



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะล่อแหลม

ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

โดย นายวัชรพงษ์ นิยมพงษ์

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธีรธรรม บุญยะกุล)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชนพงศ์ สุวรรณศรี)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เชิดชัย ประภาณวรัตน์)

การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะล่อแหลม
ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

นายวัชรพงษ์ นิยมพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายวัชรพงษ์ นิยมพงษ์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะ
ล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญนุกุล
อาจารย์ ดร.ธีรธรรม บุญยะกุล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

สภาวะล่อแหลมในระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Contingency) เป็นประเด็นที่สำคัญสำหรับการวางแผนการผลิตไฟฟ้าและเป็นสาเหตุให้กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่เพียงพอ (Insufficient Generation) สายส่งรับภาระเกินพิกัด (Line Overload) แรงดันไฟฟ้าที่บัสไม่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนด (Voltage Violation) ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะถูกทดสอบโดยใช้ระบบทดสอบ RTS-79 และจำลองการทำงานทั้งหมดในโปรแกรมฟอร์แทรน 77 งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลของแผนการผลิตระยะสั้นระหว่างการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51%, 81% และ 100% ของโหลดสูงสุด และเงื่อนไขความมั่นคงจะถูกตรวจสอบด้วยวิธีการคำนวณโหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Load Flow Method) ผลที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอคือ แผนการผลิตที่ทำให้เกิดผลกำไรจากค่าราคาต้นทุนต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขความมั่นคง

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 95 หน้า)

คำสำคัญ : ราคาต้นทุน ผลกำไร มอนติคาร์โล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Watcharapong Niyompong
Thesis Title : Cost/Benefit Analysis of Power System in Contingency State
using Monte Carlo Simulation Technique
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Dr. Somporn Sirisumrannukul
Dr. Teratam Bunyagul
Academic Year : 2006

Abstract

Power system contingency is the important issue for power system generation planning. It causes insufficient generation, line overload and voltage violation. These events affect the cost of power generation. The research presents cost/benefit analysis of power system in contingency state using Monte Carlo Simulation Technique. The proposed method was tested by using IEEE Reliability Test system (RTS-79) in Fortran77 program. The comparison of economic and secure dispatches short time generation plan at 51%, 81% and 100% of peak load were demonstrated. Security condition is examined by Newton-Raphson load flow method. Its results can be used to select the generation plans which have the lowest cost.

(Total 95 pages)

Keywords : Cost, Benefit, Monte Carlo

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับคำชี้แนะแนวทางการจัดทำวิทยานิพนธ์ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ เป็นอย่างดีจาก ท่านอาจารย์ ดร.ธีรธรรม บุญยะกุลและท่านอาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้วิจัยจนประสบความสำเร็จตามเจตนารมณ์ ขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ซึ่งเป็นผู้อยู่เบื้องหลังของความสำเร็จในครั้งนี้ ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางการเงินแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

วัชรพงษ์ นิยมพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 แรงจูงใจในการทำวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 วิธีการวิจัย	2
1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	3
1.7 ประโยชน์ของการวิจัย	3
1.8 หลักการของการวิจัย	3
1.9 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า	4
1.10 ประวัติวิธีมอนติคาร์โล	4
1.11 ภาษาฟอร์แทรน 77	5
1.12 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์	7
1.13 งานเขียนโปรแกรมในงานวิจัย	9
1.14 สรุป	11
บทที่ 2 การวิเคราะห์โหลดโพล์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
2.1 ขีดจำกัดทางปฏิบัติของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	13
2.2 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า	14
2.3 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ	15
2.4 การวิเคราะห์โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	16
2.5 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าไหลในสายส่ง	23
2.6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง	23
2.7 สรุป	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การจำลองมอนติคาร์โลในระบบไฟฟ้ากำลัง	25
3.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง	26
3.2 แผนการผลิตไฟฟ้า	28
3.3 แบบจำลองสถานะของอุปกรณ์	28
3.4 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ	29
3.5 ประวัติความเป็นมาของการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม	30
3.6 การก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม	31
3.7 การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	33
3.8 วิธีแซมเปิล-มีนมอนติคาร์โล	35
3.9 สภาวะล่อแหลมในระบบไฟฟ้ากำลัง	35
3.10 การเกิดสภาวะล่อแหลมเมื่ออุปกรณ์หลุดออกจากระบบไฟฟ้า	35
3.11 การควบคุมกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	37
3.12 การลดกำลังสายส่งไฟฟ้าเกินด้วยการผลิตใหม่หรือการตัดโหลด	37
3.13 การแก้ไขปัญหาแรงดันเกินขอบเขต	38
3.14 การคำนวณราคาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้า	39
3.15 สถิติศาสตร์	41
3.16 การแจกแจงปรกติมาตรฐาน	42
3.17 เกณฑ์การหยุดคำนวณ	43
3.18 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโดยรวม	44
3.19 ขั้นตอนการทำงานของการวิเคราะห์ราคาค่าต้นทุนและผลกำไรของ ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองด้วย เทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	46
3.20 ขั้นตอนการทำงานของการวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน	49
3.21 ขั้นตอนการทำงานของแก้ไขปัญหาแรงดันที่บัสไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด	52
3.22 ขั้นตอนการทำงานการแก้ไขปัญหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สลับเบส ผลิตเกินค่าสูงสุด	52
3.23 ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด	55
3.24 ขั้นตอนการทำงานสุ่มสถานะการหลุดของอุปกรณ์	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.25 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานการก่อกำเนิดจำนวนผู้	60
3.26 ขั้นตอนการหาราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า	61
3.27 สรุป	65
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรในระบบไฟฟ้า	67
4.1 ราคาต้นทุนจากระบบทดสอบ RTS-79	67
4.2 สรุป	75
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สิ่งสำคัญที่ได้จากงานวิจัย	77
5.2 สรุปผลการจำลอง	77
5.3 ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก ก ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System (RTS-79)	85
ประวัติผู้วิจัย	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า	15
2-2 สมาชิกของจาโคเบียนเมตริกซ์	20
3-1 การลดกำลังไฟฟ้าไหลเกินพิกัด	38
3-2 อัตราการต่อโหลดกลับคืน	40
3-3 ฟังก์ชันของระยะเวลาของไฟฟ้าดับสำหรับผู้บริโภคแต่ละประเภท	40
3-4 พารามิเตอร์ของช่วงความเชื่อมั่น	44
4-1 ราคาต้นทุนและเวลาในการคำนวณของการจ่ายโหลดที่สถานะปกติ	67
4-2 ราคาต้นทุนและเวลาในการคำนวณของการจ่ายโหลดที่สถานะล่อแหลม	74
ก-1 พารามิเตอร์สายส่ง, พิกัดของสายส่ง, และข้อมูลความเชื่อถือได้	86
ก-2 การจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	88
ก-3 ความจุในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิด	89
ก-4 ข้อมูลของโหลดที่ 51 % 83% และ 100 % ของโหลดสูงสุด	90
ก-5 ข้อมูลความเชื่อถือได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	91
ก-6 อุปกรณ์ชดเชยแรงดันไฟฟ้า	92
ก-7 ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	92
ก-8 ข้อมูลราคาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	93

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 องค์ประกอบต่างๆไปของบัส	14
2-2 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส i	16
2-3 ฟังก์ชันการทำงานของวิเคราะห์โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	22
2-4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งระหว่าง 2 บัส	23
3-1 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้	26
3-2 IEEE Reliability Test System (RTS-79)	27
3-3 แบบจำลองสถานะของอุปกรณ์	28
3-4 สถานะการทำงานปกติของอุปกรณ์	29
3-5 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์เมื่อประมาณช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์ อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย	29
3-6 แสดงวิธีการสุ่มสถานะที่อุปกรณ์ขัดข้องและไม่ขัดข้อง	34
3-7 แก๊สสายส่งเกินพิกัดโดยการเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้า และการตัดโหลด	38
3-8 การกระจายปรกติเปลี่ยนเป็นกราฟกระจายปรกติมาตรฐาน	43
3-9 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม	44
3-10 ฟังก์ชันการทำงานของวิเคราะห์ราคาค่าต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลัง ในสถานะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	48
3-11 ฟังก์ชันการทำงานของวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน	50
3-12 การแก้ปัญหาแรงดันที่บัสไม่อยู่ช่วงที่กำหนด	53
3-13 การแก้ปัญหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตเกินขีดจำกัดสูงสุด	54
3-14 ฟังก์ชันงานแก้ปัญหาสายส่งเกินพิกัด	56
3-15 ฟังก์ชันงานสุ่มสถานะการหลุดของอุปกรณ์	59
3-16 ฟังก์ชันงานของการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม	60
3-17 ฟังก์ชันงานหาราคาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้า	61
3-18 ฟังก์ชันงานหาค่าราคาไฟฟ้าดับ	63
3-19 ฟังก์ชันงานหาราคาพลังงาน	64
4-1 ราคาค่าต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51% ของโหลดสูงสุด	68
4-2 ราคาค่าต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51% ของโหลดสูงสุด	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 83% ของโหลดสูงสุด	70
4-4 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 83% ของโหลดสูงสุด	70
4-5 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 100% ของโหลดสูงสุด	72
4-6 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 100% ของโหลดสูงสุด	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power System) เป็นระบบที่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟ กระบวนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเริ่มจากระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) ผ่านระบบส่ง (Transmission System) ไปยังระบบจำหน่าย (Distribution System) เพื่อส่งไปยังผู้บริโภค หากเกิดความขัดข้อง (Outage) ในกระบวนการจะส่งผลกระทบทำให้เกิดไฟฟ้าดับ (Interruption) ซึ่งจะเกิดผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้ไฟฟ้า และส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าทำให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอีกทั้งทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง ต้นทุนการผลิตก็แปรเปลี่ยนไปตามเหตุการณ์ ดังนั้นการวางแผนการผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ที่ผ่านมานั้นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจะใช้เกณฑ์การตัดสินใจซึ่งกำหนดขึ้นโดยอาศัยประสบการณ์เช่น การกำหนดให้ขนาดของกำลังการผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) มีค่าเท่ากับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้คาดการณ์ไว้รวมกับค่าร้อยละของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่ได้คาดการณ์ไว้ค่าหนึ่ง การกำหนดให้ขนาดกำลังเดินเครื่อง (Spinning Capacity) มีค่าเท่ากับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่คาดการณ์ไว้รวมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ใหญ่ที่สุด 1 เครื่อง หรือมากกว่านั้น การกำหนดกำลังผลิตสำรองของระบบเป็นร้อยละของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

1.2 แรงจูงใจในการทำวิจัย

ปัจจุบันธุรกิจด้านการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่มีการแข่งขันอย่างเสรี ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นระบบหนึ่งที่ต้องจ่ายพลังงานให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าจึงต้องมีการวางแผนการผลิตแต่การวางแผนนั้นต้องสามารถรักษาระดับความมั่นคงจากเหตุการณ์ที่ไม่อาจคาดเดา [1, 2] เช่น สายส่งขัดข้องหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดขัดข้อง โดยปรกติแล้วเหตุการณ์ขัดข้องจะเกิดในสภาวะล่อแหลมเป็นส่วนใหญ่ การคาดการณ์ราคาของการขัดข้องที่เกิดขึ้นนั้นสามารถหาได้จากการใช้การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล แล้วทำการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันโหลดโฟลว์[3, 4] ซึ่งเกิดจากเหตุการณ์ขัดข้องนั้น เพื่อหากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องผลิตแล้วทำการคำนวณราคาดำเนินการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้านั้นจึงมีความจำเป็นต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า

วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลนั้นจะสามารถจำลองเหตุการณ์ซับซ้อนของอุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบภาคสนามด้วยวิธีการสุ่มตามหลักการทางคณิตศาสตร์ แล้วทำการพิจารณาผลการทำงานของระบบแทนการแก้ปัญหาด้วยการแทนค่าสมการโดยตรง ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการที่กล่าวข้างต้นและใช้ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System (RTS-79) ซึ่งมีจำนวน 24 บัส สายส่งไฟฟ้า 38 เส้น หม้อแปลงไฟฟ้า 5 ตัว ชนตรีแอกเตอร์ 1 ตัว ชนโครนัสเจนเนอเรเตอร์ 1 เครื่อง และเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า 32 เครื่อง จากวิธีการที่กล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (Bulk Power System) ด้วยการพัฒนาโปรแกรมจากภาษาฟอร์แทรน 77 บนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ โดยพัฒนาโปรแกรมจากโปรแกรม PSSAF (Power System Security Analysis with Fortran 77) [1]

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่
- 1.3.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา การวางแผนการผลิตในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่
- 1.3.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาไฟฟ้ากำลัง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หาราคาต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าในสภาวะล่อแหลมของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาด้วยใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรน 77 บนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ แล้วทำการทดสอบโปรแกรมด้วยระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System (RTS-79) และใช้ตารางวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าในสภาวะจ่ายโหลดที่ความมั่นคง (Secure Dispatch State) และสภาวะจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch State) เป็นหลักในการผลิตกำลังไฟฟ้า

1.5 วิธีการวิจัย

- 1.5.1 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค้นคว้าจากตำราและบทความทางวิชาการต่างๆ
- 1.5.2 ศึกษาวิธีการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในการไฟฟ้าฝ่ายผลิต
- 1.5.3 ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาคับวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.4 ศึกษาวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน
- 1.5.5 ศึกษาการใช้งานโปรแกรมเพาเวอร์เวิลด์ (Power World)

1.5.6 ศึกษากระบวนการปฏิบัติการซูซึลินุกซ์

1.5.7 ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน77

1.5.8 จำลองสถานการณ์ของเหตุขัดข้องโดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาราคาดำเนินทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าในสภาวะล่อแหลมโดยใช้ระบบทดสอบ RTS-79 (Reliability Test System) และตารางการผลิตกำลังไฟฟ้าในสภาวะความมั่นคง (Secure Dispatch State) และสภาวะจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch State)

1.5.9 ทดสอบการทำงานของโปรแกรม

1.5.10 วิเคราะห์ สรุปผล และเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น

1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1.6.1 ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางความเร็ว 2 GHz และหน่วยความจำชั่วคราว 1 GB ขึ้นไป

1.6.2 โปรแกรมฟอร์แทรน77 และระบบปฏิบัติการซูซึลินุกซ์

1.6.3 โปรแกรมเพาเวอร์เวิลด์ (Power World)

1.6.4 โปรแกรมแมทแลป (Matlab)

1.7 ประโยชน์ของการวิจัย

1.7.1 สามารถวิเคราะห์ และเปรียบเทียบราคาค่าต้นทุนไฟฟ้าในสภาวะล่อแหลมของการวางแผนการจ่ายไฟแบบต่าง ๆ

1.7.2 สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ได้

1.8 หลักการของการวิจัย

หากระบบเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง หากค่าที่เปลี่ยนแปลงไม่อยู่ในขอบเขตการทำงานปกติ เป็นการนำไปสู่สภาวะล่อแหลมและอาจเกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าได้ อีกทั้งผลกระทบดังกล่าวส่งผลทำให้ราคาค่าต้นทุนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง หากผู้วางแผนสามารถทราบราคาค่าต้นทุนการผลิตดังกล่าว ก็สามารถที่จะนำราคาค่าต้นทุนการผลิตดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการวางแผนเพื่อจะก่อเกิดผลกำไร และไม่ขาดทุนจากราคาค่าต้นทุนเดิมจากราคาการผลิตในสภาวะปกติมากนัก ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ราคาค่าต้นทุนการผลิตทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำไปใช้วางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าในระยะสั้นได้ แต่เหตุการณ์การขัดข้องดังที่ได้กล่าว

มานั้นไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้า วิธีการจำลองเหตุการณ์ขัดข้องจึงได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์ขัดข้อง เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถทำการทดลองหรือทดสอบกับระบบจริงได้เพื่อหาราคาคำนวณการผลิตไฟฟ้า

งานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมจำลองเหตุการณ์ขัดข้อง ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยใช้ภาษาฟอร์แทรน 77 ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งภาษาฟอร์แทรน 77 เป็นคอมไพเลอร์ที่เปิดเผย (Open Source) ในการวิเคราะห์ราคาคำนวณและผลกำไรนี้จะใช้ระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System (RTS-79) และใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนิวตัน-ราฟสัน แล้วนำกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาวิเคราะห์หาต้นทุนและผลกำไร โดยอาศัยตารางการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง

1.9 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis)

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และเป็นพื้นฐานของการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังในเรื่องต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ความผิดปกติของระบบไฟฟ้า (Fault Analysis) การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า (Stability Analysis) และการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า (Reliability Analysis) เป็นต้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ก็จะทราบขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส ($|V_i|, \delta_i$) กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (P_{Gi}, Q_{Gi}) กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (P_{ij}, Q_{ij}) และการสูญเสียในสายส่งและอุปกรณ์ต่าง ๆ (P_{loss}, Q_{loss}) การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ามีหลายวิธี คือ การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบ Gauss-Seidel Method, Newton-Raphson Method, Decouple Power Flow และ DC Power Flow ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนิวตัน-ราฟสัน เนื่องจากเป็นวิธีที่มีลักษณะการลู่เข้าของคำตอบที่ดี จำนวนรอบของการคำนวณไม่ขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้า คำตอบที่ได้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้สูง

1.10 ประสิทธิภาพมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) [5]

การหาผลเฉลยทางคณิตศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีการหาผลเฉลยเชิงทฤษฎี และวิธีการหาผลเฉลยเชิงตัวเลข ปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยเชิงทฤษฎีได้ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาย่อยๆ ซึ่งเป็นปัญหาของระบบที่เป็นเชิงเส้น แต่เมื่อปัญหาซับซ้อนขึ้นและระบบไม่เป็นเชิงเส้น การหาผลเฉลยเชิงทฤษฎีไม่สามารถกระทำได้ วิธีการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขจึงถูกคิดค้นขึ้นมาจนปัจจุบัน

นี้วิธีการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขมีอยู่มากมายหลายวิธี แต่ละวิธีอาจเหมาะสมกับแต่ละลักษณะเฉพาะของปัญหา

วิธีมอนติคาร์โลเป็นวิธีการหนึ่งในหลายวิธีการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยตัวเลขแบบสุ่ม (Random Number) ความถูกต้องของค่าที่ได้จะมากขึ้นเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่สุ่มตัวเลข หากจำนวนครั้งยิ่งมากเท่าใด ค่าที่ได้ก็จะเข้าใกล้ค่าแท้จริงมากขึ้นเท่านั้น ชื่อมอนติคาร์โล ในที่นี้เป็นชื่อรหัสของโครงการลับที่นำเสนอโดย John Von Neuman และ Stanislaw Ulam [5] ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง โดยโครงการลับนี้ได้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ Los Alamos ประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุที่ใช้ชื่อรหัสของโครงการลับนี้ว่ามอนติคาร์โล อันเนื่องมาจาก John Von Neuman และ Stanislaw Ulam ได้เสนอวิธีการศึกษาการแพร่กระจายของนิวตรอนในสารกัมมันตภาพรังสีโดยการเลียนแบบวิธีการเล่นรูเลตต์ (Roulette) ซึ่งรูเลตต์เป็นเกมการพนันชนิดหนึ่งในบ่อนคาสีโนทั่วไป และบ่อนคาสีโนที่มีชื่อเสียงอยู่ในขณะนั้นส่วนใหญ่อยู่ในเมือง มอนติคาร์โล ประเทศโมนาโก

หลังจากประสบผลสำเร็จในโครงการลับประกอบกับการพัฒนาของระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลสูง วิธีมอนติคาร์โลจึงถูกนำมาใช้ประยุกต์ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งที่เป็นปัญหาเชิงสุ่ม (Stochastic Problem) และปัญหาเชิงกำหนด (Deterministic Problem) แนวคิดของวิธีการมอนติคาร์โลก็คือสร้างแบบจำลองแบบสุ่มให้สอดคล้องเข้ากันได้กับปัญหาจริงของปัญหาเชิงกำหนด

1.11 ภาษาฟอร์แทรน 77 (Fortran 77) [1],[6]

ภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) จัดได้ว่าเป็นภาษาระดับสูงภาษาแรกของโลกและเป็นภาษาที่เก่าแก่ที่สุดของวงการคอมพิวเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1954 โดยทีมนักคอมพิวเตอร์ บริษัทไอบีเอ็ม (IBM) นำทีมโดย จอห์น แบคคัส (John Backus) เป็นผู้พัฒนาและออกสู่ตลาดเมื่อปี ค.ศ. 1957 ต่อมาในปี ค.ศ. 1966 โดยแนะนำออกมาสองรุ่น คือ FORTRAN II และ FORTRAN IV ต่อมาได้พัฒนาภาษา เป็นมาตรฐานรุ่นแรก เรียกว่า FORTRAN-66 อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อบกพร่องอีกหลายประการ เช่น ไม่สามารถกำหนดชนิดข้อมูล ไม่สามารถทำงานกับ ข้อมูลประเภทสายอักขระ และไม่มีคำสั่งที่สามารถกำหนด โครงสร้างได้เหมาะสม จึงมีการปรับปรุงแก้ไขให้อยู่ในแบบมาตรฐานของ American National Standard Institute (ANSI X 3.9-1966) และพัฒนามาจนกระทั่งปี ค.ศ. 1977 จึงเป็นฟอร์แทรน 77 (FORTRAN 77) แล้วจัดให้อยู่ในแบบมาตรฐานของ American National Standard Institute (ANSI X 3.9-1978) ในปี ค.ศ. 1978 ภาษาฟอร์แทรน 77 คำสั่งถูกจัดระเบียบให้อยู่ในรูปหน่วยโปรแกรม (Program Unit) และมีคำสั่ง END เป็นคำสั่งสุดท้าย หน่วย

โปรแกรมอาจเป็นโปรแกรมหลัก (Main Program) หรือโปรแกรมย่อย (Subprogram) ซึ่งในโปรแกรมหลักอาจจะมีโปรแกรมย่อยหรือไม่ก็ได้ หากมีอาจจะมีมากกว่าหนึ่งโปรแกรมย่อยก็ได้ ฟอรัแทรน 77 (FORTRAN-77) เป็นภาษาที่เปิดเผย และภาษาที่ประยุกต์ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือ การคำนวณแบบสูตรซึ่งเป็นที่มาของชื่อภาษาฟอรัแทรนอันเป็นชื่อที่ย่อมาจากคำว่า FORmular TRANslation (FORTRAN) ดังนั้นภาษาฟอรัแทรนจึงเป็นภาษาที่เอื้อสำหรับการคำนวณในแง่ต่างๆ โดยตัวคอมพิวเตอร์ของภาษาฟอรัแทรนนั้นสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้อย่างรวดเร็วและจำนวนมากมาย และภาษาฟอรัแทรนยังสามารถเรียกใช้โปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ได้อีกจำนวนมากซึ่งโปรแกรมเหล่านี้เรียกว่า Scientific Subroutine คำสั่งในภาษาฟอรัแทรนแบ่งประเภทได้ดังนี้

1.11.1 คำสั่งปฏิบัติการ (Executable Statement) เป็นคำสั่งที่มีผลต่อการดำเนินงานของโปรแกรม เป็นคำสั่งที่ใช้ในการคำนวณ ควบคุม อ่านและพิมพ์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1.11.1.1 คำสั่งในการกำหนดตัวแปร (Assignment Statement) ใช้สำหรับกำหนดค่าให้กับตัวแปร ซึ่งมีคำสั่งคือ คำสั่งกำหนดค่าเลขคณิต คำสั่งกำหนดค่าตรรกะ คำสั่งกำหนดค่าอักขระและคำสั่ง ASSIGN

1.11.1.2 คำสั่งควบคุม (Control Statement) เป็นคำสั่งที่มีผลต่อลำดับของคำสั่งที่จะนำไปปฏิบัติการในหน่วยโปรแกรมเปลี่ยนไป ซึ่งปรกติคำสั่งในโปรแกรมจะปฏิบัติตามลำดับที่เขียน

1.11.1.3 คำสั่งในการนำข้อมูลอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Statement) เป็นคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ หรือระหว่างหน่วยความจำ และอุปกรณ์รับส่งข้อมูลตามลักษณะที่กำหนด

1.11.2 คำสั่งไม่ปฏิบัติการ (Non-Executable Statement) เป็นคำสั่งที่ใช้กำหนดให้แก่ Processor ถึงลักษณะ ข้อกำหนดข้อมูล เตรียมข้อความที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของ Input และ Output และกำหนดข้อมูลเริ่มต้นให้แก่ Object Program มีดังต่อไปนี้

1.11.2.1 คำสั่งเฉพาะ (Specification Statement) เป็นคำสั่งที่มีหน้าที่ป้อนข่าวสารให้กับ Processor ในด้านการแปลความหมายการใช้ชื่อ สัญลักษณ์ภายในโปรแกรม การกำหนดค่าเริ่มต้นให้ตัวแปร ตัวแปรชุด และการเก็บข้อมูล

1.11.2.2 คำสั่ง FORMAT เป็นคำสั่งที่ใช้กับคำสั่งในการนำข้อมูลเข้า/ออก โดยคำสั่ง FORMAT เป็นคำสั่งในการกำหนดรูปแบบของข้อมูลที่จะเคลื่อนย้าย พร้อมกับเปลี่ยนแปลงชนิดข้อมูล และการเรียงเรียงข้อมูล เพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด

1.11.2.3 คำสั่งระบุโปรแกรมย่อย เช่น SUBROUTINE, FUNCTION เป็นหน่วยโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมอื่นๆ สามารถเรียกใช้ได้ อาจมีอยู่แล้วในระบบหรือกำหนดขึ้นมาใช้งานเอง

1.11.2.4 คำสั่งในการกำหนด Statement Function เป็นคำสั่งกำหนดฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานเองนอกเหนือจากฟังก์ชันภายในที่มีให้

1.12 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux)

1.12.1 ระบบปฏิบัติการ (Operating System : OS) [7]

หมายถึงโปรแกรมชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ในการช่วยให้โปรแกรมอื่น ๆ สามารถทำงานได้ โดยระบบปฏิบัติการจะเป็นตัวกลางระหว่างฮาร์ดแวร์กับโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์

1.12.2 ประวัติของลินุกซ์ (Linux) [7]

นักวิจัยของห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Labs) ของบริษัทเอทีแอนด์ที (AT&T) ชื่อ Ken Thompson ได้ร่วมกับ Dennis Ritchie พัฒนาระบบปฏิบัติการใหม่ชื่อยูนิกซ์ (UNIX) ขึ้นในปี ค.ศ. 1969 และมีการแจกซอร์สโค้ดให้แก่นักวิจัยฟรีเพื่อนำไปพัฒนาต่อ ทำให้ความสามารถของยูนิกซ์ต่างจากดอส (DOS) ของบริษัทไมโครซอฟต์คอร์ปอเรชัน (Microsoft Corporation) ที่ยูนิกซ์สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ได้หลายขนาด ส่วนดอสใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อีกทั้งระบบปฏิบัติการยูนิกซ์สามารถทำงานหลาย ๆ งานได้พร้อมกัน (Multitasking) ในเวลาเดียวกัน และยังให้ผู้ใช้งาน (User) ใช้งานได้ในเวลาเดียวกันหลายคน (Multiuser) ส่วนดอสไม่สามารถทำงานได้หลาย ๆ งานได้ หากต้องการทำงานในระบบดอสผู้ใช้ต้องรอให้งานที่ค้างไว้เสร็จสิ้นเสียก่อนจึงจะทำงานต่อไปได้ และในปี ค.ศ.1987 ศาสตราจารย์ แอนดรูว์ ทาเนนบาวน์ (Andrew S. Tanenbaum) ได้ออกแบบสร้างยูนิกซ์สำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจะรันได้ทั้งบนเครื่อง PC, MAC, Amiga โดยใช้ชื่อว่ามินิกซ์ (Minix) และยังแจกซอร์สโค้ดฟรีให้แก่ักวิจัยเพื่อนำไปพัฒนาต่อ

ประมาณปี ค.ศ. 1989 นักศึกษาภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ (University of Helsinki) ชื่อลินุส ทอร์วัลด์ส (Linus Torvalds) ได้พัฒนาระบบยูนิกซ์ที่มีชื่อว่ามินิกซ์ ที่ศาสตราจารย์ แอนดรูว์ ทาเนนบาวน์ ได้ออกแบบสร้างเอาไว้ เพื่อเป็นระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) เพื่อใช้ในการเรียนวิชา ระบบปฏิบัติการ เนื่องจากเห็นว่ามินิกซ์ ยังมีความสามารถไม่พอ จึงออกแบบเขียนโค้ดขึ้นใหม่ อ้างอิงกับมินิกซ์ โดยมีการใส่ระบบสลับงาน (Task Swap) ปรับปรุงไฟล์มีการสนับสนุนระบบฮาร์ดแวร์มากขึ้น แล้วให้ชื่อระบบปฏิบัติการตัวนี้ว่าลินุกซ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1991 ได้มีการนำลินุกซ์

เวอร์ชัน 0.02 ออกมาเผยแพร่ทางระบบอินเทอร์เน็ต โดยมีส่วนของเคอร์เนล (Kernel) ที่เป็นหัวใจของระบบปฏิบัติการมีตัวแปลคำสั่ง Bash (Bourne Again Shell) เป็นส่วนติดต่อกับผู้ที่มีตัวแปลภาษา C ชื่อ gcc จาก GNU (GNU's Not Unix) มาสนับสนุนการทำงานอีกด้วย

ตระกูลของลินุกซ์ที่นิยมใช้กันคือ สแลกแวร์ (Slackware), เรดแฮท (Red Hat), คาลดีรา (Caldera), ซุซี (SuSE) เหตุผลที่เลือกซุซีลินุกซ์ เพราะเป็นลินุกซ์ที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับหนึ่งในยุโรปและเยอรมัน และบริษัทที่จัดทำลินุกซ์เป็นสปอนเซอร์สำคัญให้กับโครงการพัฒนาลินุกซ์ต่าง ๆ ทำให้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีกราฟฟิกส์ที่ดี

1.12.3 ประโยชน์ของลินุกซ์ [8]

การที่ลินุกซ์ได้รับความนิยม และมีผู้สนใจนำไปใช้งานเพิ่มมากขึ้น ก็เนื่องมาจากประสิทธิภาพการทำงาน ข้อดี และประโยชน์ของลินุกซ์ซึ่งมีอยู่มากมาย โดยสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1.12.3.1 ลินุกซ์ถอดแบบมาจากยูนิกซ์

ยูนิกซ์เป็นระบบปฏิบัติการที่เก่าแก่และขึ้นชื่อมานานในเรื่องประสิทธิภาพการทำงาน ลินุกซ์เป็นการถอดแบบมาจากยูนิกซ์ ดังนั้นคุณสมบัติของยูนิกซ์ทั้งเรื่องของระบบความปลอดภัย ความสามารถในการทำงานพร้อมกันหลายงาน (Multi Tasking) ใช้งานได้พร้อมกันหลายคน (Multi User) ประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นเซิร์ฟเวอร์รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆอีกมากมาย จึงได้รับการถ่ายทอดมาที่ลินุกซ์ด้วย

1.12.3.2 ใช้งานลินุกซ์โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ลินุกซ์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานบนลินุกซ์จะอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ที่เรียกกันว่า General Public License (GPL) ซึ่งหมายความว่า เราสามารถนำลินุกซ์มาใช้งานได้ฟรี นำไปใช้ได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง ปรับปรุงแก้ไขได้ตามต้องการ โดยซอร์สโค้ดที่ได้ทำการแก้ไขจะต้องเผยแพร่ให้ผู้อื่นใช้ได้ฟรีเหมือนต้นแบบ

1.12.3.3 ความปลอดภัยในการทำงาน

ลินุกซ์เป็นระบบที่มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง ก่อนที่จะเข้าไปงานทุกครั้งจะมีการตรวจสอบโดยผู้ใช้งานจะต้องทำการป้อนชื่อและรหัสผ่าน เพื่อแสดงสิทธิในการใช้งาน (หรือที่เรียกว่า การ Log In) ให้ถูกต้องจึงจะใช้งานลินุกซ์ได้ อีกทั้งมีความปลอดภัยสูงจากไวรัสคอมพิวเตอร์ เนื่องจากผู้ใช้งานลินุกซ์ต้องมีความรู้และความสามารถมากกว่าวินโดวส์ซึ่งใช้งานง่ายกว่า แสกเกอร์จึงนิยมเขียนโปรแกรมทำลายวินโดวส์มากกว่าลินุกซ์

1.12.3.4 เสถียรภาพในการทำงาน

ลินุกซ์มีเสถียรภาพในการทำงานสูงปัญหาระบบล่มในระหว่างทำงานจะไม่ค่อยมีให้พบ โดยความพิเศษของลินุกซ์จะอยู่ที่การตรวจสอบความสัมพันธ์ของโปรแกรมในการทำงานเช่น ถ้าเราติดตั้งโปรแกรมบนลินุกซ์ จะทำการตรวจสอบว่าโปรแกรมนั้นมีการเรียกใช้งานโปรแกรมอื่นทำงานร่วมด้วยหรือไม่ หากมีการเรียกใช้งาน จะให้เลือกติดตั้งโปรแกรมนั้นลงไปด้วย นอกจากนี้ถ้าทำการติดตั้งหรือลบโปรแกรมออกจากระบบ เราไม่ต้องบูตเครื่องใหม่สามารถทำงานต่อไปได้ทันที

1.12.3.5 สนับสนุนฮาร์ดแวร์ทั้งใหม่และเก่า

เทคโนโลยีของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ระบบปฏิบัติการโดยส่วนใหญ่มักจะออกมาเพื่อรองรับประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น จนทำให้บางครั้งต้องมีการอัปเดตเครื่องตาม แต่สำหรับลินุกซ์จะยังสนับสนุนฮาร์ดแวร์เก่าให้สามารถใช้งานได้ โดยจะเพิ่มในส่วนของการสนับสนุนฮาร์ดแวร์ตัวใหม่ลงไปเท่านั้น ทำให้เราไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนฮาร์ดแวร์ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้มาก

1.12.3.6 ลินุกซ์กับระบบเครือข่าย

จุดเด่นอีกเรื่องที่สำคัญของลินุกซ์ก็คือ การใช้งานกับระบบเครือข่าย ลินุกซ์สามารถใช้เป็นเซิร์ฟเวอร์ (Server) ในระบบเครือข่ายร่วมกับเครื่องไคลเอนท์ (Client) ซึ่งติดตั้งระบบปฏิบัติการอื่นได้ เช่นระบบการพิมพ์โดยผู้ใช้งานหลายคน ๆ คนสามารถใช้เครื่องพิมพ์เดียวกันได้ เป็นต้น นอกจากนี้ลินุกซ์ยังสนับสนุนโปรโตคอลในการทำงานกับระบบเครือข่ายอีกมากมาย เช่น TCP/IP, DNS, FTP

1.13 งานเขียนโปรแกรมในงานวิจัย

1.13.1 แปลงโปรแกรมโพลีโคโพลีแบบนิวตัน-ราฟสัน : แปลงโปรแกรมโพลีโคโพลีแบบนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาจากภาษาฟอร์แทรน77 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ให้สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ได้เนื่องจากฟังก์ชันและการทำงานของฟอร์แทรน77 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์และลินุกซ์มีการทำงานที่แตกต่างกัน

1.13.2 เชื่อมการทำงานของโปรแกรม : เนื่องจากภาษาฟอร์แทรน77 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ไม่สามารถเขียนโปรแกรมเชื่อมระหว่างไฟล์ได้ และโปรแกรมโพลีโคโพลีแบบนิวตัน-ราฟสัน ไม่สามารถเชื่อมระหว่างไฟล์ได้ งานวิจัยนี้จะเขียนโปรแกรมแยกไฟล์โดยแบ่งไฟล์ออกเป็นสามกลุ่มไฟล์คือ กลุ่มไฟล์อ่านข้อมูลอินพุต (Input) กลุ่มไฟล์นี้จะอ่านข้อมูลอินพุตจากไฟล์ที่มีรูปแบบตามมาตรฐาน IEEE ซึ่งเป็นรูปแบบที่บุคคลทั่วไปจะเข้าใจง่าย, กลุ่มไฟล์หลัก กลุ่มไฟล์นี้

จะทำหน้าที่จัดการการทำงานของทั้งโปรแกรม รวบรวมข้อมูลเข้าเพื่อใช้งานคำนวณโหลดโพล์
คำนวณราคาต้นทุน คำนวณเวลาของหน่วยประมวลผลกลาง อีกทั้งไฟล์นี้จะทำหน้าที่การจำลอง
เหตุการณ์ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล กลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มไฟล์ฟังก์ชันและ
สับรูทีน กลุ่มไฟล์นี้จะทำหน้าที่เก็บฟังก์ชันการทำงานและสับรูทีน

1.13.3 เขียนโปรแกรมสร้างไฟล์ข้อมูลเอาต์พุต (Output) : ในการวิจัยนี้จะเขียนโปรแกรม
เพื่อสร้างไฟล์ข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นไฟล์เก็บข้อมูลของผลลัพธ์ราคาต้นทุน และเก็บข้อมูลให้มี
รูปแบบที่เข้าใจง่ายต่อผู้อื่น

1.13.4 การคำนวณเวลาของหน่วยประมวลผลกลาง : เนื่องจากภาษาฟอร์แทรน77 ไม่สามารถ
คำนวณระยะเวลาการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางได้ จึงต้องมีการพัฒนาฟังก์ชันคำนวณ
ระยะเวลาของหน่วยประมวลผลกลาง

1.13.5 เขียนโปรแกรมก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม : ในการวิจัยนี้จะเขียนโปรแกรมเพื่อก่อกำเนิด
จำนวนสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เนื่องจากภาษาฟอร์แทรน77 ไม่สามารถเปลี่ยนค่าเริ่มต้นหรือค่า
เมล็ด (Seed) ทำให้เมื่อรันโปรแกรมซ้ำค่าจำนวนสุ่มยังมีค่าเท่าเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง

1.13.6 เขียนโปรแกรมคำนวณราคาต้นทุน : โปรแกรมนี้จะประกอบไปด้วยการคำนวณราคา
สองค่าคือ ค่าราคาพลังงานจะคำนวณได้จากการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิด และค่าราคาไฟฟ้าดับ
ซึ่งหาได้จากการต่อโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

1.13.7 เขียนโปรแกรมเพื่อจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล : โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่
จำลองเหตุการณ์ซัดช็อกของอุปกรณ์ เพื่อหาสถานะต่อแหลมของระบบไฟฟ้า และหาค่าความ
คาดหวังของราคาต้นทุนว่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่ต้องการหรือไม่ หากไม่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น
โปรแกรมจะทำการหาค่าความคาดหวังของราคาต้นทุนซ้ำ จนกว่าค่าความคาดหวังจะอยู่ในช่วง
ความเชื่อมั่นจึงจะจบโปรแกรมการทำงาน

1.13.8 เขียนโปรแกรมเพื่อแก้ไขและตัดโหลด : โปรแกรมนี้จะทำการแก้ไขปัญหานี้เนื่องจาก
แรงดันไฟฟ้าที่บัสไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายส่งเกินพิกัด หากการแก้ไข
ไม่สามารถรักษาระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้ ให้ทำการตัดโหลด

1.13.9 เขียนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ : เนื่องจากภาษาฟอร์แทรน77 มีฟังก์ชันการทำงานที่ให้
มากับตัวภาษาเองไม่เพียงพอกับการใช้งาน จึงต้องเขียนฟังก์ชันการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา
เองเช่น ฟังก์ชันหาค่าสูงสุดของอาร์เรย์ (Arrays) ฟังก์ชันผลบวกของอาร์เรย์ ฟังก์ชันเมตริกซ์ที่เป็น
ศูนย์ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมเมทแลปจะมีฟังก์ชันดังกล่าวอยู่ภายในโปรแกรมด้วย

1.14 สรุป

เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้า มักจะนำไปสู่สภาวะล่อแหลม ทำให้ต้องปลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้า เช่น สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุน และผลกำไรของการผลิตไฟฟ้า การเลือกแผนการผลิตเมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในวิเคราะห์หาราคาต้นทุนและผลกำไรเพื่อใช้วางแผนการผลิตในสภาวะล่อแหลมซึ่งเป็นการวางแผนในระยะสั้น

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเลือกแผนการผลิตที่มีอยู่มาใช้ในการวางแผนการผลิตไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะล่อแหลมโดยใช้กับระบบทดสอบ RTS-79 แผนการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็นการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงเมื่อโหลดมีค่า 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด โดยนำการวิเคราะห์โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสันมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการลู่เข้าของคำตอบที่ดี จำนวนรอบของการคำนวณไม่ขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้า และคำตอบที่ได้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้สูง อีกทั้งเหตุการณ์ขัดข้องดังกล่าวไม่มีแผนงานล่วงหน้า (Unscheduled Outage) จึงต้องอาศัยวิธีการจำลองเหตุการณ์ ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โปรแกรมที่ใช้ในการวางแผนการผลิตเป็นโปรแกรมที่พัฒนามาจากภาษาฟอร์แทรน 77 บนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ เนื่องจากเป็นภาษาที่เหมาะสมแก่การคำนวณทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ อีกทั้งระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์มีความสามารถที่จะรันผลโดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตลอดเวลา การทำงานดังกล่าวสามารถรันผลบนเซิร์ฟเวอร์ได้ การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรนั้นจะกล่าวถึงในบทที่ 3

บทที่ 2

การวิเคราะห์โหลดโพล์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเกิดเหตุการณ์ขัดข้องต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง หากส่งผลกระทบให้เกิดการหลุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้า จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อ ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจต่างๆ เป็นต้น อีกทั้งเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เหตุการณ์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าเอง ในด้านที่ต้องเพิ่มกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นทำให้ต้องเสียค่าราคาพลังงานเพิ่มขึ้น อีกทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายจากราคาไฟฟ้าดับเนื่องจากสาเหตุไฟฟ้าดับ ราคาต้นทุนการผลิตดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งการให้ผลคำตอบของวิธีดังกล่าวนี้มีลักษณะลู่เข้าของคำตอบที่ดี จำนวนรอบของการคำนวณไม่ขึ้นกับขนาดระบบไฟฟ้า คำตอบที่ได้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้สูง

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงขีดจำกัดทางปฏิบัติของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ การวิเคราะห์โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าไหลในสายส่ง กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

2.1 ขีดจำกัดทางปฏิบัติของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า [1]

แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดให้ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพ (Stable) คือ

$$|V_i|_{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|_{\max} \quad (2-1)$$

$$|\delta_i - \delta_j| \leq |\delta_i - \delta_j|_{\max} \quad (2-2)$$

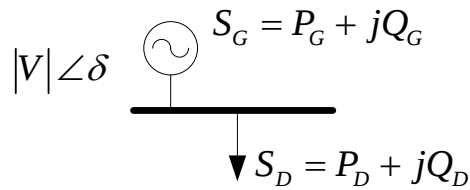
$$P_{Gi,\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,\max} \quad (2-3)$$

$$Q_{Gi,\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi,\max} \quad (2-4)$$

และกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น จะต้องอยู่ในพิสัยของสายส่งที่สามารถไหลผ่านได้ คือ

$$P_{ij} \leq P_{ij,\max} \quad (2-5)$$

2.2 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า [4]



ภาพที่ 2-1 องค์ประกอบต่างๆไปของบัส

ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า สามารถแบ่งชนิดของบัสในระบบไฟฟ้าได้ 4 ชนิด คือ

2.2.1 สแลคบัสหรือสวิงบัส (Slack bus or Swing bus : Code 1) คือ บัสที่มีค่าขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าคงที่ เป็นบัสที่ใช้อ้างอิงมุม δ_i ของแรงดันไฟฟ้าของบัสอื่นๆ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สแลคบัสต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) ให้กับระบบไฟฟ้า ในทางปฏิบัติค่าขนาด $|V_i|$ และ δ_i ของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.0 เปอรียูนิต และ 0 องศาตามลำดับ

2.2.2 โหลดบัส (Load bus : Code 0) คือ บัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ และทราบค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ P_{Di} และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q_{Di} ส่วนขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V_i|$ และมุมแรงดันไฟฟ้า δ_i เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

2.2.3 โวลต์เตจคอนโทรลบัสหรือเจนบัส (Voltage Control bus or Generator bus : Code 2) คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ เป็นบัสที่มีการควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V_i|$ และกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_{Gi} ให้เป็นไปตามแผนงานที่กำหนด ส่วนมุมของแรงดันไฟฟ้า δ_i และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q_{Gi} เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

2.2.4 โวลต์เตจคอนโทรลบัสหรือเจนบัส (Voltage Control bus or Generator bus : Code 0) คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ เป็นบัสที่มีการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_{Gi} และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะมีค่าเท่ากับขอบเขตต่ำสุดหรือสูงสุด ($Q_{Gi,min}$ or $Q_{Gi,max}$) ให้เป็นไปตามแผนงานที่กำหนด ขนาด $|V_i|$ และมุม δ_i ของแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

ตารางที่ 2-1 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า

Bus Code	Bus Classification	Prespecified variable	Unknown variables
1	Slack or Swing Bus	$ V , \delta, P_D, Q_D$	P_G, Q_G
0	Load Bus	P_G, Q_G, P_D, Q_D	$ V , \delta$
2	Voltage-Controlled Bus	$ V , P_G, P_D, Q_D$	δ, Q_G
0	Voltage-Controlled Bus	P_G, Q_G, P_D, Q_D	$ V , \delta$

2.3 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ [3], [9]

สมการกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ที่บัส i ในเทอมสมาชิกของแอดมิตแตนซ์ เมตริกซ์ และแรงดันไฟฟ้าที่บัสในปริมาณเปอร์ยูนิต คือ

$$\begin{aligned}
 I_i &= Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{iN}V_N \\
 I_i &= \sum_{n=1}^N Y_{in}V_n
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

กำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่บัส i ในรูปคอนจูเกต (Conjugate) ของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power) ในปริมาณเปอร์ยูนิต สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่บัส คือ

$$\begin{aligned}
 S_{i,cal}^* &= I_i V_i^* = V_i^* \sum_{n=1}^N Y_{in} V_n \\
 S_{i,cal}^* &= P_{i,cal} - jQ_{i,cal} = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \angle(\theta_{in} + \delta_i - \delta_n)
 \end{aligned} \tag{2-7}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าแอกทีฟจะได้จากส่วนจริงของ

$$P_{i,cal} = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \tag{2-8}$$

และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะได้จากส่วนจินตภาพของ

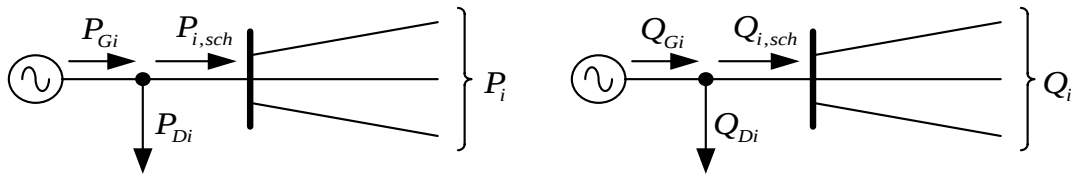
$$Q_{i,cal} = -|V_i|^2 B_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |Y_{in} V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2-9)$$

สมการ (2-8) และ (2-9) เป็นสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Equation)

กำลังไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามแผนงาน ($P_{i,sch}, Q_{i,sch}$) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่บัส i มีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตตามแผนงาน ที่บัส i และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดตามแผนงาน ที่บัส i ดังภาพที่ 2-2 เขียนเป็นสมการในปริมาณเปอร์ยูนิตได้คือ

$$P_{i,sch} = P_{Gi} - P_{Di} \quad (2-10)$$

$$Q_{i,sch} = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (2-11)$$



(ก) กำลังไฟฟ้าแอคทีฟตามแผนงาน
ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ ที่บัส i

(ข) กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามแผนงาน
ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ ที่บัส i

ภาพที่ 2-2 การไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส i

2.4 การวิเคราะห์โหลดฟลว์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Load Flow) [1], [3], [9], [10]

การวิเคราะห์โหลดฟลว์แบบวิธีนิวตัน-ราฟสัน เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีลักษณะการลู่เข้าของคำตอบที่ดี จำนวนรอบของการคำนวณไม่ขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้า คำตอบที่ได้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้สูง การคำนวณเพื่อหาค่าขนาดแรงดันและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ โดยสมมติและปรับปรุงขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V_i|$ และมุมแรงดันไฟฟ้า δ_i ที่ไม่ทราบค่าแบบทำซ้ำ (Iterative) จนกระทั่งเงื่อนไขความไม่เข้ากัน (Mismatch) ของกำลังไฟฟ้า

แอกทีฟ ΔP_i และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ΔQ_i มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ที่กำหนด

2.4.1 การวิเคราะห์ปัญหาโหลดโพลี สามารถนิยามความไม่เข้ากันของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผนงาน (Schedule) และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ คือ

2.4.1.1 สมการสำหรับโวลต์เตจคอนโทรลและโหลดบัส

$$\begin{aligned}\Delta P_i &= P_{i,sch} - P_{i,cal} \\ \Delta P_i &= (P_{Gi} - P_{Di}) - P_{i,cal} \\ \text{โดย } i &\neq \text{สแลคบัส}\end{aligned}\tag{2-12}$$

2.4.1.2 สมการสำหรับโหลดบัส

$$\begin{aligned}\Delta Q_i &= Q_{i,sch} - Q_{i,cal} \\ \Delta Q_i &= (Q_{Gi} - Q_{Di}) - Q_{i,cal} \\ \text{โดย } i &\neq \text{สแลคบัสและโวลต์เตจคอนโทรลบัส}\end{aligned}\tag{2-13}$$

จากความสัมพันธ์ของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าตามแผนงาน สามารถเขียนในรูปของสมการสมดุลกำลังไฟฟ้า (Power Balance Equation) คือ

$$\begin{aligned}\Delta P_i &= P_{i,sch} - P_{i,cal} = 0 \\ &= (P_{Gi} - P_{Di}) - |V|^2 G_{ii} - \sum_{n=1, n \neq i}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = 0\end{aligned}\tag{2-14}$$

$$\begin{aligned}\Delta Q_i &= Q_{i,sch} - Q_{i,cal} = 0 \\ &= (Q_{Gi} - Q_{Di}) + |V|^2 B_{ii} - \sum_{n=1, n \neq i}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) = 0\end{aligned}\tag{2-15}$$

จากสมการ (2-14) และ (2-15) สามารถใช้อนุกรมเทเลอร์ (Taylor's Series) โดยละทิ้งอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงกว่าหนึ่ง จะได้

สมการสำหรับโวลต์เตจคอนโทรลและโหลดบัส

$$\Delta P_i = \sum_{n=1}^N \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_n} \Delta \delta_n + \sum_{n=1}^N |V_n| \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial V_n} \frac{\Delta V_n}{|V_n|}\tag{2-16}$$

โดย $i \neq$ สแลคบัต

สมการสำหรับโหลดบัต

$$\Delta Q_i = \sum_{n=1}^N \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_n} \Delta \delta_n + \sum_{n=1}^N |V_n| \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial V_n} \frac{\Delta V_n}{|V_n|} \quad (2-17)$$

โดย $i \neq$ สแลคบัตและโวลที่เตจคอนโทรลบัต

สมการที่ (2-16) และ (2-17) เขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์-เมตริกซ์ (Vector-Matrix) คือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} = \frac{\partial P}{\partial \delta} & J_{12} = |V| \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ J_{21} = \frac{\partial Q}{\partial \delta} & J_{22} = |V| \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

โดยที่

$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$ คือ เวกเตอร์ความไม่เข้ากัน (Mismatch Vector)

$\begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}$ คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix)

$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix}$ คือ เวกเตอร์แก้ไข (Corrections Vector)

2.4.2 การปรับปรุงค่าตัวแปร สำหรับการซ้ำครั้งต่อไป

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2-19)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} \left(1 + \frac{\Delta |V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}} \right) \quad (2-20)$$

2.4.3 การคำนวณหาค่าสมาชิกของจาโคเบียนเมตริกซ์ สามารถแยกหาในแต่ละเมตริกซ์ย่อย (Submatrix) ได้ดังนี้

2.4.3.1 เมตริกซ์ย่อย $J_{11} = \frac{\partial P}{\partial \delta}$ ของสมาชิกในแนวทแยงมุม (Diagonal) และนอกแนวทแยงมุม (Off Diagonal) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_i} &= - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_n} \\ &= -Q_{i,cal} - |V_i|^2 B_{ii} \end{aligned} \quad (2-21)$$

$$\frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2-22)$$

2.4.3.2 เมตริกซ์ย่อย $J_{12} = |V| \frac{\partial P}{\partial |V|}$ ของสมาชิกในแนวทแยงมุม (Diagonal) และนอกแนวทแยงมุม (Off Diagonal) หาได้จากสมการ

$$|V_i| \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial |V_i|} = + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_n} + 2|V_i|^2 G_{ii} \quad (2-23)$$

$$|V_j| \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial |V_j|} = \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_j} \quad (2-24)$$

2.4.3.3 เมตริกซ์ย่อย $J_{21} = \frac{\partial Q}{\partial \delta}$ ของสมาชิกในแนวทแยงมุม (Diagonal) และนอกแนวทแยงมุม (Off Diagonal) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_i} &= - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_n} \\ &= P_{i,cal} - |V_i|^2 G_{ii} \end{aligned} \quad (2-25)$$

$$\frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2-26)$$

2.4.3.4 เมตริกซ์ย่อย $J_{22} = |V| \frac{\partial Q}{\partial |V|}$ ของสมาชิกในแนวทแยงมุม (Diagonal) และนอกแนวทแยงมุม (Off Diagonal) หาได้จากสมการ

$$|V_i| \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial |V_i|} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_n} - 2|V_i|^2 B_{ii} \quad (2-27)$$

$$|V_j| \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial |V_j|} = \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_j} \quad (2-28)$$

ตารางที่ 2-2 สมาชิกของจาโคเบียนเมตริกซ์ (Element of the Jacobian matrix)

$i \neq j$	$J11_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $J12_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial V_j} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j}$ $J21_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $J22_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_j}$
$i = j$	$J11_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_n}$ $J12_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_n} + 2 V_i ^2 G_{ii}$ $J21_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_{i,cal}}{\partial \delta_n}$ $J22_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_{i,cal}}{\partial \delta_n} - 2 V_i ^2 B_{ii}$
	$i, j = 2, 3, \dots, N$

2.4.4 การแก้ปัญหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า $|V_i|$ และ δ_i จากสมการที่ (2-19) และ (2-20) ทำได้โดยการทำซ้ำตามขั้นตอนดังนี้

2.4.4.1 หาค่า Y_{bus}

2.4.4.2 ประมาณค่าตัวแปร $|V_i^{(k)}|$ และ $\delta_i^{(k)}$

2.4.4.3 คำนวณหาค่า $P_{i,cal}^{(k)}$ และ $Q_{i,cal}^{(k)}$ โดยใช้สมการที่ (2-8) และสมการที่ (2-9)

2.4.4.4 คำนวณหาค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ โดยใช้สมการที่ (2-12) และสมการที่ (2-13)

2.4.4.5 เช็คค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ ว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance; ε) ที่กำหนดหรือไม่ หากตรงตามเงื่อนไขให้หยุดการทำงาน หากไม่ตรงตามเงื่อนไข ดำเนินงานตามข้อต่อไป

2.4.4.6 คำนวณหาจาโคเบียนเมตริกซ์ โดยใช้ตารางที่ 2-2

2.4.4.7 หาค่า $\Delta \delta_i^{(k)}$ และ $\frac{\Delta |V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}}$ จากสมการที่ (2-18) โดยวิธีอินเวอร์สเมตริกซ์

(Matrix Inversion)

2.4.4.8 ปรับปรุงค่าตัวแปร สำหรับการซ้ำครั้งต่อไป โดยใช้สมการที่ (2-19) และสมการที่ (2-20) แล้วนำค่าที่ได้จากการปรับปรุง กลับไปคำนวณซ้ำตามขั้นตอนที่ 2.4.4.3

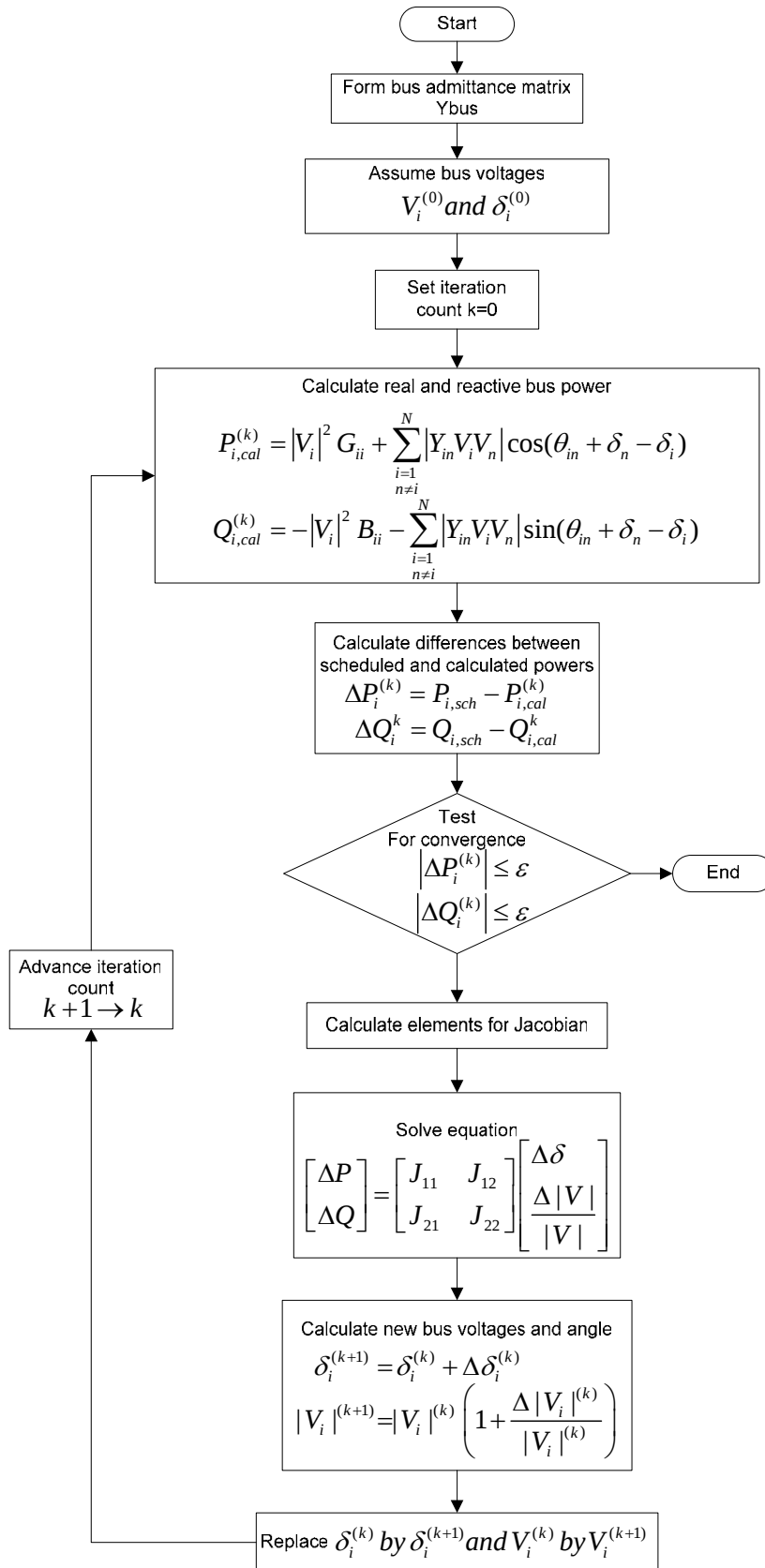
เมื่อทราบค่า $|V_i|$ และ δ_i ครบทุกบัสแล้ว สามารถหาค่ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สแลคบัสและโหลดที่แตกคอนโทรลบัสได้จากสมการที่ (2-29) และสมการที่ (2-30)

$$P_{Gi} = P_{Di} + |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2-29)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} - |V_i|^2 B_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2-30)$$

กำหนดให้

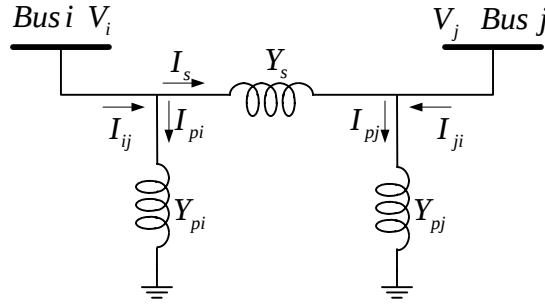
P_{Gi}	คือ กำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส i
P_{Di}	คือ กำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลด ที่บัส i
Q_{Di}	คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส i
Q_{Gi}	คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟโหลด ที่บัส i
$ V_i $	คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
δ_i	คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
G_{ii}	คือ ค่าคอนดักแตนซ์ตำแหน่งที่ (i, i) ในบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์
B_{ii}	คือ ค่าซัสเซพแตนซ์ตำแหน่งที่ (i, i) ในบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์
Y_{in}	คือ ขนาดของสมาชิกตำแหน่งที่ (i, n) ในบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์
θ_{in}	คือ มุมของสมาชิกตำแหน่งที่ (i, n) ในบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์
N	คือ จำนวนบัสในระบบ



ภาพที่ 2-3 ฟังก์การทำงานของกรวิเคราะห์โพลีโพลวโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

2.5 การคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่ง (Computation of Line Power Flows) [3], [11]

การหาลำดับไฟฟ้าไหลในสายเป็นขั้นตอนสุดท้าย การหาลำดับไฟฟ้าไหลนั้นได้แสดงระหว่างสองบัสในภาพที่ 2-4 โดยกระแส I_{ij} ไหลจากบัส i ไปยังบัส j



ภาพที่ 2-4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งระหว่าง 2 บัส

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ สามารถคำนวณหากระแส I_{ij} ได้ดังนี้

$$I_{ij} = I_s + I_{pi} = (V_i - V_j)Y_s + V_i Y_{pi} \quad (2-31)$$

หากต้องการหาลำดับไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) โดย S_{ij} ที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j มีค่าดังนี้

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (V_i^* - V_j^*) Y_s^* + |V_i|^2 Y_{pi}^* \quad (2-32)$$

S_{ji} คือ ลำดับไฟฟ้าปรากฏที่ไหลจากบัส j ไปยังบัส i มีค่าดังนี้

$$S_{ji} = P_{ji} + jQ_{ji} = V_j I_{ji}^* = V_j (V_j^* - V_i^*) Y_s^* + |V_j|^2 Y_{pj}^* \quad (2-33)$$

2.6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง [3]

กำลังสูญเสียในสายส่ง หาได้จากกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j รวมกับกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส j ไปบัส i แสดงดังสมการที่ (2-34) ด้านล่าง

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2-34)$$

2.7 สรุป

ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นระบบที่ประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission System) และระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) หากเกิดเหตุขัดข้องต่อระบบดังกล่าวซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการหลุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่สายส่งเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถทำการวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์โหลดฟลว์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน วิธีการนี้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในด้านต่างๆ ซึ่งการวางแผนการผลิตไฟฟ้าก็เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการหนึ่ง ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป การวิเคราะห์โหลดฟลว์ในบทนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและสมการหลักที่เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อหาลำดับกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดโดยการผลิตดังกล่าวต้องมีกำลังการผลิตไม่เกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานได้ และสามารถคำนวณหาลำดับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง ลำดับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งต้องไม่เกินพิกัดของสายส่ง จิตจำกัที่ได้กล่าวไว้นั้นจะนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตไฟฟ้า เพื่อหาการวางแผนการผลิตไฟฟ้าที่จะได้ผลกำไรในบทต่อไป

บทที่ 3

การจำลองมอนติคาร์โลในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในปัจจุบันนี้ ระบบตลาดกลางซื้อ-ขายไฟฟ้า (Power Pool) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากระบบนี้จะถูกนำมาใช้ในประเทศไทยในปี พ.ศ.2547 โดยที่ระบบนี้จะเปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า และให้มีการแข่งขันอย่างเสรีในระดับผู้ผลิตไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อ-ขายไฟฟ้า เพื่อเป็นการรองรับการขยายตัวของบริษัทผลิตไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต จึงต้องมีการวางแผนการผลิตว่าจะผลิตไฟฟ้าแบบใดเพื่อให้ต้นทุนการผลิตมีค่าต่ำและได้ผลกำไร ราคาที่คำนวณได้นั้นยังเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมการใช้ไฟของผู้บริโภคอีกด้วย

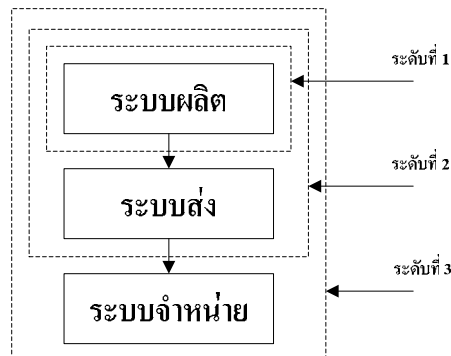
ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ย่อมมีระบบอาจถูกรบกวนจากปัจจัยอื่นเนื่องมาจากเกิดความผิดปกติ (Fault) การซ่อมแซมและอุปกรณ์หมดอายุจากการใช้งานส่งผลให้ต้องการสับเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อปลดสายส่งหม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้ากำลัง มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งและแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปทั่วทั้งระบบ แรงดันไฟฟ้าที่บัสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งที่อยู่ในสถานะอยู่ตัว (ค่าใหม่) สามารถวิเคราะห์ได้จากการรันโหลดโฟลว์ ผลกระทบของการปลดสายส่งหม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนการผลิตทั้งในแง่การผลิตกำลังไฟฟ้าเอง ซึ่งอาจต้องเพิ่มกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นหากไม่เพียงพอกับโหลด และอาจต้องมีการตัดโหลดบางส่วนเพื่อรักษาสถานะความมั่นคงของระบบ การตัดโหลดเป็นสาเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับตามมา ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคในด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยผลทางเศรษฐกิจประกอบด้วยการหยุดชะงักของการผลิตสินค้า ค่าจ้างแรงงานที่จ่ายโดยไม่มีการทำงาน ความเสียหายจากวัตถุดิบ เป็นต้น ความเสียหายดังกล่าวเมื่อประมาณค่าเป็นราคาค่าเสียหายที่ต้องจ่ายให้แก่ผู้บริโภคเนื่องจากการสูญเสียโอกาสทำรายได้จากไฟฟ้าดับ จากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับดังกล่าวราคาต้นทุนจึงประกอบไปด้วยราคาการผลิตกำลังไฟฟ้าและราคาไฟฟ้าดับ

การเกิดสถานะล่อแหลมดังกล่าวในช่วงต้นนั้นไม่สามารถทราบได้ในทางปฏิบัติ การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองเหตุการณ์ข้างต้นดังกล่าว วิธีการนี้จะนำเสนอโดยการสุ่มความไม่พร้อมใช้งานของแต่ละอุปกรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าที่สุ่มได้จากคอมพิวเตอร์เพื่อหาราคาต้นทุนต่ำเพื่อใช้วางแผนการผลิตและปฏิบัติงาน

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 เพื่อใช้ในการคำนวณหาราคาค่าต้นทุนและผลกำไรของการผลิตที่เหมาะสมใน 2 สถานะคือ สถานะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและสถานะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง ที่ 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด

3.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง [12]

ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจำแนกหน้าที่การทำงานได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย ดังนั้นในการศึกษาด้านความเชื่อถือได้จึงแบ่งระดับได้ 3 ระดับดังนี้ ระดับที่ 1 ซึ่งจะศึกษาเฉพาะระบบผลิต ระดับที่ 2 จะศึกษาระบบผลิตและระบบส่ง และระดับที่ 3 จะศึกษาทั้งระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย



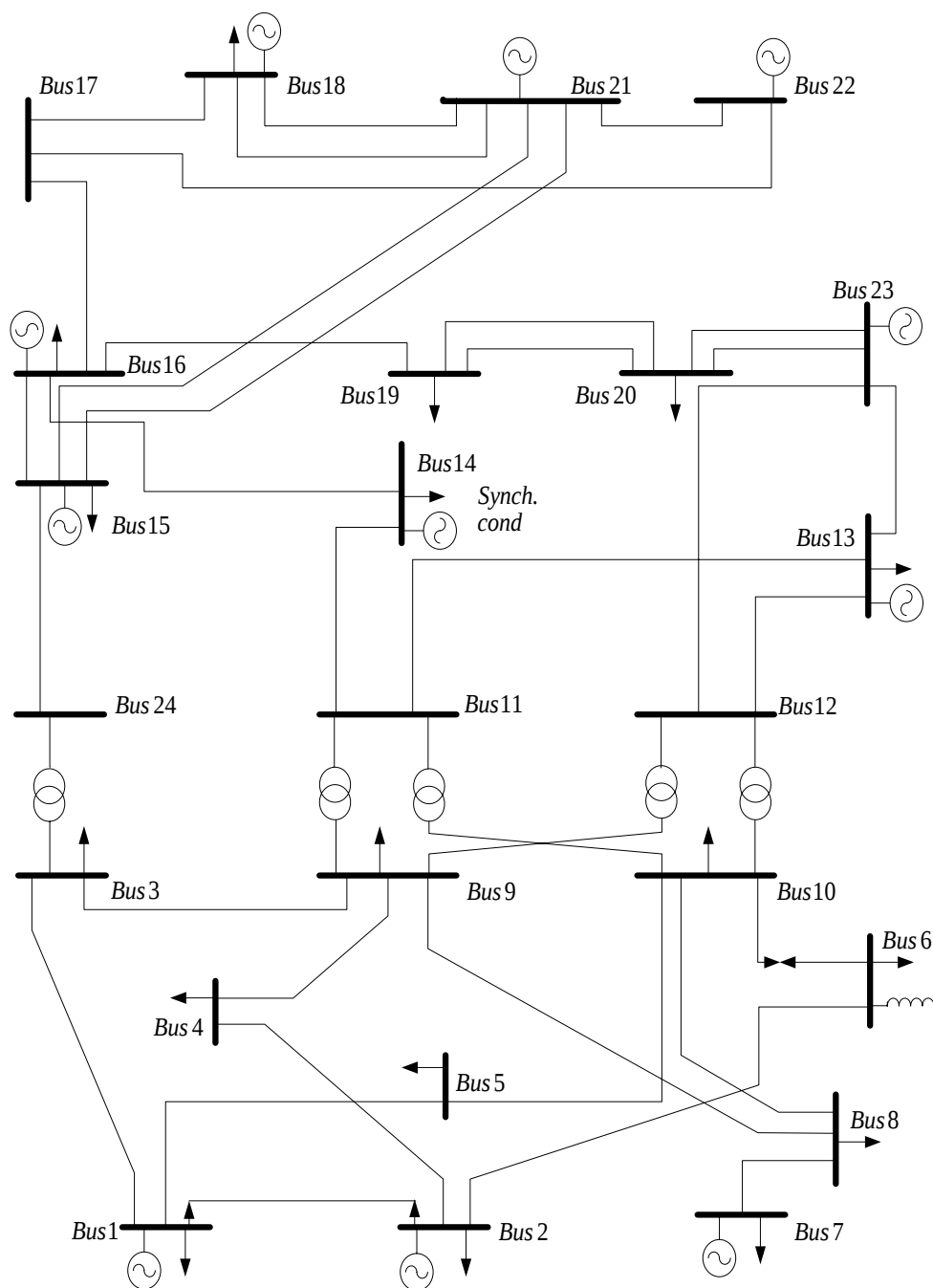
ภาพที่ 3-1 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้

ระดับที่ 1 (Hierarchical Level One, HL1) จะพิจารณาเฉพาะระบบผลิต โดยเป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า เป็นการหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบอันเป็นผลเนื่องจากสถานการณ์เกิดเหตุการณ์ขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้กำลังการผลิตรวมของระบบไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด ในการสร้างแบบจำลองจะพิจารณารายละเอียดเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า

ระดับที่ 2 (Hierarchical Level Two, HL2) จะศึกษาระบบผลิตและระบบส่ง โดยจะเรียก ระบบไฟฟ้าผสม (Composite System) หรือระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (Bulk Systems) ซึ่งจะรวมระบบผลิตและระบบเข้าด้วยกัน แล้วใช้การคำนวณโหลดโพล์ เพื่อหากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่บัสต่างๆ ในแต่ละสถานการณ์เกิดเหตุขัดข้อง

ระดับที่ 3 (Hierarchical Level Three, HL3) จะศึกษาทั้งระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย

ในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบไฟฟ้ากำลังระดับที่ 2 ระบบที่ศึกษาคือระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยใช้ระบบ IEEE Reliability Test System (RTS-79) [13]



ภาพที่ 3-2 ระบบทดสอบ RTS-79

3.2 แผนการผลิตไฟฟ้า [14]

แผนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง

3.2.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) [14]

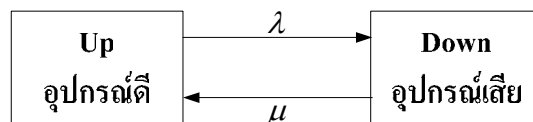
หมายถึงการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยที่ค่าปริมาณของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่จะจ่ายให้โหลดของระบบมีขนาดแตกต่างกัน โดยค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องจะมีค่ามากหรือน้อยเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับราคาการผลิตต่อหน่วยสุดท้าย (Incremental Operating Cost) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง โดยราคาดังกล่าวนี้เป็นฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2.2 การจ่ายโหลดที่ความมั่นคง (Secure Dispatch) [14]

หมายถึงการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้ตามปกติ เมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งถูกตัดออกจากระบบ

3.3 แบบจำลองสถานะของอุปกรณ์ [15]

จากการประเมินประสิทธิภาพด้านความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจะใช้ตัวแปรหลักอยู่สองตัวแปรคือ อัตราความเสียหาย (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) ทั้งสองตัวแปรนี้สามารถใช้คำนวณความเชื่อถือได้ของระบบ ซึ่งแบบจำลองสถานะของอุปกรณ์และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองสามารถอธิบายได้ดังรูป



ภาพที่ 3-3 แบบจำลองสถานะของอุปกรณ์

โดยที่

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \text{ (ครั้ง/ปี)} \quad (3-1)$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{ (ครั้ง/ปี)} \quad (3-2)$$

$$\text{ความพร้อมใช้งาน (Availability)} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3-3)$$

$$\text{ความไม่พร้อมใช้งาน (Unavailability)} = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR} \quad (3-4)$$

ความไม่พร้อมใช้งาน (Unavailability) = อัตราการขัดข้องแบบบังคับ (Forced Outage Rate : FOR)

กำหนดให้

λ คือ อัตราความเสียหาย

μ คือ อัตราการซ่อมแซม

MTTF (Mean Time to Failure) คือ ค่าเฉลี่ยเวลาที่ระบบทำงานก่อนเสีย

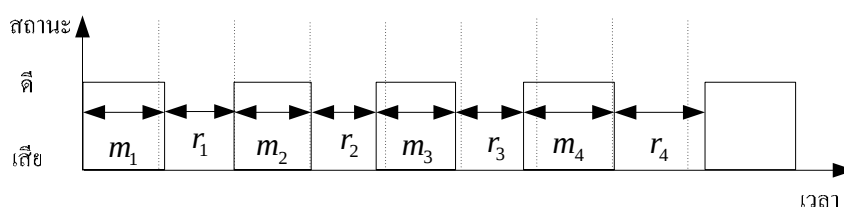
MTTR (Mean Time to Repair) คือ ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซม

ความพร้อมใช้งาน (Availability) คือ ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้

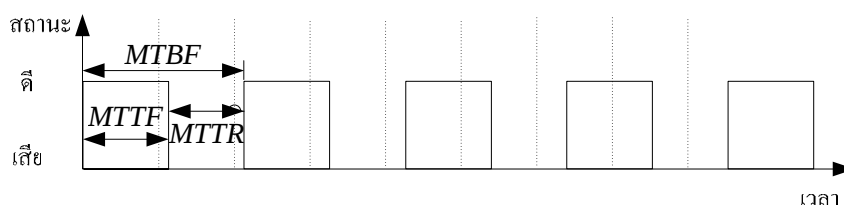
ความไม่พร้อมใช้งาน (Unavailability) คือ ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้

3.4 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ [2]

หากพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3-4 จะเห็นว่าการทำงานปกติของอุปกรณ์มีลักษณะเป็นช่วงตามคาบเวลาที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-Periodic) ประกอบด้วยสถานะทำงานปกติ “สถานะดี” (Operable State) สลับกับสถานะขัดข้อง “สถานะเสีย” (Failed State) แต่ในการสร้างแบบจำลอง 2 สถานะ “ดี-เสีย” เพื่อแทนการทำงานของอุปกรณ์ ดังกล่าวในช่วงระยะเวลายาว สามารถจะประมาณช่วงระยะเวลาในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย และช่วงคาบเวลาแสดงพฤติกรรมของอุปกรณ์มีลักษณะเป็นคาบเวลาที่สม่ำเสมอ (Periodic) ดังแสดงในภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-4 สถานการณ์ทำงานปกติของอุปกรณ์



ภาพที่ 3-5 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์เมื่อประมาณช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย

$$MTTF = \left(\frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n}{n} \right) \quad (3-5)$$

$$MTTR = \left(\frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}{n} \right) \quad (3-6)$$

กำหนดให้

m_i คือ สุ่มคาบเวลาของการทำงาน

r_i คือ สุ่มคาบเวลาของการซ่อมแซม

n คือ จำนวนของคาบเวลา

MTTF (Mean Time to Failure) คือ ค่าเฉลี่ยเวลาที่ระบบทำงานก่อนเสีย

MTTR (Mean Time to Repair) คือ ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซม

3.5 ประสิทธิภาพเป็นมาของการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม [5]

เริ่มแรกวิธีการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มกระทำด้วยมือ เช่นการโยนเหรียญ การทอดลูกเต๋า การสับไพ่ และการเล่นรูเลตต์ เพราะเชื่อกันว่าเครื่องมือเชิงกลเท่านั้นที่จะให้จำนวนสุ่มอย่างแท้จริง แต่เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน วิธีการเหล่านี้มีการทำงานที่ซ้ำเกินไป ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องการจำนวนสุ่มจำนวนมาก ๆ นอกจากนี้จำนวนสุ่มลำดับถัดไปก็ไม่สามารถสร้างได้จากลำดับก่อนหน้า (Reproducible) เมื่อมีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งาน วิธีการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มวิธีหนึ่งก็คือ การสร้างตารางของจำนวนสุ่มซึ่งมีนับล้านจำนวนบรรจุไว้ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ วิธีนี้แม้มีข้อดีที่สามารถสร้างจำนวนสุ่มลำดับถัดไปได้จากลำดับก่อนหน้า แต่ก็มีข้อเสียที่ทำงานได้ไม่เร็วพอกับความต้องการ

John Von Neuman [5] มองเห็นข้อยุ่งยากนี้จึงได้คิดวิธี “Mid-Square Method” ขึ้นมา โดยใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ มีหลักการคือ ยกกำลังสองของจำนวนสุ่มลำดับก่อนหน้าแล้วดึงเอาจำนวนที่อยู่ตรงกลางออกมาเป็นจำนวนสุ่มลำดับถัดไป เช่นในการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม 4 หลัก สมมุติว่าขณะนี้จำนวนสุ่มอยู่ที่ 5232 เมื่อยกกำลังสองจะมีค่าเป็น 27,373,824 จำนวนสุ่มลำดับถัดไปก็คือค่า 3738 ซึ่งเป็นจำนวนที่ประกอบด้วยตัวเลข 4 หลักที่อยู่ตรงกลาง และระเบียบวิธีของการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มยังคงกระทำซ้ำๆต่อไปได้ตามจำนวนที่ต้องการ เนื่องจากวิธีการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มแบบนี้เป็นวิธีเชิงกำหนด (Deterministic Method) ดังนั้นการสุ่มนี้จึงเรียกว่า “การสุ่มเทียม (Pseudo-Random)” แต่โดยทั่วไปนิยมเรียกว่า “การสุ่ม” วิธีของ John Von Neuman ยังคงมีปัญหาในด้านความเร็ว และยังมีแนวโน้มที่จะก่อกำเนิดจำนวนสุ่มที่เป็นวัฏจักร (Cycle)

โดยเฉพาะถ้าบังเอิญจำนวนสุ่มลำดับใดมีค่าเป็นศูนย์ ก็จะทำให้จำนวนสุ่มลำดับถัดไปเป็นศูนย์โดยตลอด

การแก้ปัญหานี้จำนวนสุ่มลำดับถัดไปก็ไม่สามารถสร้างได้จากลำดับก่อนหน้า และถ้าบังเอิญจำนวนสุ่มลำดับใดมีค่าเป็นศูนย์ ก็จะทำให้จำนวนสุ่มลำดับถัดไปเป็นศูนย์ก็สามารถแก้ไขได้โดยใช้การก่อกำเนิดจำนวนสุ่มดังหัวข้อที่จะกล่าวถึงต่อไปซึ่งวิธีการนี้สามารถแก้ปัญหานี้ข้างต้นได้

3.6 การก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม (Random Number Generators) [5], [16, 17]

การก่อกำเนิดจำนวนสุ่มเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของวิจัยฉบับนี้ โดยปกติแล้วการจำลองเหตุการณ์จะใช้การสุ่มเทียม (Pseudo-Random) และมีหลายวิธีในการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม วิธีก่อกำเนิดจำนวนสุ่มที่ใช้กันอยู่ทั่วไปและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันเป็นวิธีที่เรียกว่า “วิธีเชิงสมภาค” (Congruential Method) วิธีนี้จะก่อกำเนิดที่สุ่มไม่ซ้ำ (Nonrandom Sequence) ของจำนวนเวียนเกิด (Recursive Formula) ซึ่งนิยามใช้กันทั่วไปมีดังนี้

3.6.1 ตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการบวก (Additive Congruential Generators)

สูตรเวียนเกิดของตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการบวกนี้เขียนอยู่ในรูป

$$X_{i+1} = X_i + X_{i-k} \pmod{m}, \quad k = 1, 2, \dots, i-1 \quad (3-7)$$

กรณีเฉพาะ $k = 1$ สูตรเวียนเกิดนี้จะก่อกำเนิดลำดับจำนวน Fibonacci แต่จำนวน Fibonacci นี้ยังไม่ใช่จำนวนสุ่มที่สมบูรณ์แบบ ความสุ่มของจำนวนจะสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้นเมื่อ k มีค่ามากขึ้น

3.6.2 ตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณ (Multiplicative Congruential Generators)

ตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณมีสูตรเวียนเกิดเป็น

$$X_{i+1} = aX_i \pmod{m} \quad (3-8)$$

จำนวนสุ่มที่ได้จากตัวก่อกำเนิดชนิดนี้ก็ยังไม่สมบูรณ์แบบ เพราะคาบของจำนวนสุ่มจะน้อยกว่าคาบเต็มอัตรา (คาบเต็มอัตราหมายถึงคาบของจำนวนสุ่มที่มากที่สุดเท่ากับจำนวนมอดุลัส m)

3.6.3 ตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคแบบผสม (Mixed Congruential Generators)

ตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคแบบผสมเป็นการผสมกันระหว่างตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการบวกและการคูณ โดยมีสูตรเวียนเกิดเป็น

$$X_{i+1} = (aX_i + c) \bmod m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-9)$$

กำหนดให้

a คือ ตัวคูณ

c คือ ตัวเพิ่ม

m คือ มอดุลัส

การสุ่มก่อกำเนิดในงานวิจัยฉบับนี้ จะใช้การก่อกำเนิดแบบตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณซึ่งมีคาบของการสุ่มน้อยกว่าการก่อกำเนิดแบบตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคเชิงผสมเพียงหนึ่งค่า และขั้นตอนในการเลือกค่าคงที่ a , c และ m มีการเลือกที่ง่ายกว่า อีกทั้งค่าความล้มเหลวแบบบังคับ (Forced Outage Rate : FOR) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

วิธีการสุ่มก่อกำเนิดแบบตัวก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณหรือวิธีเชิงสมภาคเส้นตรงจะให้ลำดับของตัวเลขจำนวนเต็มอยู่ระหว่าง 0 และ $m-1$ เป็นดังสมการข้างล่าง

$$X_{i+1} = (aX_i + c) \bmod m \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (3-10)$$

ค่าเริ่มต้น X_0 ถูกเรียกว่าเมล็ด (Seed) a ตัวคูณ c ตัวเพิ่มและมอดุลัส m การเลือกค่าของ a, c, m และ X_0 มีผลกระทบต่อข้อมูล และความยาวคาบ จากสมการ (3-10) เมื่อ $c \neq 0$ จะถูกเรียกว่าวิธีการก่อกำเนิดเชิงสมภาคแบบผสม หาก $c = 0$ จะถูกเรียกว่าวิธีการก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณคาบของจำนวนสุ่มที่มากที่สุดของวิธีการก่อกำเนิดเชิงสมภาคแบบผสมทำได้จากการเลือกค่า a, c, m และ X_0 ที่ถูกต้อง

เมื่อ m คือตัวหารและจะมีค่าคาบการสุ่มมากที่สุดเท่ากับจำนวนเต็มของความยาวอักขระของคอมพิวเตอร์คือ 2^{31} ค่าตัวหาร m ที่มากที่สุดคือ $2^{31} - 1$ สำหรับการก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณสามารถทำได้จากการเลือกจำนวนเต็มที่เป็นค่าคงที่ของ M และ N ดังสมการด้านล่าง

$$0 < N < m$$

$$0 \leq M < m$$

$$aN + M = m$$

จากการเลือกค่าคงที่ด้านบนจะสามารถเขียนสมการก่อกำเนิดเชิงสมภาคการคูณใหม่ได้ดังนี้

$$X'_{i+1} = a[X_i \bmod N] - k_1 M \quad (3-11)$$

เมื่อ $k_1 = \left\lceil \frac{X_i}{N} \right\rceil$ และค่าในวงเล็บจะมีค่าเป็นบวกที่มีค่ามาก

$$X_{i+1} = \begin{cases} X'_{i+1} & , X'_{i+1} \geq 0 \\ X'_{i+1} + m & , X'_{i+1} < 0 \end{cases} \quad (3-12)$$

ค่าคงที่ที่ใช้ในการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มคือ $a = 7^5 = 16807$, $N = 127773$, $M = 2836$ และ $m = 2^{31} - 1 = 2147483647$ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะมีการกระจายแบบสม่ำเสมอ และการเลือกค่าคงที่จะเลือกตามข้อจำกัดด้านบนดังนี้ $k_1 = X_i / N$

$$U_i = \frac{X_i}{m} \quad (3-13)$$

ซึ่งจะได้ U_i เป็นเลขที่ได้จากการสุ่มและมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ และมีการกระจายแบบสม่ำเสมอ

3.7 การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) [2], [18]

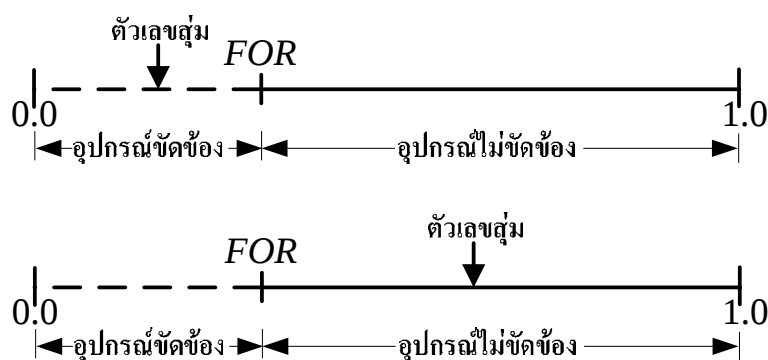
วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสุ่มผ่านแบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมของระบบจริงโดยที่อุปกรณ์ต่างๆที่ทำงานในระบบจะมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น จำนวนครั้งที่เกิดการล้มเหลว ช่วงเวลาระหว่างการล้มเหลว ช่วงเวลาในการซ่อมแซม เป็นต้น โดยการสุ่มนี้จะถูกกระทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จากกระบวนการจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวจะนำไปสู่การตรวจสอบและทำนายรูปแบบพฤติกรรมของระบบในช่วงเวลาที่จำลองเหตุการณ์เพื่อที่จะได้ค่าการกระจายของความถี่หรือความน่าจะเป็นของดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆของระบบและเป็นการประมาณค่าความคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเชื่อถือได้แบบต่างๆ โดยทั่วไปวิธีนี้มีความสะดวกและสามารถใช้กับระบบที่ซับซ้อนหรือมีการระบบที่มีขนาดใหญ่หลายๆซึ่งวิธีการตัดสินใจจากประสบการณ์ (Deterministic Method) ไม่สามารถหรือไม่สะดวกที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

การจำแนกประเภทของการสุ่มของมอนติคาร์โลนั้นหากจำแนกตามความสัมพันธ์ของแต่ละสถานะที่สุ่มได้จะสามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ไม่มีความเกี่ยวเนื่องกัน (Non-Sequential) และชนิดที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน (Sequential) ในบทนี้จะกล่าวถึงการสุ่มแบบมอนติคาร์โล 2 แบบคือการสุ่มสถานะ และการสุ่มการเปลี่ยนสถานะ การสุ่มสถานะซึ่งเป็นการสุ่มแต่ละสถานะที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบสุ่มสถานะ เป็นการจำลองเหตุการณ์ในแต่ละ

ช่วงเวลาโดยไม่พิจารณาเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาอื่นๆ และไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่สนใจมีการทำงานล้มเหลวหรือไม่ แล้วจึงตรวจสอบต่อไปว่าส่งผลให้ระบบทำงานล้มเหลวหรือไม่โดยคิดแต่ละช่วงเวลาเป็นหนึ่งเหตุการณ์ การสุ่มการเปลี่ยนสถานะซึ่งเป็นการสุ่มซึ่งแต่ละสถานะที่เกี่ยวเนื่องกัน สามารถที่จะคำนวณดัชนีที่เกี่ยวข้องกับเวลาเช่นความถี่และระยะเวลา ข้อดีของการสุ่มเปลี่ยนสถานะของระบบคือสามารถหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับความถี่ได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีการสุ่มสถานะ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละตัวไม่ขึ้นต่อกัน และช่วงเวลาของแต่ละอุปกรณ์ไม่เกี่ยวข้องกัน

ขั้นตอนการสุ่มสถานะเป็นการสุ่มตัวเลขที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยตัวเลขสุ่มจะใช้เปรียบเทียบกับแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งค่าตัวเลขสุ่มแต่ละอุปกรณ์ก็จะมีเลขแต่ละค่าที่ไม่เท่ากัน หากตัวเลขที่สุ่มค่าได้มีค่ามากกว่าความไม่พร้อมใช้งาน หรืออัตราการจัดข้องแบบบังคับ (Forced Outage Rate : FOR) ของอุปกรณ์ใด ก็หมายความว่าอุปกรณ์นั้นไม่ล้มเหลว หากตัวเลขที่สุ่มค่าได้มีค่าน้อยกว่าความไม่พร้อมใช้งานของอุปกรณ์ที่พิจารณา ก็หมายความว่าอุปกรณ์ล้มเหลวซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ที่พิจารณานั้นหลุดออกจากระบบ ดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 3-6 วิธีการสุ่มสถานะที่อุปกรณ์ขัดข้องและไม่ขัดข้อง

ข้อดีของการสุ่มสถานะของระบบคือ วิธีการสุ่มไม่ยุ่งยาก และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ก็มีเพียงค่าความไม่พร้อมใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราความล้มเหลวและระยะเวลาซ่อมแซมของอุปกรณ์ (หากไม่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับความถี่) และข้อมูลโหลดรายชั่วโมง

3.8 วิธีแซมเปิล-มีนมอนติคาร์โล (Sample-Mean Monte Carlo Method) [5]

วิธีนี้ปรับปรุงจากวิธีอิท-มีส โดยการหาค่าเฉลี่ยของฟังก์ชัน $f(x_i)$ เมื่อ x_i เป็นจำนวนสุ่มครั้งที่ i ค่าคาดคะเนของ θ คือ

$$\hat{\theta}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (3-14)$$

สำหรับค่าความแปรปรวนของ $\hat{\theta}_2$ หาได้จาก

$$\text{var}(\hat{\theta}_2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[f(x_i) - \hat{\theta}_2 \right]^2 \quad (3-15)$$

3.9 สภาวะล่อแหลมในระบบไฟฟ้ากำลัง [1], [14]

สภาวะล่อแหลมในระบบไฟฟ้ากำลังหมายถึงสภาวะที่อุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งถูกตัดออกจากระบบ (N-1) แล้วระบบยังสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตามปกติโดยไม่เกิดไฟฟ้าดับ การที่อุปกรณ์ถูกตัดออกจากระบบอาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์การล้มของระบบ (System Blackout) ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ทำงานเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดของแรงดันหรือสายส่ง ทำให้อุปกรณ์ที่ทำงานเกินขอบเขตถูกตัดออกจากระบบและอุปกรณ์ที่ถูกตัดนี้อาจส่งผลให้อุปกรณ์ตัดตอนตัวอื่นทำงานและตัดตอนอุปกรณ์ตัวอื่นออกจากระบบ ทำให้เกิดการหลุดของอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง (Cascading Failure)

3.10 การเกิดสภาวะล่อแหลมเมื่ออุปกรณ์หลุดออกจากระบบไฟฟ้า (N-1)

การเกิดการขัดข้องหรืออุปกรณ์บางส่วนหลุดออกจากระบบ เนื่องจากเหตุขัดข้องต่างๆ อาจเกิดจากการลัดวงจร (Fault) แล้วเบรกเกอร์ตัดสายส่งออกจากระบบ เกิดจากสภาพภูมิอากาศ หรือการปลดสายส่ง หม้อแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกตามแผนงานที่กำหนดไว้ ทำให้ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งหรือระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง และขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสหรือการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการขัดข้อง หรืออุปกรณ์ออกจากระบบในแต่ละอุปกรณ์มีความรุนแรงไม่เท่ากัน เจ้าหน้าที่ด้านปฏิบัติงานและด้านวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง ต้องรู้วิธีการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งเกินพิกัดสายส่ง และแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่ำกว่าหรือสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นการหาค่ากำลังไฟฟ้าในสายส่ง แรงดันไฟฟ้าที่บัสให้ถูกต้องและรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อเกิดการขัดข้องหรืออุปกรณ์ออกจากระบบไฟฟ้ากำลัง และการวิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นดังกล่าว ไม่สามารถทดลองกับระบบจริงได้ เนื่องจากจะเกิดความเสียหายต่อ

ระบบไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการเกิดสภาวะล่อแหลมโดยการปลดอุปกรณ์ออกจากระบบไฟฟ้าเป็น 2 ส่วน คือ

3.10.1 การปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Open Generator or Generator Outage)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ผลิต และจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ากับระบบหายไปด้วย ดังนั้นกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้ จึงต้องรับกำลังไฟฟ้ามาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนอื่นๆ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ายังสามารถทำงานต่อไปได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง และแรงดันไฟฟ้าที่บัสเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีข้อมูลของแต่ละเครื่อง เมื่อเกิดการขัดข้องข้อมูลเหล่านี้จึงต้องตัดออกจากระบบด้วย ในงานวิจัยนี้ได้จำลองการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการปรับข้อมูลในข้อมูลบัส (Bus Data) จากข้อมูลภายนอกที่นำเข้ามาคำนวณในโปรแกรม โดยทำการปรับปรุค่าชนิดบัส ขนาด มุมแรงดันไฟฟ้าที่บัส กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและพิกัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก่อนการวิเคราะห์โหลดโวลต์แบบนิวตัน-ราฟสัน

3.10.2 การปลดสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้า (Open Branch or Transformer Outage)

สายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวเชื่อมต่อในการส่งกำลังไฟฟ้า โดยที่สายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีพารามิเตอร์ของตัวเอง เมื่อเกิดการขัดข้องหรืออุปกรณ์ออกจากระบบพารามิเตอร์ของระบบก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย ในงานวิจัยนี้ได้จำลองการปลดสายส่งหรือปลดหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการปรับปรุข้อมูลในส่วนข้อมูลสายส่ง (Line Data) โดยการปรับปรุบัสที่สายส่งหรือหม้อแปลงเชื่อมต่อระหว่างกัน แทปหม้อแปลง ความต้านทาน อินดักทีฟรีแอกแตนซ์ ไลน์ชาร์จิงแอดมิตแตนซ์ และพิกัดสายส่ง ก่อนการวิเคราะห์โหลดโวลต์แบบนิวตัน-ราฟสัน วิธีการปลดสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้า เริ่มจากการตรวจเช็คสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าว่าตัวไหนที่ต้องการปลดออกจากระบบ และสายส่งเส้นที่ปลดมีการขนานกันของสายส่งหรือหม้อแปลงหรือไม่เสร็จแล้วทำการเช็คบัสที่ปลดสายส่งออกว่า บัสนั้นมีสายส่งหรือหม้อแปลงต่อกับบัสนี้อีกหรือไม่ หากไม่มีแสดงว่าบัสนี้เป็นบัสที่มีสายส่งเส้นเดียว เมื่อปลดสายส่งออกแล้วจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาหาได้ จึงทำการตัดบัสนี้ทิ้ง แล้วเลื่อนบัสที่มีค่ามากกว่าเข้ามา หากบัสที่ปลดสายส่งมีสายส่งหรือหม้อแปลงต่ออยู่ 2 เส้น ทำการตรวจเช็คบัสถัดไปที่ต่อกับบัสที่ปลดสายส่งหรือหม้อแปลงออกว่ามีสายส่งหรือหม้อแปลงต่ออีกหรือไม่ หากไม่มี ทำการตัดพารามิเตอร์ของสายส่ง บัส ของบัสนี้ และก่อนหน้าทิ้ง แล้วเลื่อนบัสที่มีค่ามากกว่าเข้ามา จำนวนบัส และจำนวนสายส่งก็จะลดลง หลังจากวิเคราะห์โหลดโวลต์แล้ว ทำการขยายบัสให้มีค่าเท่ากับตอนแรก ค่าต่างๆ ของบัสนี้ที่ตัดออกมีค่าเท่ากับศูนย์ ในงานวิจัยนี้ไม่คิดการวิเคราะห์โหลดโวลต์แบบแบ่งส่วน (Island)

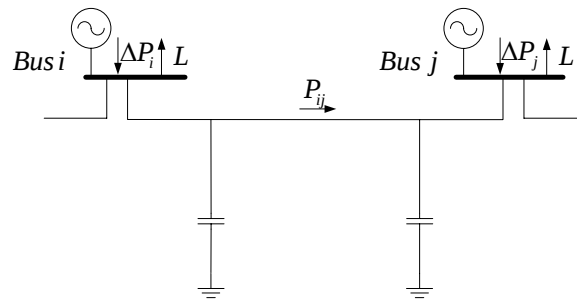
3.11 การควบคุมกำลังไฟฟ้าแอกทิฟและรีแอกทีฟในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [1]

ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมกำลังไฟฟ้าแอกทิฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง จะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมความเร็ว (Governor) ระบบควบคุมความเร็วนี้ทำหน้าที่ปรับวาล์วเข้าของกังหัน (Turbine Input Valve) เพื่อเปลี่ยนระดับกำลังทางกลที่ป้อนเข้า ทำให้ความเร็วมีค่าอยู่ในสภาวะคงตัว ส่งผลให้ได้กำลังไฟฟ้าแอกทิฟตามความต้องการ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในด้าน Stator Heating ส่วนการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่บัสทำได้โดยการควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter) ซึ่งชุดควบคุมกระตุ้นสนามนี้ทำหน้าที่ปรับขนาดกระแสสนาม (Field Current) เพื่อให้แรงดันของระบบไฟฟ้ามีค่าตามต้องการ แต่การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดอยู่ คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุด ($Q_{Gi,max}$) มีขีดจำกัดในด้าน Rotor Heating ส่วนขอบเขตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่ำสุด ($Q_{Gi,min}$) มีขีดจำกัดในด้าน Steady State Stability [18,19]

ในการวิเคราะห์โหลดโพลว์ กำลังไฟฟ้าแอกทิฟจะถูกปรับให้มีค่าคงที่ เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบตามแผนงานที่กำหนด ส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะปรับเปลี่ยนได้ เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่บัสให้เป็นไปตามที่กำหนด แต่การผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต้องไม่เกินค่าขอบเขตของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($Q_{Gi,max} \geq Q_{Gi} \geq Q_{Gi,min}$) ในการตรวจสอบกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าเกินขอบเขต $Q_{Gi,min}$ หรือ $Q_{Gi,max}$ หรือไม่ทำได้โดยการวิเคราะห์โหลดโพลว์ ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์โหลดโพลว์แล้ว ทำให้ทราบค่าขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ หลังจากนั้นจึงสามารถหาค่ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ตามสมการที่ 2-29 และสมการที่ 2-30

3.12 การลดกำลังสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัดด้วยการผลิตใหม่หรือการตัดโหลด [20, 21]

หากสายส่งเกิดปัญหาสายส่งเกินพิกัดถ้าปล่อยไว้เกินพิกัดต่อไปจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสายส่ง เนื่องมาจากความร้อนที่มีมากเกินไปได้ การลดปัญหาดังกล่าวจะสามารถลดได้จากกำลังไฟฟ้าแอกทิฟในสายส่งที่เกิดจากการผลิตใหม่หรือตัดโหลด เพื่อโหลดบางส่วนเกิดไฟดับวิธีการที่น่าเสนอนี้จะมีความรวดเร็ว วิธีการนี้จะใช้เพียงการเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าที่บัสบาร์ของสายส่งที่เกิน วิธีการดังกล่าวจะนำเสนอ ดังนี้



ภาพที่ 3-7 แก้นายส่งเกินพิกัดโดยการเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้า และการตัดโหลด

ปรับเปลี่ยนการฉีดกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่อยู่ระหว่างสายส่งไฟฟ้าเกิน ขั้นแรกทำการลดการฉีดกำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่บัสต้นสาย (Sending-End) ของสายส่งเกินโดยการลดกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่สายส่งเกิน และ/หรือลดกำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่ป้อนเข้าสู่บัส ขั้นที่สองทำการเพิ่มการฉีดกำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่บัสปลายทาง (Receiving-End) ของสายส่งเกินโดยการเพิ่มกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่สายส่งเกิน และ/หรือเพิ่มกำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่ไหลออกจากบัส ถ้าหากสายส่งเกินอยู่ต่อไปให้ทำการตัดโหลดวิธีการดังกล่าวจะแสดงในตารางที่ 3-1 ด้านล่าง

ตารางที่ 3-1 การลดกำลังไฟฟ้าไหลเกินพิกัด

ทิศทางการไหล	บัสที่		การแก้ไข	
	i	j		
$\rightarrow ij$	G	L	ลด G ที่บัส i	ลด L ที่บัส j
$\leftarrow ji$	G	L	เพิ่ม G ที่บัส i	คงที่ L ที่บัส j
$\rightarrow ij$	L	G	ลด L ที่บัส i	เพิ่ม G ที่บัส j
$\leftarrow ji$	L	G	ลด L ที่บัส i	ลด G ที่บัส j
$\rightarrow ij$	G	G	ลด G ที่บัส i	เพิ่ม G ที่บัส j
$\leftarrow ji$	G	G	เพิ่ม G ที่บัส i	ลด G ที่บัส j

3.13 การแก้ปัญหาแรงดันเกินขอบเขต [21]

เกณฑ์แรงดันไฟฟ้าพื้นฐานโดยทั่วไป จำเป็นต้องมีไว้เพื่อให้ผู้บริโภครักษาไฟฟ้าโดยไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้บริโภคเอง เกณฑ์ดังกล่าวได้มีการกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยไม่ให้สูงหรือต่ำกว่าที่ระดับอุปกรณ์ทำงาน เพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งเกณฑ์แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวปกติแล้วจะมีช่วงความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ $\pm 5\%$ จากแรงดันไฟฟ้าปกติ หรืออยู่ในช่วงของแรงดันไฟฟ้า 0.95 ถึง 1.05 เพอร์ยูนิต

การลดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินขอบเขตโดยการจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในบัสที่ใกล้เคียงกับบัสที่เกิดแรงดันเกินขอบเขตเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของบัสให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ซึ่งก็คือ 0.95 ถึง 1.05 เพอร์ยูนิต ซึ่งกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจะมีทิศทางการไหลจากบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงไปที่บัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นถ้าหากแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดต่ำสุด ให้ทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส และ/หรือป้อนกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟเข้าที่บัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าขีดจำกัดต่ำสุดซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับแรงดันที่บัส ถ้าแรงดันที่บัสยังไม่สามารถกลับเข้าสู่ภาวะปกติได้ให้ทำการตัดโหลดเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งการตัดโหลดจะป้องกันระบบไม่ให้เกิดการพังทลายของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Collapse)

3.14 การคำนวณราคาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้า [19], [22]

การคำนวณราคาค่าต้นทุนการผลิตประกอบไปด้วยราคาไฟฟ้าดับและราคาพลังงาน

3.14.1 ราคาไฟฟ้าดับ (Interruption Cost)

การต่อโหลดกลับ (Load Restoration)

การประมาณระยะเวลาการต่อโหลดกลับคิ่้นนั้นแบ่งออกเป็นสองระยะคือ ระยะควบคุม และระยะจ่ายโหลดคืนกลับ ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

ระยะควบคุม (Control Phase)

ในระยะนี้ผู้ปฏิบัติงานจะทำการแก้ไขระบบไฟฟ้ากำลังให้มีเสถียรภาพก่อนเพื่อจะได้ตัดสินใจต่อโหลดกลับแต่การต่อโหลดกลับไม่ได้ทำในระยะนี้ [22] แต่จะดำเนินการในระยะถัดไป ระยะเวลาของระยะควบคุมจะแสดงดังสมการที่ (3-16)

$$t_1 = T \times \frac{P_{shed}}{P_T} \quad (3-16)$$

กำหนดให้

t_1 คือ ระยะเวลาในช่วงระยะควบคุม

T คือ ระยะเวลาช่วงแรกที่เกิดไฟฟ้าดับทั้งหมด (ซึ่งก็คือ 30 นาที)

P_T คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดทั้งหมดของระบบ หน่วย MW

P_{shed} คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ไม่สามารถจ่ายโหลดได้ หน่วย MW

ระยช่ต่อโหลดกลับ (Restoration Phase)

ในระยชน่จะนำปสู่การต่อโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบเพื่อต่อคืนกลับเข้าสู่ระบบจะแสดงดังตารางที่ 3-2 และระยเวลาการต่อโหลดกลับจะแสดงดังสมการที่ (3-17)

$$t_2 = \frac{P_{shed}}{R_{rest}} \quad (3-17)$$

กำหนดให้

t_2 คือ ระยเวลาในช่วระยช่ต่อโหลดกลับ

P_{shed} คือ กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ไม่สามารถจ่ายโหลดได้ หน่วย MW

R_{rest} คือ อัตราการต่อโหลดกลับ หน่วย MW / min

ตารางที่ 3-2 อัตราการต่อโหลดกลับคืน (Load Restoration Rates)

คาบเวลา (min)	อัตราการจ่ายโหลดกลับคืน (MW/min)
0 – 30	10.0
30 – 60	33.3
60 – 90	66.6
> 90	83.3

ตารางที่ 3-3 ฟ้งักชันของระยเวลาของไฟฟ้าดับสำหรับผู้บริโภคแต่ละประเภท [22]

ประเภท	VOLLหน่วย £ / kWh สำหรับระยเวลาไฟดับที่					
	1 นาที่	20 นาที่	1 ช่วโมง	4 ช่วโมง	8 ช่วโมง	24 ช่วโมง
ที่อยู่อาศัย	–	1.35	1.62	2.79	2.99	3.12
กิจการพาณิชย์	153.0	29.17	26.63	24.40	24.58	10.41
อุตสาหกรรม	776.4	85.62	50.52	36.11	30.03	12.53
กิจการขนาดใหญ่	606.6	30.87	10.77	3.32	1.82	0.83

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งประเภทของผู้บริโภค และการกระจายของผู้บริโภคในแต่ละบัสโดยแบ่งออกเป็น ที่อยู่อาศัย 35%, กิจการพาณิชย์ 27%, อุตสาหกรรม 34%, กิจการขนาดใหญ่ 4%

ราคาไฟฟ้าค้นหาได้จากสมการ

$$C_{\Delta L} = \sum_{j=1}^n (VOLL(t_j) \times t_j \times P_R(j)) \quad (3-18)$$

กำหนดให้

$VOLL(t_j)$ (Value of Loss Load) คือ คุณค่าของการสูญเสียโหลด

$P_R(j)$ คือ จำนวนโหลดที่ถูกต่อกลับเข้าสู่ระบบในช่วงเวลา j

t_j คือ ระยะเวลาต่อโหลดคืนกลับเข้าสู่ระบบในช่วงเวลา j ; $(t_1 + t_2)$

n คือ จำนวนของช่วงเวลาจำลองเหตุการณ์

3.14.2 ราคาพลังงาน (Cost of Energy)

$$C_{e_j} = P_{G_j} \times SMP \quad (3-19)$$

กำหนดให้

C_{e_j} คือ ราคาพลังงาน หน่วย \$

P_{G_j} คือ กำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดในช่วงเวลา j ในแต่ละครั้งของการจำลองเหตุการณ์ หน่วย MW

SMP (System Marginal Price) คือ ราคาต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเครื่องกำเนิด หน่วย \$ / MW

3.15 สถิติศาสตร์ [23, 24]

3.15.1 ค่าความคาดหวัง (Expected Value)

$$E(x) = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3-20)$$

เมื่อ x_i ค่าตัวแปรแต่ละการทดลอง

N จำนวนครั้งของการทดลอง

3.15.2 ค่าความแปรปรวน (Variance)

$$V(x) = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (3-21)$$

เมื่อ x_i ค่าตัวแปรแต่ละการทดลอง

N จำนวนครั้งของการทดลอง

μ ค่าคาดหวัง

3.15.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$\sigma = \sqrt{E(x^2) - E^2(x)} \quad (3-22)$$

ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าน้อย จะแสดงให้เห็นได้ว่าข้อมูลมีการกระจายน้อยซึ่งก็คือ ค่าข้อมูลที่เกิดขึ้นจะไม่ห่างกันมากนักหรือค่าของข้อมูลเกาะกลุ่มกัน

3.16 การแจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) [23]

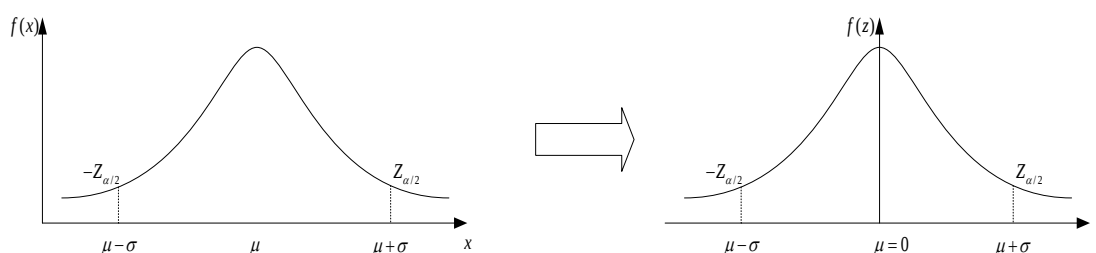
เนื่องจากเส้นโค้งปกติขึ้นอยู่กับค่า μ และ σ^2 ดังนั้นจึงมีเส้นโค้งปกติแตกต่างกันมากมายหลายแบบ และเพื่อให้เส้นโค้งปกติมีแบบมาตรฐานแบบหนึ่ง โดยทั่วไปจึงสร้างเส้นโค้งปกติมาตรฐานที่มีค่า $\mu = 0$ และ $\sigma^2 = 1$ นั่นคือเราสามารถเปลี่ยนเส้นโค้งใดๆ ให้มีค่าเฉลี่ย μ และ ความแปรปรวน σ^2 ให้เป็นเส้นโค้งปกติมาตรฐาน ด้วยการแปลงค่าตามสูตร

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (3-23)$$

ซึ่งค่า Z จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย $\mu = 0$ และ ความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ สามารถเขียนสัญลักษณ์ได้ดังนี้ $Z : N(0,1)$ เราเรียกตัวแปรเชิงสุ่มว่าเป็น Standard Normal Random Variable ซึ่งตัวแปรเชิงสุ่ม Z จะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ง่ายกว่าเดิม คือ

$$P[Z = z] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}; \quad (-\alpha < Z < \alpha) \quad (3-24)$$

และพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดเท่ากับหนึ่ง



ภาพที่ 3-8 การกระจายปกติเปลี่ยนเป็นกราฟกระจายปกติมาตรฐาน

กำหนดให้

z คือ ตัวแปรของการกระจายปกติมาตรฐาน

x คือ ตัวแปรของการกระจายปกติ

μ คือ ค่าเฉลี่ยของการกระจายปกติ

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายปกติ

3.17 เกณฑ์การหยุดคำนวณ (Stopping Criteria) [19], [22]

การกระจายที่สำคัญในทางสถิติ นั่นคือการกระจายแบบปกติ หรือการกระจายแบบเกาส์เซียนในสมการที่ (3-25) ตามทฤษฎีลิมิตสู่ค่ากลาง ซึ่งค่าการสุ่มนั้นสามารถประมาณค่าได้ด้วยการกระจายแบบปกติเมื่อค่าของข้อมูลมีค่ามาก ซึ่งการประมาณค่าดังกล่าวจะมีการประเมินค่าประมาณเป็นช่วงและบอกความน่าจะเป็นที่ช่วงของการประมาณจะคลุมค่าของพารามิเตอร์ที่ต้องการด้วย

ถ้าเราพิจารณาให้ราคามีการแจกแจงปกติและทราบความแปรปรวนของประชากรหรือไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร แต่จำนวนตัวอย่างของราคาสุ่มมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 30 ค่าของจำนวนตัวอย่าง ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) คือ $100(1-\alpha)\%$ ของค่าเฉลี่ยของราคา (μ) ซึ่งสามารถเลือกช่วงความเชื่อมั่นได้จากตารางที่ 3-4

จุดประสงค์ของการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลคือการหาราคาค่าความคาดหวัง (Expectation Cost) ที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นค่าที่เราไม่สามารถทราบได้ ดังนั้นเราจะใช้การกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) เพื่อประมาณราคาค่าความคาดหวังให้อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ที่ค่าที่เรายอมรับได้ โดยปกติแล้วเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นจะเลือกค่า 95% ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ซึ่งจะได้ $Z_{\alpha/2}$ มีค่าเป็น 1.96

$$N(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{X-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (3-25)$$

ตารางที่ 3-4 พารามิเตอร์ของช่วงความเชื่อมั่น

	90%	95%	99%	99.9%
γ	0.90	0.95	0.99	0.999
α	0.1	0.05	0.01	0.001
$Z_{\alpha/2}$	1.645	1.960	2.576	3.291

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (3-26)$$

$$P\left(\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad (3-27)$$

$$P(\bar{X} - L \leq \mu \leq \bar{X} + L) = \gamma \quad (3-28)$$

เมื่อ

$$L = z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\gamma = 1 - \alpha$$

กำหนดให้

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

n คือ ขนาดตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2}$ คือ ค่าจากตารางปกติที่ทำให้เกิดพื้นที่หางขวามือเป็น $\alpha/2$

3.18 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโดยรวม



ภาพที่ 3-9 ผังการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมดังกล่าวจะแบ่งกลุ่มของการทำงานออกเป็นสามกลุ่มใหญ่คือ

3.18.1 กลุ่มแรก (READ DATA FILE)

กลุ่มแรกนี้จะเป็นกลุ่มไฟล์ที่ทำหน้าที่อ่านไฟล์ข้อมูลซึ่งจะแบ่งออกเป็นสามไฟล์ย่อยคือ ไฟล์แรกคือ stand.prob ไฟล์ที่สองคือ ieeeXXX.lf (ค่า XXX คือไฟล์ข้อมูลที่ 100%, 83% และ 51% ของโหลดสูงสุด ได้แก่ ieee51e.lf, ieee51s.lf, ieee83e.lf, ieee83s.lf, ieee100e.lf, ieee100s.lf) ไฟล์ที่สามคือ Interrupt.dat จากไฟล์แรกและไฟล์ที่สองเป็นไฟล์ข้อมูลของ IEEE Reliability Test System (RTS-79) ข้อมูลดังกล่าวแสดงในภาคผนวก ก ส่วนไฟล์ที่สาม เป็นไฟล์ราคาไฟฟ้าดิบ การเชื่อมกลุ่มทั้งสามให้ทำงานนั้นทำได้ในกลุ่มแรกโดยด้วยคำสั่ง INCLUDE"XXX.f" (ค่า XXX คือ ชื่อไฟล์ เช่น INCLUDE"RNEWTON.f")

3.18.2 กลุ่มที่สอง (MAIN FILE)

กลุ่มที่สอง คือกลุ่มไฟล์ที่ทำหน้าที่หลักในการจัดการทำงานเรียกฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งการวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล จะจัดอยู่ในกลุ่มที่สอง

3.18.3 กลุ่มที่สาม (SUBROUTINE & FUNCTION FILE)

กลุ่มที่สาม คือไฟล์ที่ทำหน้าที่เก็บสับรูทีนและฟังก์ชันการทำงานและรอกการเรียกใช้จาก (MAIN FILE) การรันโปรแกรมดังกล่าวจะรันผลบนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ ขั้นตอนการรันผลของโปรแกรมจะแบ่งเป็นการรันผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และการรันผลบนเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะแสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนการรันผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

ขั้นตอนที่ 1 หาโฟลว์เดอร์ที่โปรแกรมถูกเก็บอยู่ โดยใช้คำสั่ง ls ซึ่งคล้ายกับคำสั่ง dir ใน ดอส แล้วเข้าสู่โฟลว์เดอร์โดยใช้คำสั่ง cd XXX (ค่า XXX คือ ชื่อของโฟลว์เดอร์)

ขั้นตอนที่ 2 คอมไพล์ไฟล์ด้วยคำสั่ง g77 XXX.f (ค่า XXX คือ ชื่อไฟล์)

ขั้นตอนที่ 3 รันไฟล์ด้วยคำสั่ง time ./a.out เมื่อเสร็จสิ้นคำสั่งนี้แล้ว จะได้ผลลัพธ์และเวลาของการคำนวณของหน่วยประมวลผลกลาง

ขั้นตอนที่ 4 รอกเก็บผลซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาคือไฟล์ costavg.out

ขั้นตอนการรันผลบนเซิร์ฟเวอร์ (Server)

ขั้นตอนที่ 1 เข้าสู่ระบบเซิร์ฟเวอร์ของระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์โดยพิมพ์คำสั่ง
ssh tik@202.44.37.241

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนรหัสผ่าน password : XXX (ค่า XXX คือ เลขรหัสผ่าน)

ขั้นตอนที่ 3 หาไฟล์เดสก์ทอปโปรแกรมที่ถูกเก็บอยู่โดยใช้คำสั่ง `ls` ซึ่งคล้ายกับคำสั่ง `dir` ใน คอส แล้วเข้าสู่ไฟล์เดสก์ทอป โดยใช้คำสั่ง `cd` หน้าไฟล์เดสก์ทอปที่ต้องการเปิด เช่น `cd XXX`

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อเข้าไปในไฟล์เดสก์ทอปที่ไฟล์ที่เราต้องการรันเก็บอยู่ แล้วใช้คำสั่ง `screen` เพื่อ รันผลบนเซิร์ฟเวอร์แม้เราจะปิดคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแล้ว แต่เซิร์ฟเวอร์ยังทำงานเช่นเดิม

ขั้นตอนที่ 5 คอมไพล์ไฟล์ด้วยคำสั่ง `g77 xxx.f`

ขั้นตอนที่ 6 รันไฟล์ด้วยคำสั่ง `time ./a.out` เซิร์ฟเวอร์จะทำการรันจนกว่าจะได้ผลคำตอบ

ขั้นตอนที่ 7 หากต้องการออกจากหน้าจอขั้นตอนที่ 6 และเซิร์ฟเวอร์ยังทำการรันผลเช่นเดิม กดแป้นพิมพ์ `ctrl` ค้างไว้แล้วกดอักษร `a` และ `d` ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 8 หากต้องการเข้าไปดูผลการรันโปรแกรมทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลอีกครั้ง ให้ใช้คำสั่ง `pgrep screen` เพื่อดูหมายเลขของงานที่เรารันผลไว้

ขั้นตอนที่ 9 พิมพ์คำสั่ง `screen -r xxx` เพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงผลรันที่หน้าจอจากการรัน ผลด้วยเซิร์ฟเวอร์ หากต้องการออกจากหน้าจอดังกล่าว ให้ใช้คำสั่งตามขั้นตอนที่ 7 หากต้องการ หยุดผลรันหรือต้องการรันผลใหม่จากงานเดิมให้กดแป้นพิมพ์ `ctrl` ค้างไว้ตามด้วยกดอักษร `z`

3.19 ขั้นตอนการทำงานของการวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะ

ต่อเนื่องด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นโดยการอ่านค่าอินพุตของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 สร้างจำนวนสุ่มเพื่อสุ่มหาอุปกรณ์หลุด

ขั้นตอนที่ 3 เช็คว่าอุปกรณ์มีการหลุดหรือไม่ หากหลุดให้ทำขั้นตอนถัดไป หากไม่หลุดให้ ทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 เช็คว่าอุปกรณ์เกิดการหลุด เกิดการหลุดของอุปกรณ์เพียงหนึ่งตัว ให้ทำ ขั้นตอนที่ 5 ต่อไป หากอุปกรณ์หลุดมากกว่าหนึ่งตัวให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 เช็คว่าสายส่งหลุดหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดแล้วทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลของ สายส่งและข้อมูล巴士ใหม่ แล้วทำขั้นตอนที่ 6 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 รันโหลดไฟล์ เพื่อหาแรงดันไฟฟ้าที่บัส กำลังไฟฟ้าไหลในสายส่ง และกำลัง การผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 เช็กระบบไฟฟ้าที่บัสว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ และเช็คว่าสายส่งเกินพิกัด หรือไม่ หากเกินตามเงื่อนไขแล้วไม่เกินขีดจำกัดดังกล่าว ให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 11 หากเกิน ขีดจำกัดดังกล่าวให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 ทำการตัดโหลดเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสอยู่ในช่วงที่กำหนดและสายส่งไม่เกิน
พิกัด

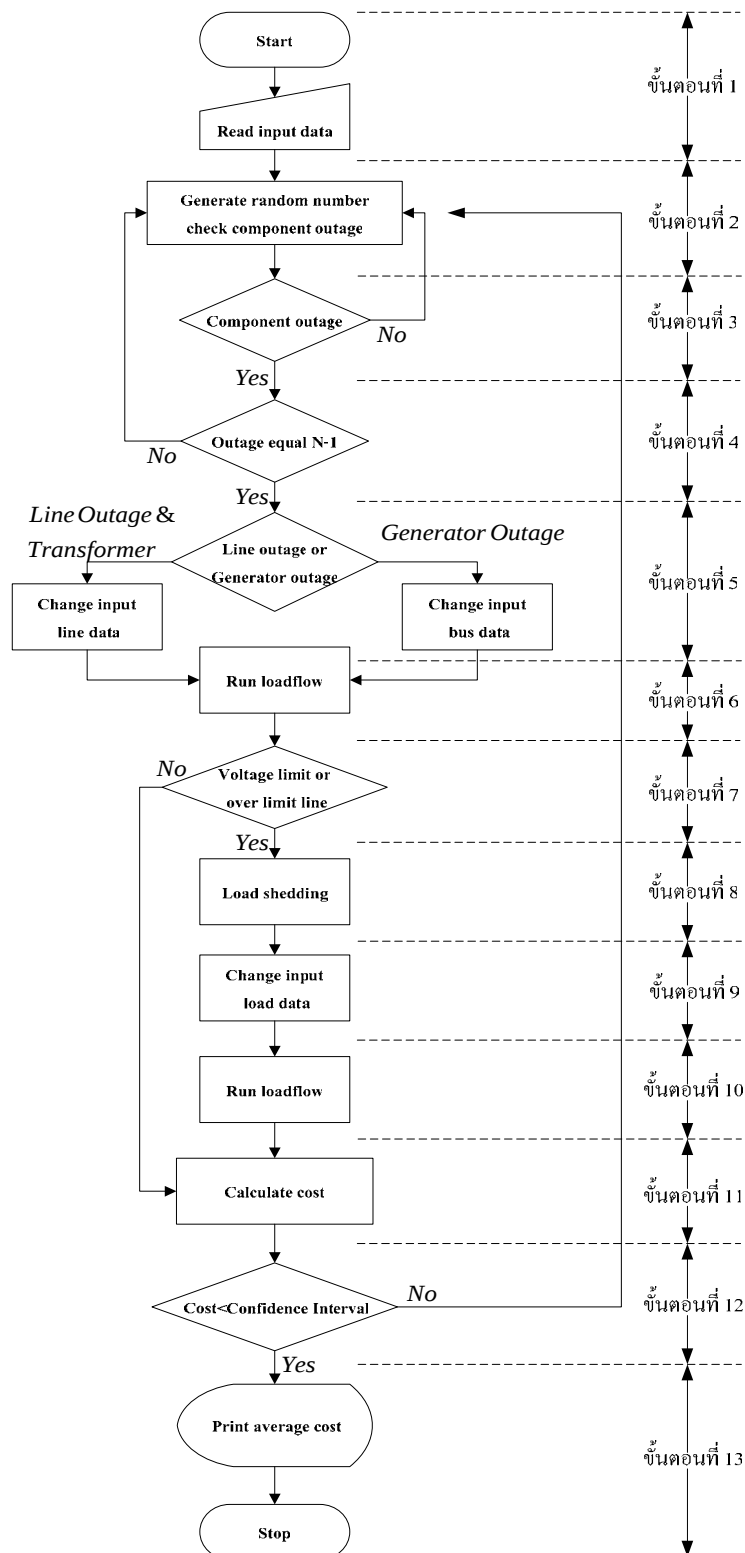
ขั้นตอนที่ 9 เปลี่ยนค่าอินพุตของโหลดใหม่

ขั้นตอนที่ 10 รันโหลดโฟลว์ใหม่อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 11 คำนวณค่าราคา (ค่าความคาดหวัง)

ขั้นตอนที่ 12 เช็ค่าราคาอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% หรือไม่ หากอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น
95% ให้ กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 หากอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นดังกล่าวให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 13 พิมพ์ค่าราคาเฉลี่ยออกทางหน้าจอแล้วจบขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3-10 ฟังก์ชันการทำงานของการวิเคราะห์หาค่าต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังใน
สภาวะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

3.20 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน

ผังการทำงานของขั้นตอนนี้จะอยู่ในภาพที่ 3-11 และขั้นตอนการทำงานจะกล่าวดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการคำนวณหาค่าบัสแอดมิตแตนซ์เมตริก Y_{bus}

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนิวตัน-ราฟสัน ตามขั้นตอนในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4.4.2 ถึงขั้นตอนที่ 2.4.4.8

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (P_{Gi}, Q_{Gi}) ตามสมการที่ (2-29) และสมการที่ (2-30)

ขั้นตอนที่ 4 ทำการตรวจสอบว่า กำลังการผลิตของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตหรือไม่ ($Q_{i,min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{i,max}$) หากมีค่าอยู่ในขอบเขต ชนิดบัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นโวลต์เตจคอนโทรลลัส หากมีค่าเกินขอบเขตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดบัสจะเปลี่ยนเป็นโหลดบัส แล้วกำหนดให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับขอบเขตต่ำสุด ($Q_{Gi} = Q_{Gi,min}$) หรือสูงสุด ($Q_{Gi} = Q_{Gi,max}$) และกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_{Gi} ให้เป็นไปตามแผนงานที่กำหนด แล้วกลับไปคำนวณโหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสันตามขั้นตอนที่ 2 แล้วกลับมาเริ่มต้นคำนวณและตรวจสอบกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ โดยที่ชนิดบัสที่เป็นโหลดบัส ทำการตรวจสอบว่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $Q_{Gi} = Q_{Gi,max}$ และแรงดันไฟฟ้าที่บัส $V_i < V_{i,spec}$ ชนิดของบัสยังคงเป็นโหลดบัสต่อไป หากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $Q_{Gi} = Q_{Gi,max}$ และแรงดันไฟฟ้าที่บัส $V_i > V_{i,spec}$ ชนิดบัสเปลี่ยนเป็นโวลต์เตจคอนโทรลลัส ในกรณีเดียวกันหากชนิดบัสที่เป็นโหลดบัส โดยที่ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $Q_{Gi} = Q_{Gi,min}$ และแรงดันไฟฟ้าที่บัส $V_i > V_{i,spec}$ ชนิดบัสยังคงเป็นโหลดบัส หากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $Q_{Gi} = Q_{Gi,min}$ และแรงดันไฟฟ้าที่บัส $V_i < V_{i,spec}$ ชนิดบัสจะเปลี่ยนเป็นโวลต์เตจคอนโทรลลัส

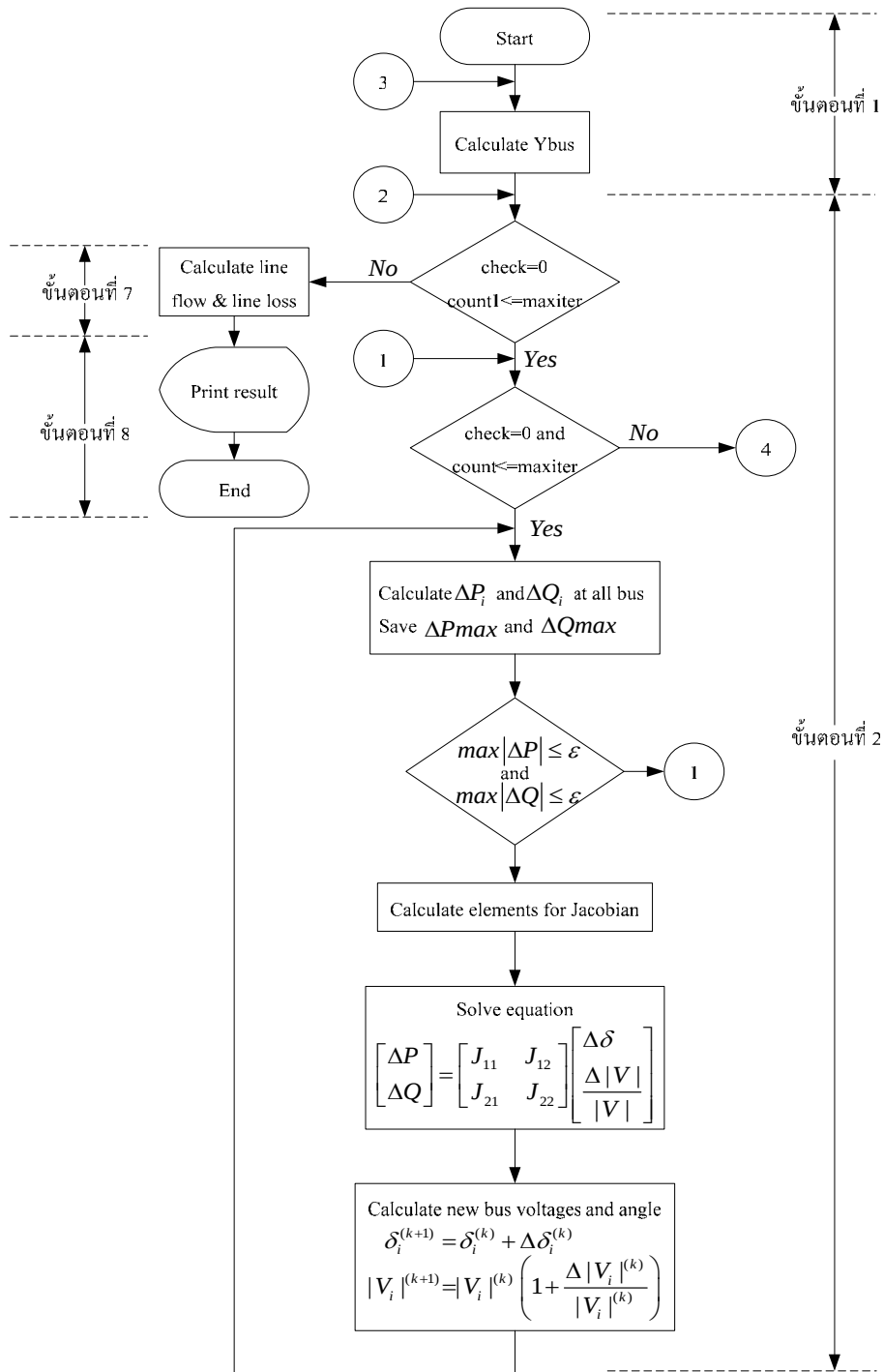
ขั้นตอนที่ 5 ทำการตรวจสอบว่ามีหม้อแปลงแบบ Auto Tap Change หรือไม่ หากไม่มีให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 หากมีทำขั้นตอนที่ 6 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 ทำการตรวจสอบระดับขนาดแรงดันไฟฟ้าควบคุมที่บัส ($V_{reg,i}$) และขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส ($|V_i|$) มีค่ามากหรือน้อยกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำการรักษาระดับแรงดัน หาก $|V_i| < V_{reg,i}$ ทำการปรับแทปหม้อแปลงขึ้นครั้งละ 0.00625 ในทางตรงข้ามกันหาก $|V_i| > V_{reg,i}$ ทำการปรับแทปหม้อแปลงลงครั้งละ 0.00625 แต่การปรับแทปต้องอยู่ในขอบเขตของหม้อแปลงคือ $\pm 10\%$ ดังนั้นการปรับแทปหม้อแปลงจึงปรับได้สูงสุดเท่ากับ 1.1 และปรับได้ต่ำสุดเท่ากับ 0.9

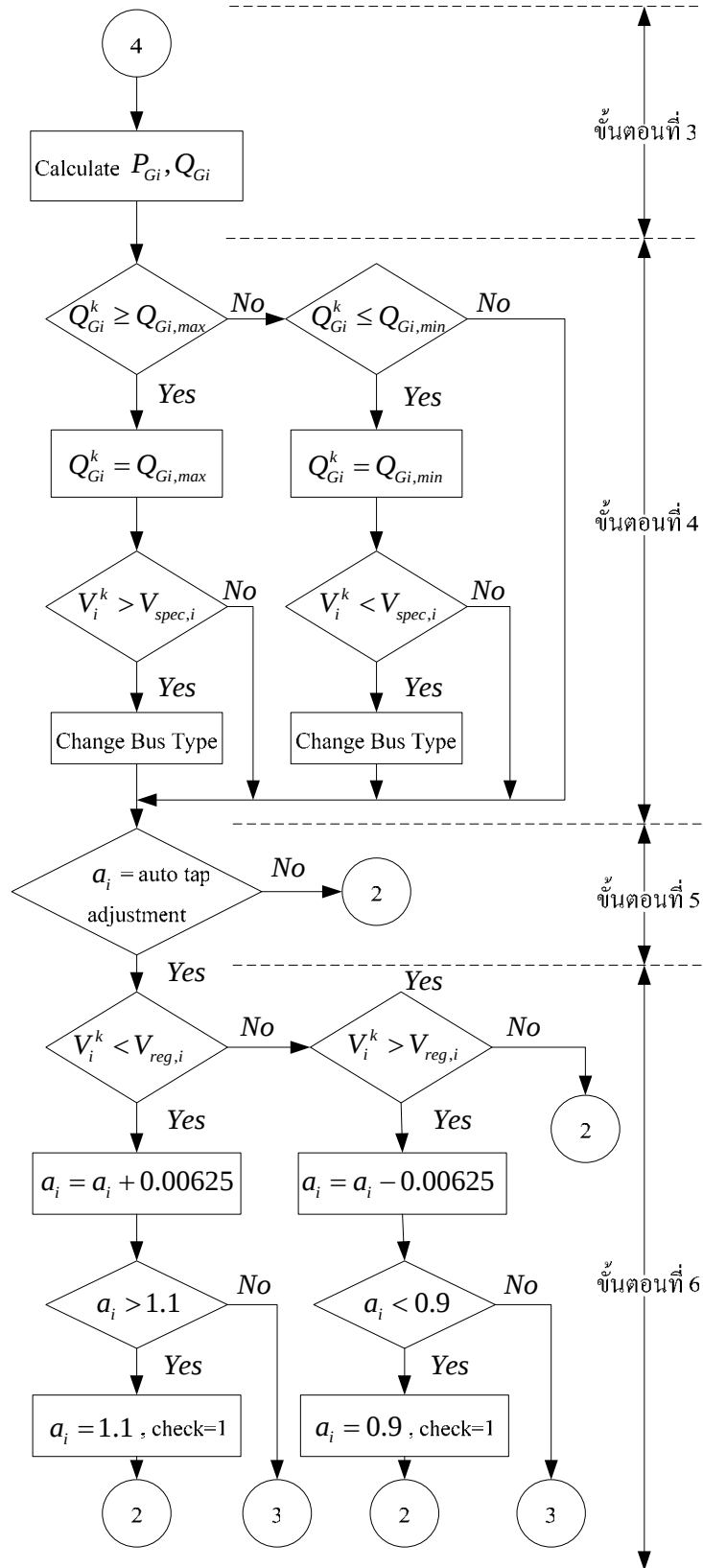
ขั้นตอนที่ 7 ทำการคำนวณขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งเงื่อนไขของการ Check =0 และ count1 ≤ maxiter เป็นเท็จ แล้วทำตามขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ขั้นตอนที่ 9 แสดงผล และจบการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 3-11 ผังการทำงานของกรวิเคราะห์โหลดฟูล์แบบนิวตัน-ราฟสัน



ภาพที่ 3-11 (ต่อ)

3.21 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานการแก้ปัญหาแรงดันที่บัลไม้อยู่ในช่วงที่กำหนด

ผังการทำงานของขั้นตอนนี้จะอยู่ในภาพที่ 3-12 และขั้นตอนการทำงานจะกล่าวดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการเช็คค่าแรงดันไฟฟ้าว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ หากอยู่ในช่วงที่กำหนดให้จบการทำงาน หากไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดให้ทำการเช็คค่าแรงดันไฟฟ้าทุกบัลว่ามีค่าต่ำกว่า 1.05 เปรอ์ยูนิตหรือไม่

ขั้นตอนที่ 2 เพิ่มค่าแรงดันที่เครื่องกำเนิดขึ้นครั้งละ 10 % (Step)

ขั้นตอนที่ 3 เช็คดูว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมาที่เครื่องกำเนิดมีค่าน้อยกว่า 1.05 เปรอ์ยูนิตหรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าให้ค่า Shed มีค่าเท่ากับ 0 หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้ Shed มีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 4 ให้เช็คค่า Shed หากค่า Shed มีค่าเท่ากับ 0 ให้จบการทำงาน หากค่า Shed มีค่าเท่ากับ 1 ให้ทำการตัดโหลด 10% ของโหลดจากข้อมูลอินพุตเดิม แล้วจบขั้นตอนการทำงาน

3.22 ขั้นตอนการทำงานการแก้ปัญหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สแลคบัสมผลิตเกินค่าสูงสุด

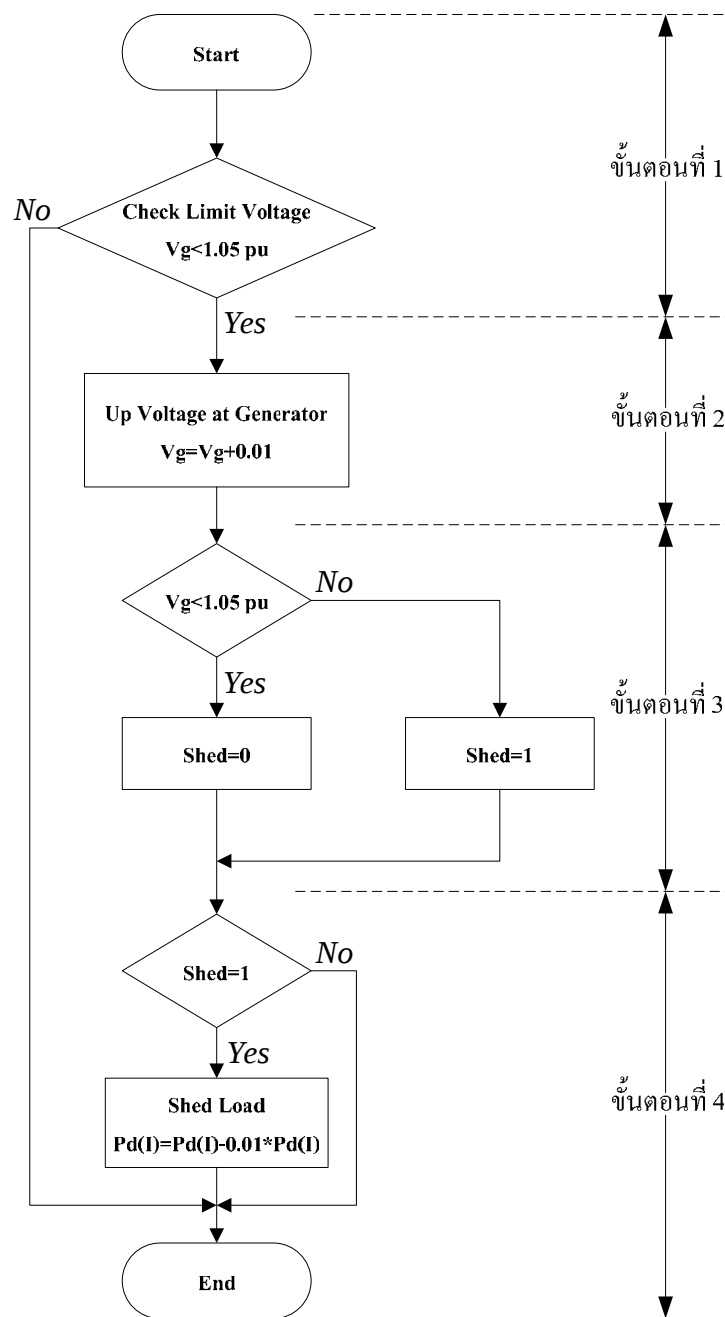
ผังการทำงานของขั้นตอนนี้จะอยู่ในภาพที่ 3-13 และขั้นตอนการทำงานจะกล่าวดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากเช็คค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สแลคบัสมมีค่ามากกว่าขีดจำกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สแลคบัสมหรือไม่ หากมากกว่าให้ทำขั้นตอนต่อไป หากไม่มากกว่าให้จบการทำงาน

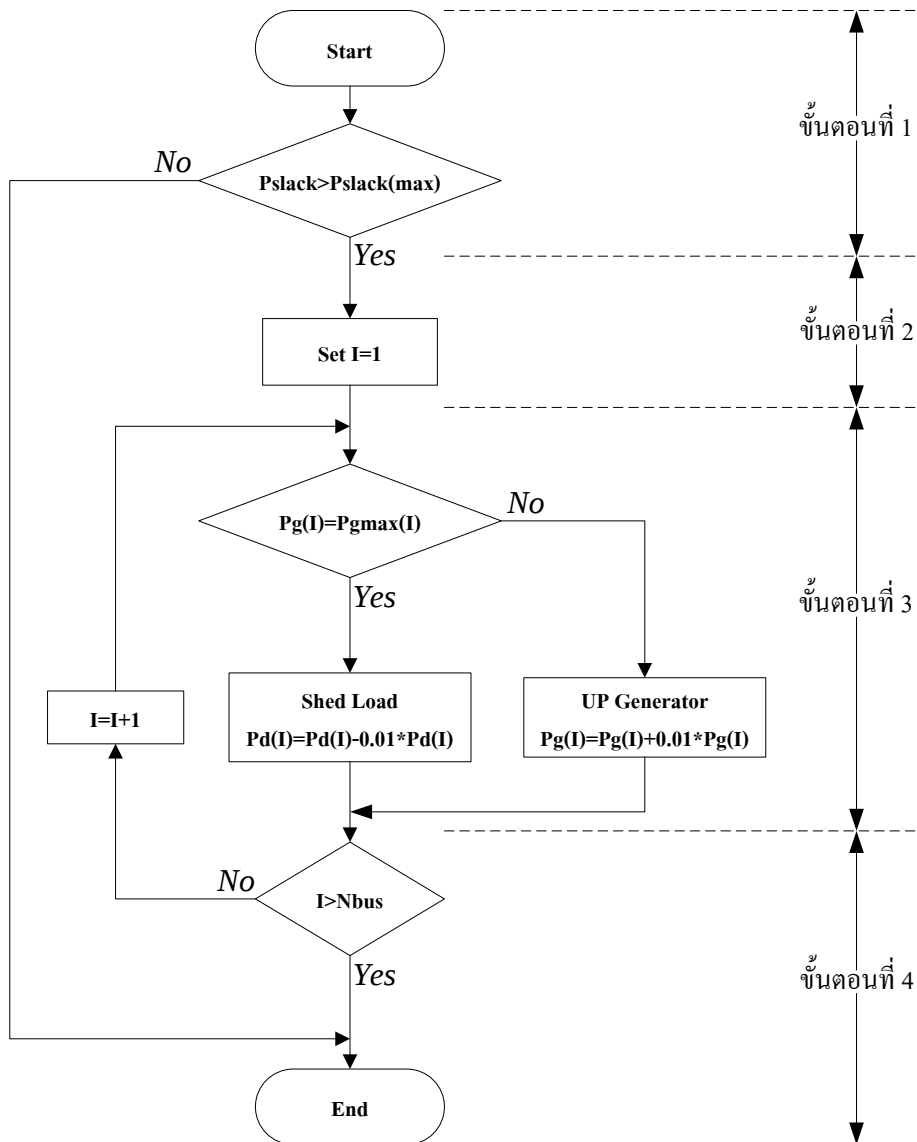
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่า I เท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 3 เช็คค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่ามีค่าเท่ากับขีดจำกัดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไม่ หากไม่เท่ากับให้ทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้า เป็นจำนวน 10 % (Step) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ใช่สแลคบัสม หากมีค่าเท่ากับให้ทำการตัดโหลดเป็นจำนวน 10 % (Step) ของกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลด

ขั้นตอนที่ 4 เช็คค่า I ว่ามีค่ามากกว่า NBUS (จำนวนบัล) หรือไม่ ถ้าไม่ ให้ทำการเพิ่มค่า $I = I + 1$ แล้วกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 หาก I มีค่ามากกว่าให้จบการทำงาน



ภาพที่ 3-12 การแก้ปัญหาแรงดันที่บัสไม่อยู่ช่วงที่กำหนด



ภาพที่ 3-13 การแก้ปัญหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตเกินขีดจำกัดสูงสุด

3.23 ขั้นตอนการแก้ปัญหาสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด

ขั้นตอนที่ 1 เช็กสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัดที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่เกินพิกัดให้จบการทำงาน หากเกินพิกัดให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 เช็กทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า หากมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากบัสต้นสาย (i) ไปยังบัสปลายทาง (j) ให้ทำตามขั้นตอนที่ 3 หากมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากบัสปลายทาง (j) ไปยังบัสต้นสาย (i) ให้ทำตามขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 เช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัสต้นสาย (i) ว่ามีค่ามากกว่าขีดจำกัดสูงสุดของบัสหรือไม่ หากมีค่าไม่มากกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 3.2 หากมากกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 3.1 ให้ทำการลดกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัส เป็นจำนวน 10 % (Step) จากกำลังไฟฟ้าแอมป์เดิมจากอินพุตเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 3.2 เช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัสปลายทาง (j) ว่ามีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดสูงสุดหรือไม่ หากมีค่าไม่น้อยกว่า ให้ทำตามขั้นตอนที่ 3.4 หากค่าน้อยกว่า ให้ทำตามขั้นตอนที่ 3.3

ขั้นตอนที่ 3.3 ให้ทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัส เป็นจำนวน 10 % (Step) แล้วจบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 3.4 ให้ทำการเช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ของโหลด (j) ว่ามีค่ามากกว่า 0 หรือไม่ หากไม่ใช่ ให้จบการทำงาน หากมีค่ามากกว่า 0 ให้ทำการเช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ของบัส (i) มีเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ของบัสต่ำสุดหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากับ ให้จบการทำงาน หากเท่ากับให้ทำการตัดโหลด เป็นจำนวน 10 % (Step) จากกำลังไฟฟ้าแอมป์เดิมของโหลด แล้วจบขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนที่ 4 หากทิศทางการไหลไฟฟ้าจากบัสปลายทาง (j) ไปยังบัสต้นสาย (i) หากไม่ใช่ให้จบการทำงาน หากใช่ให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

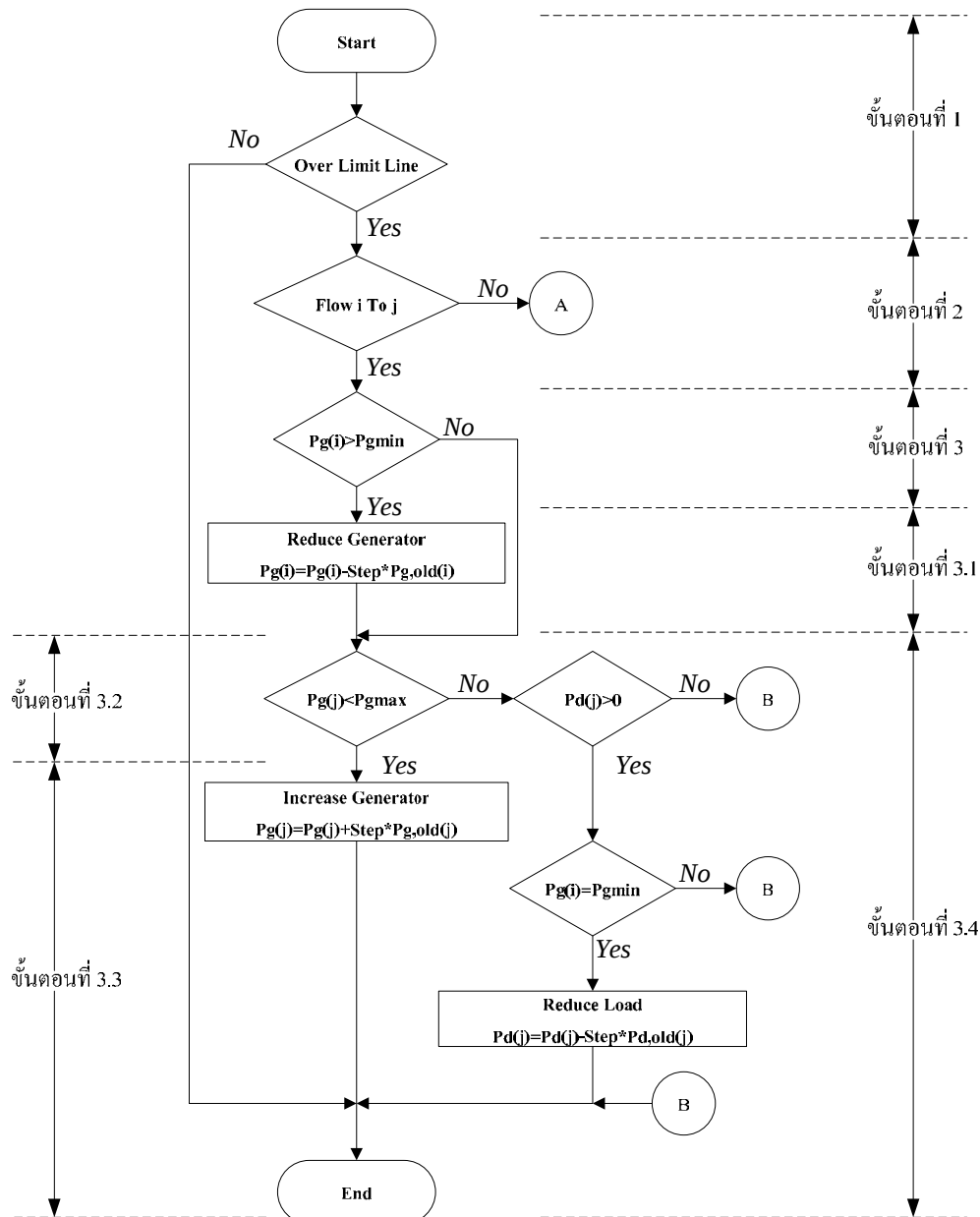
ขั้นตอนที่ 4.1 เช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ปลายทางบัสสาย (j) ว่ามีค่ามากกว่าขีดจำกัดสูงสุดของบัสหรือไม่ หากมีค่าไม่มากกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 4.3 หากมีค่ามากกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 4.2

ขั้นตอนที่ 4.2 ให้ทำการลดกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัส เป็นจำนวน 10 % (Step) จากกำลังไฟฟ้าแอมป์เดิม

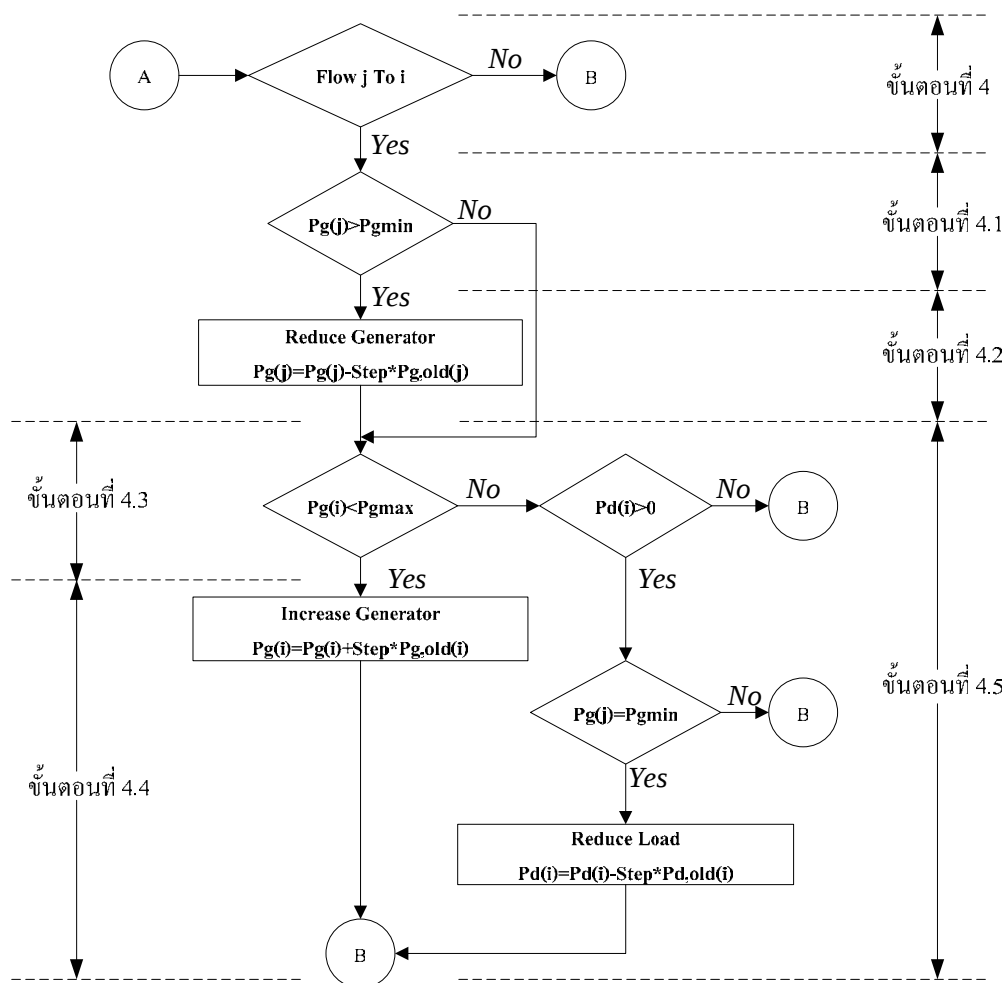
ขั้นตอนที่ 4.3 เช็ค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัสต้นสาย (i) ว่ามีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดสูงสุดหรือไม่ หากมีค่าไม่น้อยกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 4.5 หากมีค่าน้อยกว่าให้ทำตามขั้นตอนที่ 4.4

ขั้นตอนที่ 4.4 ให้ทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าแอมป์ที่บัส เป็นจำนวน 10 % (Step) แล้วจบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 4.5 ให้ทำการเช็คค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลด (i) ว่ามีค่ามากกว่า 0 หรือไม่ หากไม่ใช่ให้จบการทำงาน หากมีค่ามากกว่า 0 ให้ทำการเช็คค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของบัส (j) เท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของบัสต่ำสุดหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากับให้จบการทำงาน หากเท่ากับให้ทำการตัดโหลด เป็นจำนวน 10 % (Step) จากกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเดิมของโหลด แล้วจบขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3-14 ผังการทำงานแก้ปัญหาสายส่งเกินพิกัด



ภาพที่ 3-14 (ต่อ)

3.24 ขั้นตอนการทำงานสู่สถานะการหลุดของอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นให้ $N=0$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าเริ่มต้น (seed)

ขั้นตอนที่ 3 เช็ค่า $N=1$ หรือไม่ ถ้าใช่ให้เปลี่ยนแปลงข้อมูลของสายส่งหรือเครื่องกำเนิด

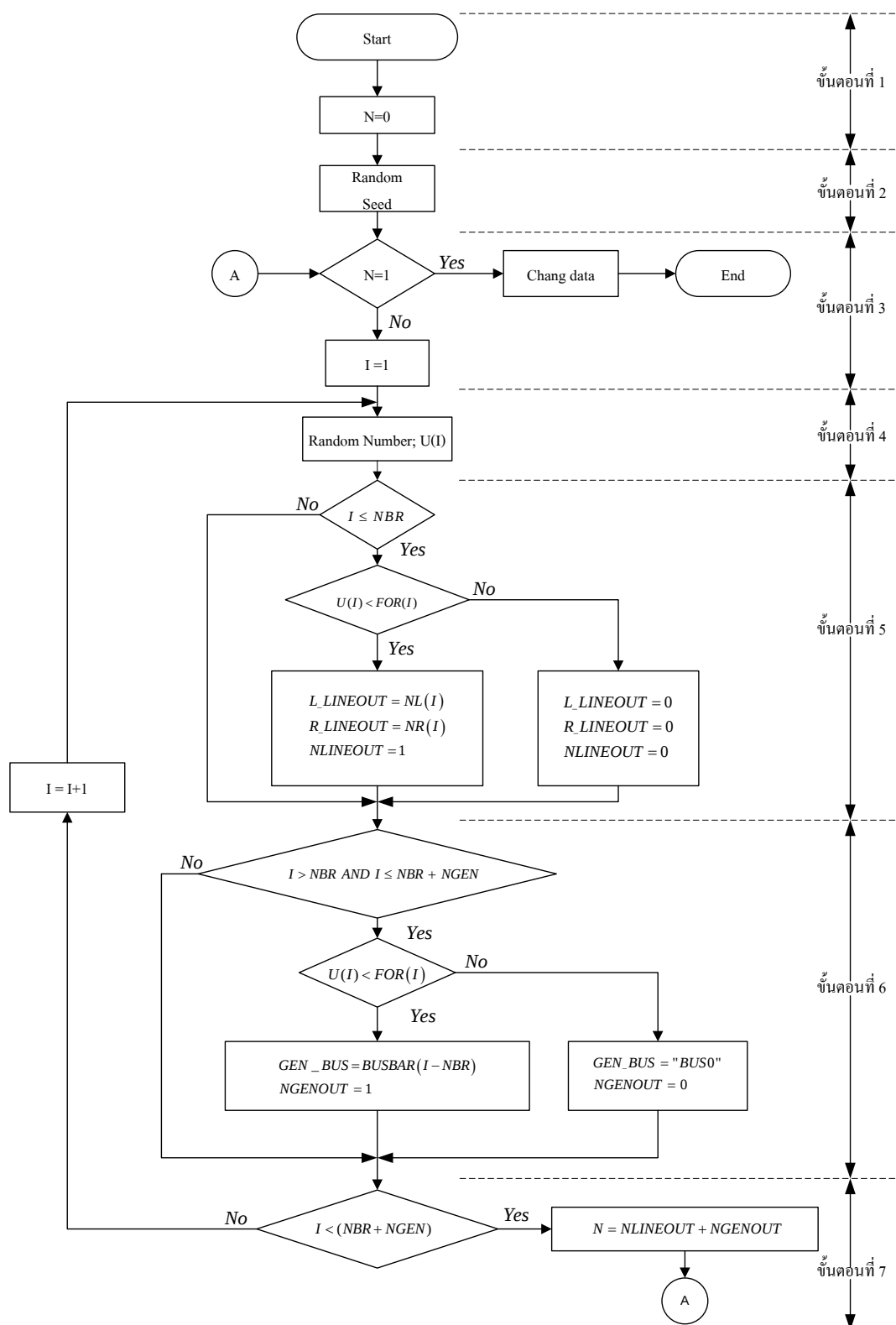
แล้วจบการทำงาน หากไม่ใช่ให้ค่า $I=1$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสุ่มก่อนำหนดตัวเลขสุ่ม $U(I)$

ขั้นตอนที่ 5 เช็ค่า I มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า NBR (จำนวนสายส่ง) หากค่า I มีค่ามากกว่าให้ทำขั้นตอนที่ 6 หาก I มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับให้ทำการเช็ค่าตัวเลขสุ่ม $U(I)$ มีค่าน้อยกว่า $FOR(I)$ ของสายส่งไฟฟ้าหรือไม่หากน้อยกว่าหรือเท่ากับให้ค่า $L_LINEOUT = NL(I)$, $R_LINEOUT = NR(I)$ และ $NLINEOUT=1$ หากว่า $U(I)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้ $L_LINEOUT = 0$, $R_LINEOUT = 0$ และ $NLINEOUT=0$ แล้วทำขั้นตอนที่ 6 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 เช็ค่า I มีค่ามากกว่า NBR และ I น้อยกว่าหรือเท่ากับ $(NBR+NGEN)$ หากใช่ให้ทำการเช็ค่าตัวเลขสุ่ม $U(I)$ มีค่าน้อยกว่า $FOR(I)$ ของสายส่งหรือไม่ หากน้อยกว่าให้ค่า $GEN_BUS=BUSBAR(I-NBR)$ และ $NGENOUT=1$ หาก $U(I)$ มีค่ามากกว่า $FOR(I)$ ของสายส่งให้ $GEN_BUS="BUS0"$ และ $NGENOUT=0$ แล้วทำต่อในขั้นตอนที่ 7 และหากเงื่อนไขของ I มีค่ามากกว่า NBR และ I น้อยกว่าหรือเท่ากับ $(NBR+NGEN)$ มีค่าเป็นเท็จให้ทำต่อไปในขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 เช็ค่า I ว่ามีค่าน้อยกว่า $NBR+NGEN$ หรือไม่ หาก I มีค่าตามเงื่อนไขจริงให้นำค่า $NLINEOUT+NGENOUT=N$ แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 หาก I มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้เพิ่มค่า I โดยค่า $I=I+1$ แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 4



ภาพที่ 3-15 ฟังก์ชันการทำงานส่วนสถานะการหลุดของอุปกรณ์

3.25 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของขั้นตอนการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า $I=0$ และสุ่มค่าเริ่มต้นของค่าเมล็ด (Seed) โดยการใช้เวลาจากคอมพิวเตอร์

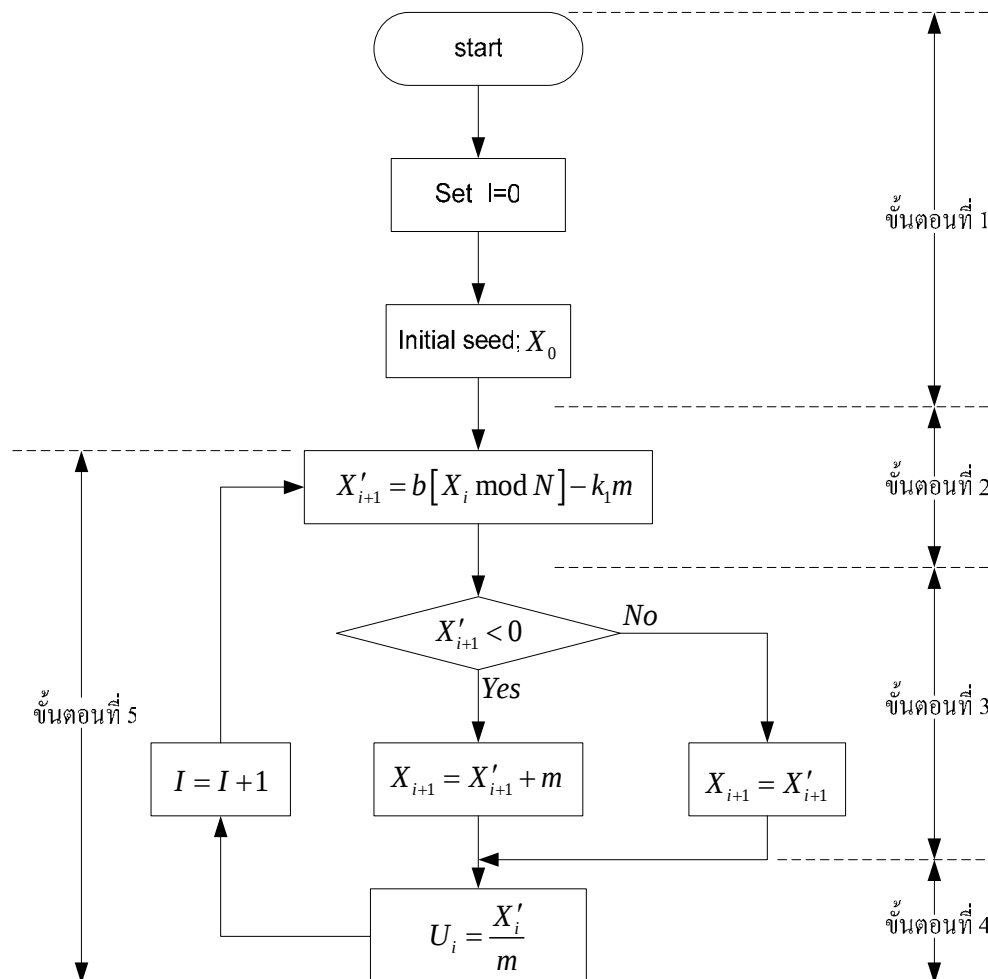
ขั้นตอนที่ 2 $X'_{i+1} = b[X_i \bmod N] - k_1 M$

ขั้นตอนที่ 3 หากค่า X_{i+1} จากการเช็คค่า X'_{i+1} มีค่าน้อยกว่าศูนย์หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าศูนย์

ให้ $X_{i+1} = X'_{i+1}$ หากค่า X_{i+1} น้อยกว่าศูนย์ให้ $X_{i+1} = X'_{i+1} + m$

ขั้นตอนที่ 4 หากค่าจำนวนสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ได้จาก X_i หาค่าด้วย m

ขั้นตอนที่ 5 หากต้องการจำนวนสุ่มค่าใหม่ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2



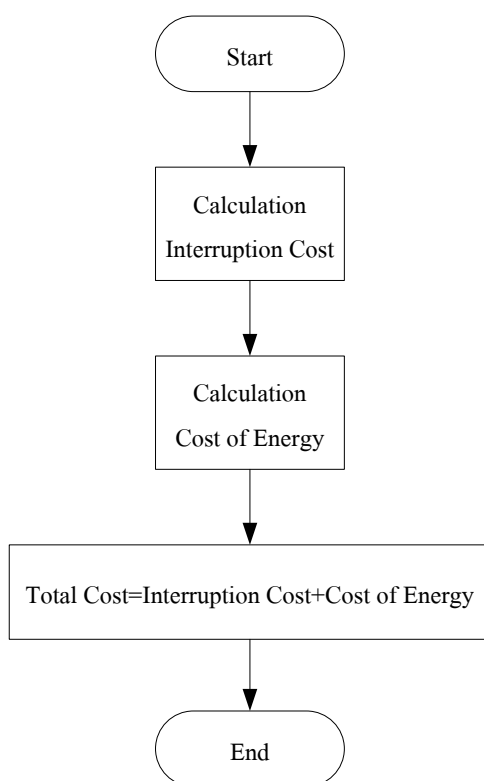
ภาพที่ 3-16 ผังการทำงานของการทำงานของขั้นตอนการก่อกำเนิดจำนวนสุ่ม

3.26 ขั้นตอนการหาราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากคำนวณหาค่าราคาไฟฟ้าดับ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าราคาพลังงาน

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าราคาต้นทุนการผลิตจากผลรวมของราคาไฟฟ้าดับกับราคาพลังงาน แล้วจบขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3-17 ผังการทำงานหาราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

3.26.1 ขั้นตอนการทำงานหาค่าราคาไฟฟ้าดับ

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นจากกำหนดให้ TIMES1 เท่ากับ 0, TIMES2 เท่ากับ 0, CSECURE เท่ากับ 0 และ T=30 โดย TIMES1 คือเวลาของ t1 จากสมการที่ (3-16), TIMES2 คือเวลาของ t2 จากสมการที่ (3-17), CSECURE คือ ราคาไฟฟ้าดับ และ T คือ เวลาไฟฟ้าดับทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่า TIMES1 เท่ากับกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบ หารด้วยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลดทั้งหมด คูณด้วยระยะเวลาไฟฟ้าดับทั้งหมด หาค่า TIMES2 จากกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบหารด้วยอัตราการต่อโหลดกลับ และหา TTIMES จากการนำ TIMES1 รวมกับค่า TIMES2

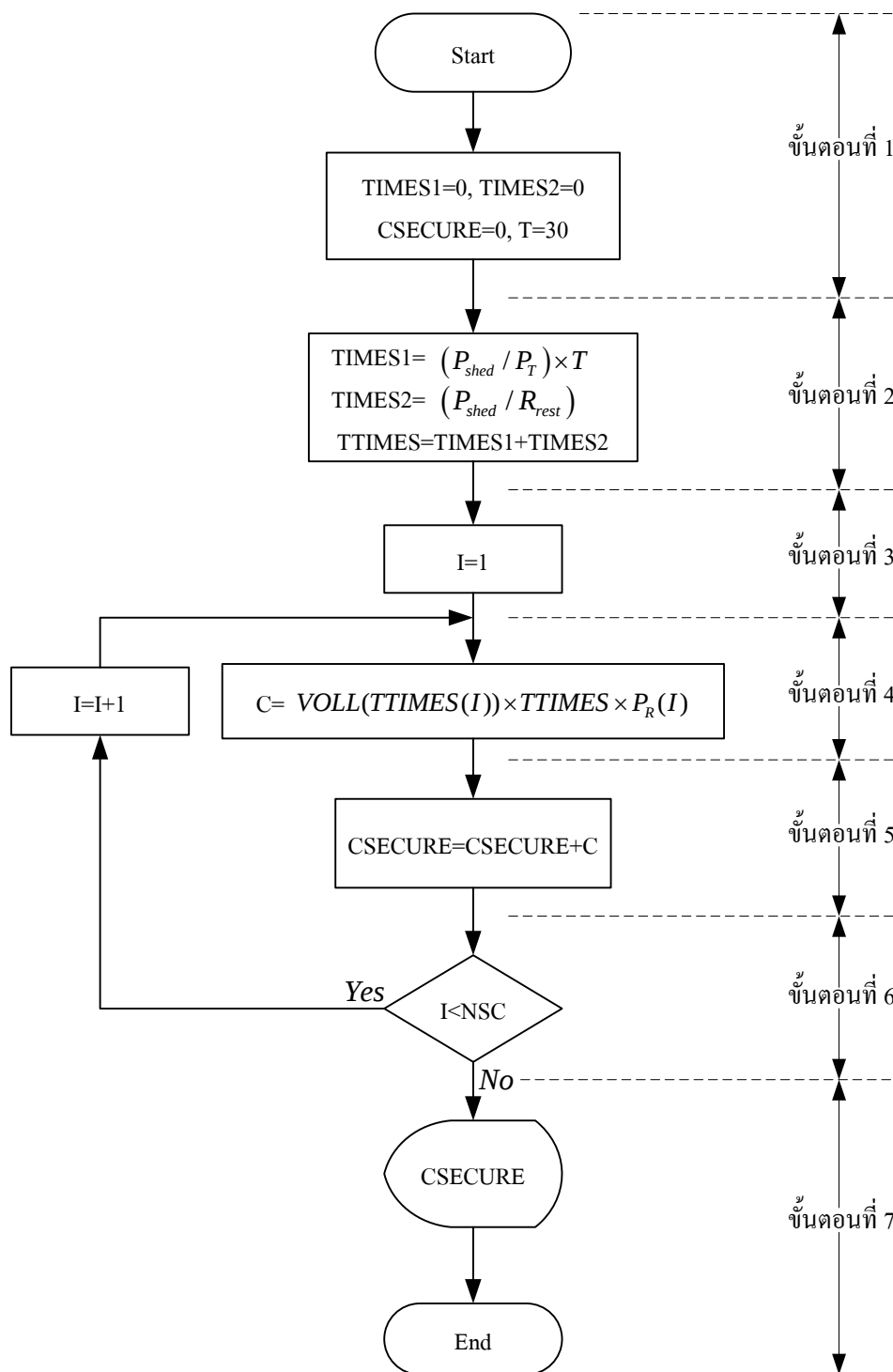
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดให้ I มีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าราคาไฟฟ้าดับที่ I จากสมการ $C = VOLL (TTIME(I)) \times TIMES \times P_R (I)$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าราคาไฟฟ้าดับเท่ากับราคาไฟฟ้าดับเดิมบวกด้วยราคาไฟฟ้าดับตัวที่ I จะได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 เช็ค่า I มีค่าน้อยกว่า NSC หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าให้ทำการเพิ่มค่า I อีกหนึ่งค่า แล้วกลับไปทำต่อในขั้นตอนที่ 4 หากค่า I มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้ทำ ขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 พิมพ์ผลราคาไฟฟ้าดับออกทางหน้าจอ แล้วจบขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3-18 ผังการทำงานหาค่าราคาไฟฟ้าดับ

3.26.2 ขั้นตอนการทำงานหาค่าพลังงาน (Cost of Energy)

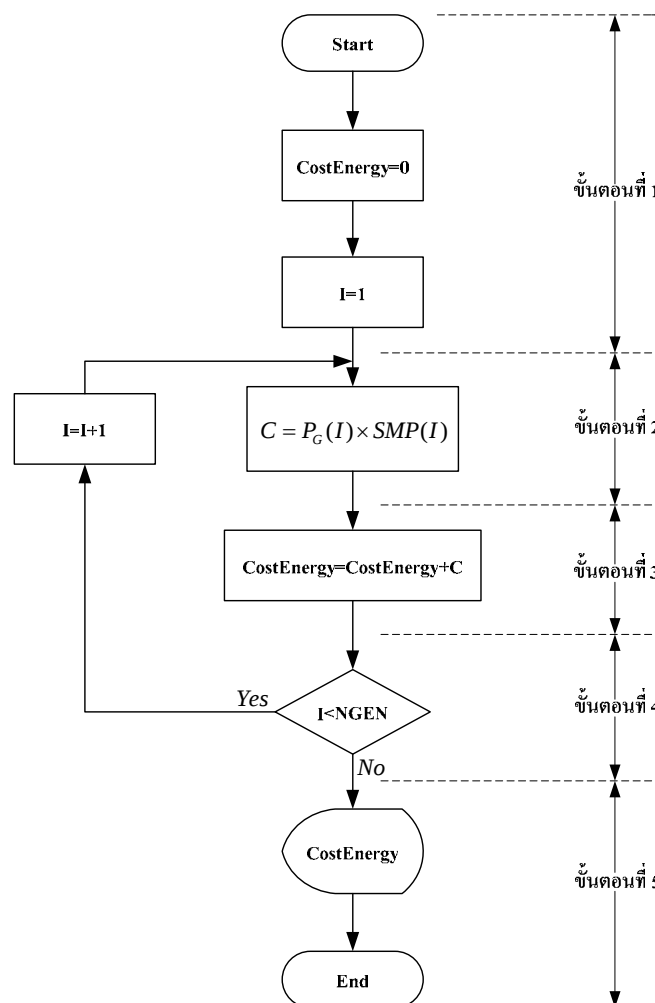
ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากกำหนดให้ Cost Energy (ราคาพลังงาน) มีค่าเท่ากับ 0 และ I มีค่าเป็น 1

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณราคาพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ I โดยคำนวณจากสมการ $C = P_G(I) \times SMP(I)$ จากสมการราคาพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ I จะหาได้จากผลคูณของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ I กับราคาต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ I แล้วทำต่อไปในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าราคาพลังงานได้จากราคาพลังงานเดิมรวมกับราคาพลังงานตัวที่ I

ขั้นตอนที่ 4 เช็ค่า I ว่ามีค่าน้อยกว่า NGEN (จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าให้เพิ่มค่า I ขึ้นอีกหนึ่งค่า แล้วกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2 หาก I มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้ทำขั้นตอนที่ 5 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 แสดงผลราคาพลังงานออกบนจอคอมพิวเตอร์ แล้วจบการทำงาน



ภาพที่ 3-19 ผังการทำงานหาค่าพลังงาน

3.27 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและอัลกอริทึมมอนติคาร์โลในระบบไฟฟ้า โดยการจำลองเหตุการณ์ขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อหาสถานะล่อแหลมในระบบไฟฟ้า หากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้าหลุดออกจากระบบไฟฟ้า แล้วให้ทำการปรับปรุงพารามิเตอร์ในข้อมูลบัส (Bus Data) และข้อมูลสายส่ง (Line Data) เสร็จแล้วทำการวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง มาวิเคราะห์เพื่อหาว่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสเกินขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่ ในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งให้เช็คว่าสายส่งเกินพิกัดสายส่งหรือไม่ หากแรงดันไฟฟ้าที่บัสเกินขอบเขต หรือสายส่งที่มีค่าเกินพิกัด ให้ทำการแก้ไขปัญหาก่อนทำการตัดโหลด แล้วทำการวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสันอีกครั้ง หากแรงดันไฟฟ้าที่บัสไม่เกินขอบเขต หรือสายส่งที่มีค่าไม่เกินพิกัดให้นำค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้แก่ระบบ มาทำการหาค่าราคาต้นทุนและผลกำไรเพื่อใช้วางแผนการผลิตไฟฟ้า โดยราคาต้นทุนประกอบไปด้วยราคาพลังงานไฟฟ้ารวมกับราคาไฟฟ้าดับ และแผนการผลิตในงานวิจัยประกอบด้วยการขายโหลดอย่างประหยัด และการขายโหลดที่ความมั่นคงเมื่อโหลดมีค่า 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด การหาราคาต้นทุนและผลกำไรในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบทดสอบ RTS-79 ผลการคำนวณราคาต้นทุนและผลกำไรของโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรม ได้นำเสนอในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรในระบบไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาโปรแกรมมาจากโปรแกรมที่มีชื่อว่า PSSAF (Power System Security Analysis with Fortran 77) [1] โปรแกรมดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์ แรงดันไฟฟ้า มุมเฟส กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งเข้าบัส ในแต่ละบัส รวมถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จากการใช้โปรแกรม PSSAF วิเคราะห์นั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์หาราคาต้นทุนและผลกำไรเป็นอย่างยิ่ง การคำนวณราคาต้นทุนนั้นจะคิดราคาที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง ที่โหลด 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด

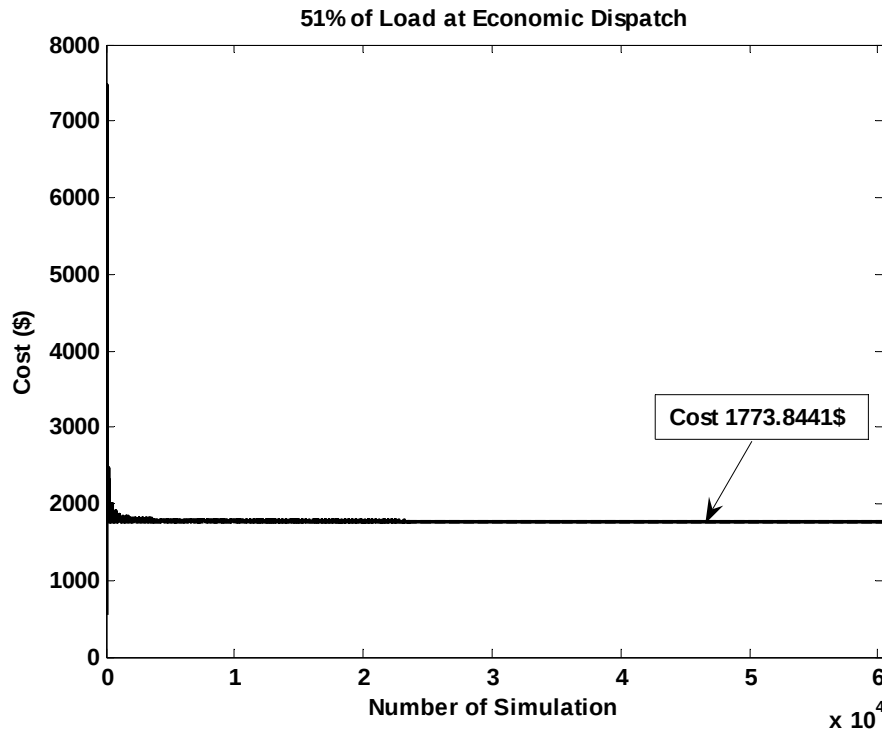
4.1 ราคาต้นทุนจากระบบทดสอบ RTS-79

ระบบทดสอบ RTS-79 (Reliability Test System) [13], [18] เป็นระบบทดสอบที่ถูกพัฒนาและตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1979 ซึ่งจะประกอบไปด้วย บัสจำนวน 24 บัส สายส่งไฟฟ้า 38 เส้น หม้อแปลงไฟฟ้า 5 ตัว ชนตรีแอกเตอร์ 1 ตัว ชินโครนัสเจนเนอเรเตอร์ 1 เครื่อง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32 เครื่อง ข้อมูลของระบบทดสอบนี้ แสดงในภาคผนวกของวิทยานิพนธ์ โดยที่ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า ข้อมูลบัส พร้อมทั้งข้อมูลความเชื่อถือได้ แสดงในตารางที่ ก-1 และ ก-2 ในภาคผนวก ก

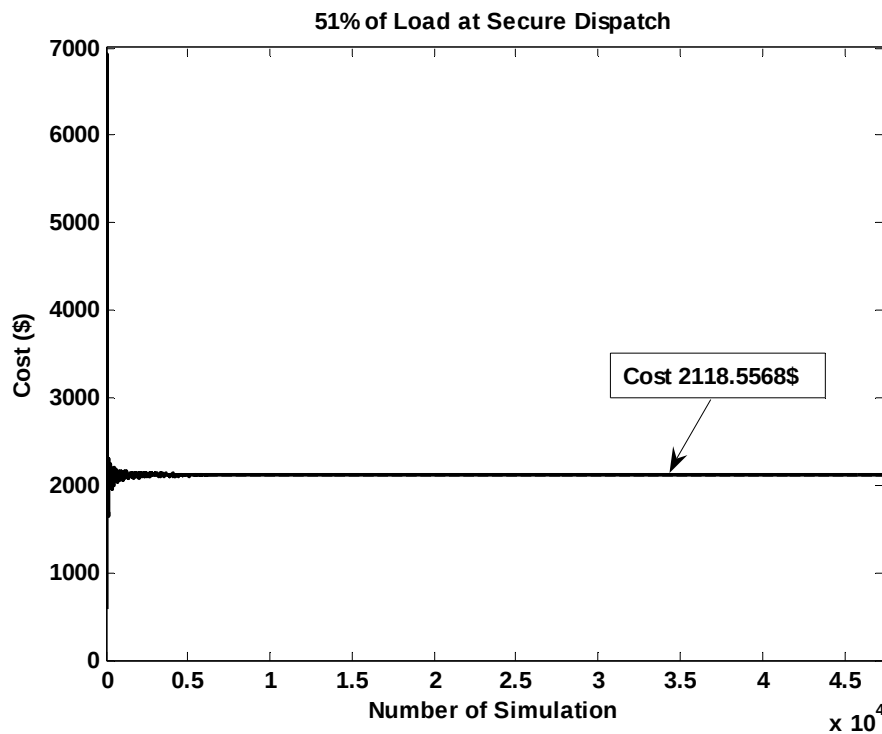
ตารางที่ 4-1 ราคาต้นทุนและเวลาในการคำนวณของการจ่ายโหลดที่สภาวะปกติ

การจ่ายโหลดที่สภาวะปกติ	ราคาต้นทุน	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51 % ของโหลดสูงสุด	587.4449 \$	0.2188 วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51 % ของโหลดสูงสุด	552.1018 \$	0.1250 วินาที
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 83 % ของโหลดสูงสุด	1242.8740 \$	0.1406 วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 83 % ของโหลดสูงสุด	1235.1972 \$	0.0625 วินาที
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 100 % ของโหลดสูงสุด	1683.4250 \$	0.0938 วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 100 % ของโหลดสูงสุด	1608.4392 \$	0.3750 วินาที

จากตารางที่ 4-1 เป็นการคำนวณหาราคาดัชนีทุนในสภาวะปกติ ราคาดัชนีทุนที่คำนวณหาได้จะพบว่าในสภาวะปกติ ควรเลือกวางแผนการผลิตแบบการจ่ายโหลดอย่างประหยัด



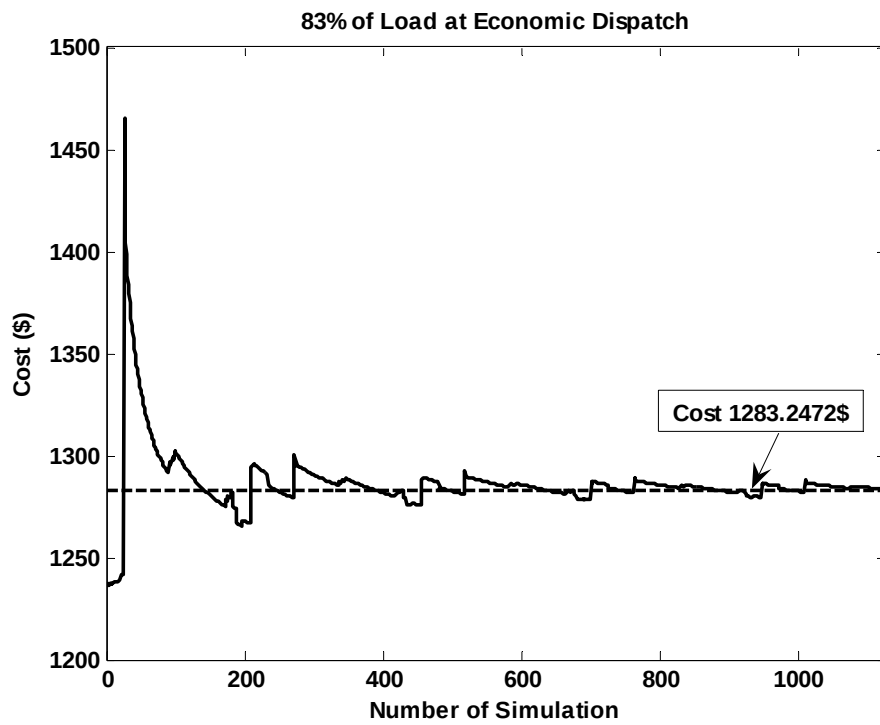
ภาพที่ 4-1 ราคาดัชนีทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51% ของโหลดสูงสุด



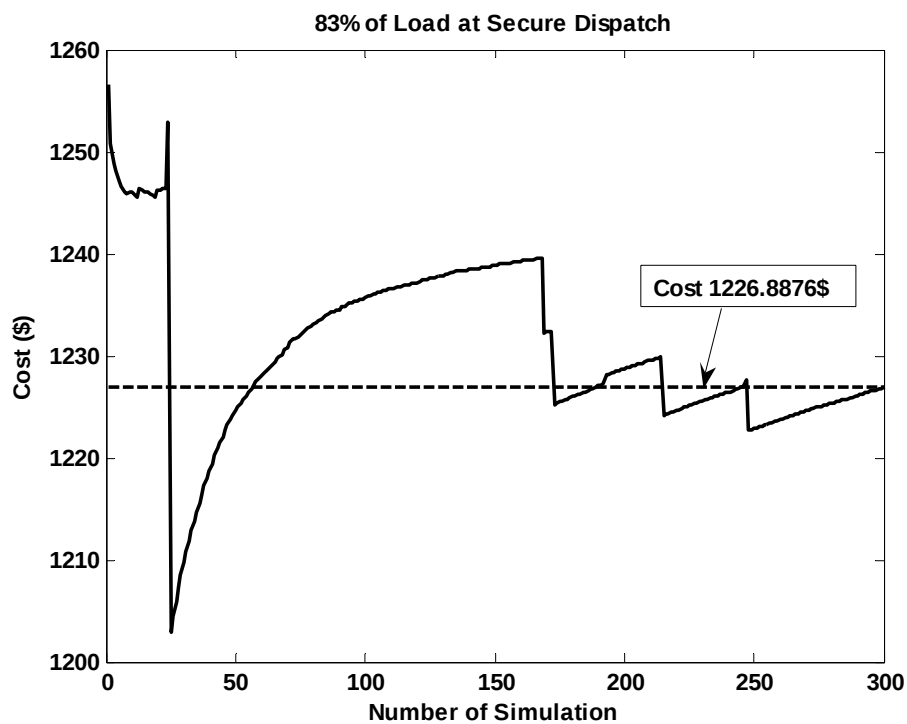
ภาพที่ 4-2 ราคาดัชนีทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51% ของโหลดสูงสุด

จากผลภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2 จำนวนรอบของการจำลองเหตุการณ์ที่ 51% ของโหลดสูงสุดที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้นมีค่า 60,443 รอบ จึงจะได้ผลคำตอบที่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และจะเข้าสู่ผลของคำตอบอยู่ในค่าประมาณ 24,000 รอบ ส่วนรอบของการจำลองที่ 51% ของโหลดสูงสุดที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงนั้นมีค่า 47,388 รอบ จึงจะได้ผลคำตอบที่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% ในส่วนนี้จะเข้าสู่ผลของคำตอบอยู่ในค่าประมาณ 6,000 รอบ จากจำนวนการจำลองจะเห็นได้ว่าสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51% และสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51% ของโหลดสูงสุด มีการคำนวณที่ใช้เวลานานอันเนื่องมาจากการกระจายของข้อมูลมีค่ามาก และจากภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2 นั้น จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51% ของโหลดสูงสุดนั้น จะมีค่าราคาค้นทุนเมื่อเกิดสภาวะล่อแหลมเป็น 1,773.8441 \$ และในสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง 51% ของโหลดสูงสุด จะมีค่าราคาค้นทุน 2,118.5568 \$ จากราคาค้นทุนที่ได้จากการจ่ายโหลดทั้งสองแบบนี้ จะเห็นได้ว่าในสภาวะล่อแหลม ควรจะมีการวางแผนการผลิตให้อยู่ในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ซึ่งจะทำให้ได้ผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงอีกทั้งไม่ขาดทุนมากนัก จากราคาค้นทุนการวางแผนการผลิตในสภาวะปกติที่ไม่เกิดสภาวะล่อแหลม เนื่องจากในสภาวะปกติในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีค่าราคาค้นทุนเป็น 552.1018 \$ และสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงนั้นมีราคาค้นทุนเป็น 587.4449 \$ จากการจ่ายโหลดทั้งสองแบบในสภาวะทำงานปกติทำให้เราทราบได้ว่า ในสภาวะปกตินั้นควรที่จะเลือกวางแผนการผลิตในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เนื่องจากมีกำไรกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง

จากราคาค้นทุนในสภาวะปกติและในสภาวะล่อแหลมนั้น จะทำให้เราทราบได้ว่าในสภาวะปกตินั้นควรที่จะวางแผนการผลิต โดยการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะมีราคาค้นทุนเป็น 552.1018 \$ ซึ่งมีกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงอยู่เป็นจำนวน 35.3431 \$ หากเกิดสภาวะล่อแหลมเกิดขึ้น ควรที่จะวางแผนโดยการจ่ายโหลดอย่างประหยัด 1,773.8441 \$ ซึ่งจะมีผลกำไรอยู่เป็นจำนวน 344.7127 \$ ในสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่สภาวะล่อแหลม และเกิดสภาวะล่อแหลมจะทำให้ราคาค้นทุนที่มีการขาดทุนเท่ากับจำนวน 1,221.7423 \$ เมื่อเทียบกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่สภาวะปกติ



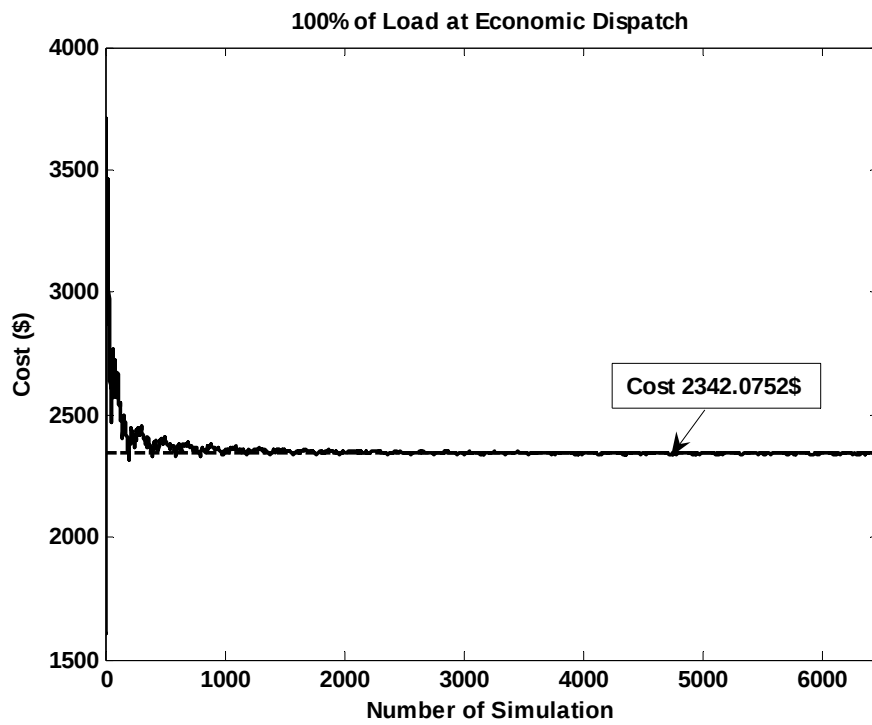
ภาพที่ 4-3 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 83% ของโหลดสูงสุด



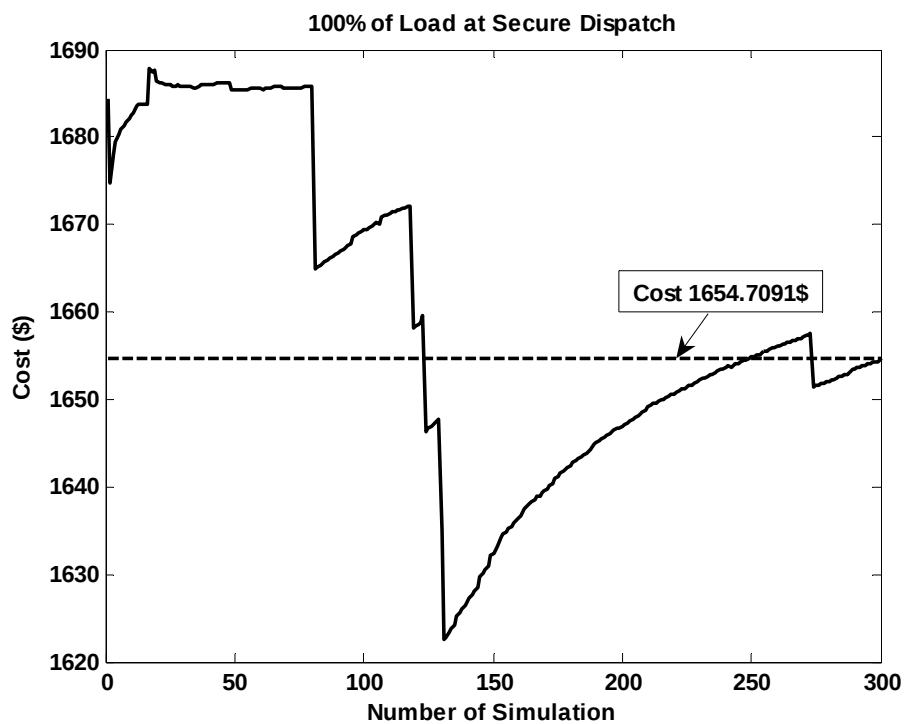
ภาพที่ 4-4 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 83% ของโหลดสูงสุด

จากภาพที่ 4-3 และ ภาพที่ 4-4 จำนวนรอบของการจำลองที่ 83% ของโหนดสูงสุดที่สถานะการจ่ายโหนดอย่างประหยัดนั้นมีค่า 1,126 รอบ ส่วนรอบของการจำลองที่ 83% ของโหนดสูงสุดที่สถานะการจ่ายโหนดที่ความมั่นคงนั้นมีค่า 300 รอบ จากจำนวนการจำลองจะเห็นได้ว่าสถานะความมั่นคงที่ 83% ของโหนด มีการคำนวณที่ใช้เวลาน้อยกว่าอันเนื่องมาจากการกระจายของข้อมูลของราคาต้นทุนมีค่าน้อย และจากภาพที่ 4-3 และ ภาพที่ 4-4 นั้น จะเห็นได้ว่าที่สถานะการจ่ายโหนดอย่างประหยัดที่ 83% ของโหนดสูงสุดนั้น จะมีราคาต้นทุนเมื่อเกิดสถานะล่อแหลมเป็น 1,283.2472 \$ และในสถานะการจ่ายโหนดที่ความมั่นคง 83% ของโหนดสูงสุด จะมีราคาต้นทุน 1,226.8876 \$ จากราคาต้นทุนที่ได้จากการจ่ายโหนดทั้งสองแบบนี้ จะเห็นได้ว่าในสถานะล่อแหลม ควรจะมีการวางแผนการผลิตให้อยู่ในสถานะการจ่ายโหนดความมั่นคง ซึ่งจะทำให้ได้ผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหนดอย่างประหยัดอีกทั้งไม่ขาดทุนมาก จากราคาต้นทุนการวางแผนการผลิตในสถานะปกติที่ไม่เกิดสถานะล่อแหลม เนื่องจากในสถานะปกติในสถานะการจ่ายโหนดอย่างประหยัด มีค่าราคาต้นทุนเป็น 1,235.1972 \$ และสถานะการจ่ายโหนดที่ความมั่นคงนั้นมีราคาต้นทุนเป็น 1,242.8740 \$ จากการจ่ายโหนดทั้งสองแบบในสถานะทำงานปกติทำให้เราทราบได้ว่าในสถานะปกตินั้นควรที่จะเลือกวางแผนการผลิตในสถานะการจ่ายโหนดอย่างประหยัด เนื่องจากมีราคาถูกกว่าการจ่ายโหนดที่ความมั่นคง

จากราคาต้นทุนสถานะปกติและในสถานะล่อแหลมนั้น จะทำให้เราทราบได้ว่าในสถานะปกตินั้นควรที่จะวางแผนการผลิต โดยการจ่ายโหนดอย่างประหยัดจะมีราคาต้นทุนเป็น 1,235.1972 \$ ซึ่งมีกำไรมากกว่าการจ่ายโหนดที่ความมั่นคงอยู่เป็นจำนวน 7.6768 \$ หากเกิดสถานะล่อแหลมเกิดขึ้น ควรที่จะวางแผนโดยการจ่ายโหนดที่ความมั่นคง 1,226.8876 \$ ซึ่งจะมีผลกำไรอยู่เป็นจำนวน 56.3596 \$ ในสถานะการจ่ายโหนดอย่างประหยัดที่สถานะล่อแหลม และเกิดสถานะล่อแหลมจะทำให้ราคาต้นทุนมีผลกำไรเท่ากับจำนวน 8.3096 \$ เมื่อเทียบกับการจ่ายโหนดอย่างประหยัดที่สถานะปกติ



ภาพที่ 4-5 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 100% ของโหลดสูงสุด



ภาพที่ 4-6 ราคาต้นทุนการผลิตที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 100% ของโหลดสูงสุด

จากภาพที่ 4-5 และ ภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่า จำนวนรอบของการจำลองที่ 100% ของโหลดสูงสุดที่สภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้นมีค่า 6,463 รอบ ส่วนจำนวนรอบการจำลองที่ 100% ของโหลดสูงสุดที่สภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงนั้นมีค่า 300 รอบ จากจำนวนการจำลองจะเห็นได้ว่าสภาวะความมั่นคงที่ 100% ของโหลดสูงสุด มีการคำนวณที่ใช้เวลาน้อยกว่าอันเนื่องมาจากการกระจายของข้อมูลมีค่าน้อยกว่า ซึ่งจากผลดังกล่าวนี้ทำให้เมื่อเช็คค่าความคาดหวังว่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% หรือไม่นั้น หากการกระจายของข้อมูลมีค่ามาก ผลลัพธ์ของค่าความคาดหวังที่จะได้ใช้เวลานานเพื่อที่จะได้ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% จากผลลัพธ์ที่ได้ของราคาค้นทุน (ค่าความคาดหวัง) จะเห็นได้ว่าค่าสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 100% ของโหลดนั้น จะมีราคาค้นทุนเมื่อเกิดสภาวะล่อแหลมเป็น 2,342.0752 \$ และในสภาวะการจ่ายโหลด สภาวะความมั่นคงที่ 100% ของโหลดนั้น จะมีราคาค้นทุนเป็น 1,654.7019 \$ จากราคาค้นทุนที่ได้จากการจ่ายโหลดทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่าในสภาวะล่อแหลม ควรจะมีการวางแผนการผลิตให้อยู่ในสภาวะการจ่ายโหลดความมั่นคง ซึ่งจะทำให้ได้ผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดอีกทั้งไม่ขาดทุนมากนัก จากราคาค้นทุนจากสภาวะปกติที่ไม่เกิดสภาวะล่อแหลม เนื่องจากในสภาวะปกติในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีค่าราคาค้นทุนเป็น 1,608.4392 \$ และสภาวะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงมีราคาค้นทุนเป็น 1,683.4250 \$ จากราคาการจ่ายโหลดทั้งสองแบบในสภาวะทำงานปกติทำให้เราทราบได้ว่า ในสภาวะปกติควรจะต้องวางแผนการผลิตในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เนื่องจากมีกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง

จากราคาค้นทุนในสภาวะปกติและในสภาวะล่อแหลมนั้น จะทำให้เราทราบได้ว่าในสภาวะปกติควรที่จะวางแผนการผลิต โดยการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะมีราคาค้นทุนเป็น 1,608.4392 \$ ซึ่งจะมีกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงอยู่จำนวน 74.9858 \$ หากเกิดสภาวะล่อแหลมควรที่จะวางแผนการผลิตโดยการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง 1,654.7091 \$ ซึ่งจะได้ผลกำไรอยู่เป็นจำนวน 687.3661 \$ ในสภาวะการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่สภาวะล่อแหลม และหากเกิดสภาวะล่อแหลมจะมีราคาค้นทุนมีค่าขาดทุนเป็นจำนวน 46.2699 \$ เมื่อเทียบกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในสภาวะปกติ

ตารางที่ 4-2 ราคาต้นทุนและเวลาในการคำนวณของการจ่ายโหลดที่สภาวะล่อแหลม

การจ่ายโหลดที่สภาวะล่อแหลม	ราคาต้นทุน	เวลาในการคำนวณ
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51 % ของโหลดสูงสุด	2118.5568 \$	11175นาที่ 6.517วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 51 % ของโหลดสูงสุด	1773.8441 \$	14787นาที่ 33.286วินาที
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 83 % ของโหลดสูงสุด	1226.8877 \$	86นาที่ 10.511วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 83 % ของโหลดสูงสุด	1283.2472 \$	293นาที่ 32.109วินาที
การจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 100 % ของโหลดสูงสุด	1654.7091 \$	136นาที่ 37.333วินาที
การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ 100 % ของโหลดสูงสุด	2342.0752 \$	3141นาที่ 45.009วินาที

จากผลการทดลองในระบบทดสอบ RTS-79 จะได้ผลดังภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-6 นั้นได้จากการสุ่มสถานะของอุปกรณ์เพื่อหาการหลุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้าได้แก่ สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดสภาวะล่อแหลม (N-1) ในระบบไฟฟ้ากำลัง จากการหลุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบ ทำให้ข้อมูลสายส่งไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อสายส่งไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าหลุด ส่วนข้อมูลบัสจะเปลี่ยนแปลงไปหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลุดออกจากระบบ แล้วทำการรันโหลดโพล์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่บัส กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้ระบบไฟฟ้า หากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด หรือกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งไฟฟ้าไหลเกินพิกัด ให้ทำการแก้ไขปัญหาก่อนการตัดโหลด การแก้ไขปัญหของวิธีการดังกล่าวทำได้โดยการเปลี่ยนแทปของหม้อแปลงไฟฟ้า ปรับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะไหลจากแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังแรงดันไฟฟ้าต่ำ หากกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด การแก้ไขปัญหาก็ทำได้โดยการฉีดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่บัสต้นสายของสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด และเพิ่มการฉีดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่บัสปลายสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด หากการแก้ไขปัญหด้วยวิธีการดังกล่าวมาไม่เป็นผลสำเร็จให้ทำการตัดโหลด เพื่อรักษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้า แล้วทำการวิเคราะห์โหลดโพล์อีกครั้ง เมื่อแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ให้ทำการคำนวณหาราคาต้นทุน (ค่าความคาดหวัง) แล้วทำการสุ่มสถานะของอุปกรณ์เพื่อหาการหลุดของอุปกรณ์แล้วคำนวณราคาต้นทุนต่อไปทำซ้ำจนกว่าค่าราคาต้นทุนจะมีค่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% แล้วหยุดการคำนวณและเก็บผลของคำตอบ ซึ่งผลของคำตอบแต่ละแผนการผลิตจะแสดงในภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-6 จากผลการทดลองทำให้ทราบได้ว่า เมื่อเกิดสภาวะล่อแหลมจะทำให้ราคา

ต้นทุนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากราคาต้นทุนในสภาวะปกติ ซึ่งราคาต้นทุนของการจ่ายโหลดที่สภาวะปกติจะแสดงในตารางที่ 4-1 และราคาต้นทุนของการจ่ายโหลดที่สภาวะล่อแหลมจะแสดงในตารางที่ 4-2 ราคาต้นทุนที่แสดงในตารางดังกล่าวประกอบไปด้วยราคาพลังงานและราคาไฟฟ้าดับ

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าในสภาวะปกติที่โหลด 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด การวางแผนการผลิตควรเลือกวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เนื่องจากได้ผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง และตารางที่ 4-2 ที่โหลด 51% ของโหลดสูงสุด ควรเลือกวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเพื่อที่จะได้ผลกำไรมาก หากโหลดมีค่า 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด ควรเลือกวางแผนการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงเพื่อที่จะได้ผลกำไร ลักษณะของข้อมูลเมื่อโหลดมีค่า 51% ของโหลดสูงสุด จะมีการกระจายตัวสูงของค่าของข้อมูลทำให้การคำนวณของโปรแกรมใช้เวลานาน ค่าของข้อมูลหรือค่าความคาดหวังนั้นจะคำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัว

4.2 สรุป

การวิเคราะห์หาราคาต้นทุนและผลกำไร เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของอุปกรณ์ (N-1) ในระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่บัส กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง และการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้เกิดผลกระทบต่อราคาต้นทุน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนั้นอาจทำให้ต้องเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้า หรืออาจต้องมีการตัดโหลดเพื่อรักษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้าไว้ การหาราคาต้นทุนเมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องจะใช้เทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อใช้ในการสุ่มหาเหตุการณ์ขัดข้องของแต่ละอุปกรณ์ แล้วใช้การวิเคราะห์นิวตัน-ราฟสัน เพื่อหาลำดับการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด และพิจารณาหาราคาต้นทุนจากราคาพลังงานและราคาไฟฟ้าดับ แล้วนำราคาต้นทุนมาวิเคราะห์เพื่อเลือกการวางแผนการผลิตระยะสั้นในสภาวะล่อแหลม

การวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไรนั้น ในสภาวะปกติที่โหลด 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด การวางแผนการผลิตควรเลือกวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เนื่องจากได้ผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง ในสภาวะล่อแหลมที่โหลด 51% ของโหลดสูงสุด ควรเลือกวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเพื่อที่จะได้ผลกำไร และที่โหลดมีค่า 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด หากต้องการวางแผนการผลิต เพื่อให้ได้ผลกำไรควรเลือกวางแผนการผลิตโดยเลือกการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สิ่งสำคัญที่ได้จากงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้เมื่อเราทราบแผนการผลิตไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแผนการผลิตไฟฟ้าแบบใด หากต้องการเลือกวางแผนการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผลกำไร สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมในงานวิจัยนี้เลือกวางแผนการผลิต โปรแกรมในงานวิจัยนี้จะสามารถทำการวิเคราะห์หาราคาดำเนินทุนของแต่ละแผนการผลิตไฟฟ้าได้ เพื่อนำไปใช้หาแผนการผลิตไฟฟ้าที่ให้ค่าราคาดำเนินทุนต่ำสุด และเป็นไปตามเงื่อนไขความมั่นคง

การวิเคราะห์หาราคาดำเนินทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 บนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ ซึ่งพัฒนาโปรแกรมจากโปรแกรม PSSAF บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ [1] โปรแกรมดังกล่าวนี้สามารถใช้วิเคราะห์ แรงดันไฟฟ้า มุมเฟส กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งเข้าบัสในแต่ละบัส รวมถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จากการใช้โปรแกรม PSSAF วิเคราะห์นั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์หาราคาดำเนินทุนและผลกำไรเป็นอย่างยิ่ง การคำนวณหาราคาดำเนินทุนและผลกำไรนั้นจะคิดราคาที่สถานะการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และสถานะการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงที่ 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุดนั้น สถานะการจ่ายโหลดดังกล่าวจะถูกนำมาพิจารณาในการเลือกแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไรในสถานะล่อแหลม

5.2 สรุปผลการจำลอง

การวางแผนการผลิตไฟฟ้าในอดีตนั้นจะใช้เกณฑ์การตัดสินใจโดยอาศัยประสบการณ์ แต่ปัจจุบันธุรกิจการซื้อขายพลังงานไฟฟ้ามีการแข่งขันอย่างเสรี และระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ การวางแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า จึงต้องรักษาระดับความมั่นคงจากเหตุการณ์ขัดข้อง โดยปรกติเหตุการณ์ขัดข้องจะเกิดในสถานะล่อแหลม (N-1) เป็นส่วนใหญ่ การจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นสามารถหาได้จากการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล วิธีการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล จะพิจารณาผลการทำงานของระบบแทนการแก้ปัญหาด้วยการแก้สมการโดยตรง และหาค่าความคาดหวังของราคาดำเนินทุนซึ่งจะหาได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์แบบนิวตัน-ราฟสัน

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการหาราคาคำนวณและผลกำไรจากการวางแผนการผลิตไฟฟ้า กับระบบทดสอบ RTS-79 ที่โหลด 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด และเลือกการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไร โดยใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรน 77 พัฒนาโปรแกรม เนื่องจากฟอร์แทรน 77 เป็นโปรแกรมที่รวดเร็วในการคำนวณและเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ การพัฒนาโปรแกรมจะรับผลการทำงานบนระบบปฏิบัติการซูซีลินุกซ์ เนื่องจากระบบปฏิบัติการนี้มีเสถียรภาพการทำงานสูงไม่ค่อยพบปัญหาาระบบล่มในระหว่างการทำงาน และสามารถทำงานได้หลาย ๆ งานได้พร้อมกัน ทำให้ไม่ต้องรอให้งานที่ค้างไว้เสร็จสิ้นเสียก่อนจึงจะทำงานต่อไปได้ อีกทั้งสามารถรับผลบนเซิร์ฟเวอร์ ทำให้ไม่ต้องเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลค้างไว้เพื่อแสดงการรับผลแต่ละรอบการทำงาน

การวิเคราะห์หาราคาคำนวณและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะล่อแหลมด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลนี้ จะใช้วิเคราะห์เพื่อหาการวางแผนการผลิตไฟฟ้าในระยะสั้น เมื่อเกิดสถานะล่อแหลม โปรแกรมนี้จะทำงานโดยการจำลองเหตุการณ์ซับซ้อนของอุปกรณ์ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยวิธีการสุ่มสถานะของอุปกรณ์ การสุ่มสถานะของอุปกรณ์นี้จะไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ และแต่ละช่วงเวลาจะไม่ขึ้นกับช่วงเวลาอื่น ขั้นตอนการสุ่มสถานะนั้นจะเริ่มจากการก่อกำเนิดจำนวนสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยตัวเลขสุ่มที่ได้จะใช้เปรียบเทียบกับอัตราการจัดข้อแบบบังคับหรือความไม่พร้อมใช้งานแต่ละอุปกรณ์ ค่าของตัวเลขสุ่มที่ใช้เปรียบเทียบกับแต่ละอุปกรณ์นั้นจะมีค่าไม่ซ้ำกัน หากตัวเลขสุ่มที่ใช้เปรียบเทียบกับค่ามากกว่าค่าอัตราการจัดข้อแบบบังคับก็หมายความว่า อุปกรณ์ที่พิจารณาไม่ล้มเหลวหรือไม่หลุดออกจากระบบไฟฟ้า ในทางตรงข้ามหากตัวเลขสุ่มที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าน้อยกว่าค่าอัตราการจัดข้อแบบบังคับ ก็หมายความว่าอุปกรณ์ที่พิจารณาล้มเหลวหรือหลุดออกจากระบบไฟฟ้า โดยปรกติการเกิดเหตุการณ์ซับซ้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง จะมีการออกแบบให้อุปกรณ์หลุดเพียงหนึ่งอุปกรณ์ และเหตุการณ์จริงจะเกิดอุปกรณ์หลุดเพียงหนึ่งอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่เกิดเหตุการณ์ซับซ้อนในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากสายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลบัส และข้อมูลสายส่ง แล้วทำการวิเคราะห์โหลดโพล์เพื่อหาแรงดันไฟฟ้าที่บัส กำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายส่ง และกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่ายให้ระบบไฟฟ้า หากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์ไม่อยู่ในขีดจำกัดของแรงดันและกำลังไฟฟ้า ให้ทำการแก้ไขก่อนทำการตัดโหลด การแก้ไขหากแรงดันที่บัสไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด การแก้ไขปัญหของวิธีการดังกล่าวทำได้โดยการเปลี่ยนแทปของหม้อแปลงไฟฟ้า ปรับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะไหลจากแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังแรงดันไฟฟ้าต่ำ การแก้ไขหากกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายส่งไฟฟ้าเกิน

พิกัด การแก้ไขปัญหาทำได้โดยลดการฉีดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่บัสต้นสายของสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด และเพิ่มการฉีดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่บัสปลายสายส่งไฟฟ้าเกินพิกัด หากแรงดันและกำลังไฟฟ้าอยู่ในขีดจำกัดของความมั่นคงให้คำนวณหาความคาดหวังของราคาในแต่ละครั้งที่อุปกรณ์หลุดออกจากระบบไฟฟ้า แล้วทำการสุ่มสถานะใหม่เพื่อหาอุปกรณ์หลุดออกจากระบบไฟฟ้า แล้วทำตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้เพื่อหาความคาดหวังของราคา หากค่าความคาดหวังมีค่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% ก็สิ้นสุดการทำงาน หากไม่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่นให้หาความคาดหวังของราคาซ้ำ จนกว่าจะอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นก่อนจบการทำงาน และได้ผลลัพธ์เป็นค่าความคาดหวังราคาสุดท้าย

ราคาค่าต้นทุนในสถานะปกติที่โหลด 51%, 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด แสดงในตารางที่ 4-1 เมื่อต้องการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไรควรเลือกการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เมื่อเกิดสถานะล่อแหลมราคาค่าต้นทุนในสถานะล่อแหลมจะแสดงในภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-6 จะสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4-2 จากผลลัพธ์ที่ได้หากเกิดสถานะล่อแหลมที่โหลด 51% ของโหลดสูงสุด ควรเลือกการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไรโดยเลือกการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เนื่องจากราคาค่าต้นทุนของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงอยู่ 344.7127 \$ และที่โหลด 83% และ 100% ของโหลดสูงสุด ควรวางแผนการผลิตโดยเลือกการจ่ายโหลดที่ความมั่นคง ผลกำไรจากการจ่ายโหลดที่ความมั่นคงจะมีผลกำไรมากกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเท่ากับ 56.3595 \$ และ 687.3661 \$ ที่โหลด 83% และ 100% ของโหลดสูงสุดตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาจากโปรแกรมต่อจาก PSSAF (Power System Security Analysis with Fortran 77) เพื่อการคำนวณหาราคาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้า เพื่อการวางแผนการผลิตในสถานะล่อแหลมซึ่งเป็นการวางแผนในระยะสั้น เนื่องด้วยวิทยานิพนธ์นี้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลต่างๆ ได้อย่างครอบคลุมทุกด้าน การพัฒนาโปรแกรมดังกล่าวเพิ่มเติมจะกล่าวดังนี้

5.2.1 พัฒนาโปรแกรมให้สามารถหาค่าราคาค่าต้นทุนให้รู้เข้าได้เร็วขึ้น ด้วยเทคนิคลดความแปรปรวน (Variance Reduction Technique) ทำให้สามารถลดเวลาในการคำนวณ

5.2.2 พัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์โหลดโพล์ที่สามารถคำนึงถึงส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลังที่ถูกตัดออกจากระบบ (Island)

5.2.3 พัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์โหลดโพล์กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ได้เร็วขึ้น ด้วยการนำเทคนิคสเปิร์สเมตริกซ์ (Sparse Matrix)

5.2.4 พัฒนาโปรแกรมให้สามารถติดต่อกับผู้ใช้ได้ง่ายขึ้น หรือ GUI (Graphic User Interface)

เพื่อใช้กรอกข้อมูลบัส และข้อมูลสายส่ง ของโครงสร้างระบบไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

1. รสสุคนธ์ หังสพฤกษ์. การเขียนโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2532.
2. ชูศรี พันธุ์ทอง. สถิติเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2543.
3. จีระเดช ดวงมะลิ. การคัดเลือกและจัดเรียงลำดับความรุนแรงของสภาวะล่อแหลมในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการคงค่าแรงดันที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
4. วันไชย คำเสน. การวิเคราะห์ความมั่นคงในระบบไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมภาษา Fortran 77. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
5. ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์. การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนในเพลาดรงภาคตัดไม่กลมที่อยู่ภายใต้แรงบิดโดยวิธีมอนติคาร์โล. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
6. กิตติศักดิ์ ม่วงเงิน. การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
7. Reuven Y. Rubinstein. Simulation and the Monte Carlo Method. New York : John Wiley & Sons, c1981.
8. J. J. Grainger and W. D. Stevenson. Power System Analysis. New Jersey : McGraw-Hill, c1994.
9. A. J. Wood and B. F. Wollenberg. Power generation, operation, and control. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1996.
10. Erwin Kreyszig. Advanced Engineering Mathematics. 8th ed. Singapore : John Wiley & Sons, c1999.
11. Hadi Saadat. Power System Analysis. New Jersey : McGraw-Hill, c1999.
12. Charles A. Gross. Power System Analysis. New York : John Wiley & Sons, c1996.
13. G.T. Heydt. Computer Analysis Methods for Power System. New York : Macmillan, c1986.

14. D. S. Jayaweera. Value of Security Assessment – Extensions and Application. Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering & Electronics, University of Manchester Institute of Science and Technology, 2003.
15. L. Nyhoff. and S. Leestma. Fortran 77 for Engineers and Scientists with an Introduction to Fortran 90. 4th ed. New Jersey : Prentice-Hall, c1996.
16. Tao Pang. An Introduction to Computational Physics. New York : Cambridge University Press, c1997.
17. Roy Billinton and Ronald N. Allan. Reliability Evaluation of Power Systems. United State : Plenum Press, c1983.
18. Reliability test system task force. “IEEE reliability test systems.” IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-98, No. 6, (November/December, 1979) : 2047–2054.
19. Y. Zhao, N. Zhou, J. Zhou, K. Xie, Y.Liu and J. Kuang. “A Heuristic Approach to Local Load Shedding Scheme for Reliability Assessment of Bulk Power Systems.” IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific. (July, 2005) : 1-5.
20. D. S. Kirschen, K. R. W. Bell, D.P. Nedic, D. Jayaweera and R. N. Allan. “Computing the Value of Security.” IEE Proc.—Gener. Transm. Distrib. Vol. 150, No. 6, (November, 2003) : 673–678.
21. A. Mohamed, G. B. Jasmon. “Realistic power system security algorithm.” IEE Proceedings Pt.C. Vol. 135, No. 2, (March, 1988) : 98–106.
22. R. Billinton, L. Gan. “Use of Monte Carlo Simulation in Teaching Generating Capacity Adequacy Assessment.” IEEE Transmission on Power Systems. (November, 1991) : 1571-1577.
23. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery. Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing. 2nd ed. United State : Cambridge University Press, c1992.
24. Stagg and El-Abiad. Computer methods in power system analysis. New York : McGraw-Hill, c1968.

25. Teratam Bunyagul. Testing Variance Reduction Techniques. M.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering & Electronics, University of Manchester Institute of Science and Technology, 1998.
26. Annapoorani Jonnavithula. Composite System Reliability Evaluation Using Sequential Monte Carlo Simulation. Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering, University of Saskatchewan, 1997.
27. บัณฑิต จามรภูติ. การติดตั้ง-ใช้งานลินุกซ์ทะเลและปลาดาวออฟฟิศ. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.
28. ประภาพร ช่างไม้. Linux ฉบับผู้เริ่มต้น. กรุงเทพมหานคร : อินโฟเพรส, 2545.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลระบบทดสอบ

IEEE Reliability Test System (RTS-79)

ระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System (RTS-79) [13], [18]

ข้อมูลของระบบทดสอบ 24 บัส เป็นระบบทดสอบที่มี เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 33 เครื่อง สายส่ง 38 เส้น หม้อแปลงไฟฟ้า 5 ตัว และชั้นตัดรีแอกเตอร์ 1 ตัว ชินโครนัสเจนเนอเรเตอร์ 1 เครื่อง

ตารางที่ ก-1 พารามิเตอร์สายส่ง, พิกัดของสายส่ง, และข้อมูลความเชื่อถือได้

From Bus	To Bus	P.U./100MVA base			Rating (MVA)			Outage Rate(1/yr)	Equipment
		R	X	B	Normal	Short	Long		
1	2	0.0026	0.0139	0.4611	175	200	193	0.24	138kV(cable)
1	3	0.0546	0.2112	0.0572	175	220	208	0.51	138kV(line)
1	5	0.0218	0.0845	0.0229	175	220	208	0.33	138kV(line)
2	4	0.0328	0.1267	0.0343	175	220	208	0.39	138kV(line)
2	6	0.0497	0.1920	0.0520	175	220	208	0.48	138kV(line)
3	9	0.0308	0.1190	0.0322	175	220	208	0.38	138kV(line)
3	24	0.0023	0.0839	0.0000	400	600	510	0.02	Transformer
4	9	0.0268	0.1037	0.0281	175	220	208	0.36	138kV(line)
5	10	0.0228	0.0883	0.0239	175	220	208	0.34	138kV(line)
6	10	0.0139	0.0605	2.4590	175	200	193	0.33	138kV(cable)
7	8	0.0159	0.0614	0.0166	175	220	208	0.30	138kV(line)
8	9	0.0427	0.1651	0.0447	175	220	208	0.44	138kV(line)
8	10	0.0427	0.1651	0.0447	175	220	208	0.44	138kV(line)
9	11	0.0023	0.0839	0.0000	400	600	510	0.02	Transformer
9	12	0.0023	0.0839	0.0000	400	600	510	0.02	Transformer
10	11	0.0023	0.0839	0.0000	400	600	510	0.02	Transformer
10	12	0.0023	0.0839	0.0000	400	600	510	0.02	Transformer
11	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	625	600	0.40	230kV(line)
11	14	0.0054	0.0418	0.0879	500	625	600	0.39	230kV(line)
12	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	600	525	0.40	230kV(line)
12	23	0.0124	0.0966	0.2030	500	600	525	0.52	230kV(line)
13	23	0.0111	0.0865	0.1818	500	600	525	0.49	230kV(line)

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

From Bus	To Bus	P.U./100MVA base			Rating (MVA)			Outage	Equipment
		R	X	B	Normal	Short	Long	Rate(1/yr)	
14	16	0.0050	0.0389	0.0818	500	625	600	0.38	230kV(line)
15	16	0.0022	0.0173	0.0364	500	625	600	0.33	230kV(line)
15	21	0.0063	0.0490	0.1030	500	600	525	0.41	230kV(line)
15	21	0.0063	0.0490	0.1030	500	600	525	0.41	230kV(line)
15	24	0.0067	0.0519	0.1091	500	600	525	0.41	230kV(line)
16	17	0.0033	0.0259	0.0545	500	600	525	0.35	230kV(line)
16	19	0.0030	0.0231	0.0485	500	600	525	0.34	230kV(line)
17	18	0.0018	0.0144	0.0303	500	600	525	0.32	230kV(line)
17	22	0.0135	0.1053	0.2212	500	625	600	0.54	230kV(line)
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	625	600	0.35	230kV(line)
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	625	600	0.35	230kV(line)
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	600	525	0.38	230kV(line)
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	600	525	0.38	230kV(line)
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	600	525	0.34	230kV(line)
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	600	525	0.34	230kV(line)
21	22	0.0087	0.0678	0.1424	500	600	525	0.45	230kV(line)
6	0	0.0000	0.0000	-1.000	193	200	193	0.02	Shunt Reactor

ตารางที่ ก-2 การจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Generator Name	Variable cost (\$/MWh)	Units' schedule (MW)					
		100% of peak load		83% of peak load		51% of peak load	
		Economic	Secure	Economic	Secure	Economic	Secure
G1	5.0	0	0	0	0	0	0
G2	5.0	0	0	0	0	0	0
G3	0.9	0	70	0	40	0	0
G4	0.9	40	70	40	40	0	0
G5	5.0	0	0	0	0	0	0
G6	5.0	0	0	0	0	0	0
G7	0.9	40	70	0	40	0	0
G8	0.9	40	70	0	40	0	0
G9	0.8	80	80	0	0	0	0
G10	0.8	80	80	90	65	0	0
G11	0.8	80	80	90	65	0	0
G12	0.7	197	190	0	125	0	0
G13	0.7	197	190	175	125	0	110
G14	0.7	197	190	175	125	0	0
G15	0.9	8	6	6.5	6	0	0
G16	0.9	8	6	6.5	6	0	0
G17	0.9	6	6	0	0	0	0
G18	0.9	6	6	0	0	0	0
G19	0.9	0	6	0	0	0	0
G20	0.8	140	140	140	80	0	0
G21	0.8	140	140	115	135	90	85
G22	0.3	400	380	400	400	400	400
G23	0.3	400	380	400	400	400	300
G24	0.0	50	40	50	50	50	50
G25	0.0	50	40	50	50	50	50

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

Generator Name	Variable cost (\$/MWh)	Units' schedule (MW)					
		100% of peak load		83% of peak load		51% of peak load	
		Economic	Secure	Economic	Secure	Economic	Secure
G26	0.0	50	40	50	50	50	50
G27	0.0	50	40	50	50	50	50
G28	0.0	50	40	50	50	50	50
G29	0.0	50	40	50	50	50	50
G30	0.8	80	80	83	80	88	85
G31	0.8	117	117	83	80	88	85
G32	0.7	300	300	320	265	200	190
G33	0.0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ก-3 ความจุในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิด

Size (MW)	MVar	
	Minimum	Maximum
12	0	6
20	0	10
50	-10	16
76	-25	30
100	0	60
155	-50	80
197	0	80
350	-25	150
400	-50	200

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลของโหลดที่ 51 % 83% และ 100 % ของโหลดสูงสุด

Bus	100% of Load		83% of Load		51% of Load	
	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar
1	108.00	22.00	89.64	18.26	55.08	11.22
2	97.00	20.00	80.51	16.60	49.47	10.20
3	180.00	37.00	149.40	30.71	91.80	18.87
4	74.00	15.00	61.42	12.45	37.74	7.65
5	71.00	14.00	58.93	11.62	36.21	7.14
6	136.00	28.00	112.88	23.24	69.36	14.28
7	125.00	25.00	103.75	20.75	63.75	12.75
8	171.00	35.00	141.93	29.05	87.21	17.85
9	175.00	36.00	145.25	29.88	89.25	18.36
10	195.00	40.00	161.85	33.20	99.45	20.40
13	265.00	54.00	219.95	44.82	135.15	27.54
14	194.00	39.00	161.02	32.37	98.94	19.89
15	317.00	64.00	263.11	53.12	161.67	32.64
16	100.00	20.00	83.00	16.60	51.00	10.20
18	333.00	68.00	276.39	56.44	169.83	34.68
19	181.00	37.00	150.23	30.71	92.31	18.87
20	128.00	26.00	106.24	21.58	65.28	13.26
Total	2850.00	580.00	2365.50	481.40	1453.50	295.80

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลความเชื่อถือได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Unit Size (MW)	Number of units	MTTF (Hour)	MTTR (Hour)	λ	FOR
12	5	2940	60	2.97	0.02
20	4	450	50	19.41	0.10
50	6	1980	20	4.41	0.01
76	4	1960	40	4.45	0.02
100	3	1200	50	7.28	0.04
155	3	960	40	9.10	0.04
197	4	950	50	9.19	0.05
350	1	1150	100	7.60	0.08
400	2	1100	150	7.94	0.12

Notes:

(1) $MTTF$ = mean time to failure

(2) $MTTR$ = mean time to repair

(3) Forced outage rate = $\frac{MTTR}{MTTF + MTTR}$

ตารางที่ ก-6 อุปกรณ์ชดเชยแรงดันไฟฟ้า

Device	λ	Bus	MVAr capacity
Synchronous Condensor (G15)	2.0	14	50 Reactive 200 Capacitive
Shunt Reactor	0.02	6	1 Reactive

ตารางที่ ก-7 ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

BUS	Unit1	Unit2	Unit3	Unit4	Unit5	Unit6
	MW	MW	MW	MW	MW	MW
1	20	20	76	76	-	-
2	20	20	76	76	-	-
7	100	100	100	-	-	-
13	197	197	197	-	-	-
15	12	12	12	12	12	155
16	155	-	-	-	-	-
18	400	-	-	-	-	-
21	400	-	-	-	-	-
22	50	50	50	50	50	50
23	155	155	350	-	-	-

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลราคาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Size MW	Type	Fuel	System Marginal Price \$/MWh
12	Fossil Steam	Oil	0.90
20	Combustion Turbine	Oil	5.00
50	Hydro	-	0.00
76	Fossil Steam	Coal	0.90
100	Fossil Steam	Oil	0.80
155	Fossil Steam	Coal	0.80
197	Fossil Steam	Oil	0.70
350	Fossil Steam	Coal	0.70
400	Nuclear Steam	LWR	0.30

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายวัชรพงษ์ นิยมพงษ์

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและผลกำไรของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะล่อแหลม
ด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

เกิดเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2522 เป็นบุตรคนโต ของ พ.ต.ต.ภาธร นิยมพงษ์ และนางอรุณ นิยมพงษ์ ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 74/280 ซอยพหลโยธิน 1 (ลือชา) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนัก
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2545