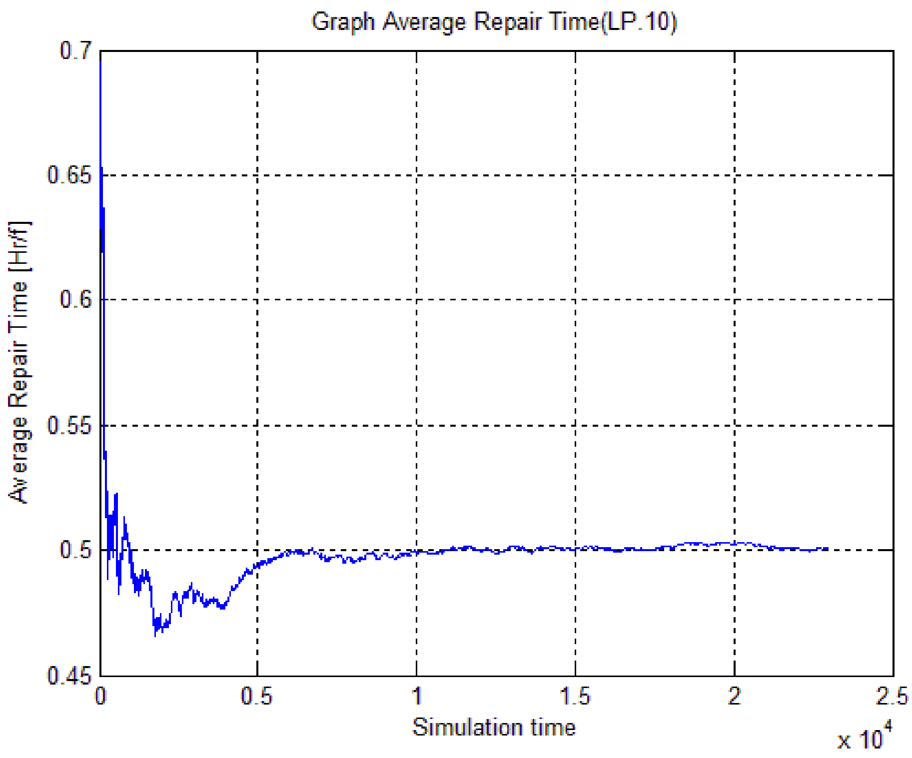
ภาพที่ 8.6 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



ภาพที่ 8.7 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)

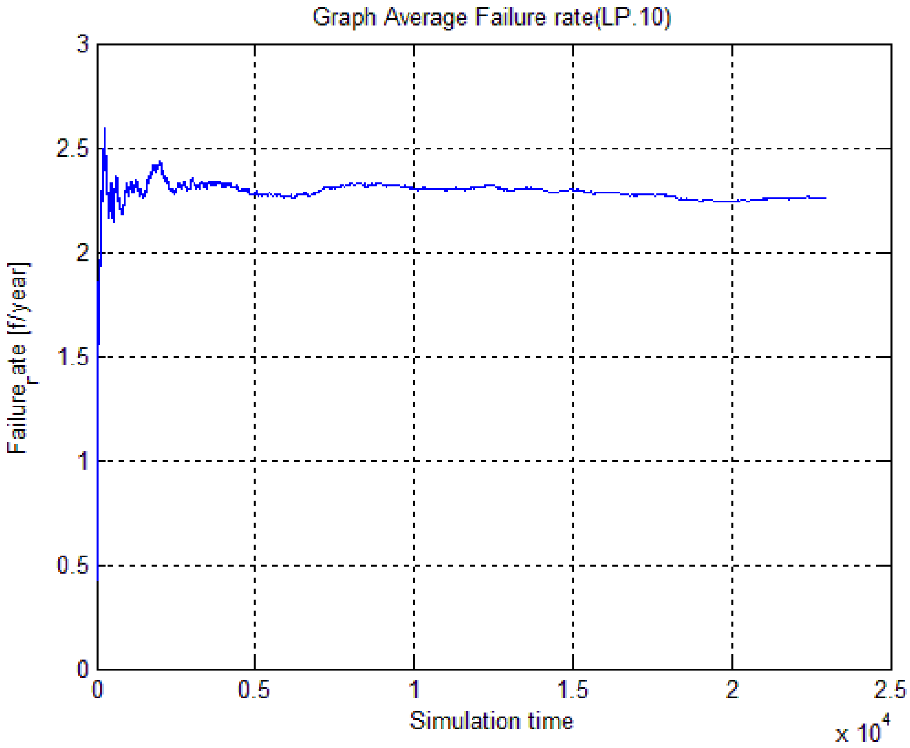


ภาพที่ 8.8 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)



ภาพที่ 8.9 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่10 (LP.10)

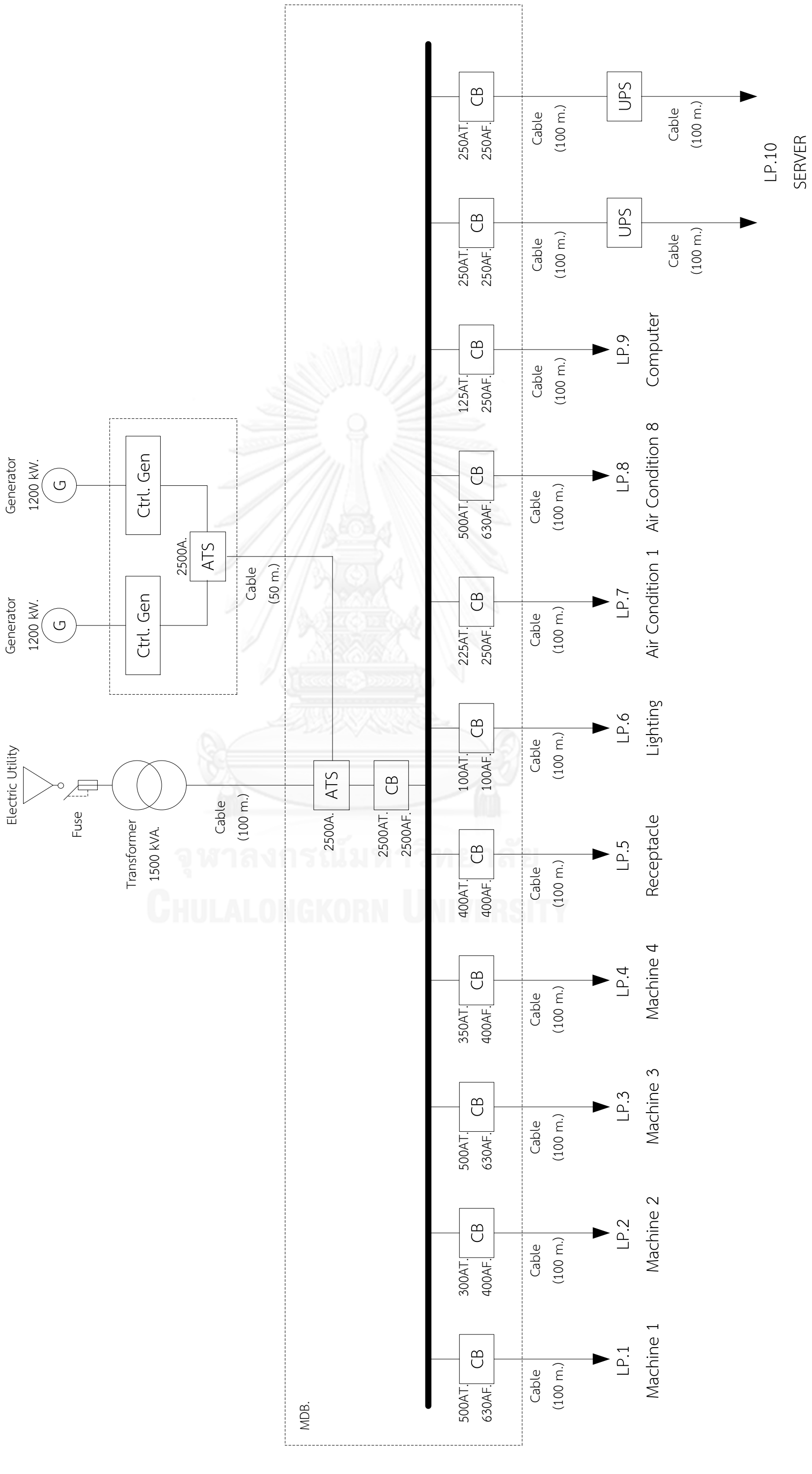


ภาพที่ 8.10 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 1 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

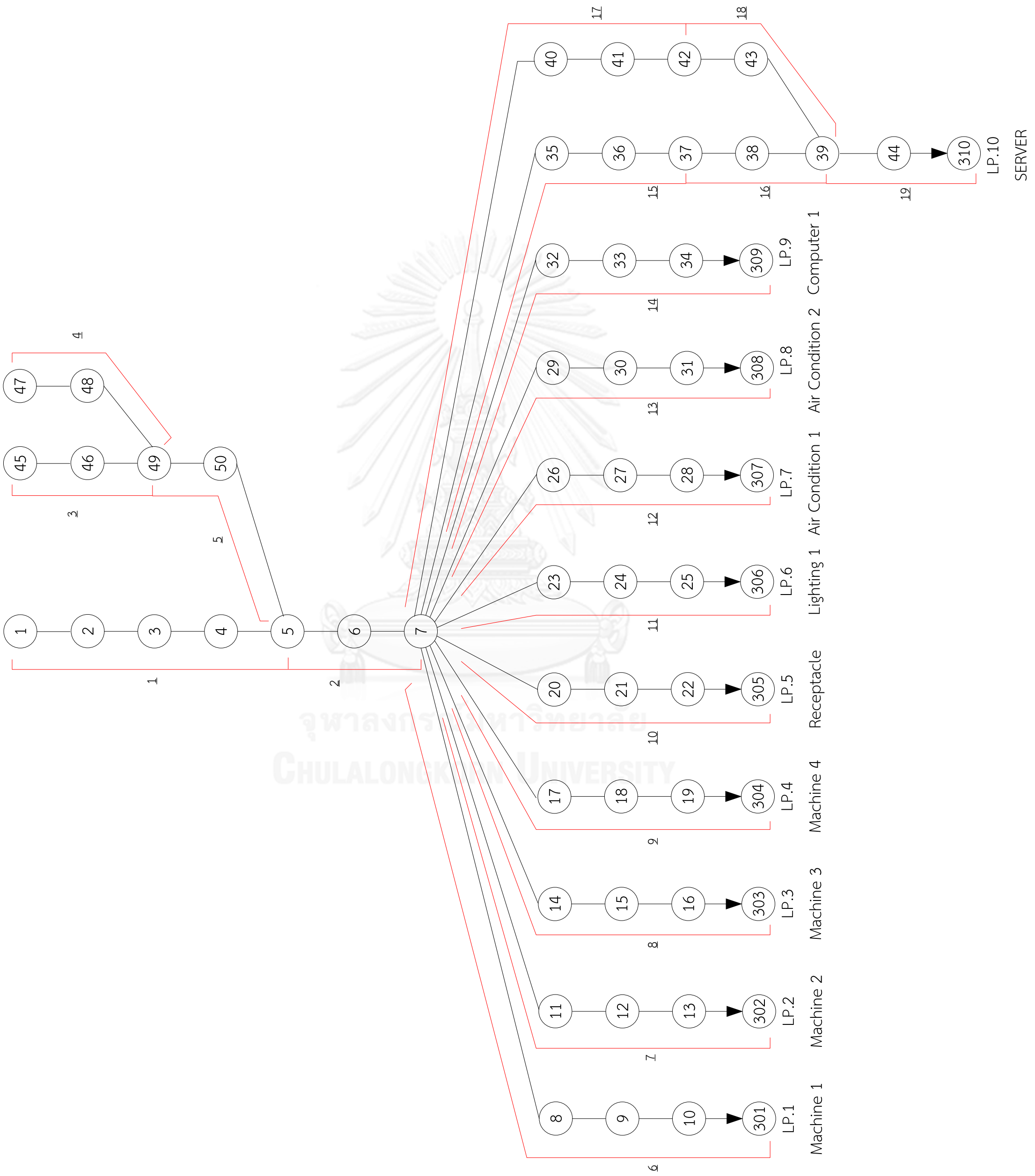
8.1.2 ระบบทดสอบระบบที่ 2

ระบบไฟฟ้าระบบที่ 2 ที่นำมาประเมินนี้มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ ในระดับที่ 2 (Tier 2) ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 8.5



ภาพที่ 8.11 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 2

กำหนดหมายเลขให้กับทุกอุปกรณ์ ทุกสาขา และทุกจุดโหลดในระบบทดสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณค่าดัชนีต่างๆ ของระบบ โดยแผนภาพที่แสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 8.6



ภาพที่ 8.12 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบระบบที่ 2

จากการคำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อได้ของระบบทดสอบระบบที่ 2 จะได้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดตามที่แสดงในตารางที่ 8.6 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงในตารางที่ 8.7

ตารางที่ 8.6 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 2

จุดโหลด (LP)	λ (f/yr)	r (hr/f)	U (hr/yr)	Unavailability	Availability
1	2.443573	0.306362	0.748619	0.000289	0.999711
2	2.454662	0.305318	0.749453	0.000288	0.999712
3	2.457698	0.305657	0.751213	0.000278	0.999722
4	2.430393	0.304849	0.740903	0.000301	0.999699
5	2.440481	0.309888	0.756276	0.000298	0.999702
6	2.444503	0.306065	0.748178	0.000288	0.999712
7	2.444724	0.305313	0.746406	0.000307	0.999693
8	2.455605	0.305482	0.750145	0.000310	0.999690
9	2.434701	0.291462	0.709625	0.000298	0.999702
10	1.822268	0.343077	0.625178	0.000138	0.999862

ตารางที่ 8.7 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 2

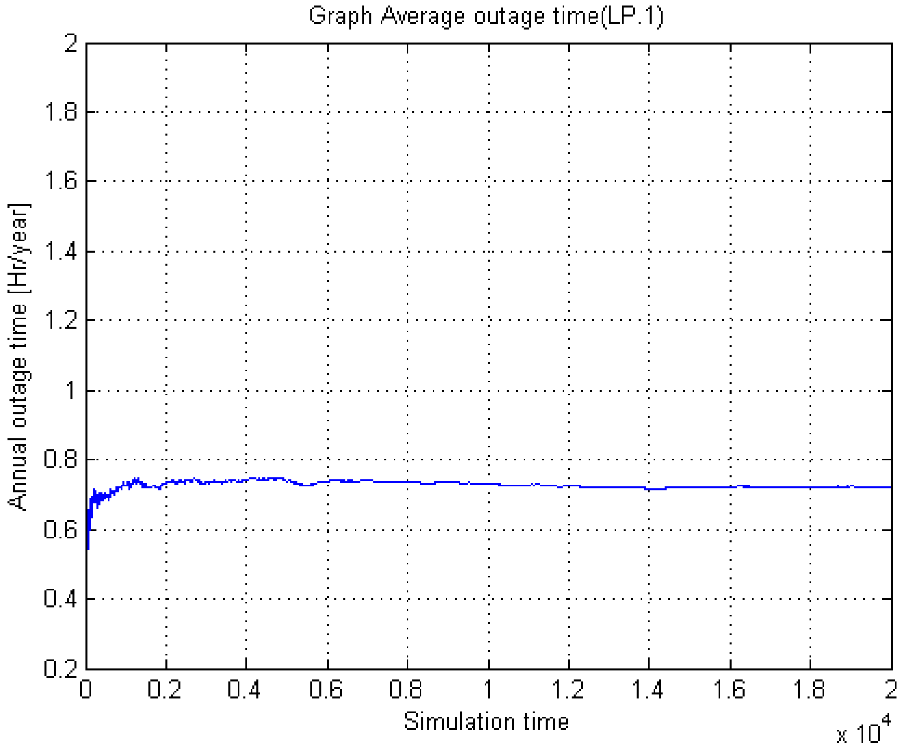
ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
SAIFI	2.382861	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
SAIDI	0.732600	ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
CAIFI	2.382861	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
CAIDI	0.308348	ชั่วโมง / ครั้ง
ASAI	0.999720	-
ASUI	0.000280	-
ENS	197.762	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / ปี
AENS	0.244452	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
ACCI	0.244452	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

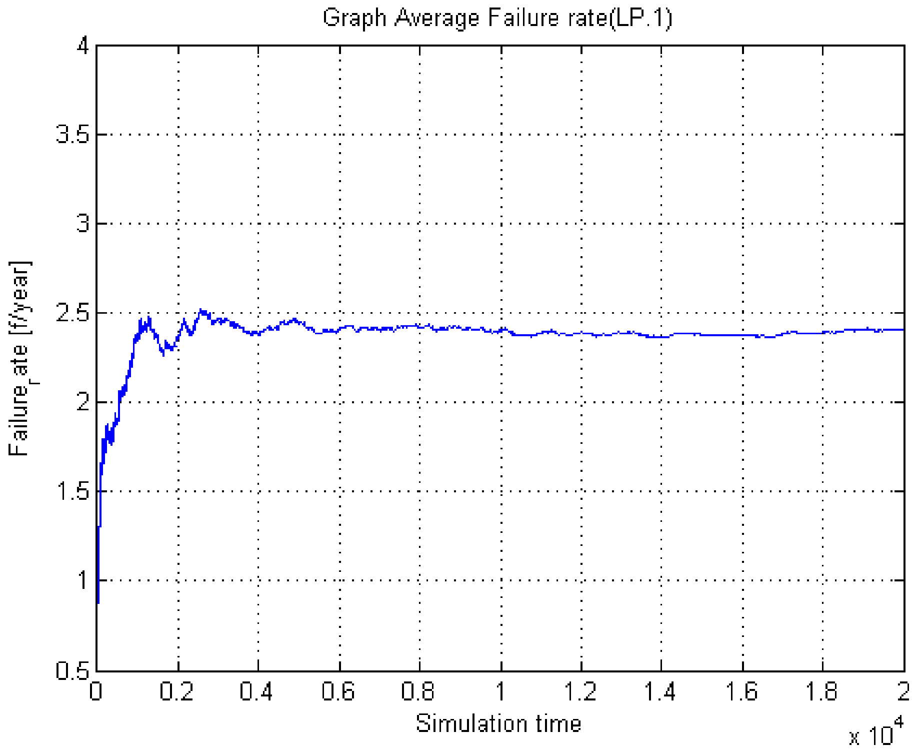
จากดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 2 นำมาหาค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ตามแสดงในตารางที่ 8.8 โดยให้ระบบทดสอบระบบที่ 2 เป็นระบบไฟฟ้าตาม TSIC 38 (การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์)

ตารางที่ 8.8 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 2

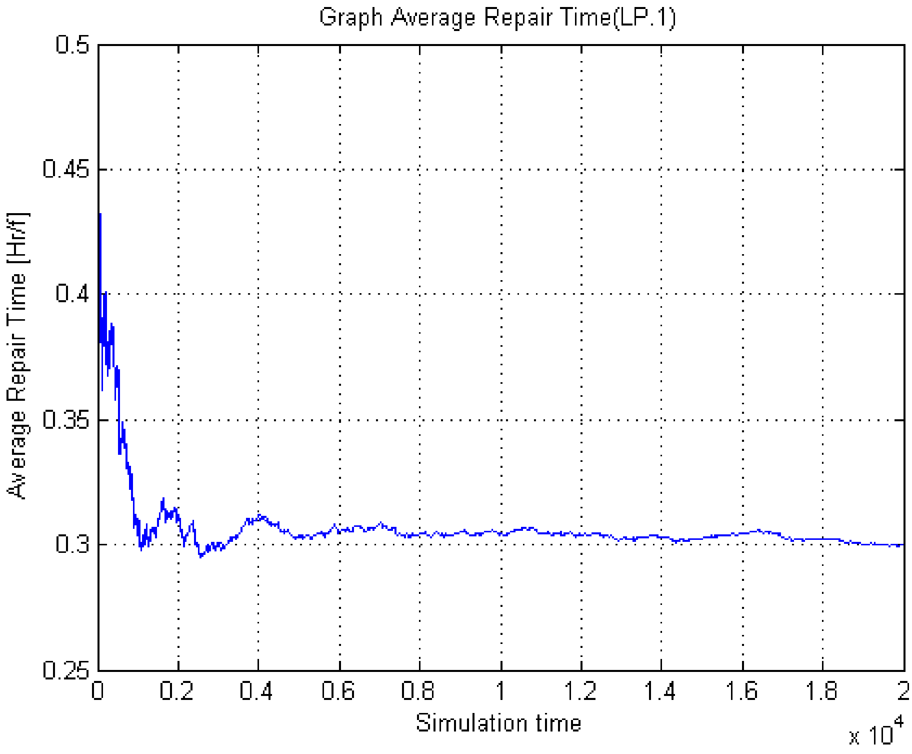
ดัชนี	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย
IER	129.933	บาท / กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
ICPE	15542.342	บาท / ครั้ง



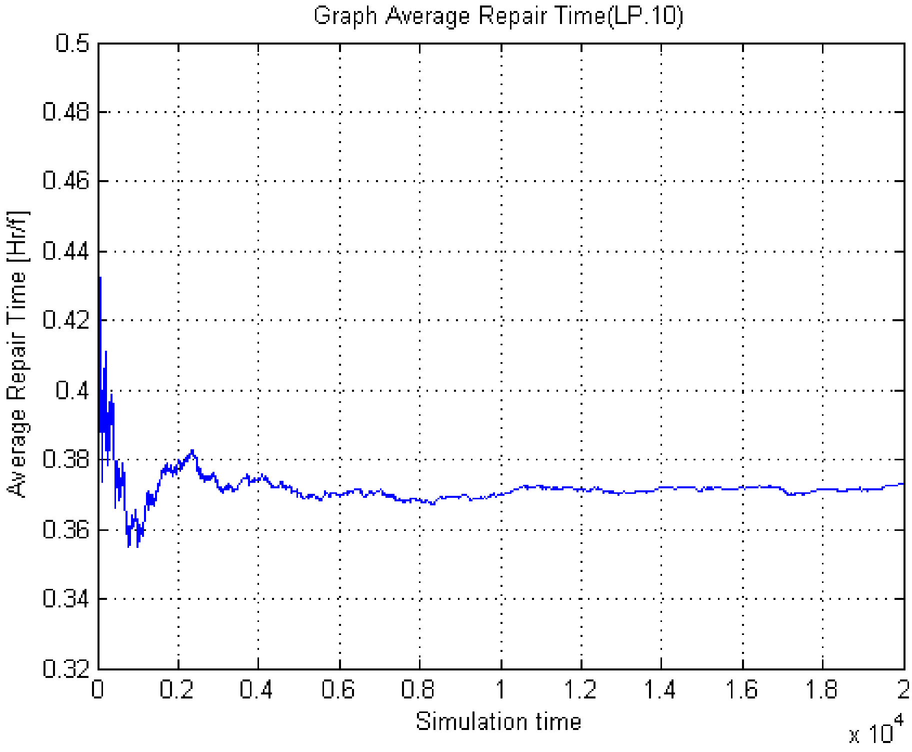
ภาพที่ 8.13 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



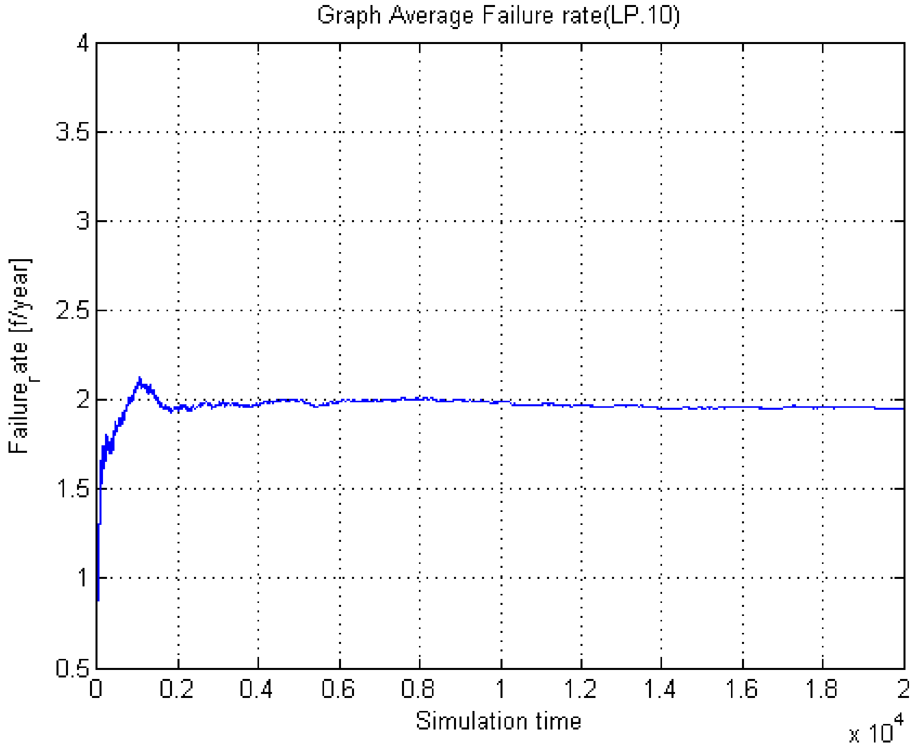
ภาพที่ 8.14 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



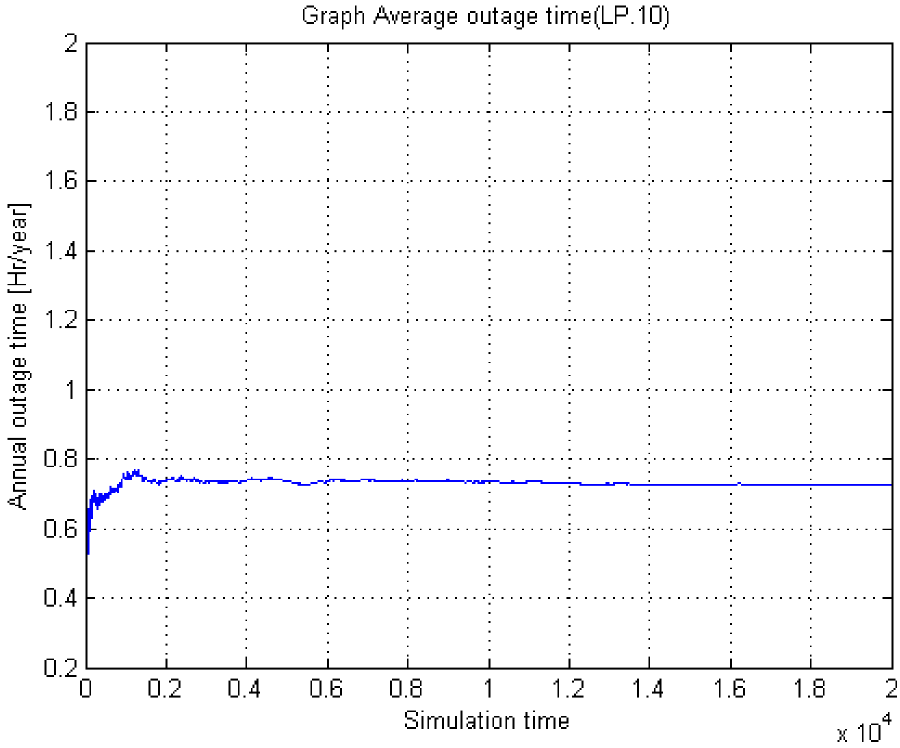
ภาพที่ 8.15 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



ภาพที่ 8.16 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)



ภาพที่ 8.17 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ
ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่10 (LP.10)

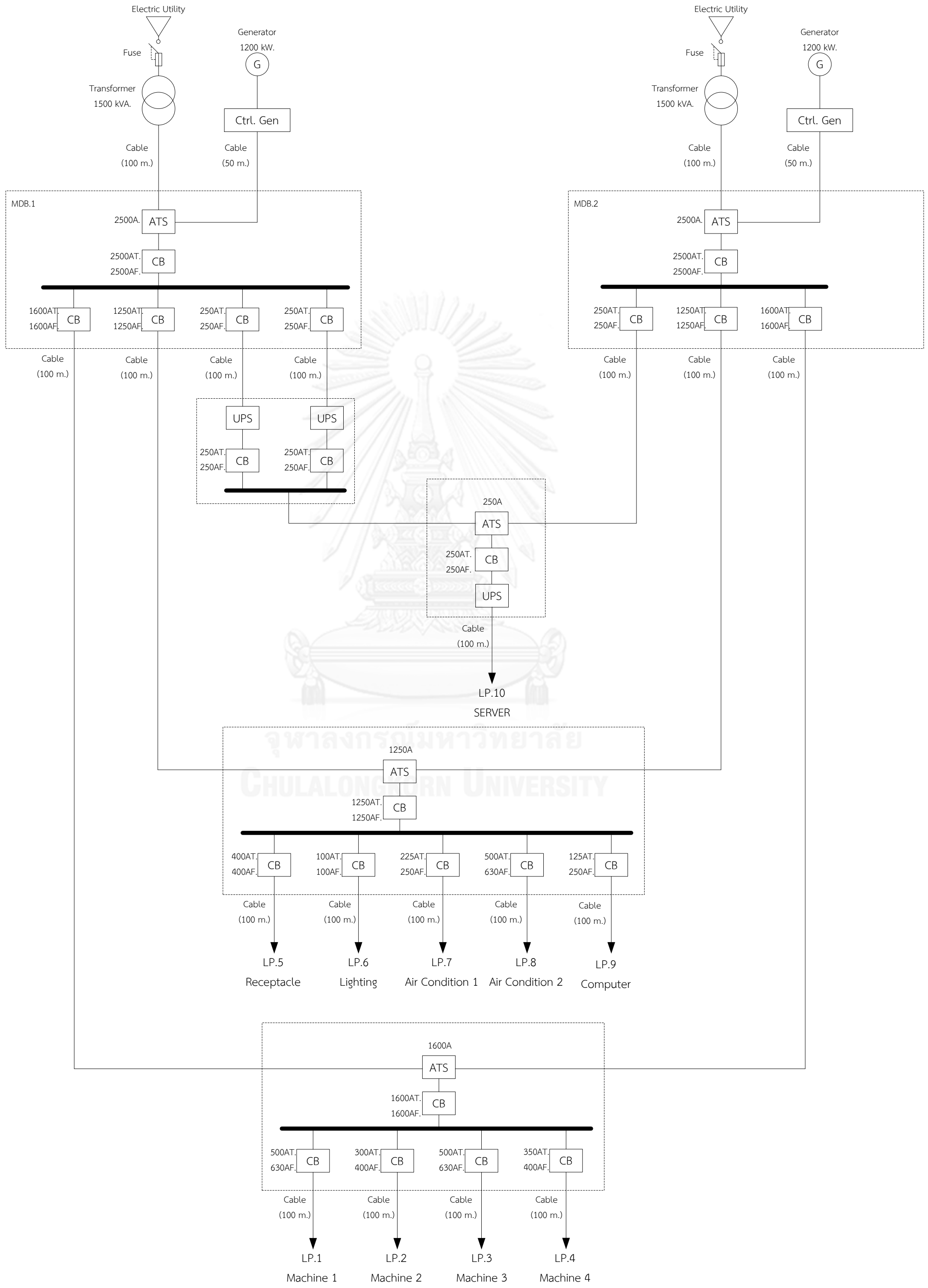


ภาพที่ 8.18 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 2 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.1.3 ระบบทดสอบระบบที่ 3

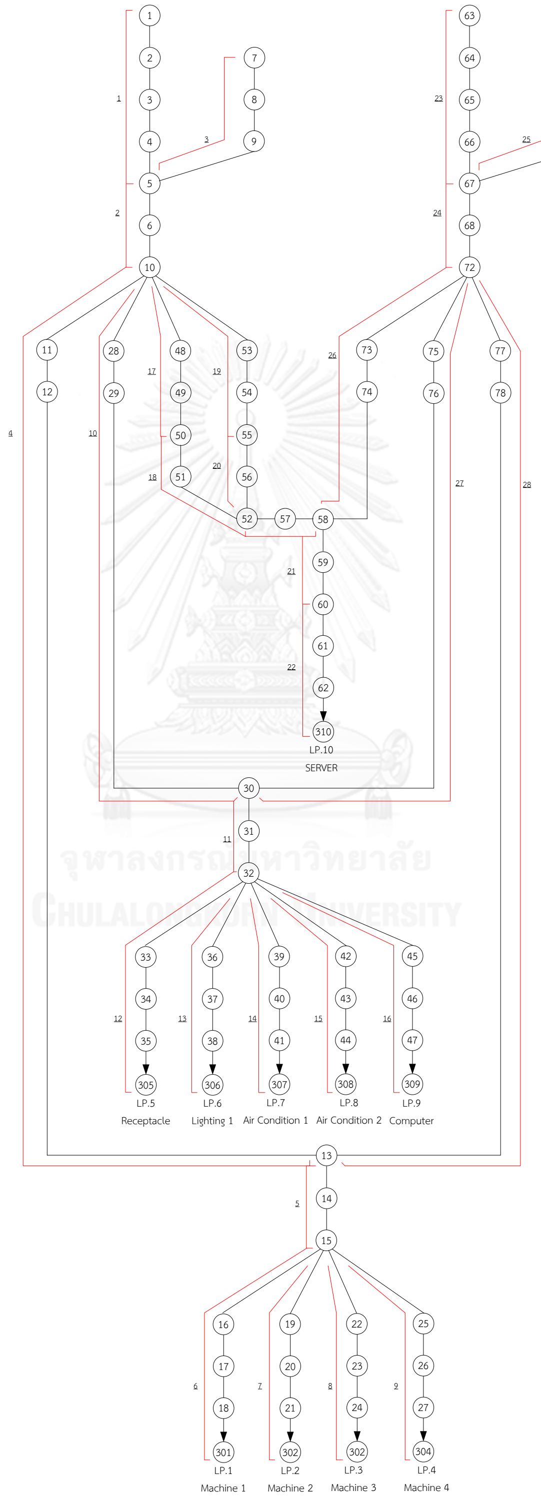
ระบบไฟฟ้าระบบที่ 3 ที่นำมาประเมินนี้มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ ในระดับที่ 3 (Tier 3) ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 8.7



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 8.19 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 3

กำหนดหมายเลขให้กับทุกอุปกรณ์ ทุกสาขา และทุกจุดโหลดในระบบทดสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณค่าดัชนีต่างๆ ของระบบ โดยแผนภาพที่แสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 8.8



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 8.20 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบระบบที่ 3

จากการคำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อได้ของระบบทดสอบระบบที่ 3 จะได้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดตามที่แสดงในตารางที่ 8.9 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงในตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.9 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 3

จุดโหลด (LP)	λ (f/yr)	r (hr/f)	U (hr/yr)	Unavailability	Availability
1	1.621946	0.194466	0.315414	0.000130	0.999870
2	1.629306	0.193803	0.315766	0.000129	0.999871
3	1.631321	0.194019	0.316507	0.000125	0.999875
4	1.613197	0.193505	0.312163	0.000135	0.999865
5	1.619894	0.196704	0.318640	0.000134	0.999866
6	1.622563	0.194278	0.315228	0.000129	0.999871
7	1.622710	0.193800	0.314482	0.000138	0.999862
8	1.629932	0.193908	0.316057	0.000139	0.999861
9	1.616057	0.185009	0.298985	0.000134	0.999866
10	0.997092	0.217771	0.217138	0.000086	0.999914

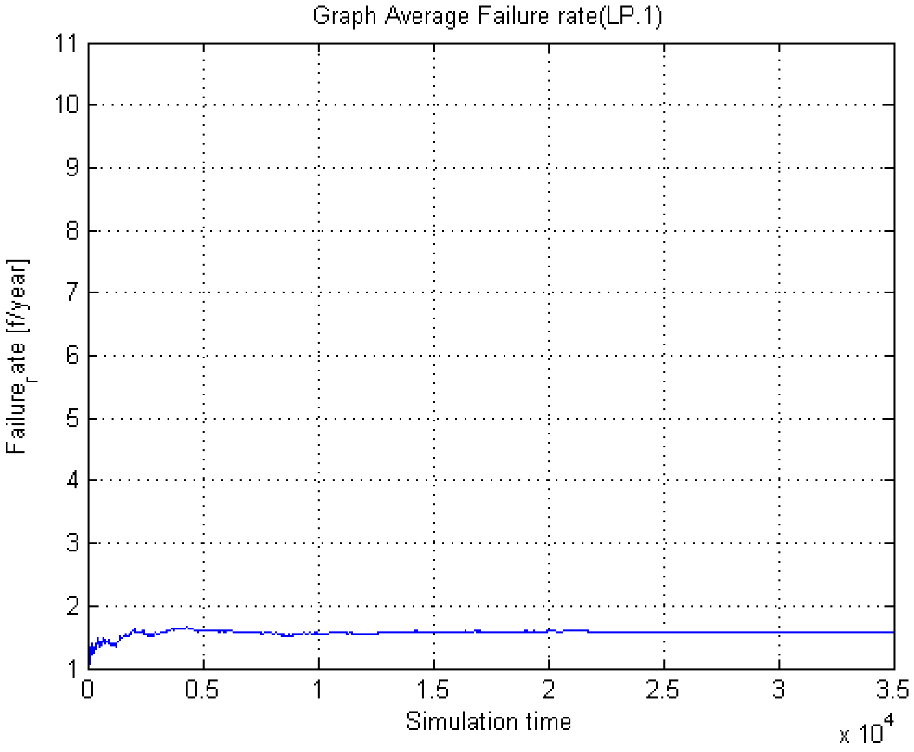
ตารางที่ 8.10 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 3

ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
SAIFI	1.560402	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
SAIDI	0.304038	ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
CAIFI	1.560402	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
CAIDI	0.195726	ชั่วโมง / ครั้ง
ASAI	0.999872	-
ASUI	0.000128	-
ENS	90.213	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / ปี
AENS	0.111512	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
ACCI	0.111512	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี

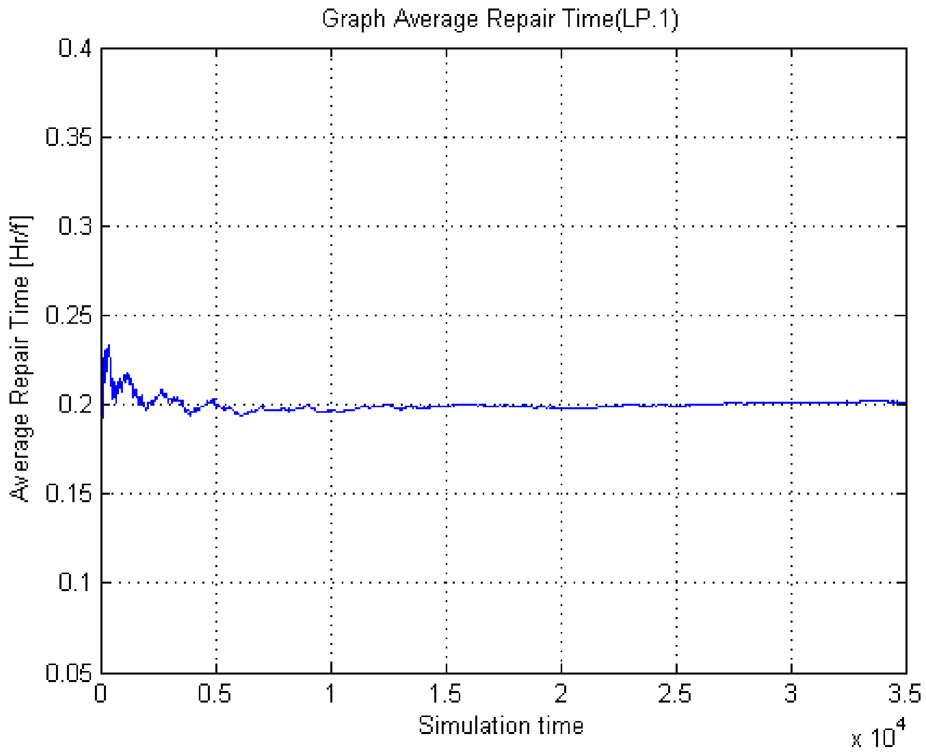
จากดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 3 นำมาหาค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ตามแสดงในตารางที่ 8.11 โดยให้ระบบทดสอบระบบที่ 3 เป็นระบบไฟฟ้าตาม TSIC 38 (การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์)

ตารางที่ 8.11 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 3

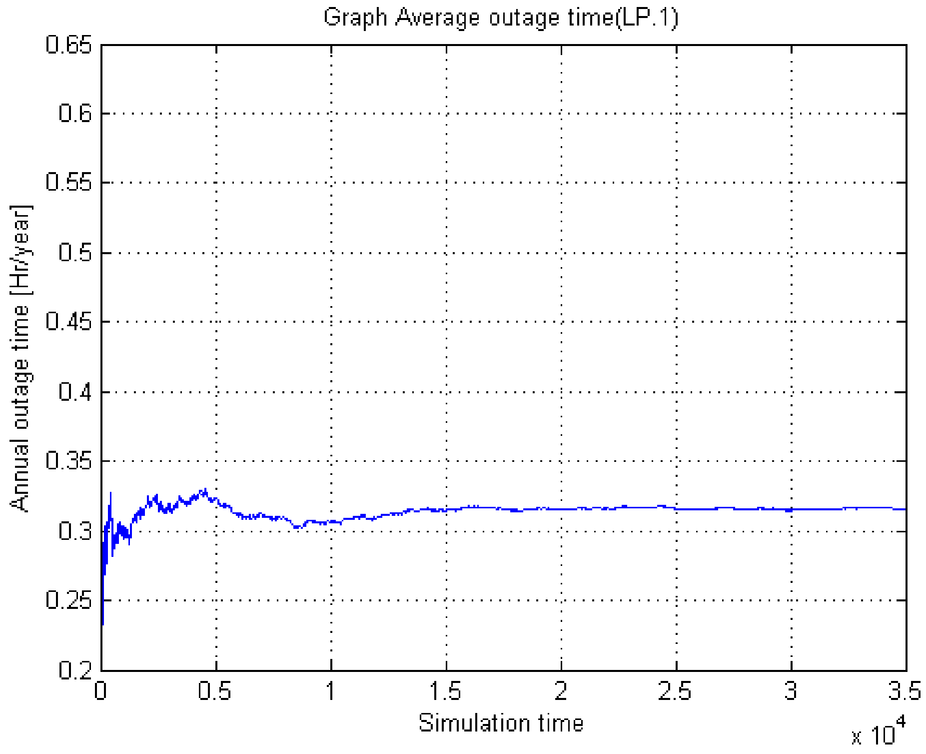
ดัชนี	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย
IER	502.798	บาท / กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
ICPE	10924.612	บาท / ครั้ง



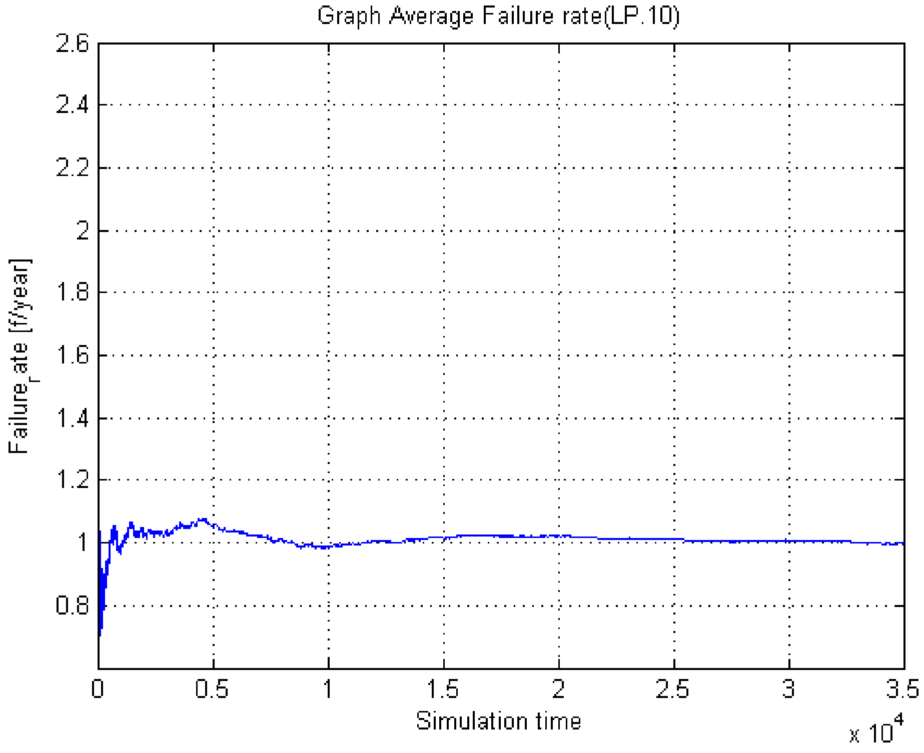
ภาพที่ 8.21 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



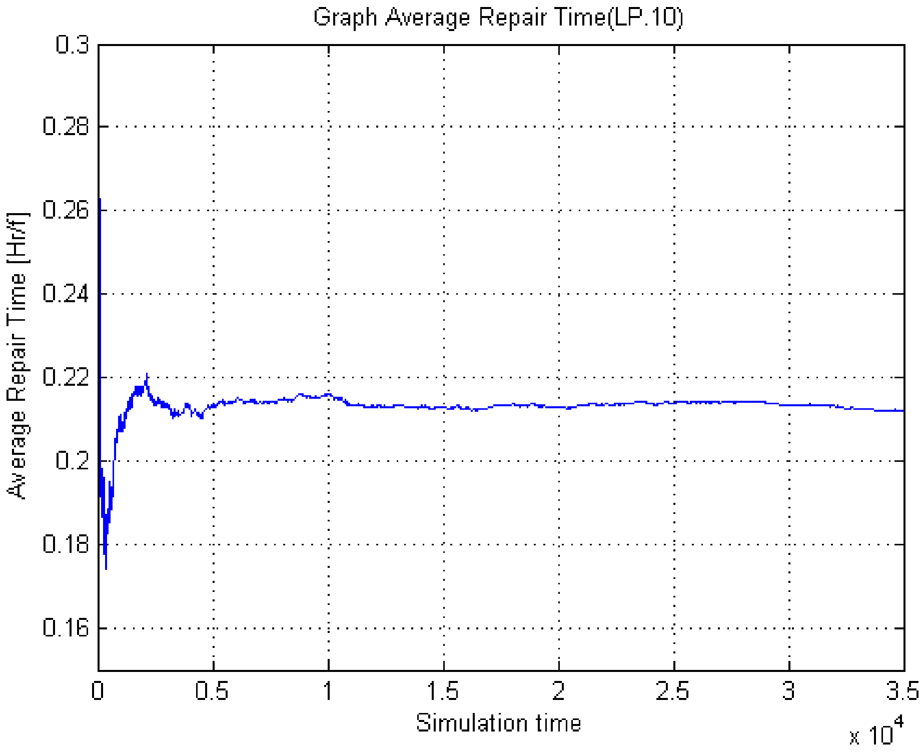
ภาพที่ 8.22 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



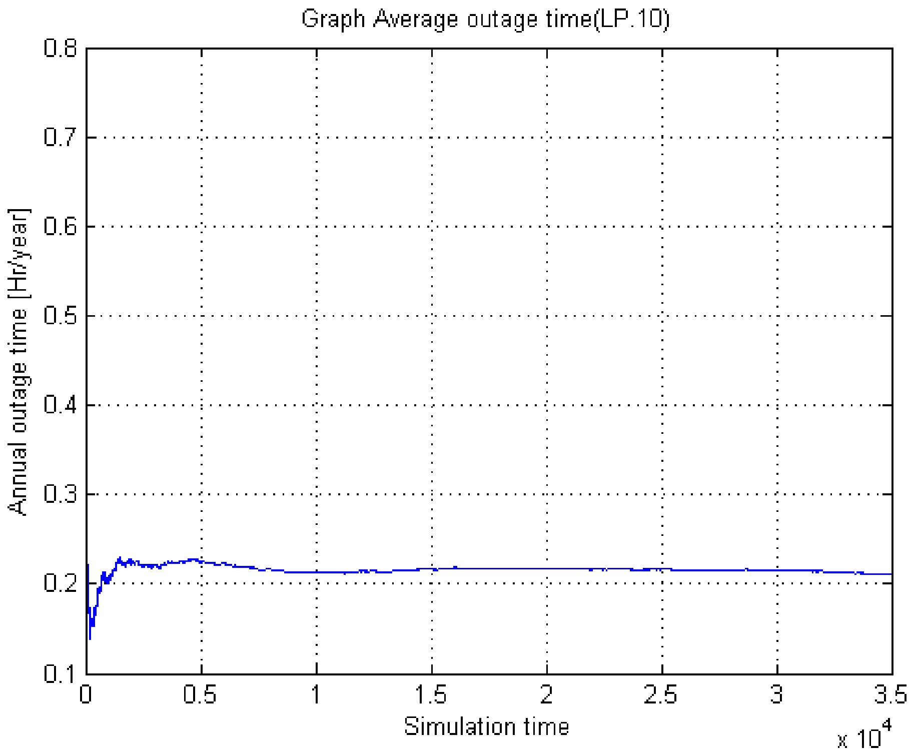
ภาพที่ 8.23 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



ภาพที่ 8.24 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)



ภาพที่ 8.25 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ
ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)

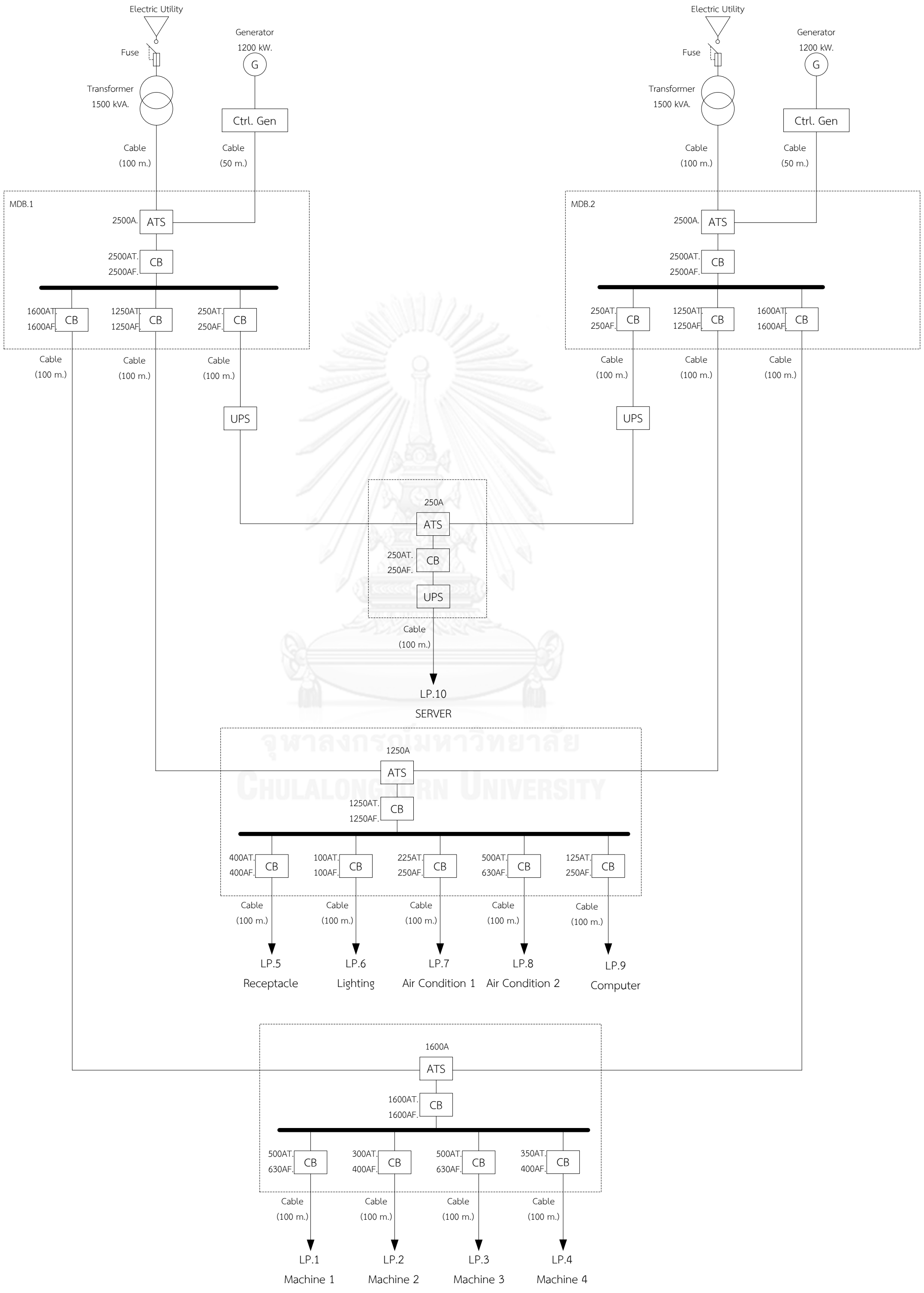


ภาพที่ 8.26 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 3 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.1.4 ระบบทดสอบระบบที่ 4

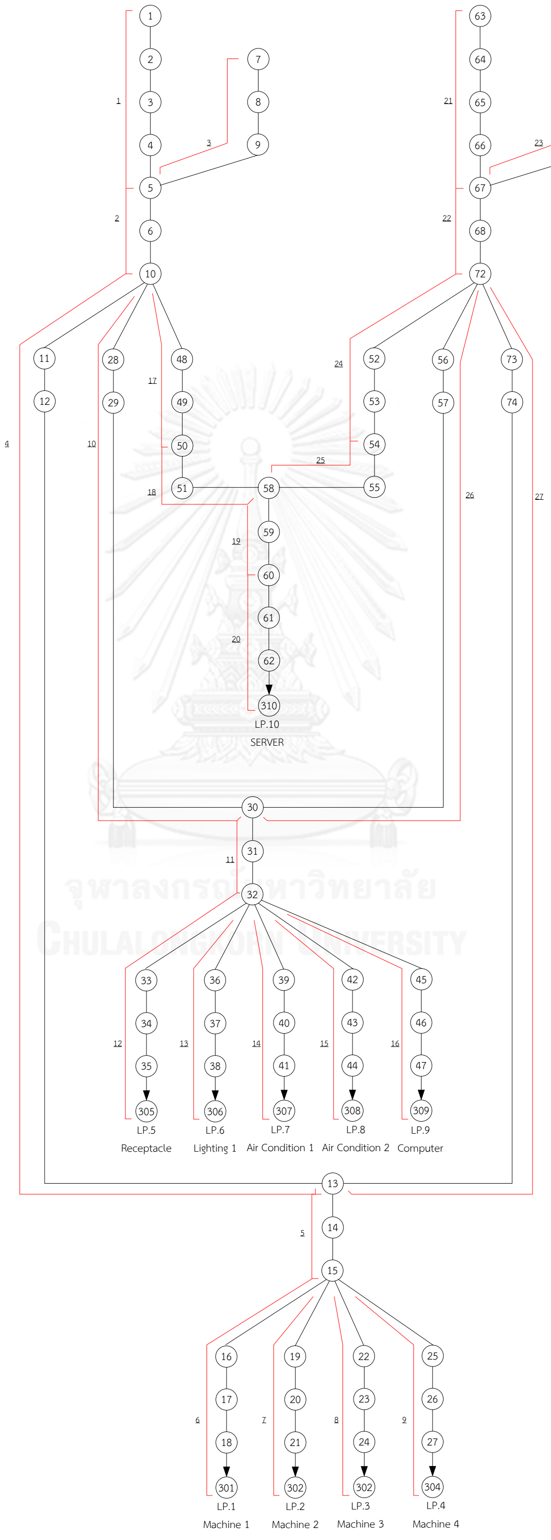
ระบบไฟฟ้าระบบที่ 4 ที่นำมาประเมินนี้มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขการจัดอันดับเทียร์ ในระดับที่ 4 (Tier 4) ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 8.9



ภาพที่ 8.27 แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดสอบระบบที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กำหนดหมายเลขให้กับทุกอุปกรณ์ ทุกสาขา และทุกจุดโหลดในระบบทดสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณค่าดัชนีต่างๆ ของระบบ โดยแผนภาพที่แสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 8.10



ภาพที่ 8.28 แผนภาพแสดงหมายเลขของอุปกรณ์ สาขา และจุดโหลดของระบบทดสอบระบบที่ 4

จากการคำนวณหาค่าดัชนีความน่าเชื่อได้ของระบบทดสอบระบบที่ 4 จะได้ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดตามที่แสดงในตารางที่ 8.12 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงในตารางที่ 8.13

ตารางที่ 8.12 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ของระบบทดสอบระบบที่ 4

จุดโหลด (LP)	λ (f/yr)	r (hr/f)	U (hr/yr)	Unavailability	Availability
1	1.621297	0.194396	0.315174	0.000130	0.999870
2	1.628655	0.193734	0.315525	0.000129	0.999871
3	1.630669	0.193949	0.316267	0.000125	0.999875
4	1.612553	0.193436	0.311926	0.000135	0.999865
5	1.619246	0.196633	0.318398	0.000134	0.999866
6	1.621915	0.194208	0.314989	0.000129	0.999871
7	1.622061	0.193731	0.314243	0.000138	0.999862
8	1.629281	0.193838	0.315817	0.000139	0.999861
9	1.615411	0.184942	0.298757	0.000134	0.999866
10	0.996693	0.217693	0.216973	0.000072	0.999938

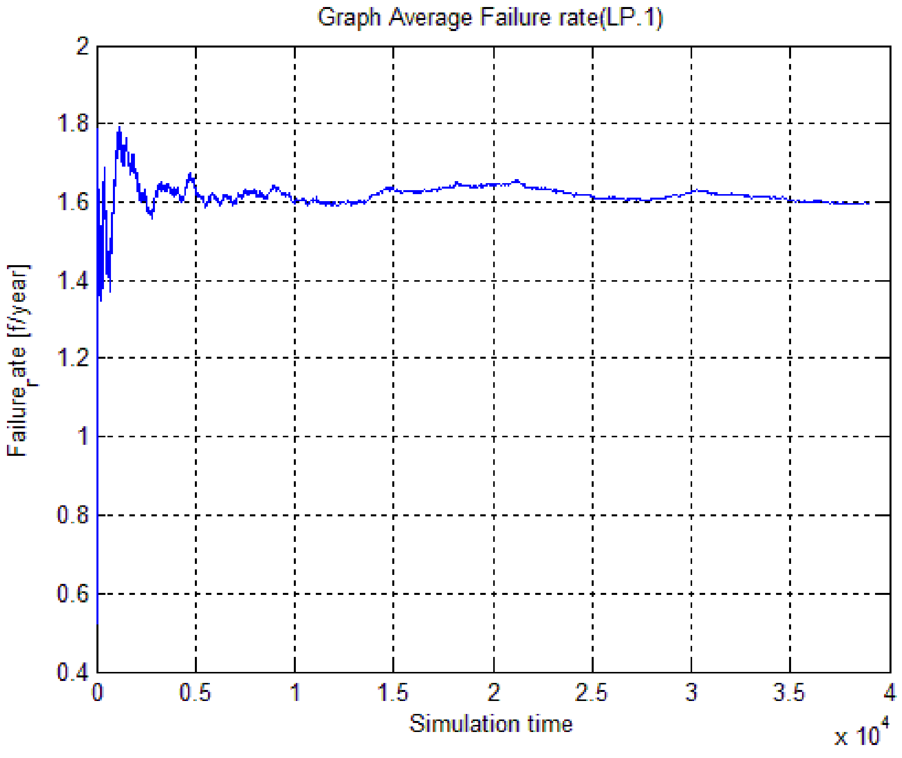
ตารางที่ 8.13 ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 4

ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
SAIFI	1.559778	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
SAIDI	0.303806	ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
CAIFI	1.559778	ครั้ง / อุปกรณ์ / ปี
CAIDI	0.195655	ชั่วโมง / ครั้ง
ASAI	0.999874	-
ASUI	0.000126	-
ENS	89.169	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / ปี
AENS	0.110222	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี
ACCI	0.110222	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง / อุปกรณ์ / ปี

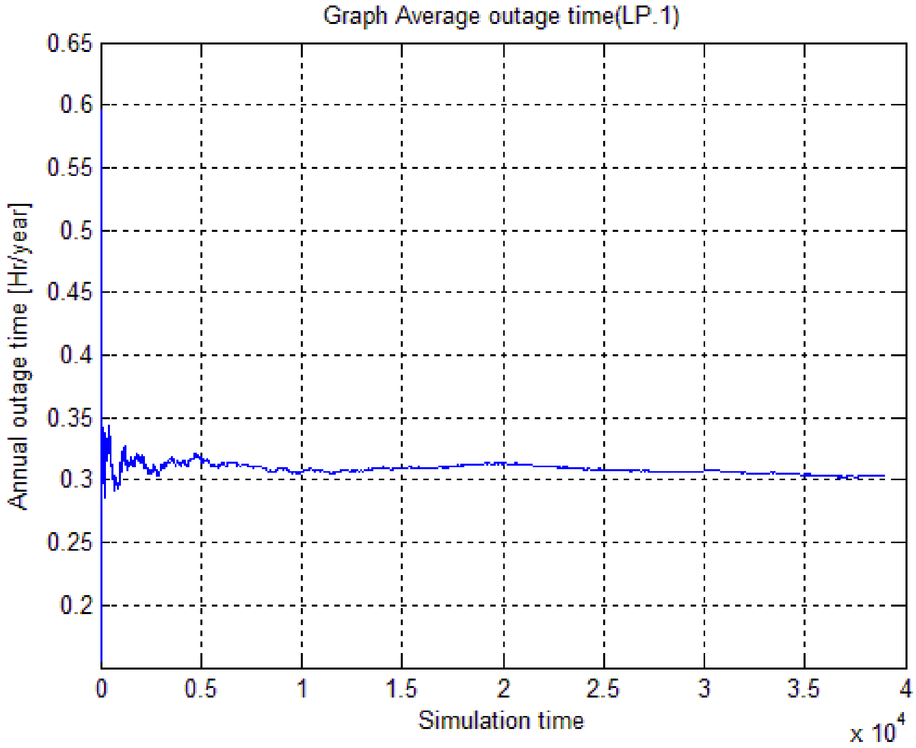
จากดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบระบบที่ 4 นำมาหาค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ตามแสดงในตารางที่ 8.14 โดยให้ระบบทดสอบระบบที่ 4 เป็นระบบไฟฟ้าตาม TSIC 38 (การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์)

ตารางที่ 8.14 ผลการคำนวณอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ ของระบบทดสอบระบบที่ 4

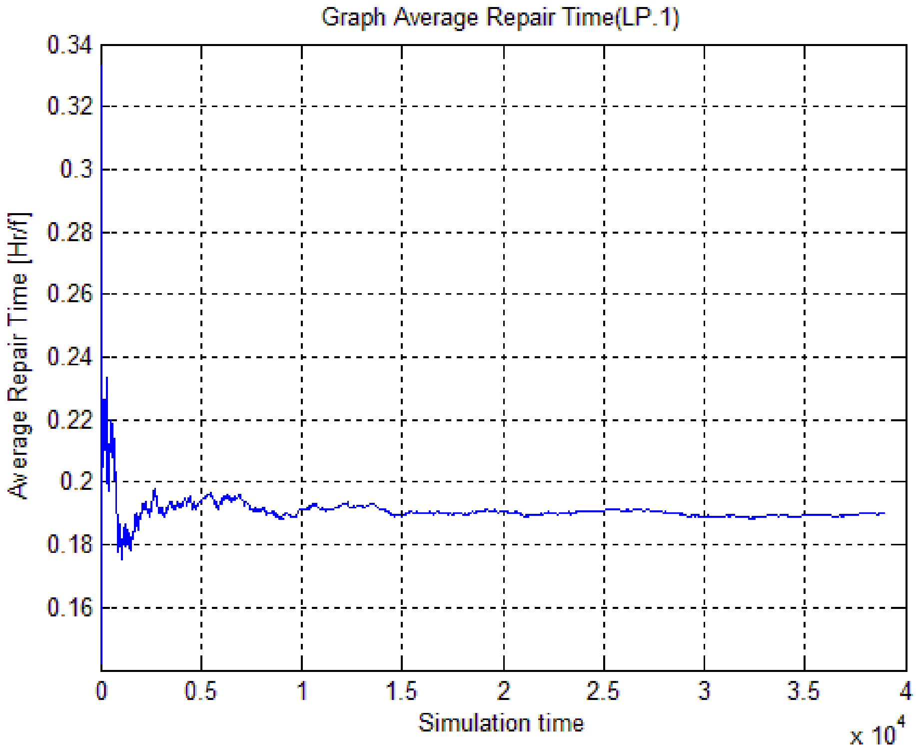
ดัชนี	**ค่าที่ได้จากการคำนวณ**	**หน่วย**
IER	503.182	บาท / กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
ICPE	10802.550	บาท / ครั้ง



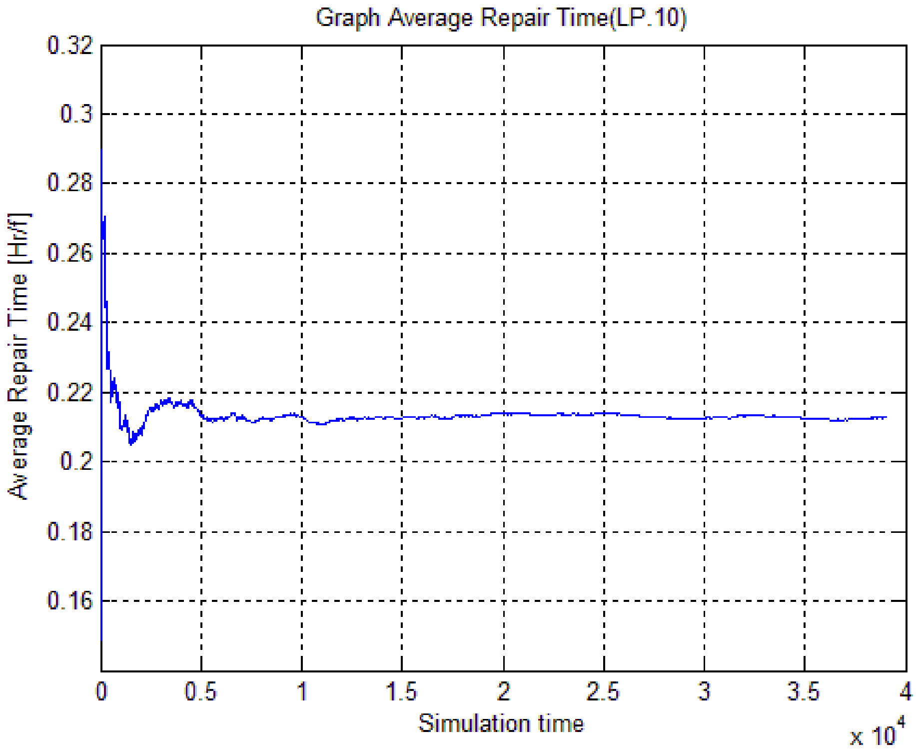
ภาพที่ 8.29 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



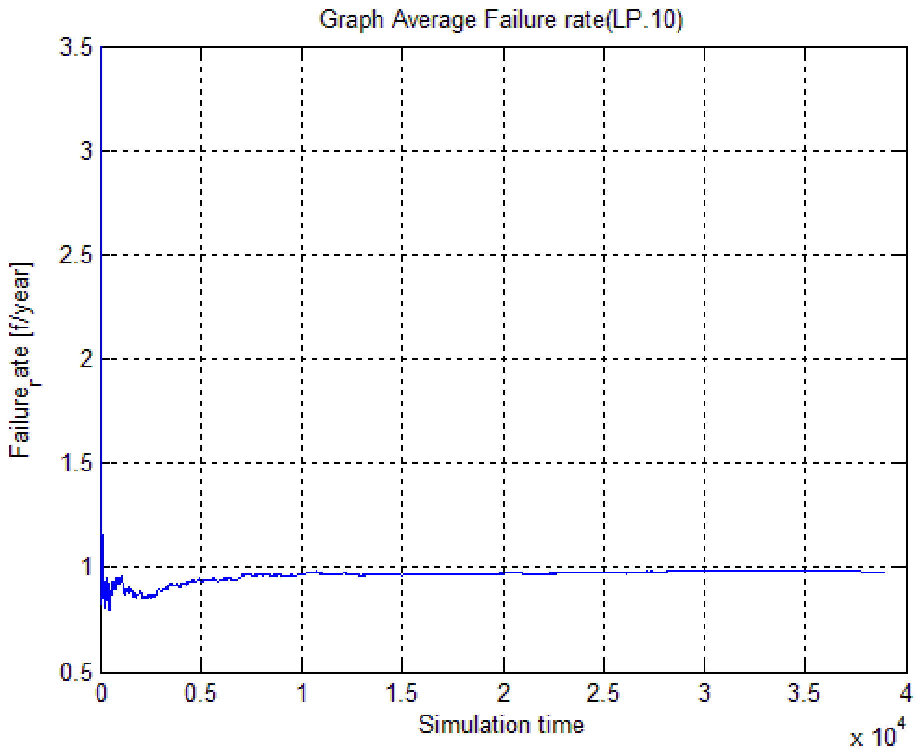
ภาพที่ 8.30 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)



ภาพที่ 8.31 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 1 (LP.1)

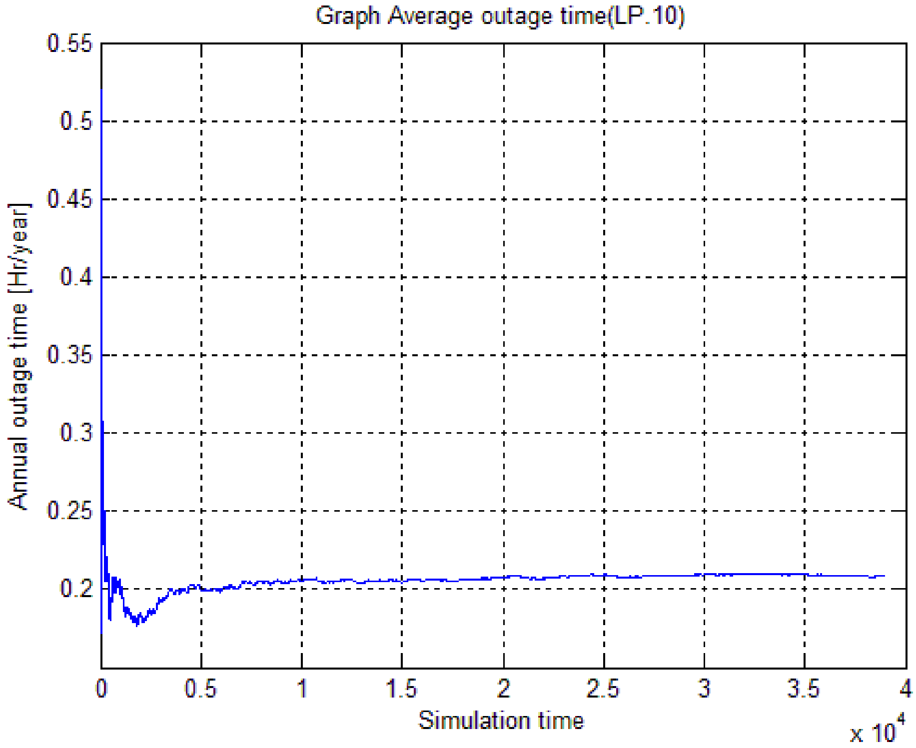


ภาพที่ 8.32 การลู่เข้าของดัชนีอัตราการล้มเหลว ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)



ภาพที่ 8.33 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)



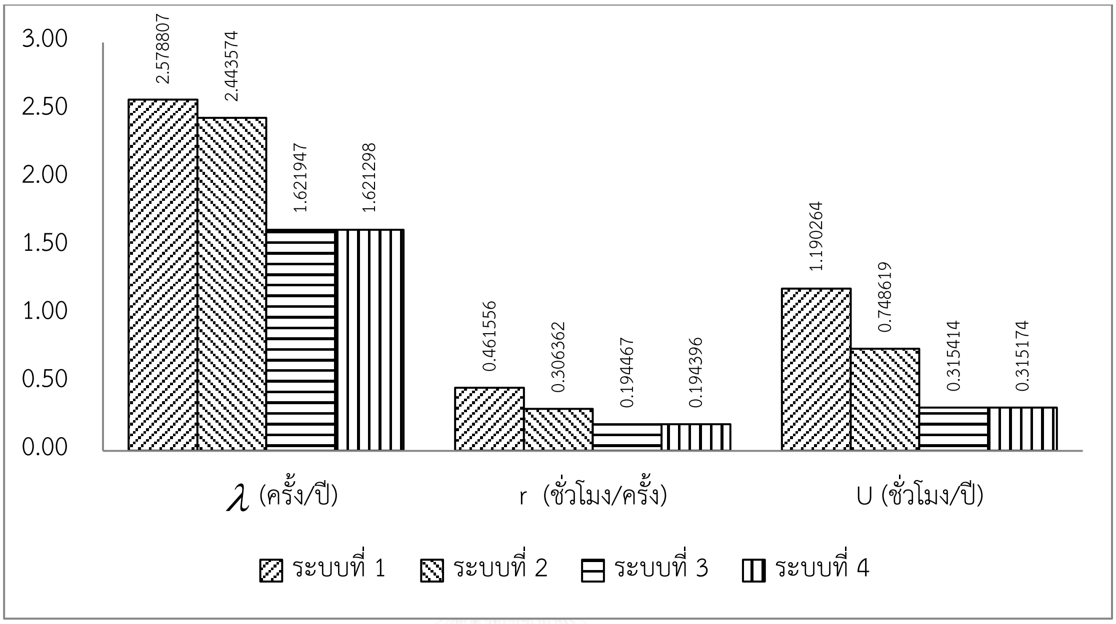
ภาพที่ 8.34 การลู่เข้าของดัชนีระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยในหนึ่งปี ของระบบที่ 4 จุดโหลดที่ 10 (LP.10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบ

8.2.1 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด

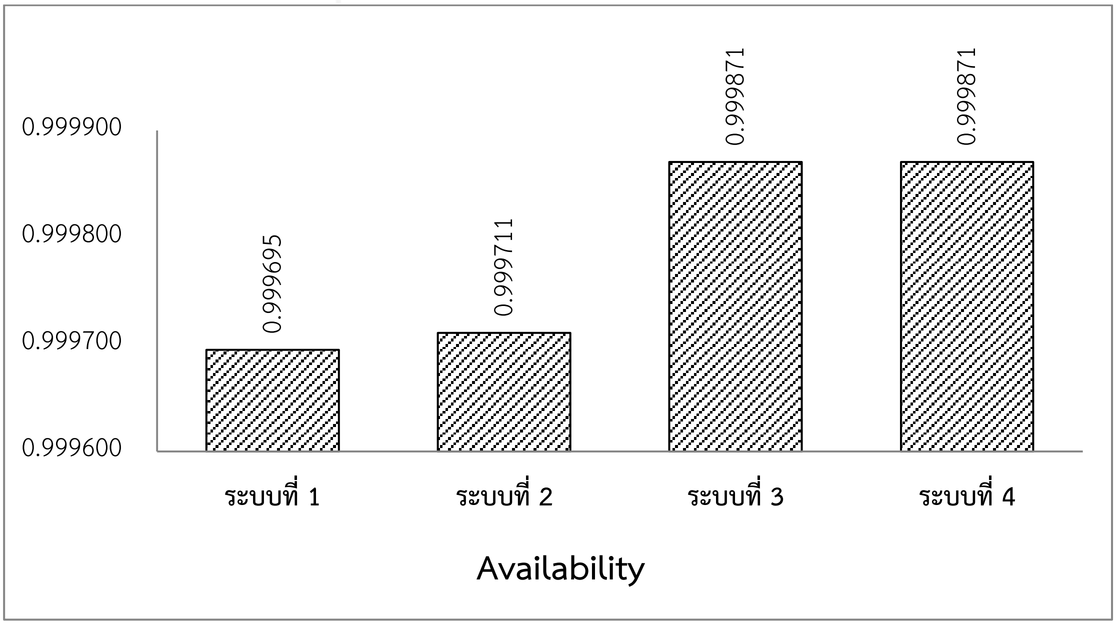
จากผลการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ ณ จุดโหลดของระบบทดสอบทั้ง 4 ระบบ แสดงดังภาพที่ 8.35 – ภาพที่ 8.54



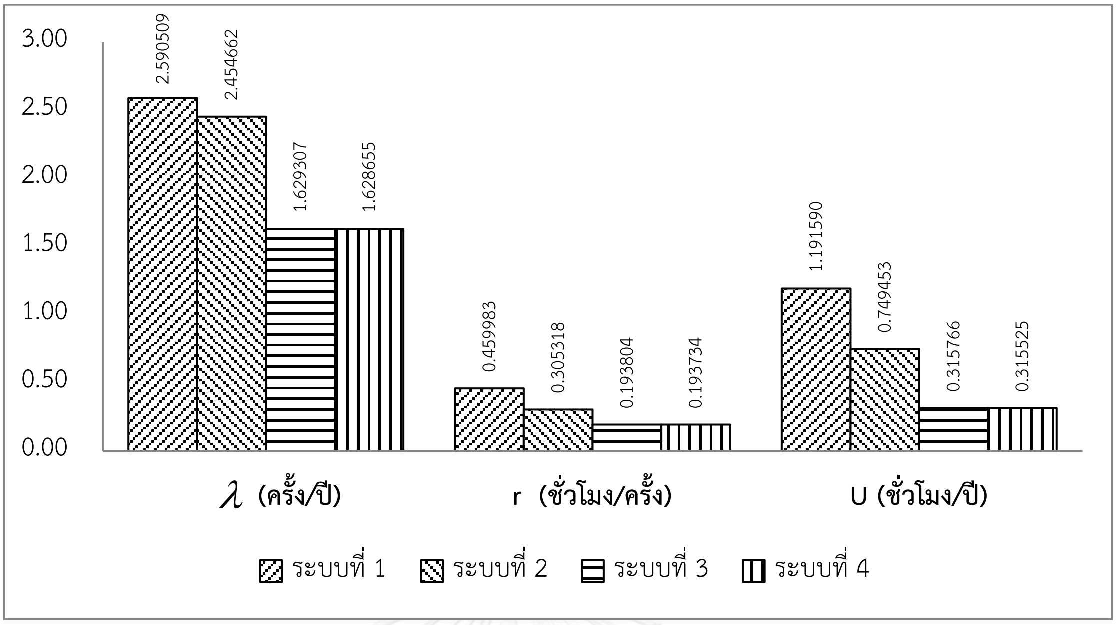
ภาพที่ 8.35 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ

ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.1

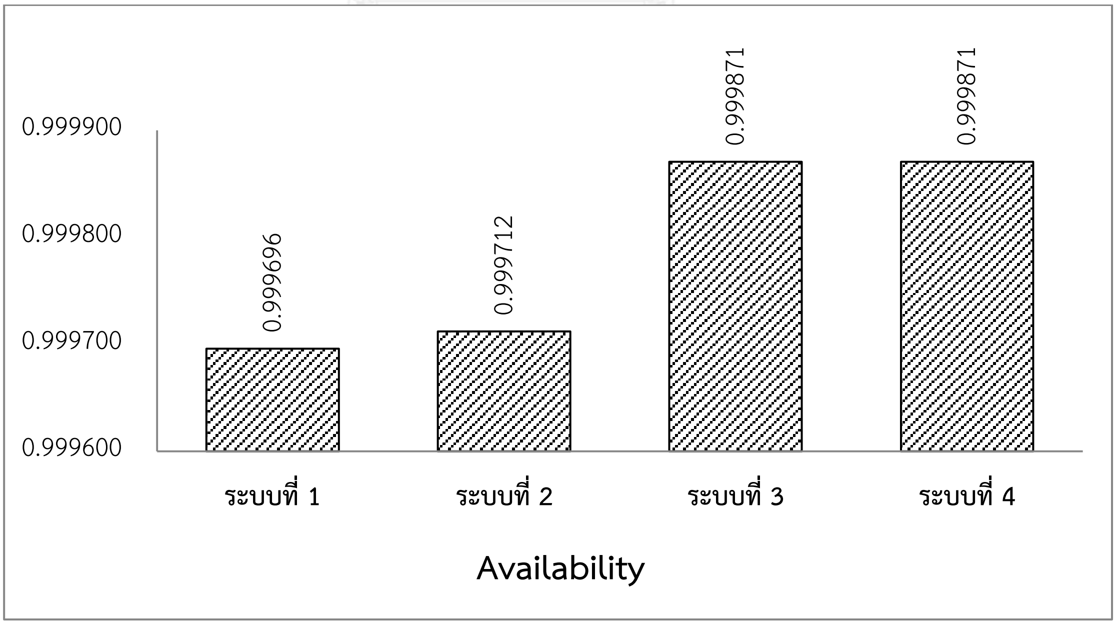
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



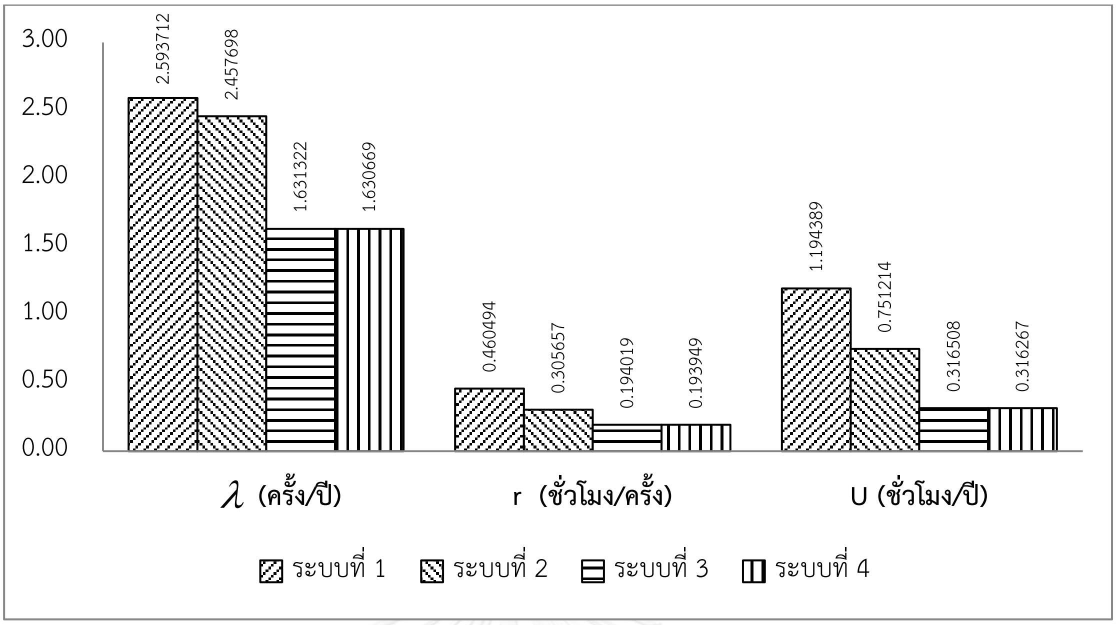
ภาพที่ 8.36 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.1



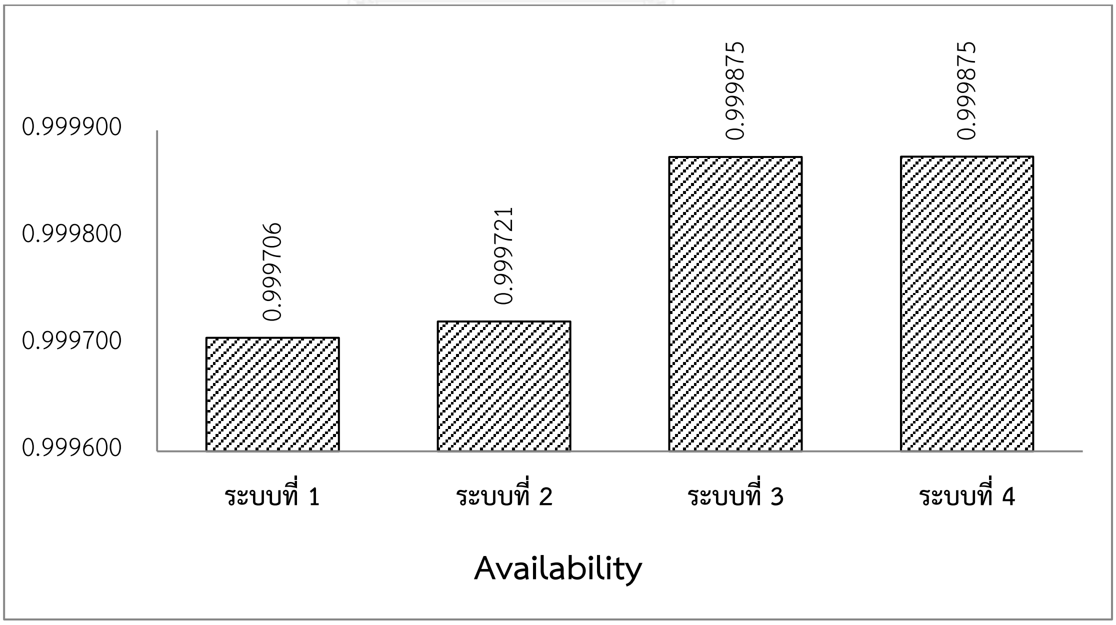
ภาพที่ 8.37 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.2



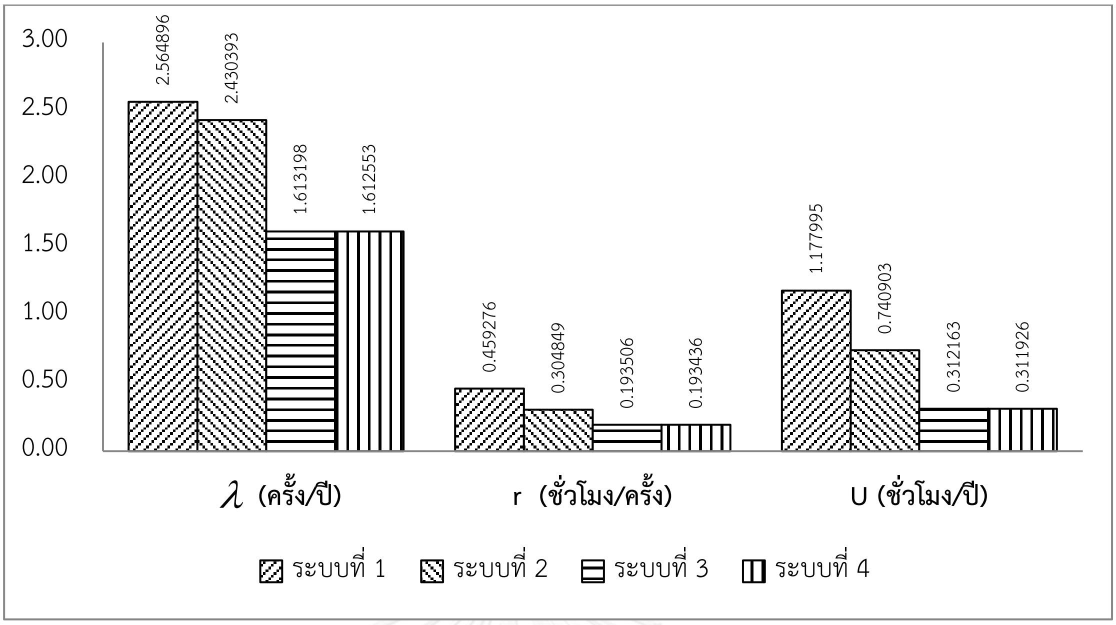
ภาพที่ 8.38 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.2



ภาพที่ 8.39 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.3

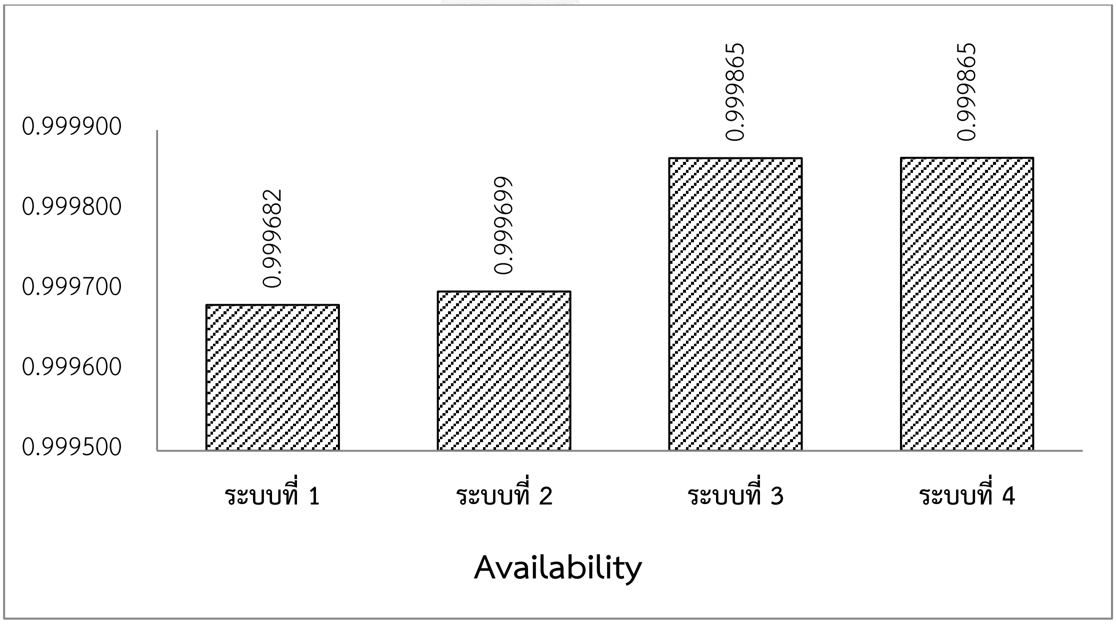


ภาพที่ 8.40 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.3

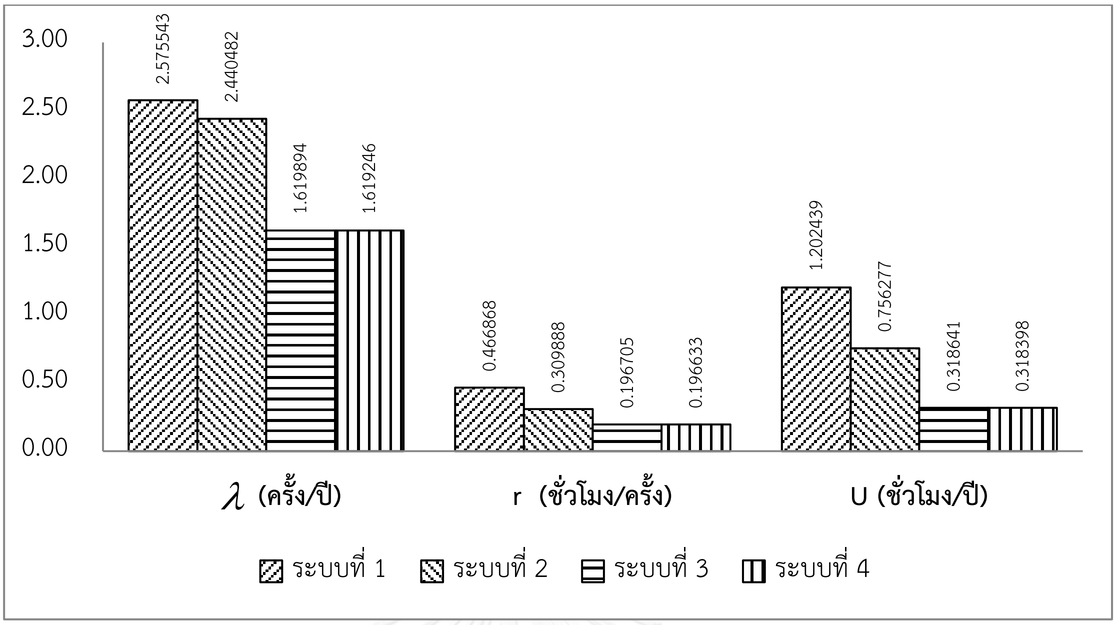


ภาพที่ 8.41 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ

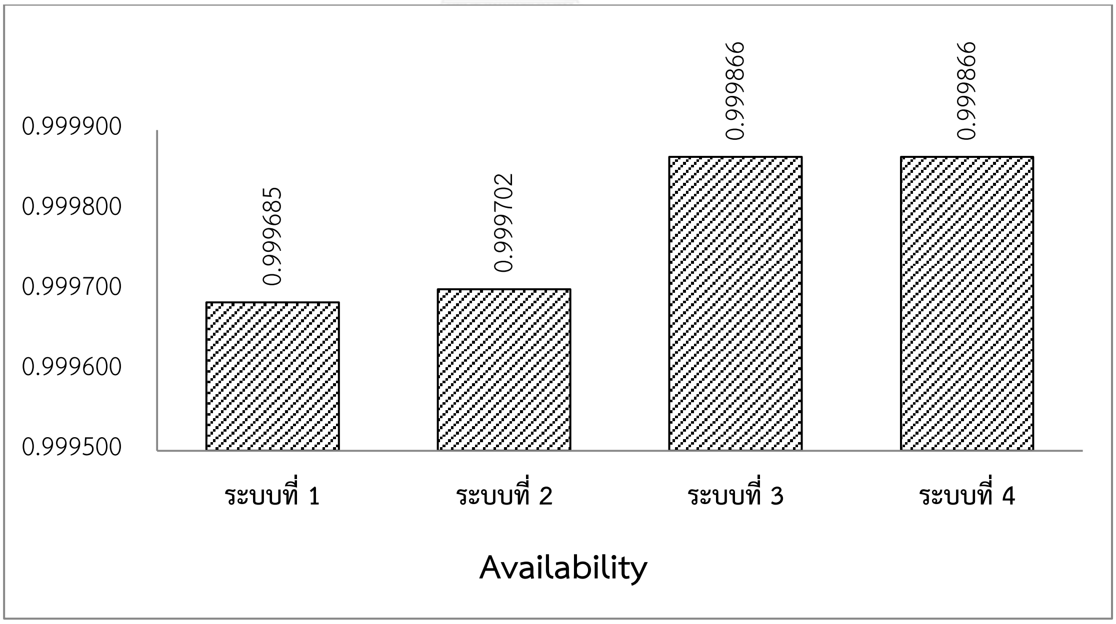
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.4



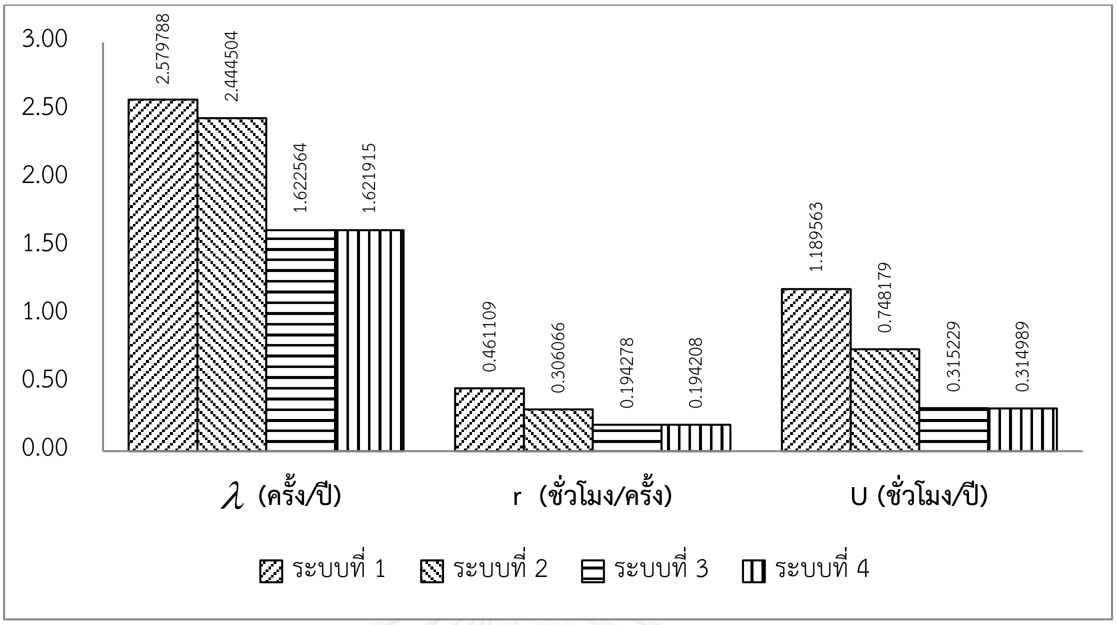
ภาพที่ 8.42 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.4



ภาพที่ 8.43 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.5

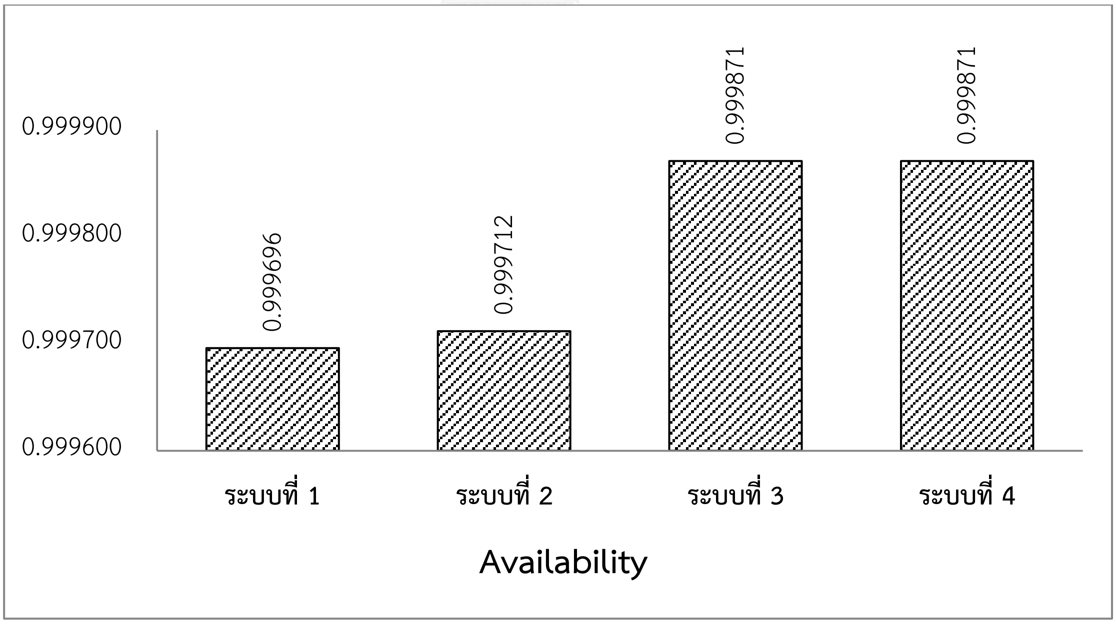


ภาพที่ 8.44 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.5

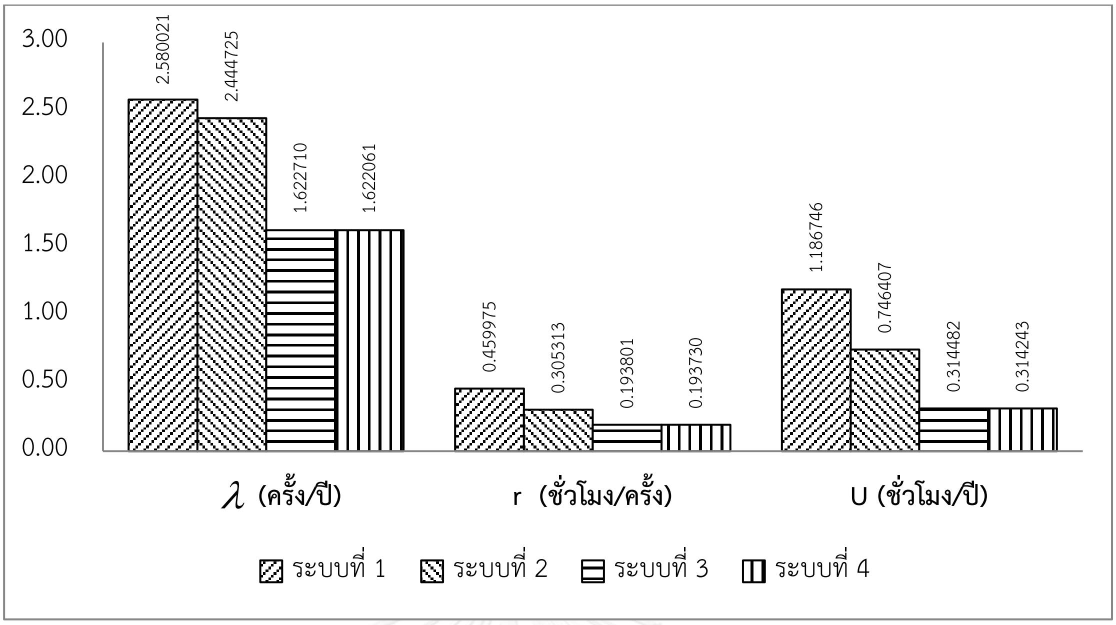


ภาพที่ 8.45 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ

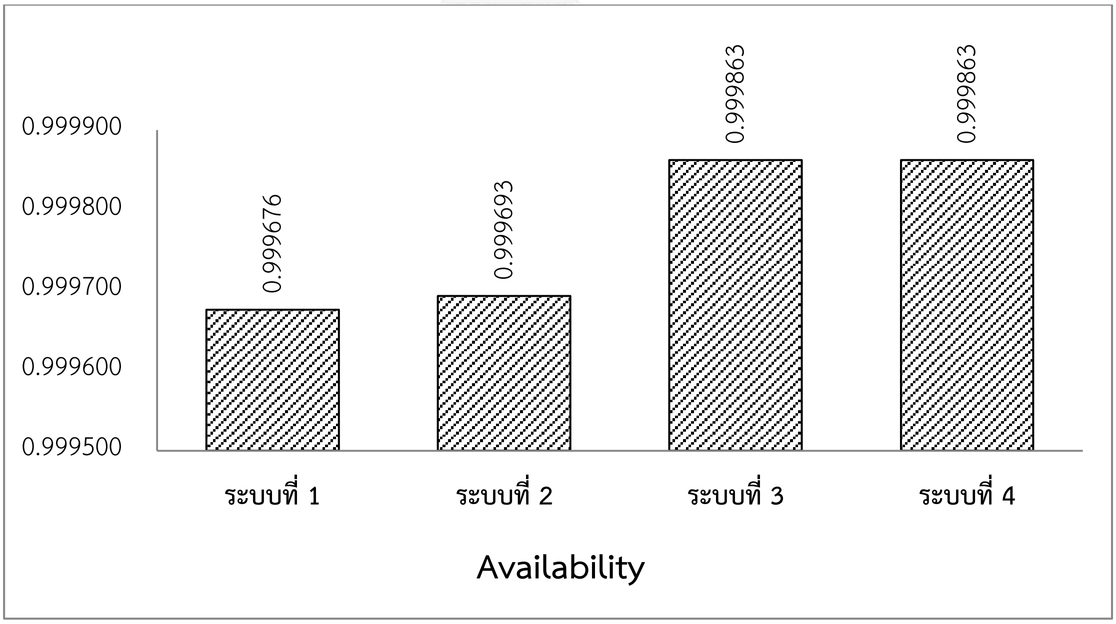
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.6



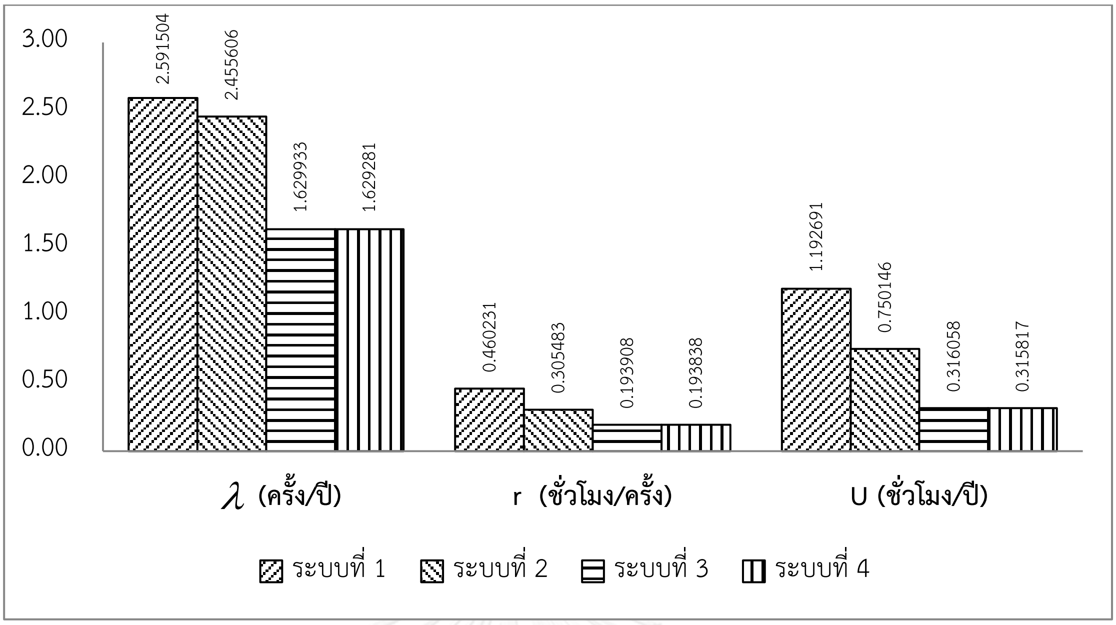
ภาพที่ 8.46 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.6



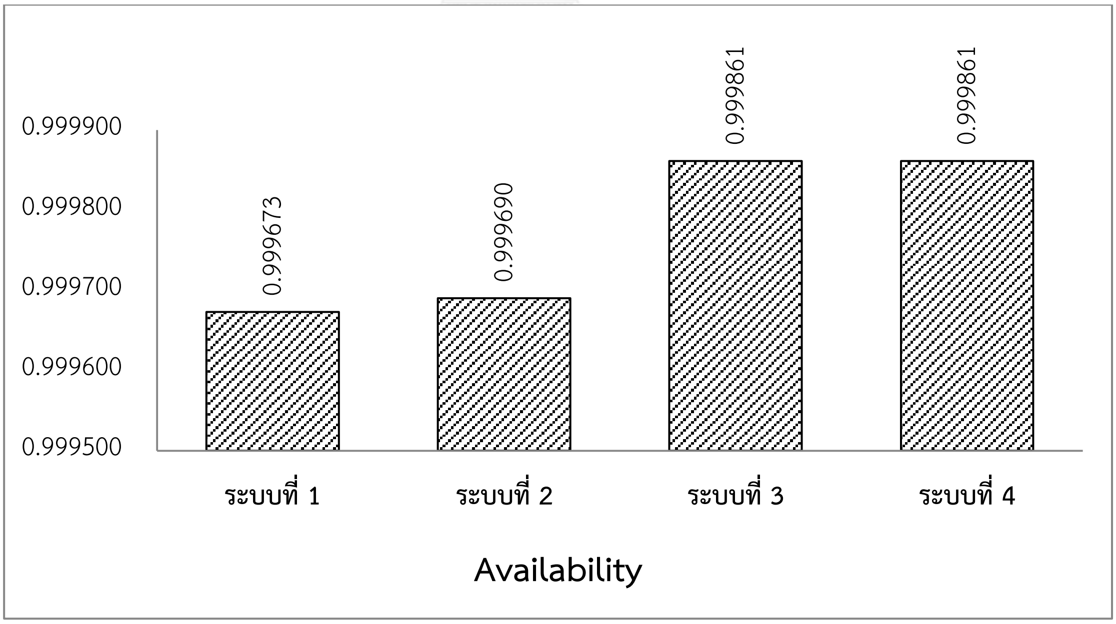
ภาพที่ 8.47 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.7



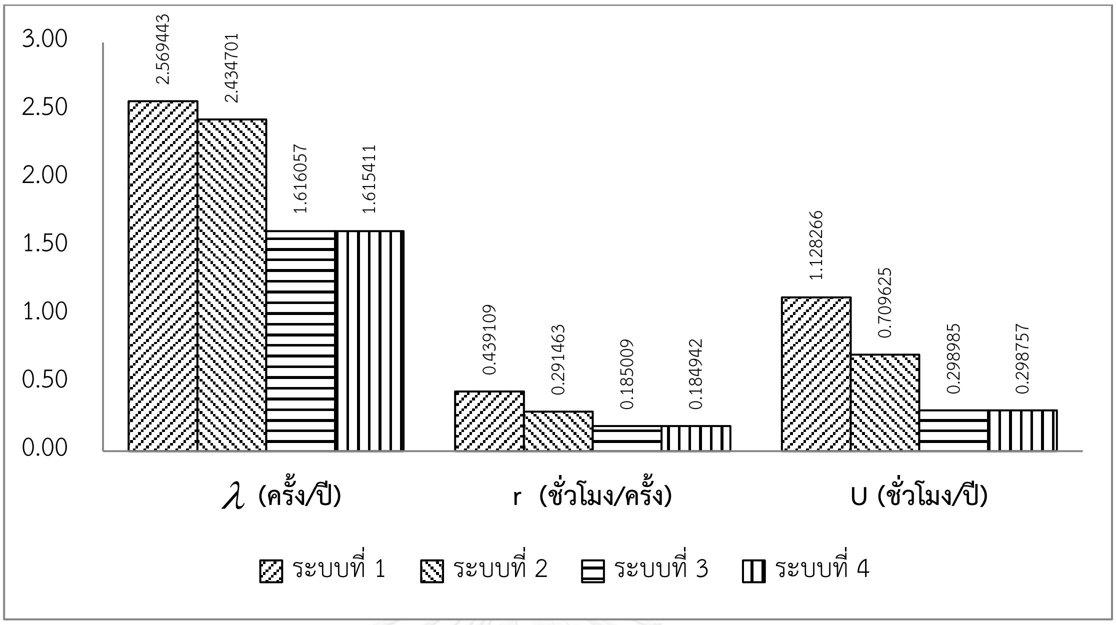
ภาพที่ 8.48 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.7



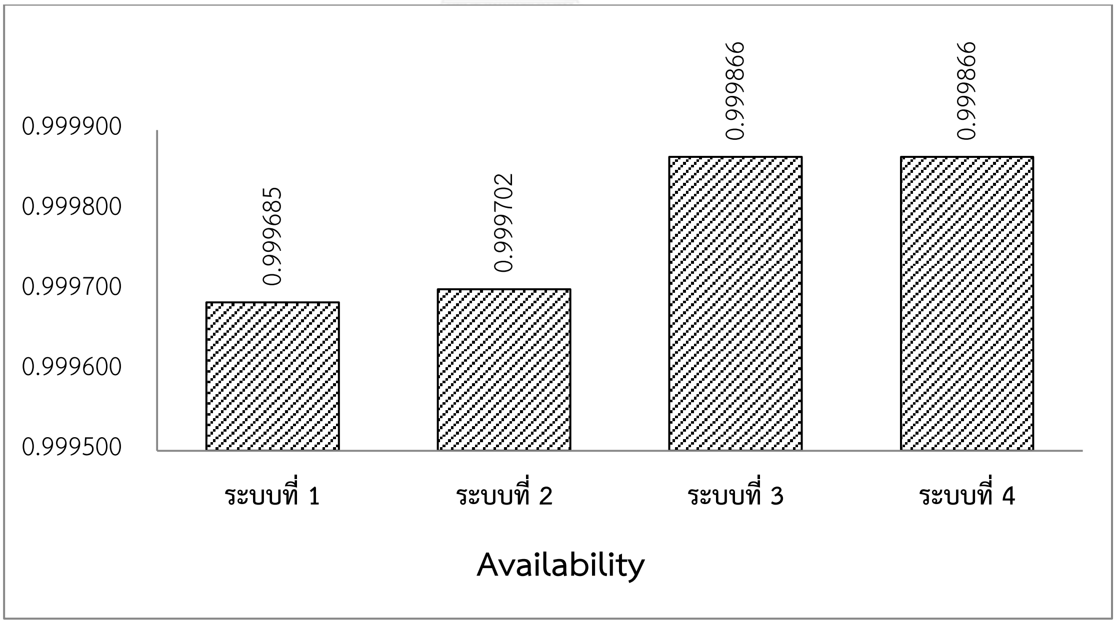
ภาพที่ 8.49 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.8



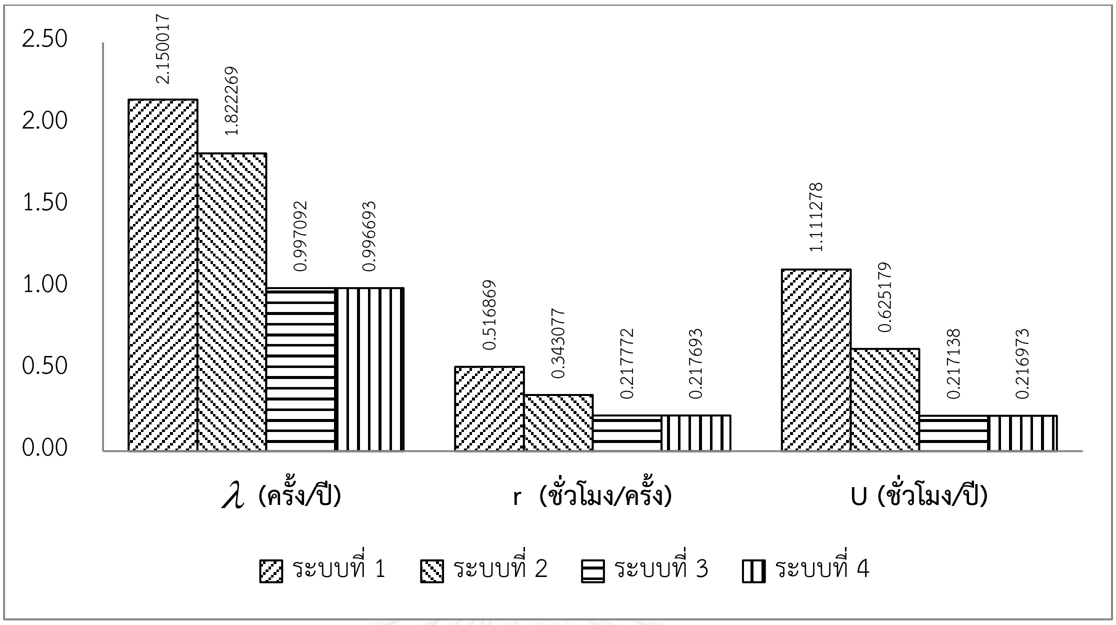
ภาพที่ 8.50 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.8



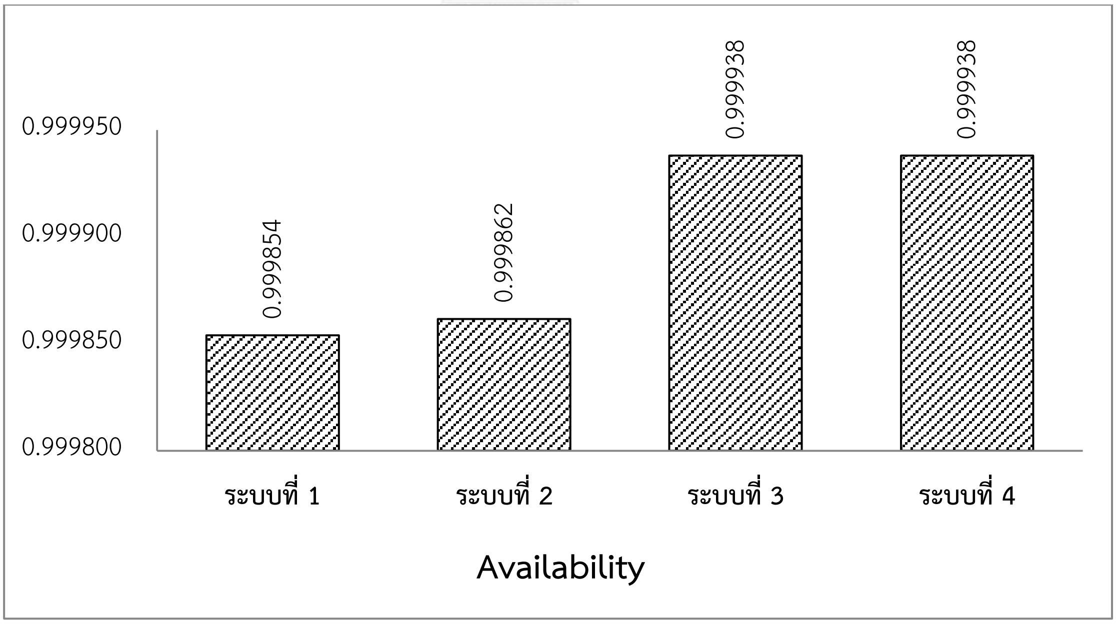
ภาพที่ 8.51 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.9



ภาพที่ 8.52 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.9



ภาพที่ 8.53 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด ทั้ง 4 ระบบ
ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด LP.10



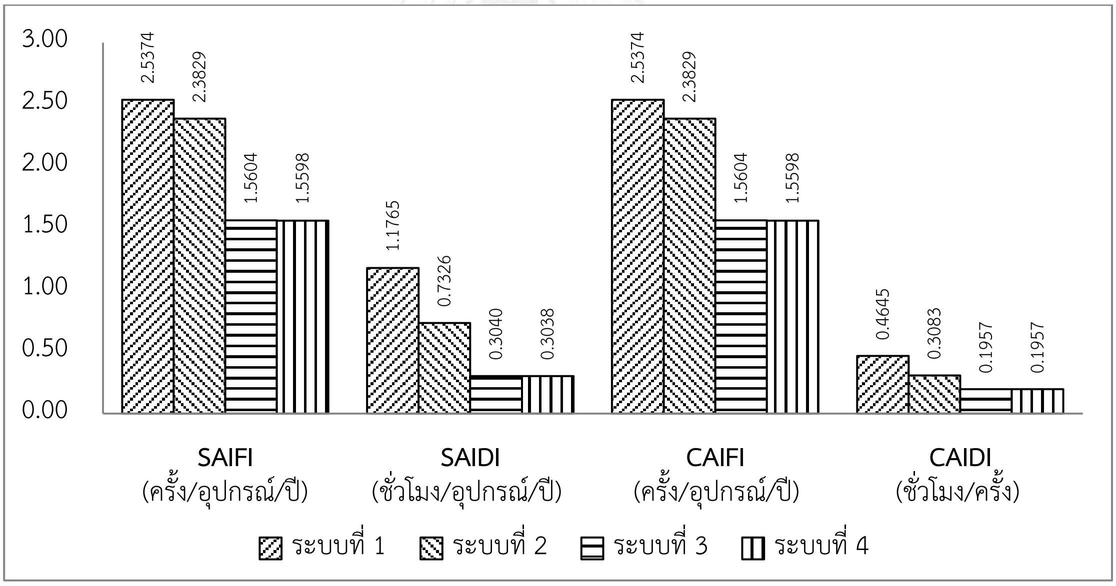
ภาพที่ 8.54 เปรียบเทียบค่าความพร้อมมูล ทั้ง 4 ระบบ ณ จุดโหลด LP.10

จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาอัตราการล้มเหลว (Failure rate) ของจุดโหลดต่างๆ สำหรับการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการล้มเหลวมีค่าน้อยลงตามลำดับ เช่นเดี่ยวกับค่าระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ (outage time) ที่ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับมีค่าน้อยลงตามลำดับเช่นกัน ดังนั้นเมื่ออัตราการล้มเหลวและระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับลงลด จึงส่งผลให้ ระยะเวลาที่เกิดเหตุการไฟฟ้าดับในหนึ่งปี (annual outage time) ลดน้อยลงตามลำดับเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าความพร้อมมูล (Availability) ของจุดโหลดต่างๆ สำหรับเทียร์แต่ละระดับ จะเห็นว่า ค่าความพร้อมมูลมีค่าที่เพิ่มขึ้ตามลำดับ กล่าวคือระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นตามระดับการจัดอันดับเทียร์

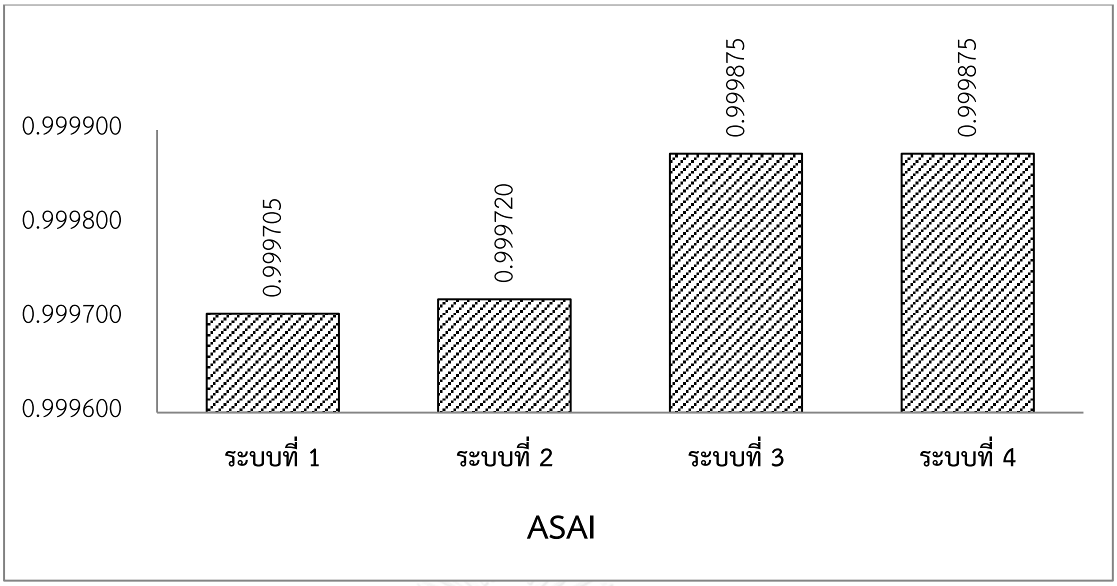
8.2.2 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

จากผลการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ของระบบทดสอบทั้ง 4 ระบบ แสดงดังภาพที่ 8.55 - ภาพที่ 8.57



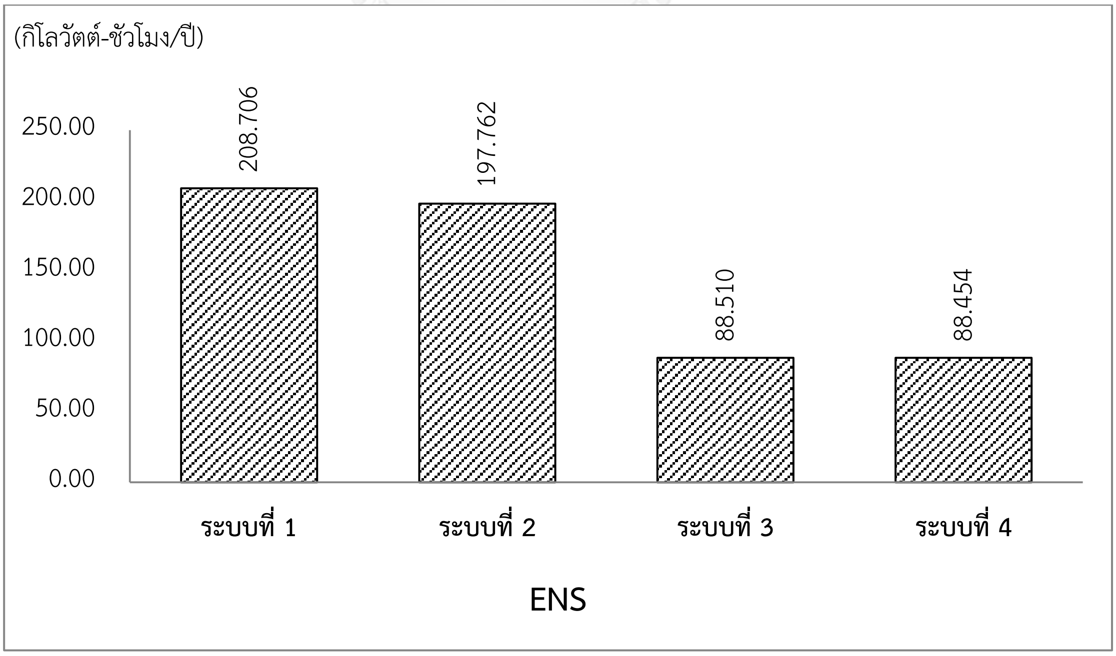
ภาพที่ 8.55 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI ทั้ง 4 ระบบ

จากผลการทดสอบเมื่อดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบทั้ง 4 ระบบ สำหรับการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ จะเห็นได้ว่า ค่า SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI มีค่าน้อยลงตามลำดับ แสดงถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบจะดีขึ้นตามการจัดอันดับเทียร์นั่นเอง



ภาพที่ 8.56 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ASAI ทั้ง 4 ระบบ

จากผลการทดสอบเมื่อดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบทั้ง 4 ระบบ สำหรับการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ จะเห็นได้ว่าดัชนีแสดงการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (Average service availability index : ASAI) มีค่าที่เพิ่มขึ้ตามลำดับ แสดงถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบจะดีขึ้นตามการจัดอันดับเทียร์นั่นเอง

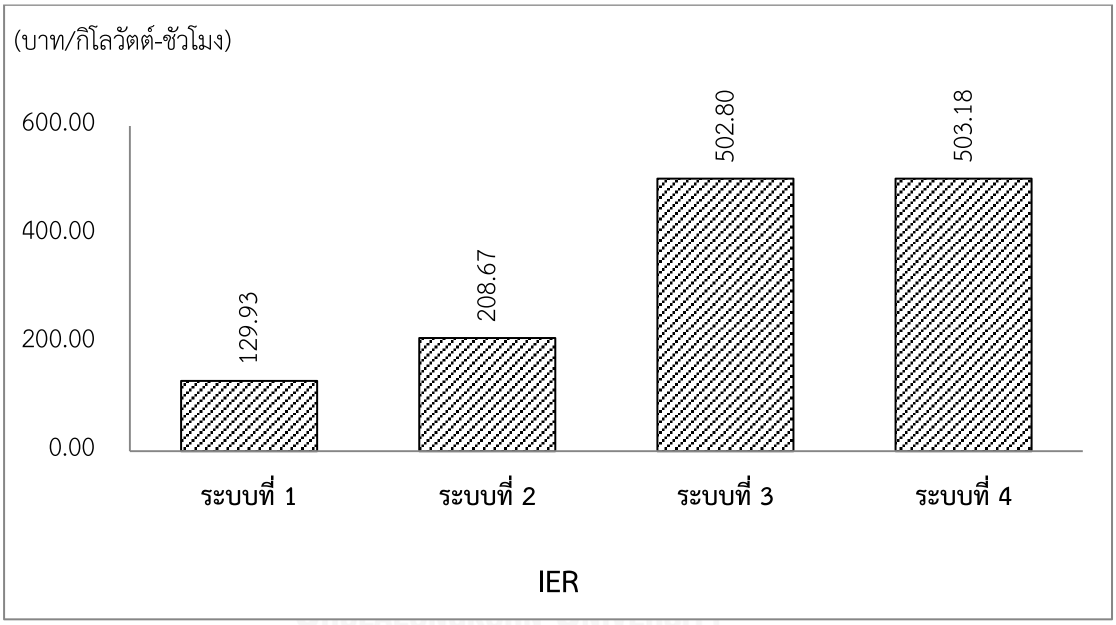


ภาพที่ 8.57 เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ENS ทั้ง 4 ระบบ

จากผลการทดสอบเมื่อดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบทั้ง 4 ระบบ สำหรับการจัดอันดับเทียร์แต่ละระดับ จะเห็นได้ว่าดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า (Energy not supplied : ENS) มีค่าน้อยลงตามลำดับ แสดงถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบจะดีขึ้นตามการจัดอันดับเทียร์นั่นเอง

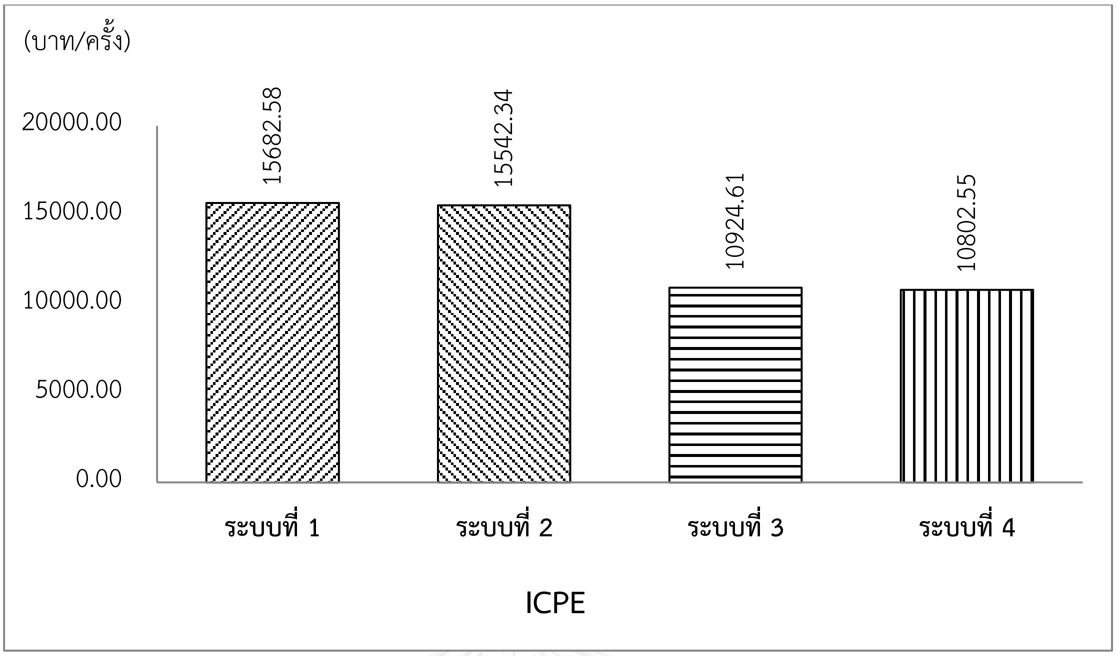
8.2.3 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ

จากผลการทดสอบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับของระบบทดสอบทั้ง 4 ระบบ แสดงดังภาพที่ 8.58 และภาพที่ 8.59



ภาพที่ 8.58 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ IER ทั้ง 4 ระบบ

จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาผลการทดสอบแล้ว สังเกตุว่าระบบที่มีความเชื่อถือได้ที่สูงจะให้อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted energy rate : IER) ที่สูงตามไปด้วย เนื่องจากค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับแบบจำลองความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (Customer damage function : CDF) และเมื่อพิจารณาผลทดสอบอัตราค่าความเสียหายต่อครั้งเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (Interruption Cost per Event : ICPE) จะน้อยลงเพราะว่า เมื่อระบบมีความเชื่อถือได้ที่ดีโอกาสที่จะเกิดเหตุไฟฟ้าดับก็น้อยลงตามไปด้วยทำให้ค่าความเสียหายก็จะน้อยลงตามอันดับเทียร์นั่นเอง



ภาพที่ 8.59 เปรียบเทียบดัชนีมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ ICPE ทั้ง 4 ระบบ

8.3 เปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนของระบบไฟฟ้า

ประมาณการมูลค่าการลงทุนของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบ โดยพิจารณาที่มูลค่าของอุปกรณ์ไฟฟ้ารายละเอียดตามตารางที่ 8.15

ตารางที่ 8.15 มูลค่าการลงทุนของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบ

	มูลค่า (บาท)
ระบบที่ 1	22,739,966.67
ระบบที่ 2	32,012,266.67
ระบบที่ 3	55,863,766.67
ระบบที่ 4	54,419,966.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 9
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการทดสอบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เน้นศึกษาระบบไฟฟ้าแรงต่ำของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล อาศัยวิธีสุ่มช่วงเวลาทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งพิจารณาตามโครงของระบบไฟฟ้า ตามการจัดอันดับเทียร์ ดังนั้นจึงมีระบบทดสอบ 4 ระบบ

ระบบไฟฟ้าที่นำมาทดสอบได้ดัดแปลงระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งให้อยู่ในโครงสร้างของเทียร์อันดับต่างๆ จากนั้นจึงประเมินความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ การประเมินความเชื่อถือได้ของการจัดอันดับเทียร์ จะช่วยให้ทราบว่าจุดโหลดต่างๆ ภายในระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อได้ที่ดีหรือไม่ดีและมีค่าที่แตกต่างกันอย่างไร ทำให้สามารถเลือกติดตั้งโหลดต่างๆได้ตามความเหมาะสม และเมื่อพิจารณาการประเมินความน่าเชื่อถือได้แล้ว หลังจากนั้นได้ทำการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ทำให้ทราบถึงอัตราค่าความสูญเสียเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับแต่ละครั้ง รวมไปถึงได้มีการประมาณการการลงทุนของระบบไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบ โดยพิจารณาจากมูลค่าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้านั้นๆ

ในระบบไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือที่สูงก็จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือได้ที่สูงเพิ่มเข้าไปในระบบด้วย ส่งผลให้งบประมาณหรือมูลค่าในการลงทุนก็สูงตามไปด้วย ดั้งนั้นในการที่จะใช้ระบบไฟฟ้าของเทียร์ในระดับใดก็ตาม จะต้องมีการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยเพื่อให้การลงทุนนั้นคุ้มค่าและเหมาะสมกับความต้องการ โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา เช่น

1. ความสำคัญของโหลด
2. งบประมาณในการลงทุนหรือก่อสร้าง
3. พฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุดโหลด

9.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับโดยทำการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ภายใต้โครงสร้างระบบไฟฟ้าของการจัดอันดับเทียร์ ซึ่งสามารถสรุปข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. การประเมินความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ควรพิจารณาให้ครอบคลุมถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงให้มากที่สุด เช่น แผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์เป็นต้น

2. การประเมินความน่าเชื่อถือได้ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสถิติของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลสถิติของอุปกรณ์ต่างๆ ตามลักษณะพื้นที่หรือตามลักษณะการใช้งานจริงแล้ว จะช่วยผลการประเมินมีความแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] Billinton, R., and Allan, R.N. Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques. London: Plenum Press, 1992.

[2] IEEE Std 493TM -2007. IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrail and Commercial Power System. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.

[3] สัมประสิทธิ์ ประสพสุข. การประเมินระบบไฟฟ้าบนพื้นฐานของดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[4] สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพลังงาน, 2544.

[5] วรพงษ์ ดีอารมย์. การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[6] Billinton, R., and Allan, R.N. Reliability Evaluation of Power System. London: Pitman Publishing, 1984.

[7] โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์. การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าโดยการใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[8] กุลยศ อุดมวงศ์เสรี. การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ และการแบ่งแยกโครงข่ายไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[9] สุทธิพงษ์ รัตนาภากร. การประเมินความเชื่อถือของการจัดอันดับเทียร์สำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[10] ไชยยศ มิตรเชื้อชาติ. การประเมินความเชื่อถือของสถานีไฟฟ้าย่อยร่วมกับการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[11] W.Pitt Turner IV, PE, John H, PE, Vince Renaud, PE, and Kenneth G. Brill. Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance. The Uptime Institute, 2008.

[12] W.Pitt Turner IV, PE, and Kenneth G. Brill. Industry Standard Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance. The Uptime Institute, 2001.

[13] Robert Arno, Addam Friedl, Peter Gross, and Robert J. Schuerger. Reliability of Data Centers by Tier Classification. IEEE Transactions on Industry Applications, 48, 2 (March/April 2012) : 777-783.

[14] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ทีซีจี พริ้นติ้ง, 2545.

[15] Tsao, T., and Chang, H. Composite Reliability Evaluation Model for Different Types of Distribution Systems. IEEE Transactions on Power System, 10, 3 (May 2003) : 924-930.

[16] Billinton, R., and Li, W. Reliability Assessment of Electrical Power Systems Using Monte Carlo Methods. New York: Plenum Press, 1994.

[17] Billinton, R., and Wang P. Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using a Monte Carlo Simulation. IEEE Transactions on Power Systems. 14, 2 (May 1999) : 397-403.

[18] การไฟฟ้านครหลวง. ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า. ข้อมูลสถิติความรู้, 2559.

[19] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานประจำปี 2558 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559.

[20] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ (Outage Cost) (โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่), คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
รายการประมาณราคาของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ตารางที่ ก ราคาประมาณการอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า	ราคาประมาณการ (บาท)
DROP OUT FUSE 22KV	4,500.00
TRANSFORMER 1500 KVA 3P CABLE BOX	956,000.00
Automatic Transfer Switch 2500A	933,700.00
Automatic Transfer Switch 1600A	245,000.00
Automatic Transfer Switch 1250A	218,000.00
Automatic Transfer Switch 250A	65,000.00
GENERATOR 1550 KVA PRIME RATE 3P,DISEL ENGINE	7,500,000.00
UPS 150 kVA (Back Up 20 min)	300,000.00
Distribution Board	50,000.00
Air Circuit breaker,Drawout type 2500A	368,000.00
Moulded-case circuit breakers, 1600A	159,700.00
Moulded-case circuit breakers, 1250A	137,900.00
Moulded-case circuit breakers, 500A	51,500.00
Moulded-case circuit breakers, 400A	44,000.00
Moulded-case circuit breakers, 350A	44,000.00
Moulded-case circuit breakers, 300A	42,000.00
Moulded-case circuit breakers, 250A	24,000.00
Moulded-case circuit breakers, 225A	24,000.00
Moulded-case circuit breakers, 125A	10,600.00
Moulded-case circuit breakers, 100A	9,600.00
2500A, 100m, 5(4-300#NYY), on Ladder	3,014,000.00
1600A, 100m, 5(4-300#/G120#NYY in 5"RSC)	3,586,333.33
1250A, 100m, 4(4-300#/G95#NYY in 5"RSC)	2,869,066.67
500A, 100m, 2(4-185#/G35#NYY in 4"IMC)	929,200.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

ตารางที่ ก ราคาประมาณการราคาอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า (ต่อ)

รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า	**ราคาประมาณการ (บาท)**
400A, 100m, 2(4-120#/G25#NYY in 3"IMC)	627,866.67
350A, 100m, 2(4-95#/G25#NYY in 3"IMC)	520,666.67
300A, 100m, 2(4-95#/G25#NYY in 3"IMC)	520,666.67
250A, 100m, 4-185#/G25#NYY in 4"IMC	464,600.00
225A, 100m, 4-185#/G25#NYY in 4"IMC	464,600.00
125A, 100m, 4-70#/G16#NYY in 3"IMC	211,533.33
100A, 100m, 4-50#/G10#NYY in 2"IMC	140,533.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิศนุพงษ์ เด่นไชยรัตน์ เกิดวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ในปีการศึกษา 2550 และในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Laboratory Research: PSRL)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University