

การจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียโดยอาศัยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม



นายศุภศิษย์ ศรีสวัสดิ์นุกภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR LOSS REDUCTION USING A GENETIC
ALGORITHM



Mr. Supasit Srisawadnupap

คณะวิศวกรรมศาสตร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

ศุภศิษย์ ศรีสวัสดิ์นภาพ : การจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียโดยอาศัยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม. (DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR LOSS REDUCTION USING A GENETIC ALGORITHM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, 102 หน้า.

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นส่วนที่มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสูงที่สุด การปรับปรุงระบบเพื่อลดพลังงานสูญเสียสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากก็คือ การจัดเรียงสายป้อนเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย อย่างไรก็ตาม ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ให้มีพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดเป็นปัญหาที่ซับซ้อนเนื่องจากมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาเป็นจำนวนมาก ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเป็นการหาค่าเหมาะสมแบบหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาค่าขีดสุดที่มีความซับซ้อนได้ดี วิธีดังกล่าวอาศัยการเลียนแบบวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า ในวิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายโดยประยุกต์ใช้พื้นฐานขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเพื่อหารูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำที่สุด วิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลทั้งกรณีโหลดสมดุลและโหลดไม่สมดุล วิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับระบบ IEEE 16-bus และระบบ 33-bus ระบบทดสอบของ Roy Billinton และระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากผลการศึกษาทั้ง 4 ระบบพบว่าระบบมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียลดลง 10.21% , 36.43% , 7.59% , 22.18% ตามลำดับ ผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....สงสิทธิ์.....ดร.วีระรัตน์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2551.....

4970806021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: FEEDER RECONFIGURATION, GENETIC ALGORITHM

SUPASIT SRISAWADNUPAP : DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR
LOSS REDUCTION USING A GENETIC ALGORITHM. THESIS PRINCIPAL ADVISOR :
KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 102 pp.

Distribution system generally has the highest power loss compared to other parts of a power system. There are several methods to cope with this loss calculation. Feeder reconfiguration for power loss reduction is one of the most efficient methods that consume less investment cost. However, it is quite complicated since there are many related variables. Genetic algorithm is an optimization method that is suitable, and can be easily applied to such complicated problems. It imitates principles of genetics comprising reproduction, crossover, and mutation. This thesis proposes a distribution feeder reconfiguration for loss reduction using a genetic algorithm to find the optimal feeder configuration that causes minimum loss. The proposed method can be applied with both balanced and unbalanced radial systems. It is tested with IEEE 16-bus system and 33-bus system, Roy Billinton Test System and PEA system. Satisfactory results are obtained. The configurations obtained from the proposed method can reduce energy losses of 10.21 %, 36.43 %, 7.59 % and 22.18 %, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department :.....Electrical Engineering.....

Student's signature :.....

Field of study :.....Electrical Engineering.....

Principal Advisor's signature :.....

Academic year :2008.....

Supasit Srisawadnupap
Kulyos Audomvongserree

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.กฤษศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร.เนบบุญ หุ่นเจริญ และดร.ประดิษฐ์ เพ็องฟู ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ทำยนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ คุณตา ที่ให้กำลังใจตลอดมา รวมถึง พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 การจัดเรียงสายป้อน.....	6
2.1 การหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	7
2.2 การตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	9
บทที่ 3 การวิเคราะห์ปม.....	13
3.1 แบบจำลองโหลด.....	17
3.2 ตัวอย่างการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปม.....	17
บทที่ 4 ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	28
4.1 การลงรหัส (Encoding).....	29
4.1.1 การลงรหัสโดยทั่วไป.....	29
4.1.2 การลงรหัสสำหรับการจัดเรียงสายป้อน.....	29
4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization).....	30
4.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value).....	31

4.4 การคัดเลือก (Reproduction).....	31
4.5 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover).....	33
4.5.1 พื้นฐานการข้ามสายพันธุ์.....	33
4.5.2 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์.....	33
4.6 การผ่าเหล่า (Mutation).....	35
4.7 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป.....	36
4.8 เงื่อนไขการหยุด.....	36
4.9 ตัวอย่างการหาจุดเหมาะสมโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	38
บทที่ 5 การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	42
5.1 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus.....	42
5.2 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus.....	49
5.3 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton (RBTS).....	56
5.4 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	63
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	70
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก ระบบทดสอบ.....	76
ก.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus.....	76
ก.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus.....	78
ก.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ Roy Billinton (RBTS).....	82
ก.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	83
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ.....	88
ภาคผนวก ค การทดสอบ.....	91
ค.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-bus.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างหลักการหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	8
2.2 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบโครงสร้าง ไม่เป็นแบบเรเดียล.....	10
2.3 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบโครงสร้าง เป็นแบบเรเดียล.....	11
3.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	17
3.2 ข้อมูลโหลดของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	18
3.3 ผลลัพธ์แหล่งจ่ายแรงดันกึ่งของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	19
3.4 ผลลัพธ์เวกเตอร์แหล่งจ่ายกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	20
3.5 ผลลัพธ์ค่าเวกเตอร์ i_s ในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	21
3.6 ผลลัพธ์แรงดันปมในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	22
3.7 ผลลัพธ์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส	23
3.8 ผลลัพธ์สุดท้ายของเวกเตอร์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบ จำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส.....	25
3.9 ผลลัพธ์สุดท้ายของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่กึ่งในการวิเคราะห์ปมของระบบจำหน่าย อย่างง่าย 5 บัส.....	27
4.1 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส.....	30
4.2 การคัดเลือก.....	32
4.3 ผลการแก้ปัญหาของฟังก์ชันในตัวอย่างหัวข้อ 4.9.....	39
5.1 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสม ด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 16-bus.....	43
5.2 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบ IEEE 16-bus.....	46
5.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อน ทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ปมในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	47

5.4 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 33-bus	50
5.5 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบ IEEE 33-bus	53
5.6 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	54
5.7 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบทดสอบ RBTS	57
5.8 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบ Roy Binllinton	60
5.9 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	61
5.10 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	64
5.11 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	67
5.12 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	68
ก.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE 16-bus	76
ก.2 ข้อมูลบัสของระบบ IEEE 16-bus	77
ก.3 ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE 33-bus	79
ก.4 ความยาวและชนิดของสายป้อนของระบบทดสอบ Roy Binllinton	82
ก.5 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA01	85
ก.6 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA06	85
ข.1 เมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (A) ของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส รูปที่ 3.4	89
ข.2 เมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ (Y_n) ของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส รูปที่ 3.4	90
ค.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่าย IEEE 69-bus	92
ค.2 ข้อมูลบัสของระบบ IEEE 69-bus	95
ค.3 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบ IEEE 16-bus	97
ค.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีที่นำเสนอและวิธี [34]	97
ค.5 กำลังสูญเสียในสายป้อนก่อนและหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีที่นำเสนอ	98

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างหลักการหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	8
2.2 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบโครงสร้าง ไม่เป็นแบบเรเดียล.....	9
2.3 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบโครงสร้าง เป็นแบบเรเดียล.....	11
3.1 ตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดไม่สมดุล.....	13
3.2 วงจรสมมูลของตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดไม่สมดุล.....	14
3.3 แบบจำลองกิ่ง (branch model).....	15
3.4 แผนภาพแสดงแนวคิดการคำนวณกำลังสูญเสียรวมของวิธีการวิเคราะห์ห้ปม.....	16
3.5 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างง่าย 5 บัส.....	17
3.6 วงจรสมมูลของตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้ารูปที่ 3.4.....	18
4.1 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส.....	30
4.2 การคัดเลือก.....	32
4.3 การข้ามสายพันธุ์พื้นฐาน.....	33
4.4 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์.....	35
4.5 การผ่าเหล่ากรณี $i = 2$	36
4.6 แผนภาพแสดงแนวคิดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	37
4.7 แผนภาพแสดงแนวคิดการจัดเรียงสายป้อนโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	41
5.1 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus.....	43
5.2 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการที่นำเสนอ.....	44
5.3 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการ ที่นำเสนอ.....	44
5.4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่ นำเสนอ.....	45

5.5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการ ประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ	45
5.6 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ	48
5.7 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุ และใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	48
5.8 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus	49
5.9 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการที่นำเสนอ	50
5.10 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการที่นำเสนอ	51
5.11 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่ นำเสนอ	51
5.12 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่ นำเสนอ	52
5.13 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ	55
5.14 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบ สมดุและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	56
5.15 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS	57
5.16 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการที่นำเสนอ	58
5.17 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อน ด้วยวิธีการที่นำเสนอ	58
5.18 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่ นำเสนอ	59
5.19 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วย วิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่ นำเสนอ	59

5.20	ระบบทดสอบ RBTS หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ.....	62
5.21	ระบบทดสอบ RBTS หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	62
5.22	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	63
5.23	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	64
5.24	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	65
5.25	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	65
5.26	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	66
5.27	ระบบทดสอบ Roy Billinton หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยวิธีการที่นำเสนอและการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	69
ก.1	ระบบทดสอบ IEEE 16-bus.....	76
ก.2	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ IEEE 16-bus.....	78
ก.3	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ IEEE 16-bus.....	78
ก.4	ระบบทดสอบ IEEE 33-bus.....	79
ก.5	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ IEEE 33-bus.....	81
ก.6	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ IEEE 33-bus.....	81
ก.7	วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Binllinton.....	82
ก.8	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ Roy Billinton.....	83
ก.9	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ Roy Billinton.....	83
ก.10	วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01 และ KWA06.....	84
ก.11	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	86
ก.12	ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	87
ค.1	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-bus.....	91
ค.2	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-buss หลังจากจัดเรียงสายป้อน.....	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่ว่าสภาพเศรษฐกิจจะดีหรือไม่ก็ตาม ในอดีต ผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีความรู้สึกพึงพอใจหากได้รับพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการโดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับมากนัก แต่เนื่องจากปัจจุบันคุณภาพชีวิตของประชาชนดีขึ้น ประกอบกับระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพมากขึ้น เช่น ผู้ใช้ไฟประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ใช้ไฟในย่านธุรกิจ เป็นต้น ดังนั้นนอกจากความเพียงพอของพลังงานไฟฟ้าแล้ว คุณภาพของไฟฟ้าก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญมากเช่นกัน

โดยทั่วไป ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Electric distribution system) เป็นระบบที่อยู่ใกล้ชิดหรือให้บริการโดยตรงแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ จึงส่งผลต่อคุณภาพและความเชื่อถือได้ของพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่ได้รับโดยตรง การปรับปรุงคุณภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้หลายประการ เช่น เพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ป้องกันในระบบให้มีความทันสมัย การติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า และการลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบ เป็นต้น

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นส่วนของระบบที่มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสูงที่สุด การปรับปรุงระบบเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากก็คือ การจัดเรียงสายบ่อนใหม่เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งโดยทั่วไปปัญหาการจัดเรียงสายบ่อนใหม่คือการจัดสถานะปิด/เปิดของสวิตช์หรืออุปกรณ์ตัดตอนว่าควรอยู่ในตำแหน่งปิดหรือควรอยู่ในตำแหน่งเปิดจึงจะเหมาะสมมากกว่ากัน สวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างบัสจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามสถานะ คือ สวิตช์ที่อยู่ในตำแหน่งเปิดเรียกว่าสวิตช์ถ่ายโอน (Tie Switch) และสวิตช์ที่อยู่ในตำแหน่งปิดเรียกว่าสวิตช์ตัดตอน (Sectionalizing Switch) การเปลี่ยนสถานะปิด/เปิดของสวิตช์ทำให้เกิดโครงสร้างของระบบในรูปแบบใหม่ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบได้ อย่างไรก็ตามก็เห็นว่าปัญหาการจัดเรียงสายบ่อนใหม่ให้มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำที่สุดเป็นปัญหาที่ซับซ้อน

มากเนื่องจากมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาเป็นจำนวนมาก และตัวแปรหลักยังเป็นตัวแปรชนิดจำนวนเต็มด้วย ทำให้เราไม่สามารถใช้วิธีการทาง Optimization แบบปกติได้

ในอดีตมีผู้ศึกษาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนไว้มากมาย อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านั้น มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ใช้ได้กับระบบสามเฟสแบบสมดุลเท่านั้น บางวิธีคำตอบที่ได้เป็นเพียงคำตอบจากการประมาณ เป็นต้น เช่น E. R. Ramos, R. Santos, และ F. L. Iborra [1] ใช้หลักการ Path-Based Distribution Network Modeling ในการประมาณคำตอบของการจัดเรียงสายป้อนใหม่ C. T. Su และ C. S. Lee [2] ใช้หลักการ Mixed-Integer Hybrid Differential Evolution มาช่วยในการแก้ปัญหาในกรณีที่มีตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการนำวิธีการประมาณต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่เพื่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่น้อยที่สุด แต่วิธีการเหล่านั้นเป็นการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดจากจุดที่หนึ่งไปจุดที่สองและจุดต่อๆ ไปเรื่อยๆ ทีละจุด (Successive Algorithm) ทำให้มีโอกาสที่คำตอบจะตกอยู่ในบริเวณกับดักของคำตอบ (Locally Optimum) ได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คำตอบที่ได้มีโอกาสที่จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด นอกจากการประยุกต์ใช้วิธีการทาง Optimization เพื่อแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่แล้ว อีกแนวทางหนึ่งที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันก็คือ วิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการทางฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) โดย F. S. Pereira, K. Vittori, และ G. Da Costa [3] อาศัยหลักการ Ant Colony Behavior ในการค้นหาคำตอบ V. C. Veera, N. Perumal และ Y. Rajasekharareddy [4] ใช้วิธี Two-Stage Solution ในการแยกปัญหาหลักออกเป็นปัญหาย่อยสองปัญหาแล้วทำการแก้ต่อเนื่องกัน E. Carpaneto, G. Chicco และ E. Roggero [5] ใช้ขั้นตอนวิธี Simulated annealing-based algorithms และ Y. Hong และ S. Y. Ho [6] ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการค้นหาคำตอบของปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาค่าขีดสุดที่มีความซับซ้อนได้ดีวิธีดังกล่าวอาศัยการเลียนแบบวิธีพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า และประยุกต์ใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการในการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตเพื่อค้นหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันโดยการสุ่มชุดของค่าเริ่มต้นกลุ่มหนึ่งผ่านขั้นตอนวิธีพันธุกรรม แล้วค้นหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดในปริภูมิของคำตอบ (Search-Solution Space) ไปพร้อมกัน จากนั้นอาศัยหลักการกระจายความน่าจะเป็นให้กับแต่ละประชากรของคำตอบที่เป็นไปได้ และทำการสร้างชุดคำตอบใหม่ที่มีแนวโน้มที่จะทำให้ฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าที่ดีขึ้นเรื่อยๆ จึงมีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าวิธีอื่นๆ โดย J. Mendoza, D. Morales, P. Dessante และ Roger Moraga [7]

และ J. H. Choi และ J. C. Kim [8] ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ แต่วิธีการดังกล่าวสามารถใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดสมดุลเท่านั้น J. C. Wang, H. D. Chiang และ G. R. Darling [9] นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่สามารถใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดไม่สมดุลได้ แต่วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นก็ยุ่งยาก ซับซ้อน และใช้เวลาในการคำนวณนานมาก

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการจัดเรียงสายป้อนใหม่ที่นำวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสด้วยการวิเคราะห์ปม ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณไม่นานมาประยุกต์ใช้กับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพื่อทำการหารูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายใหม่ที่ทำให้มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบต่ำที่สุด วิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามเฟสแบบเบ็ดเตล็ดทั้งกรณีโหลดสมดุลและโหลดไม่สมดุล และสามารถใช้ได้กับแบบจำลองโหลดทั้งแบบคงที่ (Peak-load model) และโหลดที่แปรตามช่วงเวลา (Daily-load model) วิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับระบบตัวอย่าง IEEE 16-bus และ IEEE 33-bus ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ Roy Billinton (Roy Billinton Test System; RBTS) และระบบจำหน่ายไฟฟ้าตัวอย่างของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ในระบบจำหน่าย โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

- 1) พิจารณาระบบไฟฟ้าเฉพาะในสถานะอยู่ตัว (Steady-State)
- 2) ไม่พิจารณาฮาร์มอนิกในระบบ
- 3) พิจารณาเฉพาะพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค
- 4) พิจารณาระบบจำหน่ายไฟฟ้าเฉพาะที่เป็นแบบเบ็ดเตล็ด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาสภาพปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่จากเอกสารทางวิชาการหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาค่าขีดสุด
- 3) ศึกษาวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสด้วยการวิเคราะห์ปม
- 4) พัฒนาแนวคิดและวิธีการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนใหม่ โดยอาศัยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม และทดสอบโดยการพัฒนาโปรแกรมบน Matlab
- 5) วิเคราะห์ สรุปผลงานวิจัย และตีพิมพ์ผลงานในการประชุมวิชาการ
- 6) เรียบเรียงผลงานวิจัย พิมพ์ผลงานและจัดเข้ารูปเล่มเพื่อทำการเสนอต่อคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แนวทางการลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบันโดยอาศัยการจัดเรียงสายป้อนที่ประยุกต์กับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและการวิเคราะห์ปมในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า
- 2) โปรแกรมขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่ใช้ในการจัดเรียงสายป้อน
- 3) โปรแกรมการวิเคราะห์ปมที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่น่าเสนอในที่นี้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานในการจัดเรียงสายป้อนเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยวิธีการหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 3 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปม (Node Analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบในวิทยานิพนธ์นี้ และแผนภาพแสดงแนวคิดของวิธีการวิเคราะห์ปมโดยรวม

บทที่ 4 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ซึ่งประกอบด้วยวิธีการลงรหัส (Encoding) การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value) การคัดเลือก (Reproduction) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) การผ่าเหล่า (Mutation) การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป (Elitism) และเงื่อนไขการหยุดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม และจะกล่าวถึงการประยุกต์ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมกับการจัดเรียงสายป้อน

บทที่ 5 จะเป็นผลการทดสอบการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีพันธุกรรม โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสด้วยวิธีการวิเคราะห์หีบม และผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสมดุลด้วยวิธีนิวตันราฟสัน โดยได้ทำการทดสอบกับระบบ IEEE 16-bus ระบบ IEEE 33-bus ระบบทดสอบ RBTS-Bus 2 และระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสายป้อน KWA01 และ KWA06

บทที่ 6 จะเป็นการสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การจัดเรียงสายป้อน

การจัดเรียงสายป้อนในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการ จัดเรียงสายป้อนที่มีเป้าหมายเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นหลัก โดยการจัดเรียงสายป้อนจะต้องไม่ทำให้การจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าหยุดชะงัก เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในการจ่ายไฟ จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเสียหายอีกทั้งการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะขาดรายได้อันควรที่จะได้รับอีกด้วย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาพลังงานไฟฟ้าสูญเสียแทนที่จะพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากลักษณะของโหลดในความเป็นจริงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาการวิเคราะห์หา รูปแบบการจัดเรียงสายป้อนที่ดีที่สุดจึงควรจะต้องเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดภายใต้โหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาไปด้วย จากสภาพปัญหาการจัดเรียงสายป้อนและข้อจำกัดดังที่กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์นี้จึงอาศัยแบบจำลองโหลดเป็นแบบไม่คงที่และแปรตามช่วงเวลา (Daily-load model) ในการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม ซึ่งถูกอธิบายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad E &= \sum_{k=1}^n P_{loss\ k} * t_k & (1) \\ \text{s.t.} \quad P_{loss\ k} &= \sum_i^l r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \\ S_i &\leq Lc_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, l \\ V_i &\leq V_c \quad , \quad i = 1, 2, \dots, l \end{aligned}$$

โดย	E	คือ	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา
	P_{loss}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา
	t_k	คือ	เวลาช่วงที่ k
	S_i	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละช่วงสาย (branch)
	Lc_i	คือ	กำลังไฟฟ้าที่แต่ละช่วงสายจะรองรับได้
	V_i	คือ	แรงดันที่แต่ละบัส
	V_c	คือ	ระดับแรงดันที่แต่ละบัสยอมรับได้

r_i	คือ	ความต้านทานของแต่ละช่วงสาย
P_i	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่แต่ละบัสที่รับกำลังไฟฟ้า
Q_i	คือ	กำลังรีแอกทีฟที่แต่ละบัสที่รับกำลังไฟฟ้า

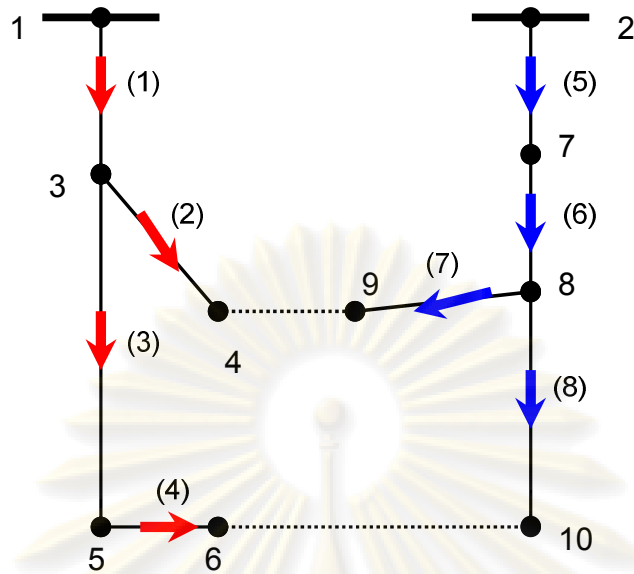
นอกจากเงื่อนไขที่กำหนดมาข้างต้นแล้ว โครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ในสภาวะปกติจะอยู่ในรูปแบบเรเดียล เพื่อให้การป้องกันระบบสามารถทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ การพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงมักรวมเงื่อนไขความเป็นเรเดียลของระบบเป็นเงื่อนไขที่สำคัญด้วย

การจัดเรียงสายป้อนมีตัวแปรคือ สถานะของสวิตช์ ซึ่งเป็นตัวแปรชนิดจำนวนเต็มเท่านั้น ดังนั้นเราจึงไม่สามารถใช้วิธีการ Optimization โดยทั่วไปซึ่งมีข้อจำกัดมากมายและยุ่งยากซับซ้อนได้ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีทางพันธุศาสตร์ที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวแปรและลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายมาใช้ในการแก้ปัญหานี้

2.1 การหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การจัดเรียงสายป้อนจะคำนึงถึงกรณีทีรูปแบบโครงสร้างหลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแยกออกเป็นรูปแบบโครงสร้างย่อยได้ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อภาระพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การหารูปแบบโครงสร้างย่อยจะใช้วิธีสร้างเมตริกซ์ที่แต่ละแถวมีความสัมพันธ์กับแต่ละกิ่ง (Branch) ที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดทั้งหมดในระบบ และแต่ละหลักสัมพันธ์กับตำแหน่งปม (Node) ต้นกิ่งและปลายกิ่ง โดยให้ปมทั้งต้นและปลายกิ่งมีค่าเท่ากับ 1 แล้วค้นหาระบบย่อยจากเมตริกซ์นี้ โดยมีหลักการว่า รูปแบบโครงสร้างย่อยหนึ่งหมายถึง โครงสร้างที่มีกิ่งเชื่อมต่อกันกล่าวคือ มีกิ่งที่มีการใช้ปมร่วมกัน (แถวต่างๆที่มี 1 อยู่ในหลักเดียวกันในเมตริกซ์ดังตารางที่ 2.1) นั่นเอง

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างหลักการหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างหลักการหารูปแบบโครงสร้างย่อยของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ปม กิ่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(2)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
(3)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
(4)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
(5)	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
(6)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
(7)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
(8)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

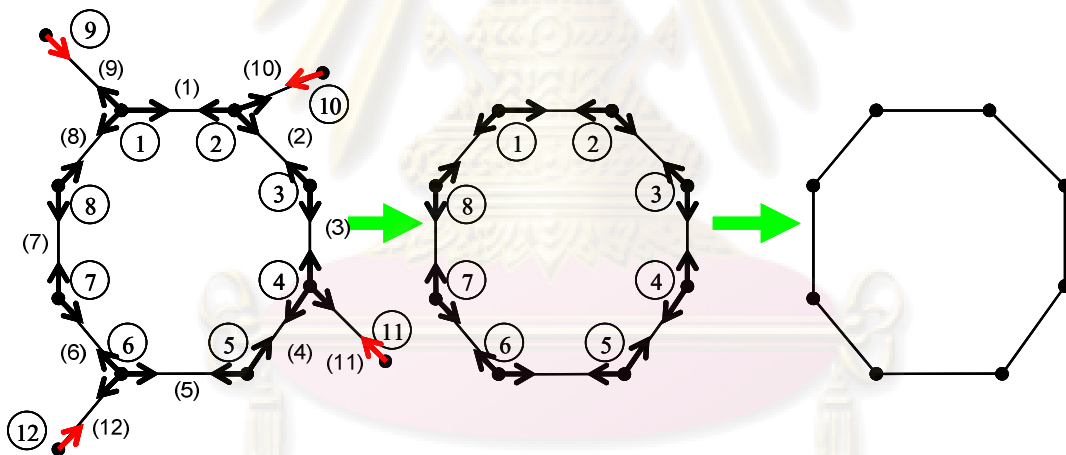
จากรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1 สังเกตได้ว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้สามารถแยกรูปแบบโครงสร้างย่อยได้สองรูปแบบ คือ รูปแบบโครงสร้างแรก มีกิ่ง (แถว) ที่ (1) ถึง กิ่งที่ (4) เชื่อมต่อกัน และรูปแบบโครงสร้างที่สอง มีกิ่งที่ (5) ถึง กิ่งที่ (8) เชื่อมต่อกัน

2.2 การตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์นี้ หลังจากที่เราสามารถแยกระบบย่อยออกจากกันได้เรียบร้อยแล้ว แต่ละระบบย่อยก็จะถูกตรวจสอบว่าเป็นเรเดียลหรือไม่ โดยตรวจสอบว่าเกิดลูบขึ้นในระบบย่อยนั้นหรือไม่ ถ้าระบบย่อยนั้นเกิดลูบขึ้นแสดงว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นมีรูปแบบโครงสร้างไม่เป็นแบบเรเดียล โดยเราสามารถตรวจสอบได้โดยอาศัยเมตริกซ์เช่นเดียวกับการตรวจสอบการแยกระบบย่อย แต่เราจะสร้างเมตริกซ์ขึ้นมาใหม่ตามรูปแบบโครงสร้างของระบบย่อยนั้นๆ โดยมีหลักการว่า เมตริกซ์ดังกล่าวจะถูกตัดกิ่ง (แถว) ที่มีปม (หลัก) ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อกับกิ่งอื่นๆ (หลักที่มี 1 เพียงแถวเดียว) ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีกิ่งรูปแบบดังกล่าวจึงจะหยุด ผลสุดท้ายถ้าเมตริกซ์นี้เป็นเซตว่างแสดงว่าเกิดลูบขึ้นในระบบย่อย แต่ถ้าเมตริกซ์นี้เป็นเซตว่างแสดงว่าไม่เกิดลูบขึ้นในระบบย่อย

ตัวอย่างที่ 1 แสดงการตรวจสอบความเป็นเรเดียลในกรณีที่ระบบย่อยนั้นมีลูบอยู่ในระบบ และตัวอย่างที่ 2 แสดงการตรวจสอบความเป็นเรเดียลในกรณีที่ระบบย่อยนั้นไม่มีลูบอยู่ในระบบ

ตัวอย่าง 1



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
กรณีรูปแบบโครงสร้างไม่เป็นแบบเรเดียล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

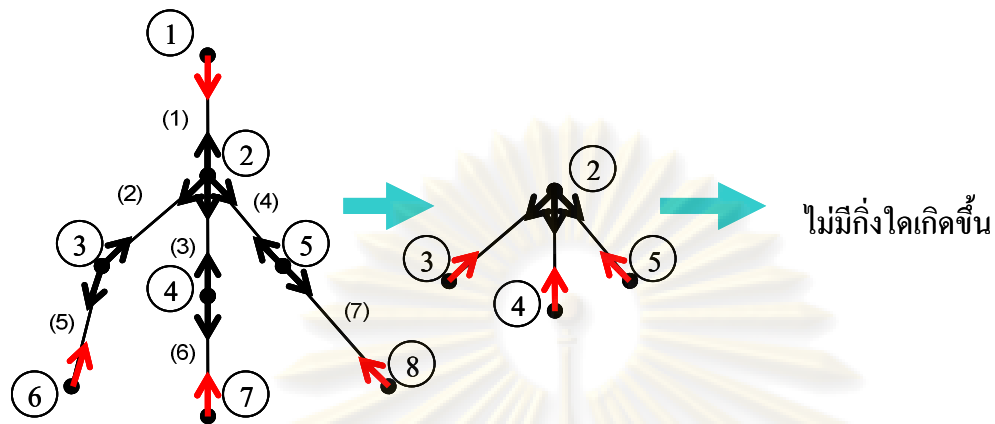
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเวรเดียวของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบ
โครงสร้างไม่เป็นแบบเวรเดียว

ปม กึ่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(1)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(3)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(4)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
(5)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
(6)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
(7)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
(8)	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
(9)	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
(10)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
(11)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
(12)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

จากตัวอย่างที่ 1 เราจะทำการค้นหาลูบในระบบย่อยดังรูปที่ 2.2 โดยเริ่มต้นจากแถว (กึ่ง) ที่มีหลัก (ปม) หมายเลข 1 เพียงแถวเดียว คือ แถว (กึ่ง) ที่ (9), (10), (11) และ (12) (ดังตารางที่ 2.2) กึ่งเหล่านี้จะถูกตัดออกเป็นกลุ่มแรก แต่ต่อมาสังเกตได้ว่า เมตริกซ์ในตารางที่ 2.2 ไม่มี แถว (กึ่ง) ที่มีหลัก (ปม) หมายเลข 1 เพียงแถวเดียวอีก ดังนั้นสุดท้ายเมตริกซ์นี้ไม่เป็นเซตว่าง ซึ่งหมายถึงระบบย่อยนี้เกิดลูบขึ้นในระบบ ดังนั้น เราจะสรุปว่าระบบย่อยนี้มีรูปแบบโครงสร้างเป็นไม่เป็นแบบเวรเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง 2



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
กรณีรูปแบบโครงสร้างเป็นแบบเรเดียล

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างหลักการตรวจสอบความเป็นเรเดียลของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากรณีรูปแบบ
โครงสร้างเป็นแบบเรเดียล

ปม \ กิ่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

จากตัวอย่างที่ 2 เราจะทำการหาอุปในระบบย่อยดังรูป 5.3 โดยจะเริ่มต้นจากแถว (กิ่ง) ที่มีหลัก (ปม) หมายเลข 1 เพียงแถวเดียว คือ แถว (กิ่ง) ที่ (1), (5), (6) และ 7 (ดังตารางที่ 2.3) กิ่งเหล่านี้จะถูกตัดออกเป็นกลุ่มแรกต่อมา แถว (กิ่ง) ที่มีหลัก (ปม) หมายเลข 1 เพียงแถวเดียว คือ แถว (กิ่ง) ที่ (2), (3) และ (4) กิ่งเหล่านี้จะถูกตัดออกเช่นกัน จะสังเกตได้ว่า ในขั้นสุดท้ายเมตริกซ์

ในตารางที่ 2.3 จะกลายเป็นเซตว่าง ดังนั้น เราจะสรุปว่าไม่มีลูปเกิดขึ้นในระบบย่อยนี้ หรืออีกนัยหนึ่งจะหมายความว่าระบบย่อยนี้มีรูปแบบโครงสร้างเป็นแบบเรเดียล

การวิเคราะห์หาระบบย่อยและโครงสร้างระบบที่เป็นแบบเรเดียลนี้เป็นส่วนสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์การจัดเรียงสายป้อนอย่างเหมาะสม โดยทั้งสองขั้นตอนดังกล่าวจะต้องถูกกระทำทุกรอบของการคำนวณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบในระหว่างการวิเคราะห์ ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป

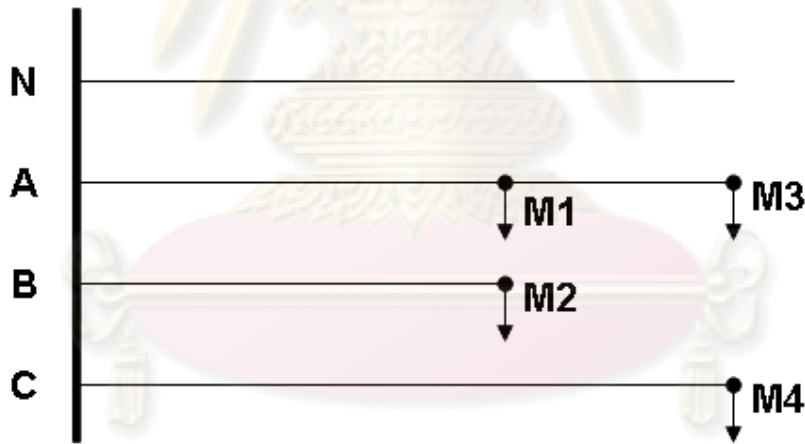


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

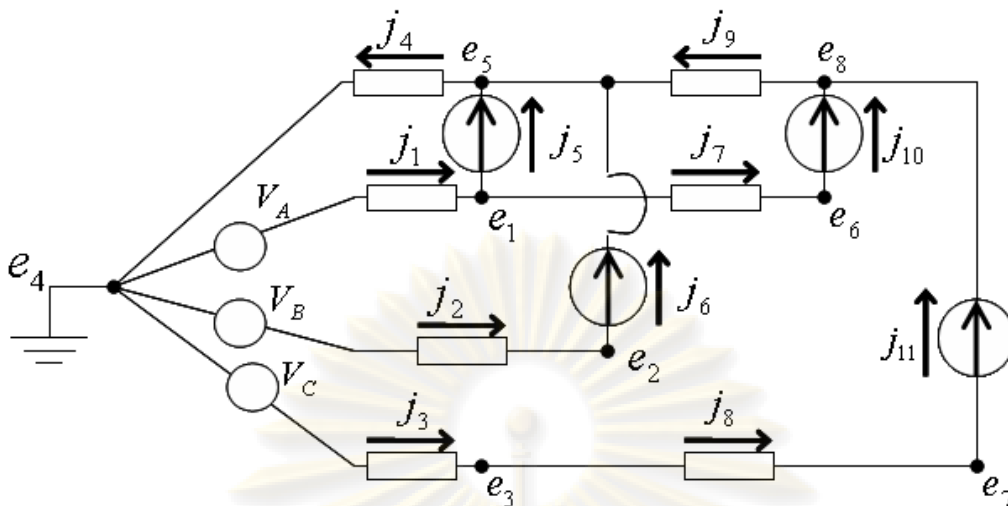
บทที่ 3

การวิเคราะห์ปม

ในวิทยานิพนธ์นี้ เราจะทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสไม่สมดุลโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์แบบปม ในเบื้องต้นเราจะทำการประมาณโหลดเป็นแหล่งจ่ายกระแสซึ่งจะทำให้เราสามารถคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสได้ง่ายเนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นของระบบสมการปม (Node Equation) อย่างไรก็ตาม แหล่งจ่ายกระแสที่เปลี่ยนมานั้นจะมีค่าไม่คงที่ซึ่งจะต้องถูกปรับค่าใหม่ในแต่ละรอบของการคำนวณตามเงื่อนไขของโหลดแบบกำลังคงที่จนกระทั่งผลตอบของแรงดันเข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริง เมื่อเสร็จสิ้นการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าแล้ว เราจะสามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในสายทั้งสามเฟส (ABC) ของแต่ละสายป้อนในวงจรและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในสายนิวทรัล (N) ได้ เพื่อให้เข้าใจวิธีที่น่าเสนอ พิจารณาระบบจำหน่ายดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดไม่สมดุล



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโหลดไม่สมดุล

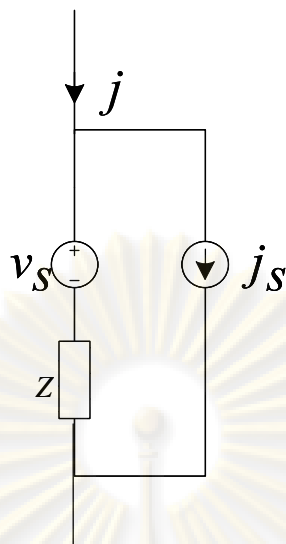
วงจรในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยปมทั้งหมด 8 ปม และกิ่งทั้งหมด 11 กิ่ง แรงดันเฟส (เทียบกับนิวทรัล) ที่ปมป้อนเข้าจะถูกสมมติให้มีระดับแรงดันปกติเช่น $V_A = 240\angle 0^\circ$, $V_B = 240\angle -120^\circ$ และ $V_C = 240\angle 120^\circ$ ในที่นี้เราเลือกปมอ้างอิงเป็นปมที่ 4

กำหนดให้ j_1, j_2, \dots, j_b และ v_1, v_2, \dots, v_b เป็นกระแสและแรงดันกิ่ง ตามลำดับ และให้ e_1, e_2, \dots, e_n เป็นแรงดันปมที่เทียบกับดิน เพื่อที่จะหาค่า e_1, e_2, \dots, e_n ได้ เราจำเป็นจะต้องรู้คุณลักษณะของแต่ละกิ่งในเครือข่าย ตลอดจนเมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (Incident Matrix; A) และสมการกิ่งซึ่งสัมพันธ์กับกระแสและแรงดันกิ่ง เมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบนี้แต่ละหลักจะสัมพันธ์กับกิ่งและแต่ละแถวจะสัมพันธ์กับตำแหน่งปมต้นกิ่งและปลายกิ่ง โดยเราจะกำหนดให้สมาชิกในแต่ละหลักของเมตริกซ์ในตำแหน่งที่สัมพันธ์กับปมต้นกิ่งมีค่าเท่ากับ 1 และปมปลายกิ่งมีค่าเท่ากับ -1 และจะตัดแถวซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งปมอ้างอิงออกไป

จากกฎของเคอร์ชอฟ จะได้ว่า

$$Aj = 0 \quad (3)$$

$$v = A^T e \quad (4)$$



รูปที่ 3.3 แบบจำลองกิ่ง (branch model)

จากรูปที่ 3.3 สมการกิ่ง จะมีรูปแบบดังสมการที่ (5)

$$j = Yv + j_s - Yv_s \quad (5)$$

โดย Y คือ เมตริกซ์แอดมิตแตนซ์กิ่ง (Branch primitive admittance matrix)

j_s คือ เวกเตอร์แหล่งจ่ายกระแสกิ่ง (Branch current source vector)

v_s คือ เวกเตอร์แหล่งจ่ายแรงดันกิ่ง (Branch voltage source vector)

เมื่อเราจัดรูปสมการที่ (5) โดยอาศัยความสัมพันธ์จาก สมการที่ (3) และ (4) จะได้ว่า

$$Y_n e = i_s \quad (6)$$

โดย $Y_n = AYA^T$ และ $i_s = AYv_s - Aj_s$

ส่วนแรงดันปมที่เทียบกับดิน แรงดันกิ่ง และกระแสกิ่ง สามารถหาได้จากสมการที่ (7) - (9) ตามลำดับ

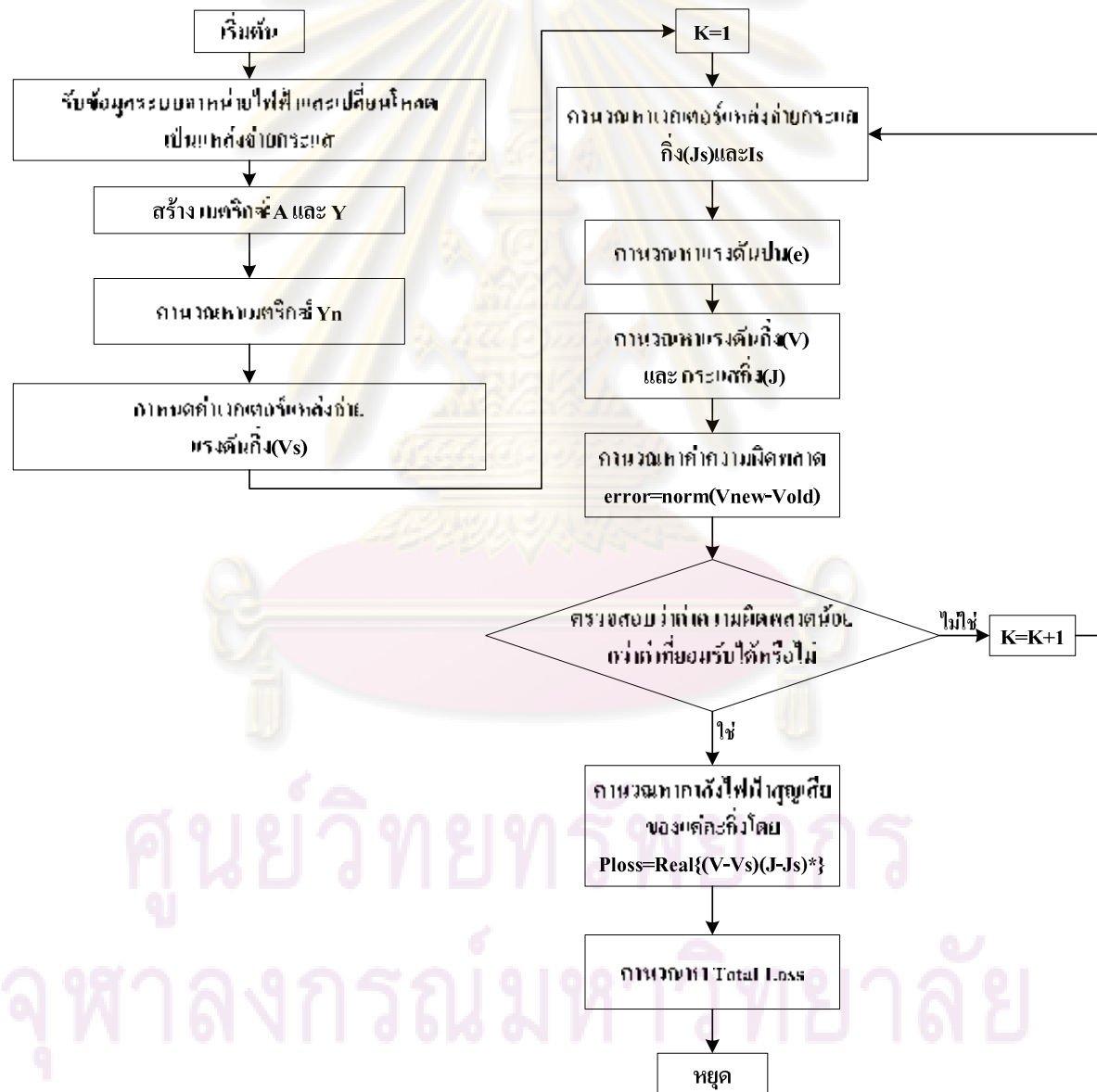
$$e = Y_n^{-1} i_s \quad (7)$$

$$v = A^T e \quad (8)$$

$$j = Yv + j_s - Yv_s \tag{9}$$

เราสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละกิ่งได้ง่าย กล่าวคือ เราสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งในสายเฟสและสายนิวทรัลได้โดยอาศัยกระแสกิ่งและอิมพีแดนซ์ของสายนั้นๆ จากสมการพื้นฐานคือ $E_{loss} = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^{br} I_i^2 r_i \right) \times t_k$

ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสไม่สมดุลโดยอาศัยสมการปม จะอาศัยการคำนวณซ้ำด้วยสมการที่ (7) - (9) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 3.3



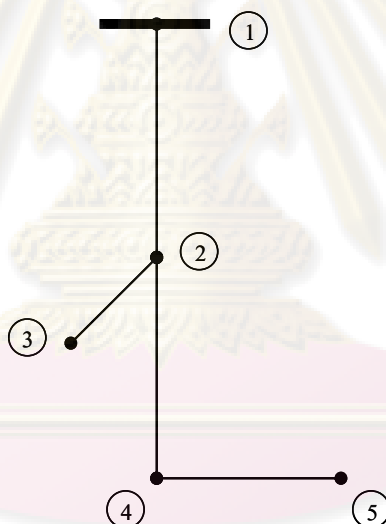
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงแนวคิดการคำนวณกำลังสูญเสียรวมของวิธีการวิเคราะห์ปม

3.1 แบบจำลองโหลด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบโหลดไม่คงที่ขึ้นกับช่วงเวลา (Daily-load model) โดยแบบจำลองโหลดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีสมมติฐานว่า รูปแบบของโหลดทุกสัปดาห์จะมีลักษณะเหมือนกัน และในแต่ละสัปดาห์รูปแบบของโหลดในวันทำงาน (จันทร์ – ศุกร์) จะมีลักษณะเดียวกัน และรูปแบบของโหลดในวันหยุด (เสาร์ – อาทิตย์) จะมีค่าเหมือนกันเช่นเดียวกัน ตัวอย่างแสดงในข้อมูลระบบทดสอบ (ภาคผนวก ก)

3.2 ตัวอย่างการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปม

ตัวอย่างในการแสดงขั้นตอนการคำนวณของวิธีการวิเคราะห์ปมนี้คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างง่าย 5 บัสดังรูปที่ 3.4 ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า 23 kV ขั้นตอนการคำนวณทั้งหมดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับแผนภาพแสดงแนวคิดการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์ปมดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.5 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างง่าย 5 บัส

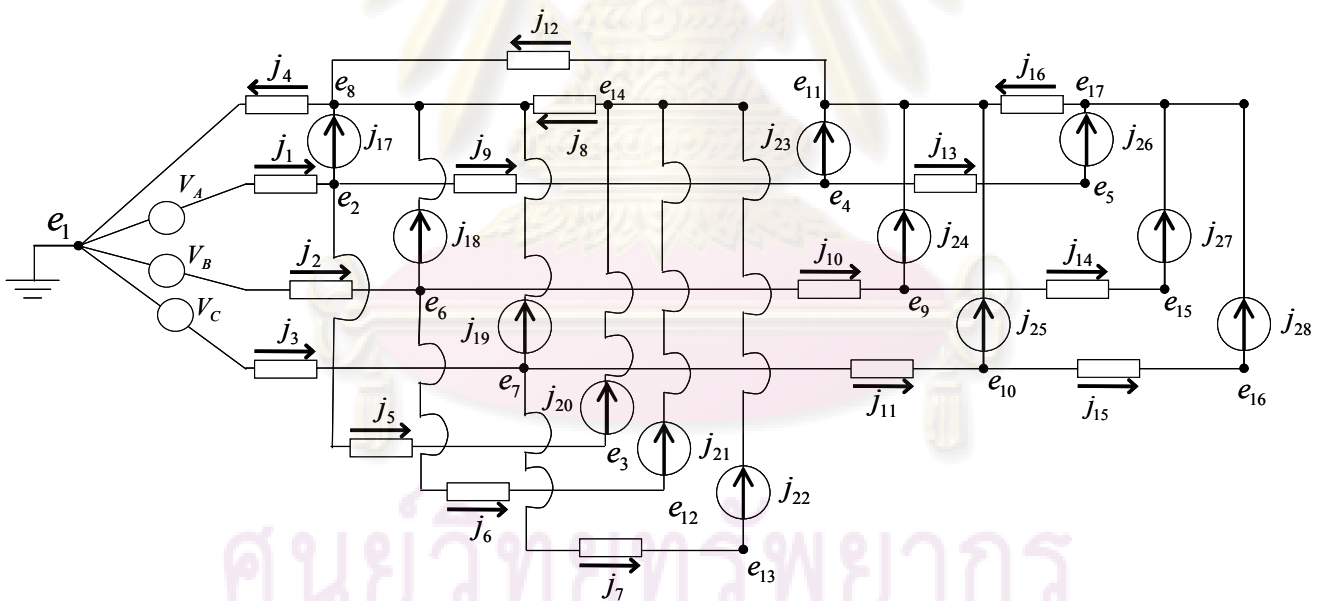
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
1	2	0.08	0.10
2	3	0.08	0.11
2	4	0.09	0.18
4	5	0.04	0.04

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลโหลดของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

บัส	เฟส A		เฟส B		เฟส C	
	กำลัง จริง (kW)	กำลัง รีแอกทีฟ (kVar)	กำลัง จริง (kW)	กำลัง รีแอกทีฟ (kVar)	กำลัง จริง (kW)	กำลัง รีแอกทีฟ (kVar)
2	666	533	533	533	533	666
3	1000	500	500	500	500	1000
4	666	266	266	266	266	666
5	500	400	400	400	400	500

จากตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างง่าย 5 บัสดังรูปที่ 3.4 สามารถเขียนวงจรสมมูลทั้งสามเฟสตามหลักการของวิธีการวิเคราะห์ปม โดยให้ปมอ้างอิงเป็นปมที่ 1 ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลของตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้ารูปที่ 3.4

ค่าเริ่มต้น

ขั้นแรกของการวิเคราะห์ปมจะต้องสร้างเมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (A) และเมตริกซ์แอดมิตแตนซ์กึ่ง (Y) เพื่อคำนวณหาค่าเมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ (Y_n) ซึ่งผลลัพธ์ของตัว

แปรที่กล่าวมาข้างต้นจะแสดงในภาคผนวก ข จากนั้นยังต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันกึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปจะให้ค่าเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันกึ่งมีขนาดค่าเท่ากับระดับแรงดันเฟสของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าซึ่งในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 23 kV ดังนั้นขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันแต่ละเฟสจะมีขนาดเท่ากับ $\frac{23}{\sqrt{3}}$ kV และแต่ละเฟสจะมีมุมต่างกัน 120° ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์แหล่งจ่ายแรงดันกึ่งของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

แหล่งจ่ายแรงดันกึ่ง (V_S)	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)
V_A	13,279.06	0
V_B	13,279.06	-120
V_C	13,279.06	+120

รอบที่ 1

เมื่อเริ่มการวนรอบของวิธีการเคราะห์ปมรอบที่ 1 จะทำการคำนวณหาค่าของแหล่งจ่ายกระแส j_s และค่า i_s เป็นอันดับแรก โดย $j_s = \frac{S_{load}^*}{V_{load}^*}$ และ $i_s = [A][Y][v_s] - [A][j_s]$ โดยที่ปกติเวกเตอร์แรงดันที่กึ่งโหลด V_{load} จะมีค่าเท่ากับแรงดันกึ่ง (v) ที่กึ่งโหลด(กึ่งที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส) แต่รอบแรกเนื่องจากเรายังไม่สามารถหาค่าแรงดันกึ่งได้ จึงกำหนดให้ค่าแรงดันที่กึ่งโหลดเริ่มต้นแต่ละเฟสมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดันกึ่งเฟสนั้นๆ และเวกเตอร์ S_{load} แต่ละเฟสมีค่าเท่ากับข้อมูลโหลดของระบบดังตารางที่ 3.2 ดังนั้นการวิเคราะห์ปมในรอบที่ 1 จะได้ค่าของเวกเตอร์ j_s และ i_s แต่ละกึ่งเป็นดังตารางที่ 3.4 และ 3.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ผลลัพธ์เวกเตอร์แหล่งจ่ายกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่าย
อย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์กำลังเชิงซ้อน ที่กึ่งโหลด (S_{load})		เวกเตอร์แรงดันที่กึ่งโหลด (V_{load})		เวกเตอร์แหล่งจ่ายกระแสกึ่ง (j_s)	
	ขนาด (โวลต์-แอมแปร์)	มุม (องศา)	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
17	853,021.10	38.67	13,279.06	0	64.24	-38.67
18	753,775.83	45.00	13,279.06	-120	56.76	-165.00
19	853,021.10	51.33	13,279.06	120	64.24	68.67
20	1118,033.99	26.57	13,279.06	0	84.20	-26.57
21	707,106.78	45.00	13,279.06	-120	53.25	-165.00
22	1118,033.99	63.43	13,279.06	120	84.20	56.57
23	717,155.49	21.77	13,279.06	0	54.01	-21.77
24	376,180.81	45.00	13,279.06	-120	28.33	-165.00
25	717,155.49	68.23	13,279.06	120	54.01	51.77
26	640,312.42	38.66	13,279.06	0	48.22	-38.66
27	565,685.42	45.00	13,279.06	-120	42.60	-165.00
28	640,312.42	51.34	13,279.06	120	48.22	68.66

จากตารางที่ 3.1 สังเกตได้ว่าค่าของเวกเตอร์แหล่งจ่ายกระแสกึ่งจะแสดงเฉพาะกึ่งที่เป็น
โหลดเนื่องจากกึ่งอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ผลลัพธ์ค่าเวกเตอร์ i_s ในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

กิ่ง	เวกเตอร์ i_s	
	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
1	20,019.55	-53.18
2	84.20	153.43
3	54.01	158.23
4	48.22	141.34
5	20,025.56	-173.15
6	20,017.54	66.86
7	19.35	15.00
8	28.33	15.00
9	54.01	-128.23
10	58.19	15.00
11	53.25	15.00
12	84.20	-123.43
13	72.74	15.00
14	42.60	15.00
15	48.22	-111.34
16	14.55	15.00

เมื่อทราบค่าเวกเตอร์ i_s ของแต่ละกิ่งดังตารางที่ 3.5 จะทำให้สามารถคำนวณหาเวกเตอร์แรงดันปม (e) ได้จากสมการ (7) ดังนั้นผลลัพธ์ของแรงดันปมแต่ละปมจะเป็นดังตารางที่ 3.6 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าเวกเตอร์แรงดันปมนั้นจะไม่มีปมอ้างอิงประกอบอยู่ด้วยเนื่องจากได้ถูกตัดออกไปในการสร้างเมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (A) แล้ว

ตารางที่ 3.6 ผลลัพธ์แรงดันปมในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

ปม	เวกเตอร์แรงดันปม (e)	
	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)
2	13,126.91	-0.27
3	13,073.29	-0.39
4	13,037.77	-0.54
5	13,023.44	-0.54
6	13,160.62	-120.07
7	13,115.49	120.07
8	108.99	68.13
9	13,089.04	-120.18
10	13,007.99	120.05
11	185.70	72.41
12	13,122.78	-120.10
13	13,055.75	120.12
14	161.33	68.40
15	13,076.29	-120.18
16	12,993.65	120.06
17	189.96	72.13

เมื่อได้ค่าเวกเตอร์แรงดันปมในรอบแรกได้จะทำให้สามารถคำนวณหาเวกเตอร์แรงดันถึง (v) ได้จากสมการที่ (8) และสามารถคำนวณหาค่าเวกเตอร์กระแสถึง (j) ได้จากสมการที่ (9)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 ผลลัพธ์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์แรงดันกึ่ง (v)		เวกเตอร์กระแสกึ่ง (j)	
	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
1	13,126.91	-0.27	248.70	149.04
2	13,160.62	-120.07	180.94	15.00
3	13,115.49	120.07	248.70	-119.04
4	108.99	68.13	164.83	15.00
5	60.58	27.41	84.20	-26.57
6	38.31	-111.03	53.25	-165.00
7	60.58	110.54	84.20	56.57
8	52.34	-111.03	72.74	-165.00
9	107.65	33.70	101.12	-29.73
10	75.51	-101.57	70.93	-165.00
11	107.65	123.17	101.12	59.73
12	77.44	-101.57	72.74	-165.00
13	14.43	6.34	48.22	-38.66
14	12.75	-120.00	42.60	-165.00
15	14.43	113.66	48.22	68.66
16	4.35	-120.00	14.55	-165.00
17	13,087.18	-0.71	64.24	-38.67
18	13,268.51	-120.01	56.76	-165.00
19	13,048.58	120.45	64.24	68.67
20	13,015.81	-1.06	84.20	-26.57
21	13,282.36	-120.00	53.25	-165.00
22	12,956.41	120.68	84.20	56.57
23	12,984.51	-1.32	54.01	-21.77
24	13,270.34	-120.00	28.33	-165.00

ตารางที่ 3.7(ต่อ) ผลลัพธ์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมรอบแรกของระบบจำหน่าย
อย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์แรงดันกึ่ง (v)		เวกเตอร์กระแสกึ่ง (j)	
	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
25	12,883.60	120.66	54.01	51.77
26	12,968.12	-1.34	48.22	-38.66
27	13,261.94	-120.00	42.60	-165.00
28	12,867.14	120.68	48.22	68.66

ผลลัพธ์

การคำนวณจะถูกทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าแรงดันกึ่งที่คำนวณได้ในรอบถัดกันมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่กำหนดไว้จึงจะสิ้นสุดการคำนวณ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ในตัวอย่างนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10^{-8} ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเวกเตอร์แรงดันและกระแสกึ่งดังตารางที่ 3.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.8 ผลลัพธ์สุดท้ายของเวกเตอร์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมของระบบ
จำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์แรงดันกึ่ง (v)		เวกเตอร์กระแสกึ่ง (j)	
	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
1	13,122.56	-0.26	253.90	147.97
2	13,160.57	-120.07	181.01	15.00
3	13,110.99	120.07	255.27	-118.44
4	110.79	67.99	167.55	14.86
5	61.84	26.35	85.95	-27.62
6	38.30	-111.02	53.23	-165.00
7	62.12	111.22	86.34	57.25
8	53.20	-111.15	73.93	-165.12
9	110.24	32.36	103.55	-31.07
10	75.57	-101.57	70.99	-165.00
11	111.11	123.85	104.37	60.41
12	78.91	-101.76	74.12	-165.19
13	14.79	4.99	49.41	-40.01
14	12.76	-120.00	42.64	-165.00
15	14.90	114.34	49.80	69.34
16	4.41	-120.05	14.72	-165.05
17	13,081.91	-0.71	65.21	-39.38
18	13,270.28	-120.01	56.80	-165.01
19	13,043.20	120.45	65.40	69.12
20	13,008.51	-1.06	85.95	-27.62
21	13,285.01	-120.00	53.23	-165.00
22	12,948.94	120.68	86.34	57.25
23	12,975.15	-1.32	55.27	-23.09
24	13,273.53	-120.00	28.34	-165.00

ตารางที่ 3.8(ต่อ) ผลลัพธ์สุดท้ายของเวกเตอร์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งในการวิเคราะห์ปมของระบบ จำหน่วยอย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์แรงดันกึ่ง (v)		เวกเตอร์กระแสกึ่ง (j)	
	ขนาด (โวลต์)	มุม (องศา)	ขนาด (แอมแปร์)	มุม (องศา)
25	12,873.92	120.66	55.71	52.43
26	12,958.34	-1.35	49.41	-40.01
27	13,265.17	-120.00	42.64	-165.00
28	12,856.96	120.68	49.80	69.34

เมื่อได้ผลลัพธ์ของค่าเวกเตอร์แรงดันกึ่งและกระแสกึ่งเรียบร้อยแล้วจะทำให้สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของแต่ละกึ่งได้โดยอาศัยสมการ $s_i = (v_i - v_{S_i})(j_i - j_{S_i})^*$ โดยจะสังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนของแต่ละกึ่งก็คือกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่สูญเสียไปในแต่ละกึ่งนั่นเองจึงทำให้เราสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียไปทั้งหมดได้โดยการรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงของทุกกึ่งในระบบ $P_{loss} = \sum_{i=1}^n \text{Real}(S_i)$

จากตัวอย่างนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่สูญเสียไปในแต่ละกึ่งแสดงดังตารางที่ 3.9 ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเชิงซ้อนทั้งหมดในระบบจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของทุกกึ่งในระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $178,430.13 \angle 55.08^\circ = 102,139.14 + j146,304.16 \text{ VA}$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียไปทั้งหมดในระบบตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 102,139.14 วัตต์ หรือ 102.14 kW นั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 ผลลัพธ์สุดท้ายของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่กึ่งในการวิเคราะห์ปมของระบบ
จำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส

กึ่ง	เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่กึ่ง (S)	
	ขนาด (โวลต์-แอมแปร์)	มุม (องศา)
1	42,626.84	53.13
2	21,666.27	53.13
3	43,089.68	53.13
4	18,562.97	53.13
5	5,314.92	53.97
6	2,038.39	53.97
7	5,363.93	53.97
8	3,932.81	53.97
9	11,415.23	63.43
10	5,364.35	63.43
11	11,595.68	63.43
12	5,848.47	63.43
13	730.66	45.00
14	544.20	45.00
15	742.23	45.00
16	64.88	45.00
รวม	178430.13	55.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีการออปติไมซ์แบบสุ่ม (Stochastic optimization) อย่างหนึ่ง ที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยรวม (Global optimum) โดยอาศัยการสมมติจุดคำตอบขึ้นมาหลายๆจุดก่อน (Population of solutions) แล้วประยุกต์ใช้หลักการค้นหาจุดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีโอกาสที่จะอยู่รอดมากที่สุด (Survival of the fittest) เพื่อหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) สำหรับในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness) ของจุดคำตอบแต่ละจุดแล้วพิจารณาเลือกจุดคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้ โดยอาศัยวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ วิธีการคัดเลือกดังกล่าวประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า จุดคำตอบแต่ละจุดจะประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสไว้ เรียกว่าโครโมโซม (Chromosomes) ซึ่งสามารถถอดรหัสเป็นค่าของตัวแปรจริงได้ โดยทั่วไปนิยม เข้ารหัสตัวแปรให้เป็นระบบเลขฐานสอง

จากหลักการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการออปติไมซ์โดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้นจะแตกต่างจากวิธีออปติไมซ์วิธีอื่นๆ ดังนี้

- 1) ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้รหัสของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการออปติไมซ์แทนที่จะใช้ค่าของตัวแปรโดยตรง ดังนั้นวิธีนี้จึงสะดวกในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวแปรชนิดใดก็ได้โดยไม่ต้องเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่อง
- 2) ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีออปติไมซ์ที่หาจากจุดเริ่มต้นหลายๆจุด เป็นการหาจุดเหมาะสมโดยรวมโดยเทคนิคการออปติไมซ์แบบขนาน ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมโดยรวม
- 3) ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าฟังก์ชันเป้าหมายเท่านั้น ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้กับฟังก์ชันเป้าหมายได้ทุกชนิด ไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องหรือหาอนุพันธ์ได้
- 4) ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้ทฤษฎีทางความน่าจะเป็นในการหาคำตอบ ในขณะที่วิธีการอื่นๆส่วนมากใช้วิธีการทางแคลคูลัสของเวกเตอร์

4.1 การลงรหัส (Encoding)

4.1.1 การลงรหัสโดยทั่วไป

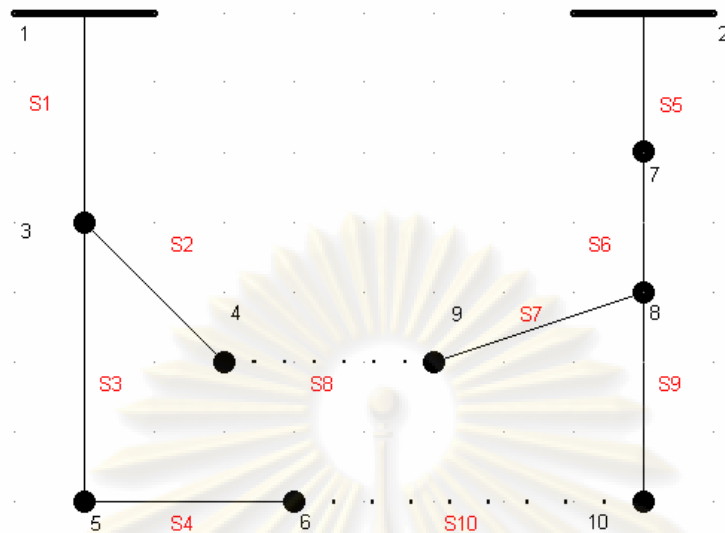
เนื่องจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมใช้รหัสของตัวแปรในการอุปติไมซ์ ดังนั้นถ้าเราเลือกวิธีลงรหัสที่เหมาะสมย่อมทำให้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย การลงรหัสที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะเป็นการลงรหัสโดยอาศัยระบบเลขฐานสอง (0 และ 1) เป็นส่วนประกอบของโครโมโซมในการลงรหัส ความยาวของสตริงเป็นตัวกำหนดความละเอียดของตัวแปรที่เราต้องการ ตัวอย่างเช่น หากเรามีตัวแปรต่อเนื่อง x ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 2 และต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 6 ในการคำนวณ ตัวแปรดังกล่าวในช่วงตัวแปร -1 ถึง 2 จึงควรถูกแบ่งออกเป็นอย่างน้อย $(2 - (-1)) * 1,000,000 = 3,000,000$ ช่วงย่อยๆ นั่นหมายถึงเราต้องใช้โครโมโซมที่มีความยาว 22 บิตเนื่องจาก

$$2,097,152 = 2^{21} < 3,000,000 < 2^{22} = 4,194,304$$

4.1.2 การลงรหัสสำหรับการจัดเรียงสายป้อน

การลงรหัสใช้เลขฐานสอง 0 และ 1 โดยเราจะกำหนดให้ 0 คือสถานะเปิดของสวิตช์ และ 1 คือสถานะปิดของสวิตช์ ดังนั้นความยาวของโครโมโซมหรือจำนวนเลขฐานสองทั้งหมดจะมีจำนวนบิตเท่ากับจำนวนสวิตช์ทั้งหมดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เราสนใจ เช่น ถ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบ 10 บัส (รูปที่ 4.1) ซึ่งมีสวิตช์ทั้งหมด 10 ตัว ความยาวของเลขฐานสองจะมีจำนวนบิตทั้งหมด 10 บิต ดังตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0

จากรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าเส้นประคือ เส้นที่สวิตช์อยู่ในสถานะเปิด (S8 และ S10) ส่วนเส้นที่สวิตช์อยู่ในสถานะปิด ด้วยเหตุนี้โครโมโซมจึงปรากฏ 0 ในตำแหน่งบิตที่ 8 และ 10

4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)

การสร้างประชากรเริ่มต้น หมายถึง การหารูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในรูปแบบของโครโมโซมขึ้นมาจำนวนหนึ่งโดยการสุ่ม เพื่อให้กระบวนการทางพันธุกรรมสามารถดำเนินต่อไปได้ นอกจากนี้การหารูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นไปได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนรูปแบบที่ต้องทำการวิเคราะห์ จากเหตุผลดังกล่าวการกำหนดประชากรเริ่มต้นที่ดีจึงต้องมีค่าไม่มากจนทำให้เสียเวลาในการคำนวณเริ่มต้นมาก แต่ก็ต้องไม่น้อยจนเกินไปเพื่อให้มีการผสมสายพันธุ์ที่หลากหลาย ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 10 โครโมโซม

4.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

แต่ละค่าคำตอบที่ผ่านการถอดรหัสจากโครโมโซมในขั้นตอนวิธีพันธุกรรม จะถูกประเมินค่าความเหมาะสมซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าฟังก์ชันเป้าหมายดังสมการที่ (1)

$$f(x) = 1/E_{loss} \quad (1)$$

โดย E_{loss} คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ

สมการเป้าหมายดังกล่าวมีความหมายว่า รูปแบบของระบบที่มีความเหมาะสมจะต้องมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำนั่นเอง

4.4 การคัดเลือก (Reproduction)

เป็นขั้นตอนที่จะเลือกว่าโครโมโซมแต่ละตัวในกลุ่มประชากรนั้นควรจะอยู่รอดในรุ่นต่อไปหรือไม่ โดยจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมสูงก็มีโอกาสที่จะอยู่รอดมาก ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำก็มีโอกาสอยู่รอดน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (2) ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการสัดส่วนความเหมาะสมของโครโมโซมจำนวน 4 ตัว การเลือกโครโมโซมจะทำโดยสุ่มหาอันดับของโครโมโซมตามจำนวนโครโมโซม (4 ครั้ง) โครโมโซมอันดับที่ถูกสุ่มนั้นจะได้รับการคัดเลือกให้อยู่รอดต่อไป หลักการนี้เรียกว่า วิธีวงล้อรูเล็ตต์ [10]

$$P_i = \left(\frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \right) * 100 \quad (2)$$

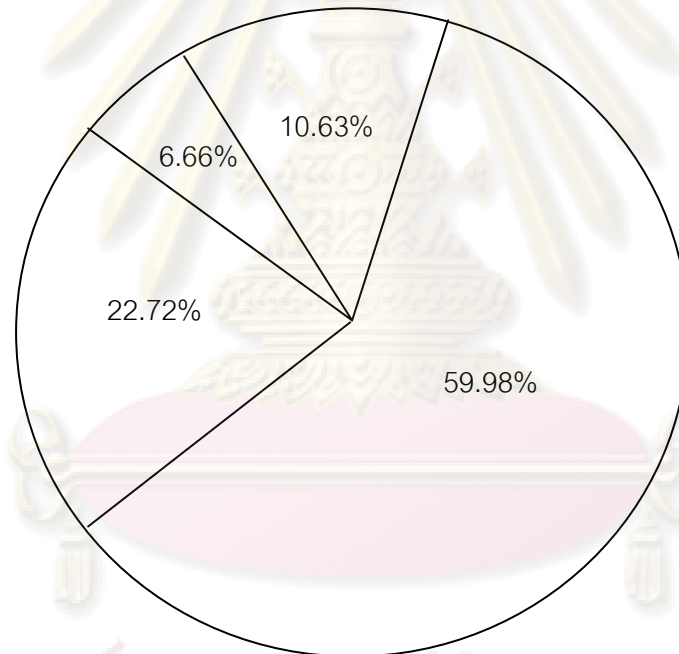
โดย f_i คือ เป็นค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

n คือ เป็นจำนวนประชากรโครโมโซมทั้งหมด
(Population Size)

P_i คือ โอกาสของโครโมโซมที่ถูกเลือก
(Probability of Selection)

ตารางที่ 4.2 การคัดเลือก

ลำดับที่	โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	อันดับความเหมาะสม	โอกาสโครโมโซม จะถูกเลือก
1	11010	0.005917	2	22.72
2	11000	0.001736	4	6.66
3	10000	0.015625	1	59.98
4	10011	0.00277	3	10.63
ผลรวม		0.026048	ผลรวม	100



รูปที่ 4.2 การคัดเลือก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

4.5.1 พื้นฐานการข้ามสายพันธุ์

การข้ามสายพันธุ์เป็นกระบวนการที่โครโมโซมคู่หนึ่งๆจะแลกเปลี่ยนบิตกันในบางตำแหน่ง เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมโครงสร้างใหม่ๆขึ้นมาด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (Probability of crossover; P_c) ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็คือเลขจริงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อบอกว่าโครโมโซมมีโอกาสจะข้ามสายพันธุ์มากน้อยแค่ไหน รูปที่ 4.3 แสดงการข้ามสายพันธุ์โดยพื้นฐาน โดยในขั้นแรกจะสุ่มเลขจริงในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาถ้าเลขที่สุ่มนี้มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขที่สุ่มขึ้นมานี้มีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ โดยโครโมโซมคู่หนึ่งจะถูกสุ่มขึ้นมาเรียกว่า โครโมโซมพ่อแม่ (Parent Chromosomes) จากนั้นก็จะสุ่มตำแหน่งในการข้ามสายพันธุ์ (Cross site) ขึ้นมา หลังจากนั้นโครโมโซมคู่นั้นก็จะเปลี่ยนบิตกันในตั้งแต่ตำแหน่งที่อยู่หลังตำแหน่งข้ามสายพันธุ์เป็นต้นไป เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมาเรียกว่า โครโมโซมลูก กระบวนการนี้จะถูกกระทำซ้ำจนได้โครโมโซมชุดใหม่ขึ้นมาครบตามจำนวนประชากรที่เราต้องการ

	ตำแหน่งข้ามสายพันธุ์				
โครโมโซมพ่อแม่1	1	1	0	0	1
โครโมโซมพ่อแม่2	0	1	0	1	0
โครโมโซมลูก1	1	1	0	1	0
โครโมโซมลูก2	0	1	0	0	1

รูปที่ 4.3 การข้ามสายพันธุ์พื้นฐาน

4.5.2 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนีฟอร์มครอสโอเวอร์

การข้ามสายพันธุ์ในหัวข้อที่ 4.5.1 นั้นเรียกว่า การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single point crossover) ซึ่งจะให้ผลดีในบางปัญหา เช่น ปัญหาที่มีตัวแปรควบคุมไม่มากนักและปัญหาที่มีความยาวของบิตโครโมโซมน้อยๆ แต่เมื่อปัญหาออปติไมซ์มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีจำนวนตัวแปร

ควบคุมในปัญหามากขึ้น การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียวดังกล่าวจะให้ผลที่ไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียวนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งข้ามสายพันธุ์ กล่าวคือโครโมโซมคู่หนึ่งๆจะแลกเปลี่ยนบิตโครโมโซมกันในตำแหน่งที่อยู่หลังตำแหน่งข้ามสายพันธุ์ (ตามรูปที่ 4.3) ซึ่งจะเห็นว่าบิตโครโมโซมที่อยู่ในตำแหน่งแรกของโครโมโซมพ่อแม่จะไม่มีโอกาสได้แลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นเลย ซึ่งในบางครั้งโครโมโซมในตำแหน่งดังกล่าวอาจจะเป็นประโยชน์ในการแก้ปัญหาออปติไมซ์ก็ได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว หลักการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ จึงถูกนำมาประยุกต์ในวิธานพันธุนี้ โดยการปรับปรุงดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นแรก เราจะสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาคู่หนึ่งก่อนเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะทำการสุ่มเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาโดยถ้าเลขสุ่มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขสุ่มดังกล่าวสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์ สรุปคือการข้ามสายพันธุ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (3)

$$P_R > P_C \quad (3)$$

โดย	P_R	คือ	ความน่าจะเป็นที่จะถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละคู่โครโมโซม
	P_C	คือ	ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์

ในกรณีที่ต้องมีการข้ามสายพันธุ์ ในขั้นตอนที่สาม จะทำการสุ่มบิตโครโมโซม 0 ถึง 1 ที่มีความยาวเท่ากับความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่ขึ้นมาชุดหนึ่ง จากนั้นถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็นค่าเป็น 1 ก็ทำการแลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้นระหว่างโครโมโซมพ่อแม่คู่นั้น ถ้าตำแหน่งใดของบิตตรงที่สุ่มขึ้นมาเป็นค่าเป็น 0 ก็คงบิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิม ซึ่งหลักการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีการดังกล่าวเรียกว่าการทำยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover) [10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครโมโซมพ่อแม่1	0	1	0	0	1
โครโมโซมพ่อแม่2	1	0	1	1	0
โครโมโซมสุ่ม	1	0	0	1	1
โครโมโซมลูก1	1	1	0	1	0
โครโมโซมลูก2	0	0	1	0	1

รูปที่ 4.4 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าการทำยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์เป็นการข้ามสายพันธุ์ที่ทุกบิตในโครโมโซมมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นๆเท่าเทียมกัน ดังนั้นการข้ามสายพันธุ์วิธีนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งข้ามสายพันธุ์หรือความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่

4.6 การผ่าเหล่า (Mutation) [10]

เป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนดและไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญบางอย่างไปในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด โดยเราจะกำหนดความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า โดยในขั้นแรกจะสุ่มเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่ทุกๆบิตของโครโมโซมแล้วเปรียบเทียบเลขที่สุ่มแต่ละบิตกับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ถ้าเลขที่สุ่มในบิตตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าบิตตำแหน่งนั้นก็จะไม่ผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในบิตตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าก็จะเป็นการผ่าเหล่าที่บิตตำแหน่งนั้น โดยเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 สรุปคือการผ่าเหล่า (Mutation) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (4)

$$P_{R_i} > P_M \quad (4)$$

โดย P_{R_i} คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละบิตโครโมโซม
 P_M คือ ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า

โครโมโซม ก่อนการผ่าเหล่า	0	1	0	0	1
โครโมโซม หลังการผ่าเหล่า	1	0	1	1	0

รูปที่ 4.5 การผ่าเหล่ากรณี $i = 2$

4.7 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป

การดำเนินการทางพันธุศาสตร์เป็นกระบวนการที่อาศัยความน่าจะเป็นในการถ่ายทอดประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง ซึ่งไม่มีหลักประกันว่าในรอบถัดไปจะมีประชากรที่ดีกว่ารุ่นแรก และในบางครั้งก็อาจจะสูญเสียโครโมโซมที่ดีที่สุดไปในระหว่างการถ่ายทอด จากปัญหานี้เองจึงได้เกิดแนวคิดที่ว่าควรจะเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้ในรอบถัดไป เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้านี้นี้เสมอ ซึ่งหลักการนี้เรียกว่า อิลิติสซึม (Elitism)

เมื่อนำอิลิติสซึมมาใช้ในขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม
- 2) หาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว จากขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ 4.3
- 3) จากประชากรทั้งหมด จะเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด (มีความเหมาะสมมากที่สุด) เก็บเอาไว้
- 4) นำโครโมโซมที่ไม่ได้รับคัดเลือกไปผ่านขั้นตอนการคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์และการผ่าเหล่า
- 5) นำโครโมโซมจากขั้นที่ 3) และขั้นที่ 4) มารวมกัน
- 6) ย้อนไปทำขั้นที่ 2) จนผ่านเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

4.8 เงื่อนไขการหยุด

ในวิทยานิพนธ์นี้เงื่อนไขการหยุดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมก็คือ หยุดหาคำตอบเมื่อครบจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดที่กำหนดเอาไว้ และค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

4.9 ตัวอย่างการหาจุดเหมาะสมโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ในตัวอย่างนี้จะแสดงให้เห็นวิธีการประยุกต์ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหา Optimization ทั่วไป

ตัวอย่าง จงหาจุดสูงสุดของฟังก์ชัน

$$F(x, y) = \frac{1}{(x + 0.5)^2 + 2(y - 0.5)^2 - 0.3 \cos(3x) - 0.4 \cos(4y) + 0.8}$$

โดยที่ $-1 \leq x \leq 1$, $-1 \leq y \leq 1$

จากโจทย์จะเห็นว่าปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาออปติไมซ์แบบมีเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนมากในระดับหนึ่ง การแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการเชิงเลขโดยทั่วไปอาจเกิดปัญหาการไม่ลู่เข้าของคำตอบได้ เนื่องจากฟังก์ชันเป้าหมายประกอบด้วยตัวแปรแบบตรีโกณมิติ สำหรับในตัวอย่างนี้จะแสดงวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมแทน

ขั้นตอนที่ 1 การลงรหัสและถอดรหัส

ในปัญหานี้หากเราต้องการความละเอียดของตัวแปรถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 8 ดังนั้นเราต้องใช้โครโมโซมที่มีความยาวเท่ากับ 28 บิตของทั้งสองตัวแปรในการลงรหัส โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1

$$134,217,728 = 2^{27} \leq (1 - (-1)) * 10^8 \leq 2^{28} = 268,435,456$$

ส่วนการถอดรหัสโครโมโซมให้เป็นตัวแปร สามารถใช้สมการ

$$x = -1 + x' \frac{(1 - (-1))}{2^{28} - 1}$$

โดยที่ x' คือเลขฐานสิบที่ได้จากการแปลงบิตโครโมโซมที่เป็นเลขฐานสอง ($b_{27}b_{26}...b_0$) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$x' = \sum_{i=0}^{27} b_i \times 2^i$$

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น

การกำหนดประชากรเริ่มต้นจะใช้วิธีการสุ่มในการกำหนดประชากรเริ่มต้นโดยในตัวอย่างนี้จำนวนประชากรที่ใช้คือ 10 โครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินค่าความเหมาะสม

เนื่องจากปัญหาในตัวอย่างนี้เป็นการหาจุดสูงสุดของฟังก์ชัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายเป็นค่าความเหมาะสมได้

ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการทางพันธุกรรม

การดำเนินการทางพันธุกรรมประกอบด้วย 3 ส่วนคือ การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า โดยได้แสดงตัวอย่างขั้นตอนวิธีของทั้ง 3 ส่วนไว้ในหัวข้อที่ 4.4, 4.5.2 และหัวข้อที่ 4.6 ตามลำดับ ในปัญหานี้จะให้ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์เท่ากับ 0.2 และความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่าเท่ากับ 0.9

ขั้นตอนที่ 5 เงื่อนไขการหยุด

เงื่อนไขการหยุดสำหรับตัวอย่างนี้จะกำหนดให้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมหยุด เมื่อถึงจำนวนรุ่นสูงสุดเท่านั้น คือ 300 รุ่น

ผลลัพธ์

จากการแก้ปัญหา Optimization ในตัวอย่างนี้จำนวน 10 ครั้ง ผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการแก้ปัญหาของฟังก์ชันในตัวอย่างหัวข้อ 4.9

ครั้งที่	x	y	$F(x, y)$
1	-0.65520646	0.50019384	7.94669185
2	-0.65450311	0.49992539	7.94656419
3	-0.65396537	0.49952304	7.94534425
4	-0.65544111	0.49946427	7.94603018
5	-0.65506383	0.50010460	7.94678061
6	-0.65504573	0.49995404	7.94680082
7	-0.65525521	0.49950477	7.94623201
8	-0.65520674	0.50000230	7.94677143
9	-0.65522559	0.49956098	7.94635569
10	-0.65504812	0.50015253	7.94675579

จากตารางที่ 4.3 คำตอบของปัญหา Optimization โดยใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมทั้ง 10 ครั้งจะได้คำตอบที่ดีที่สุดในตัวอย่างไม่นี้ คือ $x = -0.65504573$ และ $y = 0.49995404$ โดยที่ค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย ($F(x, y)$) มีค่าเท่ากับ 7.94680082

4.10 การจัดเรียงสายป้อนโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

วิธีการจัดเรียงสายป้อนโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.7 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้นจากการรับข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าและกำหนดรูปแบบโครงสร้างหลักที่เป็นไปได้และกำหนดช่วงเวลาของโหลดทั้งหมดที่พิจารณา โดยให้แต่ละช่วงคือ 1 ชั่วโมง

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบว่าแต่ละโครงสร้างหลักที่หาได้นั้นสามารถแยกเป็นรูปแบบโครงสร้างย่อยได้หรือไม่

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของแต่ละรูปแบบโครงสร้างทุกช่วงเวลาที่พิจารณาโดยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ปม

ขั้นที่ 4 คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบตลอดเวลาที่พิจารณา

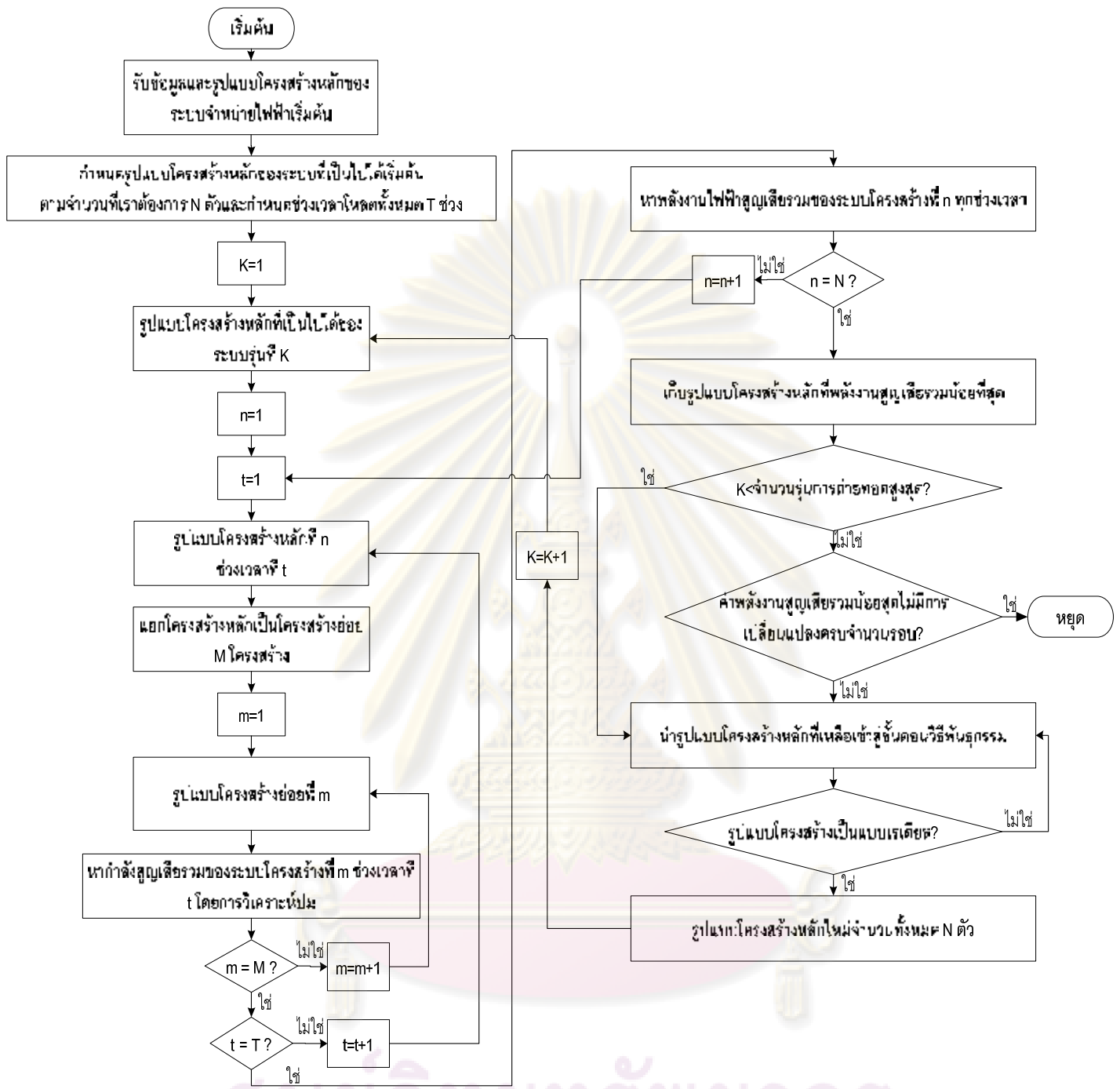
ขั้นที่ 5 เก็บรูปแบบโครงสร้างที่ให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมต่ำที่สุดในรุ่นนั้นไว้

ขั้นที่ 6 ตรวจสอบว่าถึงจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดหรือไม่

ขั้นที่ 7 ตรวจสอบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนรอบที่กำหนดหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะหยุดขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและถือว่ารูปแบบโครงสร้างหลักที่ดีที่สุด ในรุ่นนั้นที่ได้จากขั้นที่ 5 คือคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้ายังไม่เข้าเงื่อนไขจะทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 8 นำแต่ละรูปแบบโครงสร้างหลักที่เหลือเข้าสู่ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม และนำแต่ละรูปแบบโครงสร้างที่ได้ใหม่มาตรวจสอบว่าเป็นเรเดียลหรือไม่ ถ้ารูปแบบโครงใดไม่เป็นแบบเรเดียลจะถูกตัดออกไปไม่นำมาพิจารณา จนได้รูปแบบโครงสร้างใหม่ที่เป็นแบบเรเดียลครบตามจำนวนโครโมโซมที่กำหนดเริ่มต้น

ขั้นที่ 9 ย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 4.7 การจัดเรียงสายป้อนโดยขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

บทที่ 5

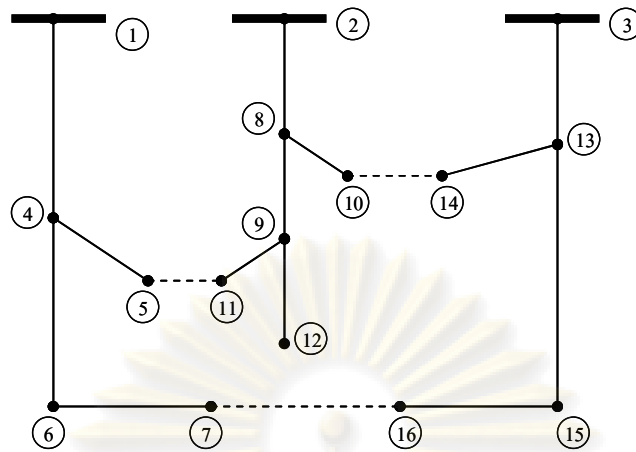
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะทำทดสอบวิธีการที่นำเสนอกับระบบจำหน่ายแบบโหลดไม่สมดุล 4 ระบบคือ ระบบตัวอย่าง IEEE 16-bus ระบบ IEEE 33-bus ระบบทดสอบ RBTS และระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจะพิจารณาระดับโหลดเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนแปลงทุกชั่วโมง และกำหนดให้วันทำงาน (จันทร์-ศุกร์) มีลักษณะของโหลดในรูปแบบเดียวกัน และวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์) มีลักษณะของโหลดในรูปแบบเดียวกันเช่นกัน ซึ่งข้อมูลโหลดรายชั่วโมงของ 4 ระบบดังกล่าวจะแสดงในภาคผนวก ก สำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะใช้ค่ามาตรฐาน จำนวนประชากร (Population) เท่ากับ 10 ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (P_c) เท่ากับ 0.2 ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า (P_m) เท่ากับ 0.8 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดเท่ากับ 100 รุ่น

ในการทดสอบกับระบบทั้ง 4 ระบบดังกล่าว จะทำการเปรียบเทียบผลของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบหลังจากการกำหนดรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ [7]-[8] เพื่อทดสอบว่ารูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของระบบที่ได้จากการใช้วิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่เป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำกว่ารูปแบบโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณโดยประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอหรือไม่ นอกจากนี้ได้มีการแสดงการทดสอบการจัดเรียงสายป้อนของงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับวิธีที่นำเสนอ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดในสภาวะโหลดเดียวกัน รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค

5.1 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus [3]

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus แสดงดังรูปที่ 5.1 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยบัสจำนวน 16 บัส หากสมมติให้ทุกกิ่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้มีสวิตช์ตัดตอน จะมีกิ่งที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดจำนวน 13 กิ่ง และกิ่งที่อยู่ในสถานะเปิดจำนวน 3 กิ่ง รายละเอียดของข้อมูลในระบบทดสอบนี้แสดงในภาคผนวก ก



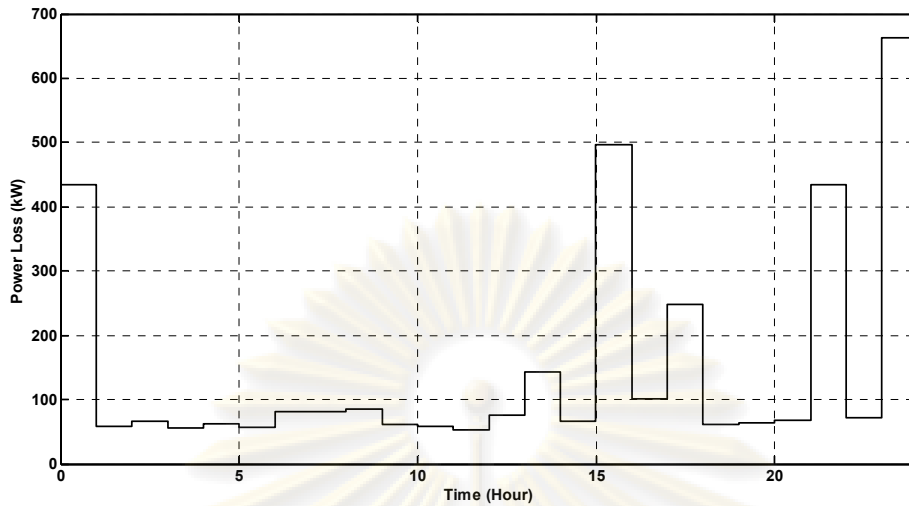
รูปที่ 5.1 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 16-bus

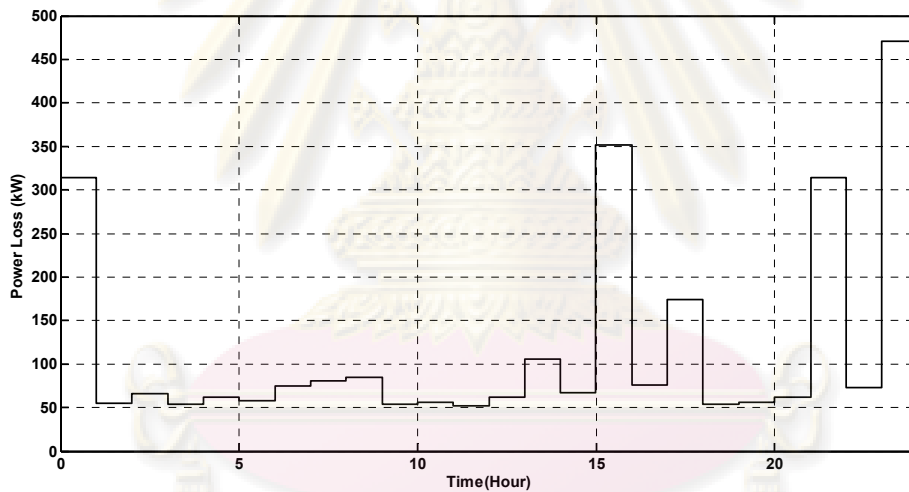
วิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	รูปแบบโหลด	จำนวนรุ่นการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม (kWh/day)	เวลาที่ใช้ (นาที)
วิธีการที่นำเสนอ	วันทำงาน	100	3,648.0656	48.30
	วันหยุด		2,876.7391	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุค	วันทำงาน	100	4,343.0275	47.12
	วันหยุด		3,527.5383	

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด ซึ่งได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 16-bus โดยทำการแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุคโดยวิธีการที่นำเสนอ ผลการคำนวณในลักษณะกราฟแสดงดังรูปที่ 5.2 - 5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

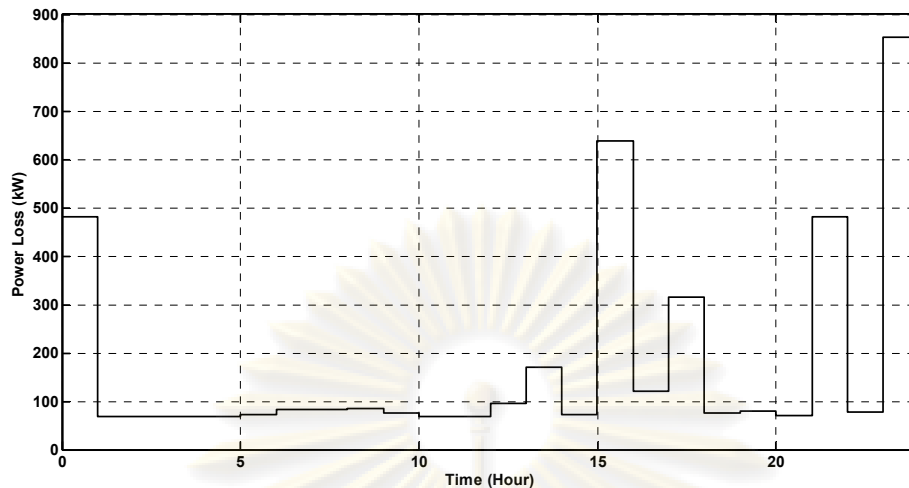


รูปที่ 5.2 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ

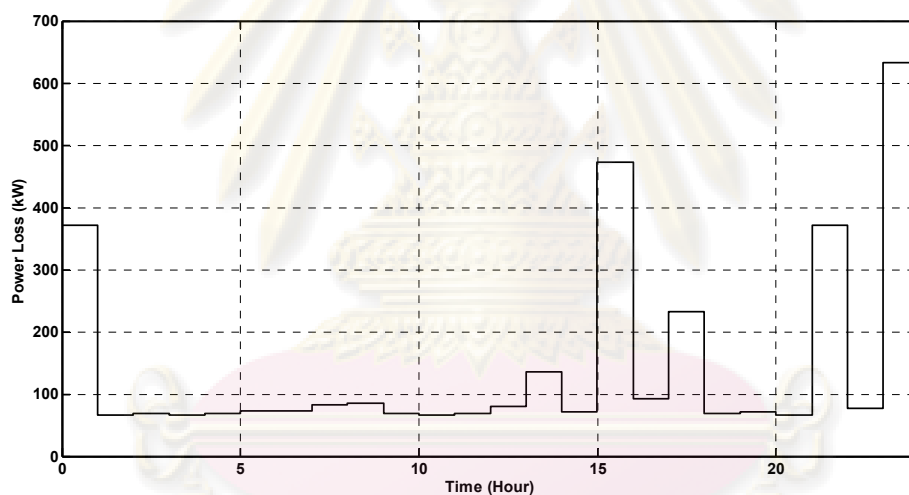


รูปที่ 5.3 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.5 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปที่ 5.2 - 5.5 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในแต่ละชั่วโมงที่ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด (พื้นที่ใต้กราฟน้อยที่สุด) ของระบบ IEEE 16-bus ในวันทำงาน 1 วัน และวันหยุด 1 วัน โดยรูปที่ 5.2 - 5.3 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หุ้ม และรูปที่ 5.4 - 5.5 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 5.2 - 5.5 ก็คือข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมดังตารางที่ 5.1 นั่นเอง

ตารางที่ 5.2 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบIEEE 16-bus

วิธีคำนวณพลังงาน ไฟฟ้าสูญเสียรวม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบ โครงสร้าง	สวิตช์เปิด		
			(5,11)	(10,14)	(7,16)
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.1	(5,11)	(10,14)	(7,16)
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.6	(8,10)	(9,11)	(7,16)
วิธีประมาณเป็น โหลดแบบสมดุ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.1	(5,11)	(10,14)	(7,16)
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.7	(8,10)	(9,11)	(6,7)

ตารางที่ 5.2 แสดงรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด) ของระบบ IEEE 16-bus ที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังตารางที่ 5.1 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ปมและวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุโดยวิธีการที่นำเสนอแล้ว พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ

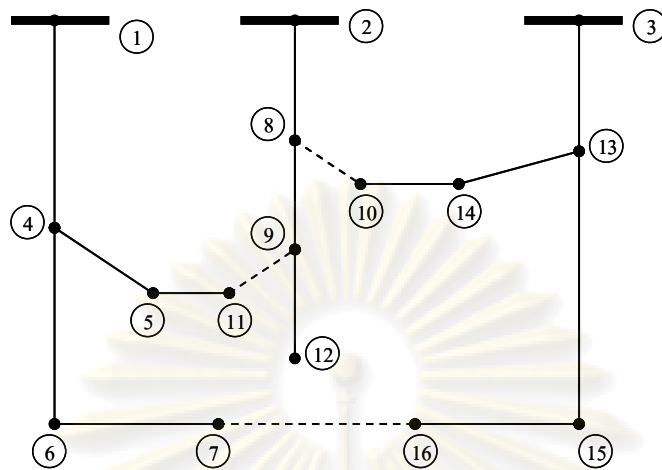
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

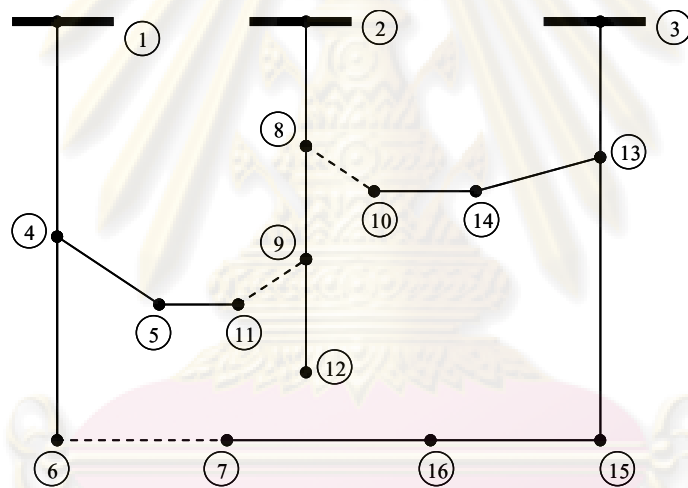
วิธีคำนวณรูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่เหมาะสม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบโครงสร้าง	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ (kWh/week)	การลดลงของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.1	$(4,053.7940 \times 5) + (3,226.9215 \times 2) = 26,722.8133$	10.21%
	หลังการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.6	$(3,648.0656 \times 5) + (2,876.7391 \times 2) = 23,993.8061$	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมมูล	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.1	$(4,053.7940 \times 5) + (3,226.9215 \times 2) = 26,722.8133$	8.40%
	หลังการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.7	$(3,703.9888 \times 5) + (2,978.8459 \times 2) = 24,477.6359$	

**พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดที่ลดลงของระบบ IEEE 16-bus หลังจากการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการทั้งสองวิธี โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์หุ้ม ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หุ้มสามารถลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในระบบ IEEE 16-bus ได้มากกว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบสมมูลโดยวิธีการที่นำเสนอ นั่นคือ รูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่ได้จากการที่นำเสนอเป็นรูปแบบสายป้อนที่ดีกว่านั่นเอง โดยความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบมีค่าเท่ากับ 1,199,536 kWh/week เมื่อเทียบกับพลังงานสูญเสียรวมของระบบพบว่า รูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งสองวิธีมีค่าพลังงานสูญเสียรวมต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 2 %



รูปที่ 5.6 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ

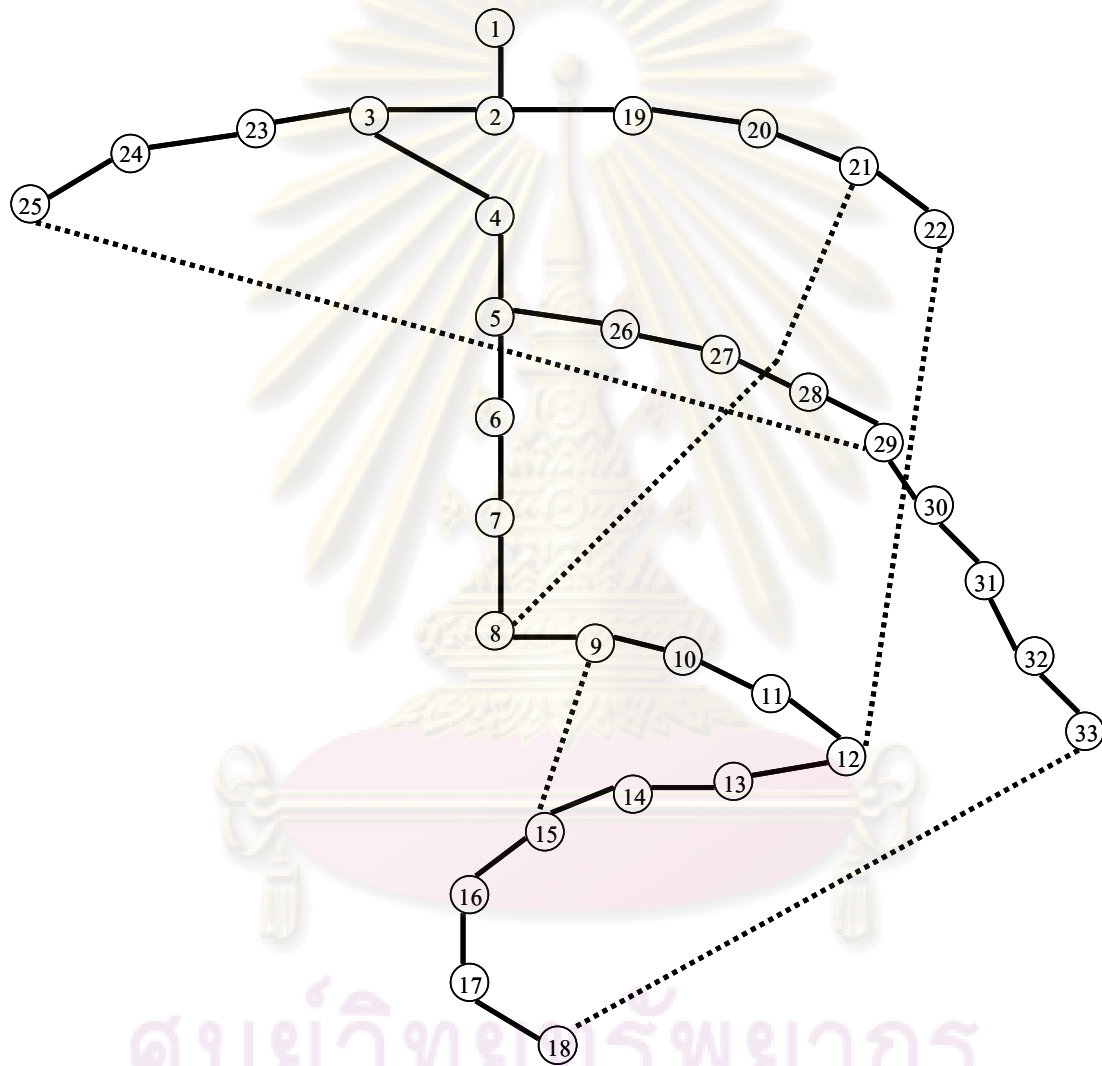


รูปที่ 5.7 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลงและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus [3]

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus แสดงดังรูปที่ 5.8 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยบัสจำนวน 33 บัส หากสมมติให้ทุกกิ่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้มีสวิตช์ตัดตอน จะมีกิ่งที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดจำนวน 37 กิ่ง และกิ่งที่อยู่ในสถานะเปิดจำนวน 5 กิ่ง รายละเอียดของข้อมูลในระบบทดสอบนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

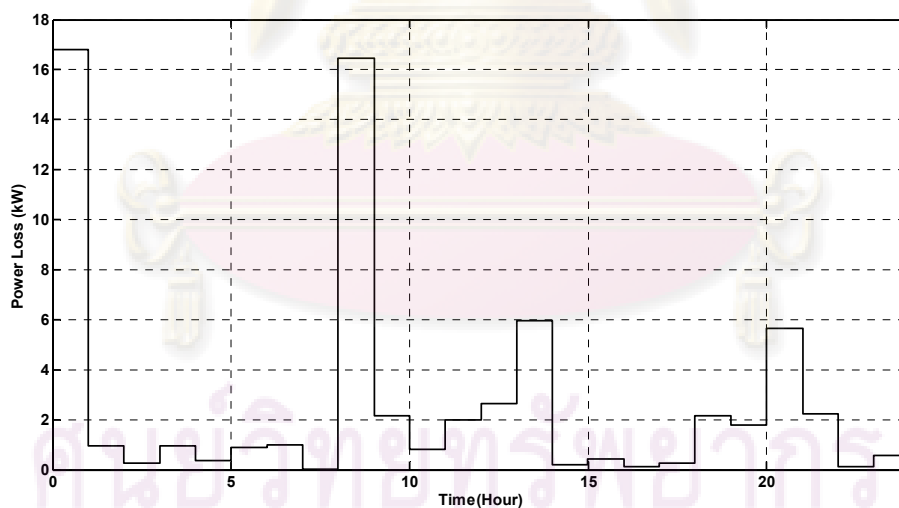


รูปที่ 5.8 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus

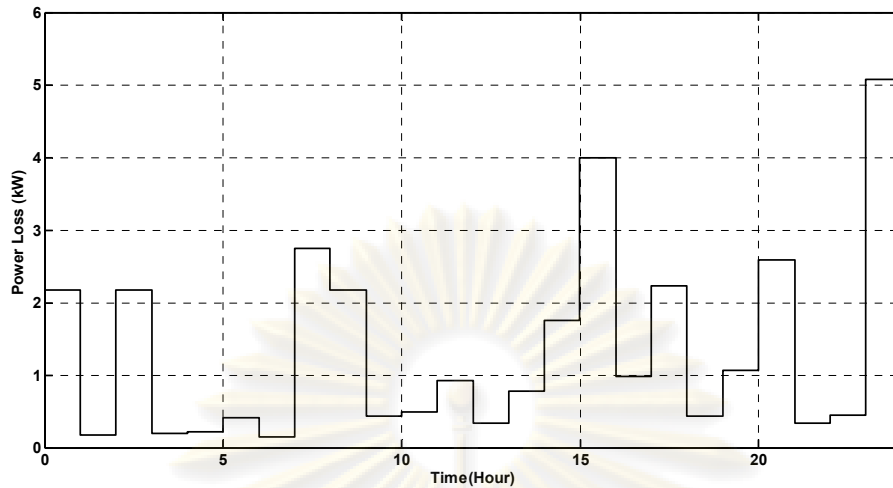
ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 33-bus

วิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	รูปแบบโหลด	จำนวนรุ่นการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม (kWh/day)	เวลาที่ใช้ (นาทีก)
วิธีการที่นำเสนอ	วันทำงาน	100	64.8314	90.81
	วันหยุด		32.2812	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุค	วันทำงาน	100	47.0062	87.36
	วันหยุด	100	17.2065	

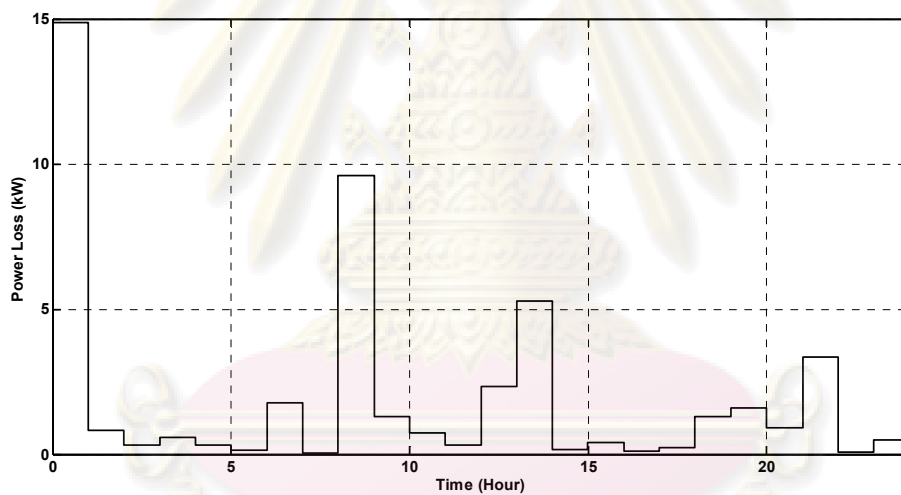
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด ซึ่งได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบ IEEE 33-bus โดยทำการแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุคโดยวิธีการที่นำเสนอ ผลการคำนวณในลักษณะกราฟแสดงดังรูปที่ 5.9 - 5.12



รูปที่ 5.9 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 33-bus หลังการปรับเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ

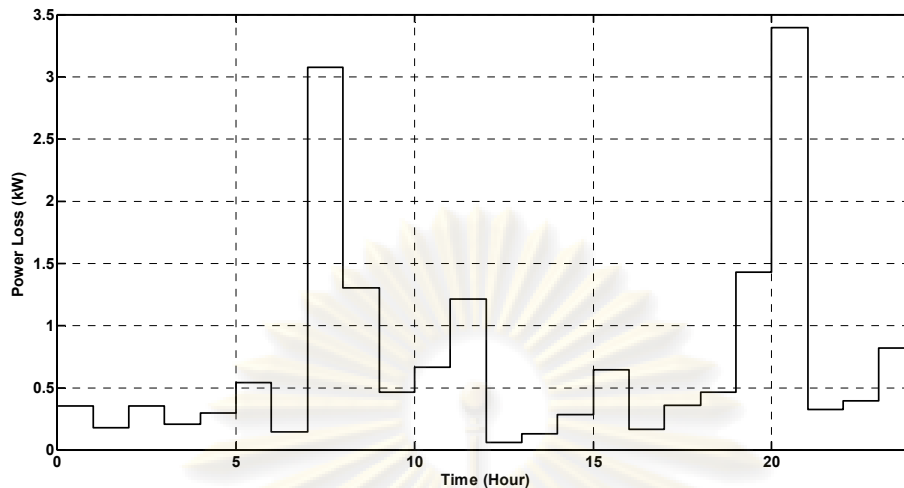


รูปที่ 5.10 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.11 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบ IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปที่ 5.9 - 5.12 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในแต่ละชั่วโมงที่ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด (พื้นที่ใต้กราฟน้อยที่สุด) ของระบบ IEEE 33-bus ในวันทำงาน 1 วัน และวันหยุด 1 วัน โดยรูปที่ 5.9 – 5.10 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หีบม และรูปที่ 5.11 – 5.12 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 5.9 – 5.12 ก็คือข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมดังตารางที่ 5.4 นั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบ IEEE 33-bus

วิธีคำนวณ พลังงานไฟฟ้า สูญเสียรวม	ระบบจำหน่าย ไฟฟ้า	รูปแบบ โครงสร้าง	สวิตช์เปิด				
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.8	(8,21)	(9,15)	(12,22)	(18,33)	(25,29)
	หลังการจัดเรียง สายป้อนใหม่	รูปที่ 5.11	(7,8)	(9,10)	(13,14)	(15,16)	(28,29)
วิธีประมาณเป็น โหลดแบบสมมูล	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.8	(8,21)	(9,15)	(12,22)	(18,33)	(25,29)
	หลังการจัดเรียง สายป้อนใหม่	รูปที่ 5.12	(14,15)	(9,10)	(17,18)	(8,21)	(28,29)

ตารางที่ 5.5 แสดงรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด) ของระบบ IEEE 33-bus ที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังตารางที่ 5.4 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ปมและวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมมูลโดยวิธีการที่นำเสนอแล้ว พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

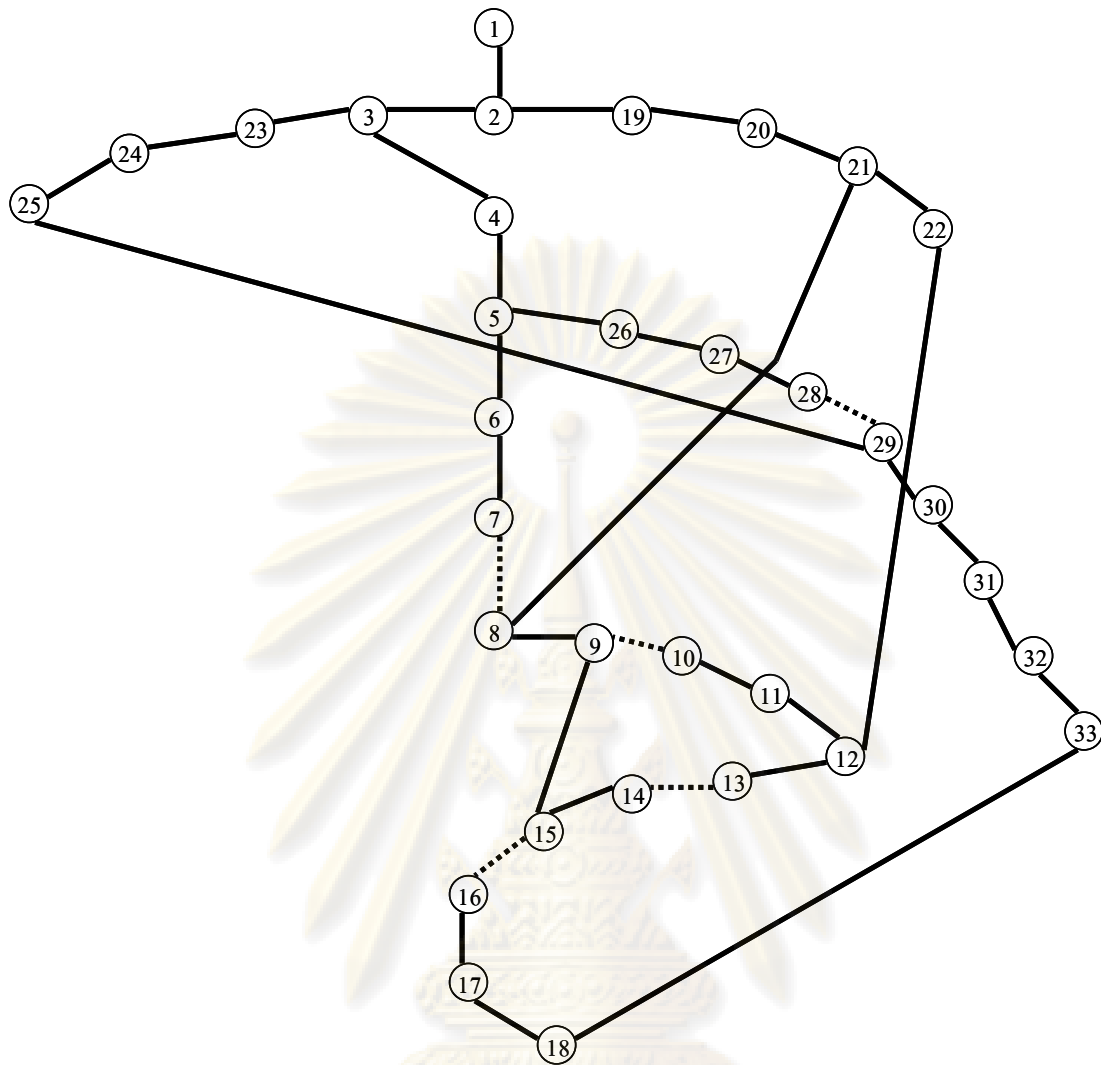
ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

วิธีคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบโครงสร้าง	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ (kWh/week)	การลดลงของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.8	$(102.2021*5) + (50.2414*2)$ = 611.4932	36.43%
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.11	$(64.8314*5) + (32.2812*2)$ = 388.7192	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุล	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.8	$(102.2021*5) + (50.2414*2)$ = 611.4932	36.24%
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.12	$(64.9050*5) + (32.6873*2)$ = 389.8998	

**พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการที่นำเสนอ

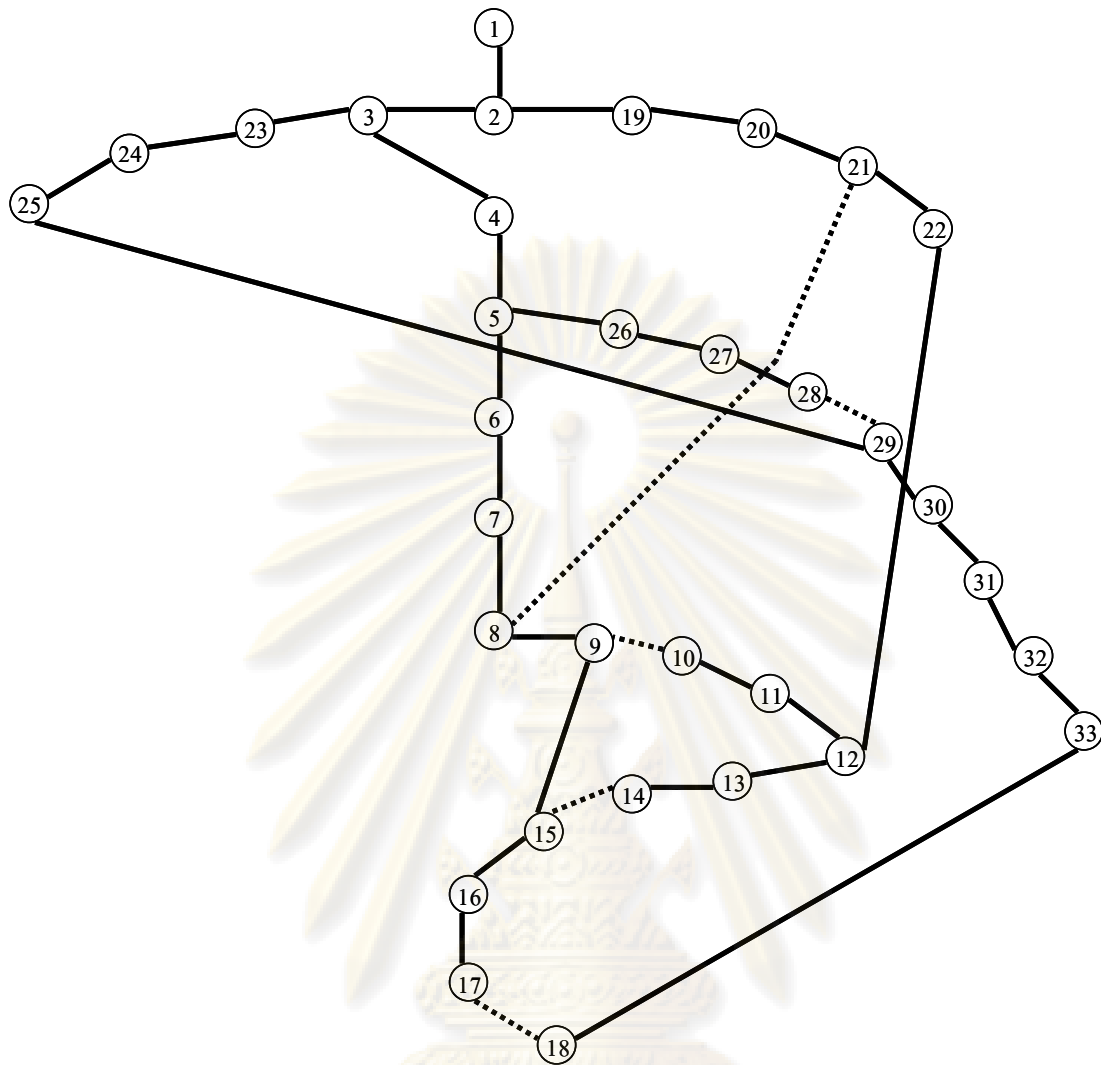
ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดที่ลดลงของระบบ IEEE 33-bus หลังจากการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการทั้งสองวิธี โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์หุ้ม ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หุ้มสามารถลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในระบบ IEEE 33-bus ได้มากกว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ นั่นคือ รูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอเป็นรูปแบบสายป้อนที่ดีกว่านั่นเอง โดยความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบมีค่าเท่ากับ 29,482 kWh/week เมื่อเทียบกับพลังงานสูญเสียรวมของระบบพบว่า รูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งสองวิธีมีค่าพลังงานสูญเสียรวมต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 1.3 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ

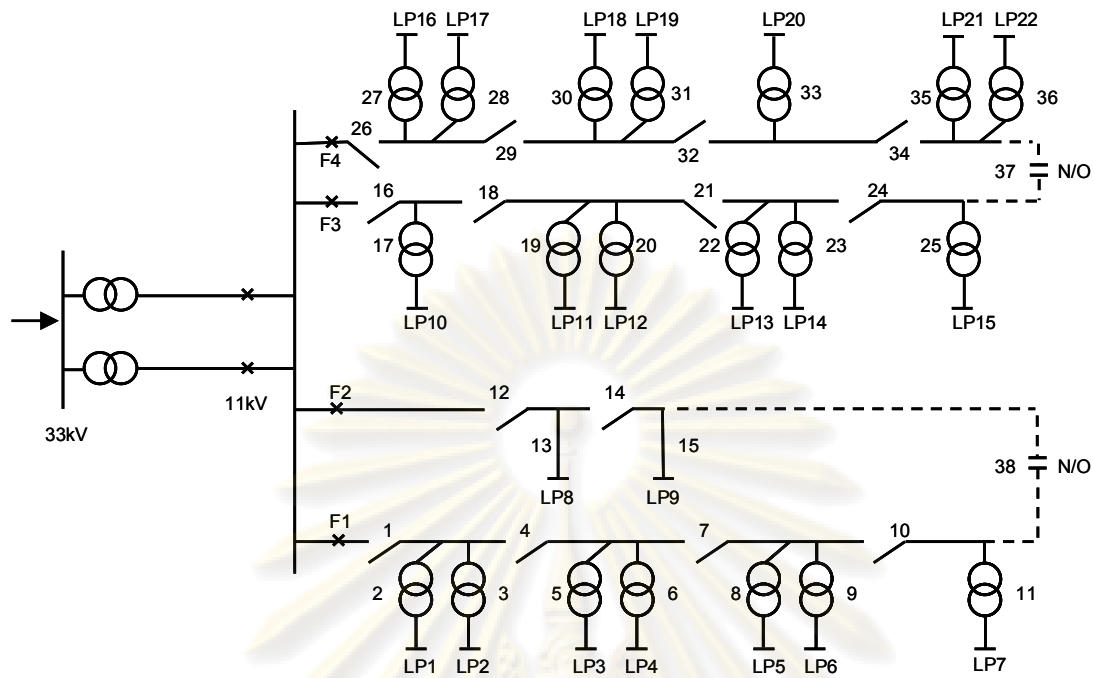
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

5.3 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ Roy Billinton (Roy Billinton Test System , RBTS)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า RBTS แสดงดังรูปที่ 5.15 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยบัสจำนวน 40 บัส หากสมมติให้บางกิ่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้มีสวิตช์ตัดตอน จะมีกิ่งที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดจำนวน 14 กิ่ง และกิ่งที่อยู่ในสถานะเปิดจำนวน 2 กิ่ง รายละเอียดของข้อมูลในระบบทดสอบนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

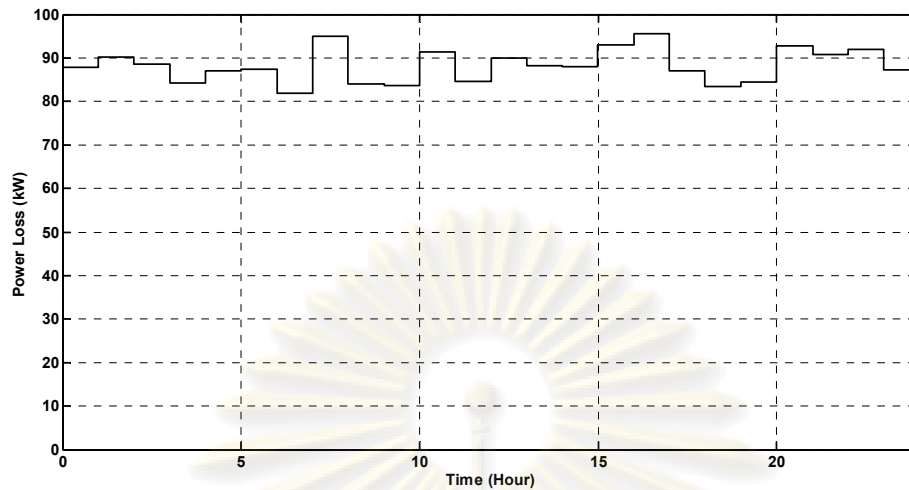


รูปที่ 5.15 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS

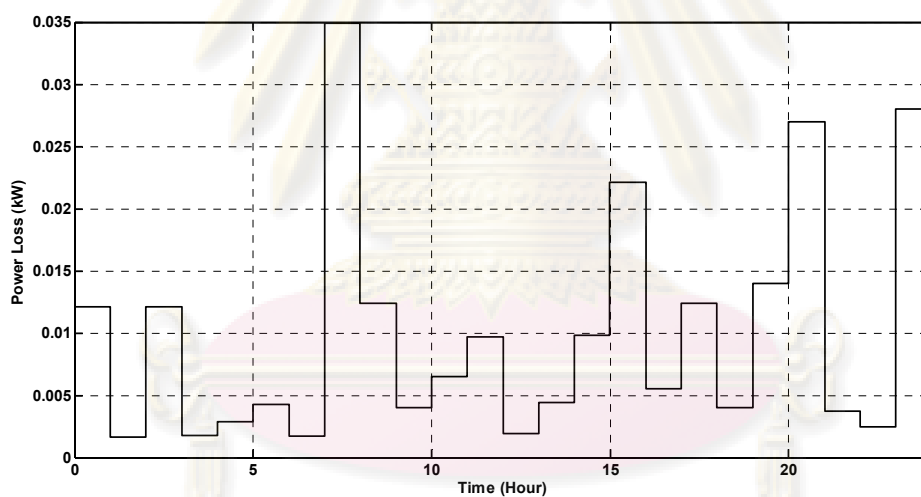
ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบทดสอบ RBTS

วิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	รูปแบบโหลด	จำนวนรุ่นการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม (kWh/day)	เวลาที่ใช้ (นาทีก)
วิธีการที่นำเสนอ	วันทำงาน	100	2,118.1084	20.23
	วันหยุด		577.4858	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุล	วันทำงาน	100	2,230.4193	19.11
	วันหยุด	100	584.1004	

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด ซึ่งได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบทดสอบ RBTS โดยทำการแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ ผลการคำนวณในลักษณะกราฟแสดงดังรูปที่ 5.16 - 5.19

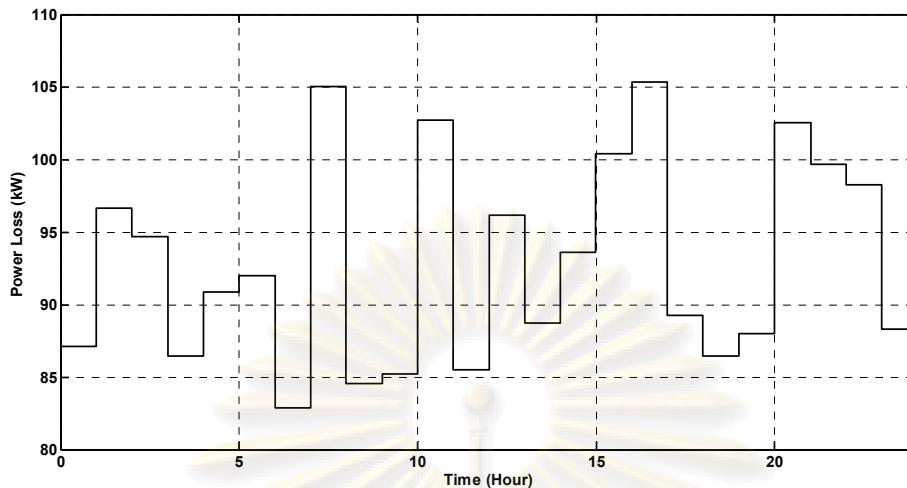


รูปที่ 5.16 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อน
ด้วยวิธีการที่นำเสนอ

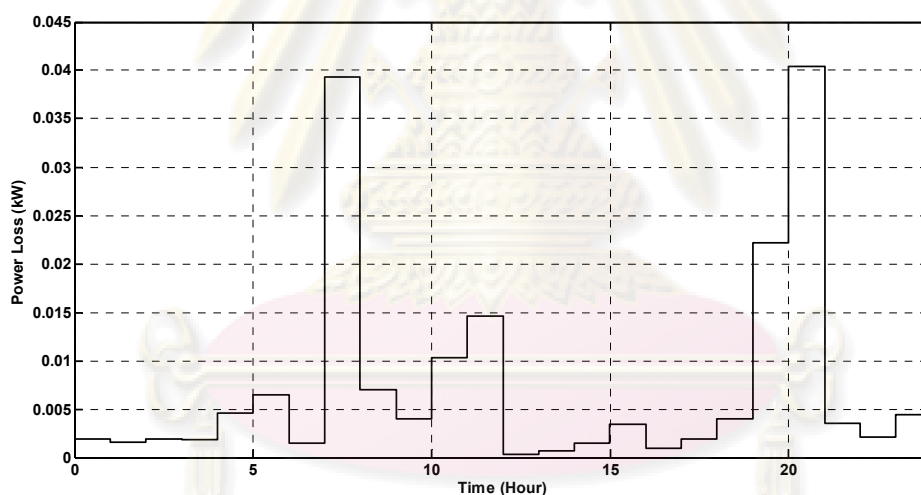


รูปที่ 5.17 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อน
ด้วยวิธีการที่นำเสนอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.19 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปที่ 5.16 - 5.19 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในแต่ละชั่วโมงที่ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด (พื้นที่ใต้กราฟน้อยที่สุด) ของระบบทดสอบ RBTS ในวันทำงาน 1 วัน และวันหยุด 1 วัน โดยรูปที่ 5.16 - 5.17 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ห้ปม และรูปที่ 5.18 - 5.19 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการ

คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งพื้นที่ได้กราฟของรูปที่ 5.16 – 5.19 ก็คือ ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมดังตารางที่ 5.7 นั้นเอง

ตารางที่ 5.8 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบทดสอบ RBTS

วิธีคำนวณพลังงานไฟฟ้า สูญเสียรวม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบโครงสร้าง	สวิตช์เปิด	
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.15	38	37
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.18	7	37
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบ สมดุล	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.15	38	37
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.19	7	24

ตารางที่ 5.8 แสดงรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด) ของระบบทดสอบ RBTS ที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังตารางที่ 5.7 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หีบม และวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอแล้ว พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

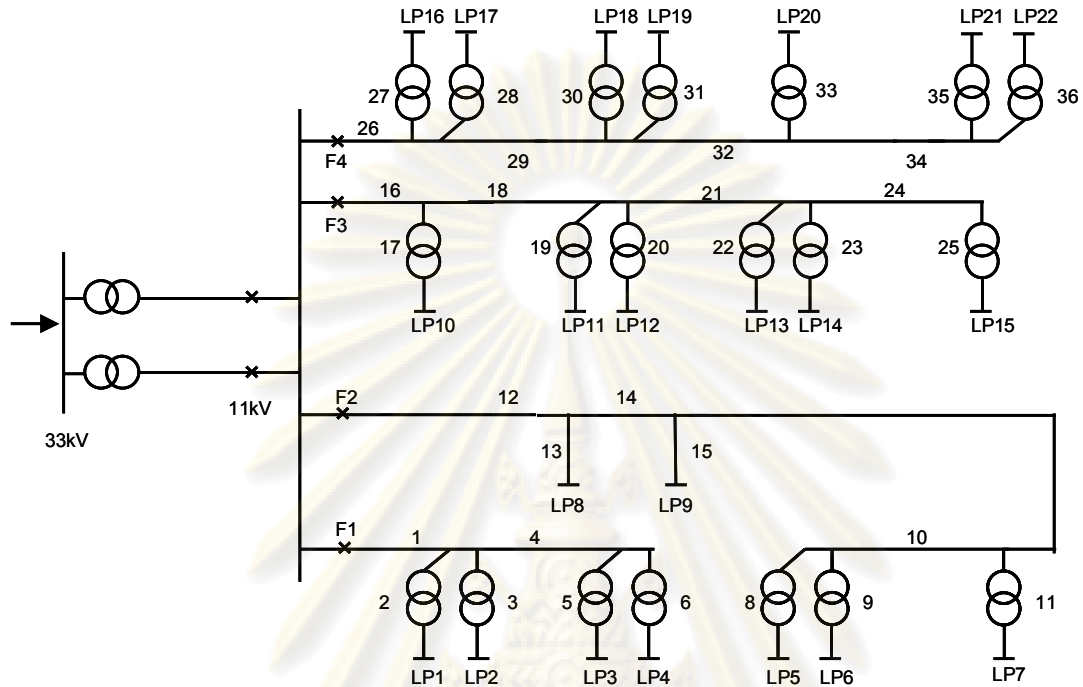
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

วิธีคำนวณ รูปแบบ โครงสร้างสาย ป้อนที่ เหมาะสม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบ โครงสร้าง	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ (kWh/week)	การลดลงของ พลังงานไฟฟ้า สูญเสียรวม
วิธีการที่ นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.15	$(2,290.4160*5) +$ $(628.3123*2)$ $= 12,709.7044$	7.59%
	หลังการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.18	$(2,118.1084*5) +$ $(577.4858*2)$ $= 11,745.5136$	
วิธีประมาณ เป็นโหลดแบบ สมดุล	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.15	$(2,290.4160*5) +$ $(628.3123*2)$ $= 12,709.7044$	2.89%
	หลังการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ 5.19	$(2,227.2605*5) +$ $(603.1681*2)$ $= 12,342.6387$	

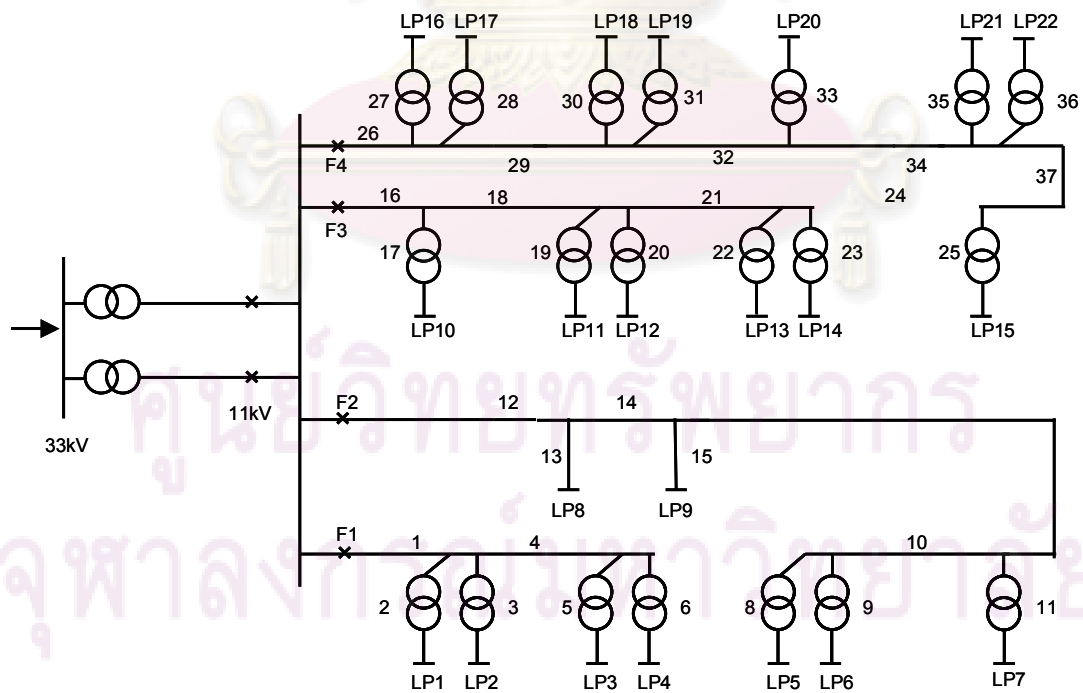
**พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.9 แสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดที่ลดลงของระบบทดสอบ RBTS หลังจากการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการทั้งสองวิธี โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์หุ้ม ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หุ้มสามารถลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในระบบทดสอบ RBTS ได้มากกว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ นั่นคือ รูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอเป็นรูปแบบสายป้อนที่ดีกว่านั่นเอง โดยความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบมีค่าเท่ากับ 2,172,806 kWh/week เมื่อเทียบกับพลังงานสูญเสียรวมของระบบพบว่า รูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณการ

โหลดของกำลังไฟฟ้าทั้งสองวิธีมีค่าพลังงานสูญเสียรวมต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 0.5 %



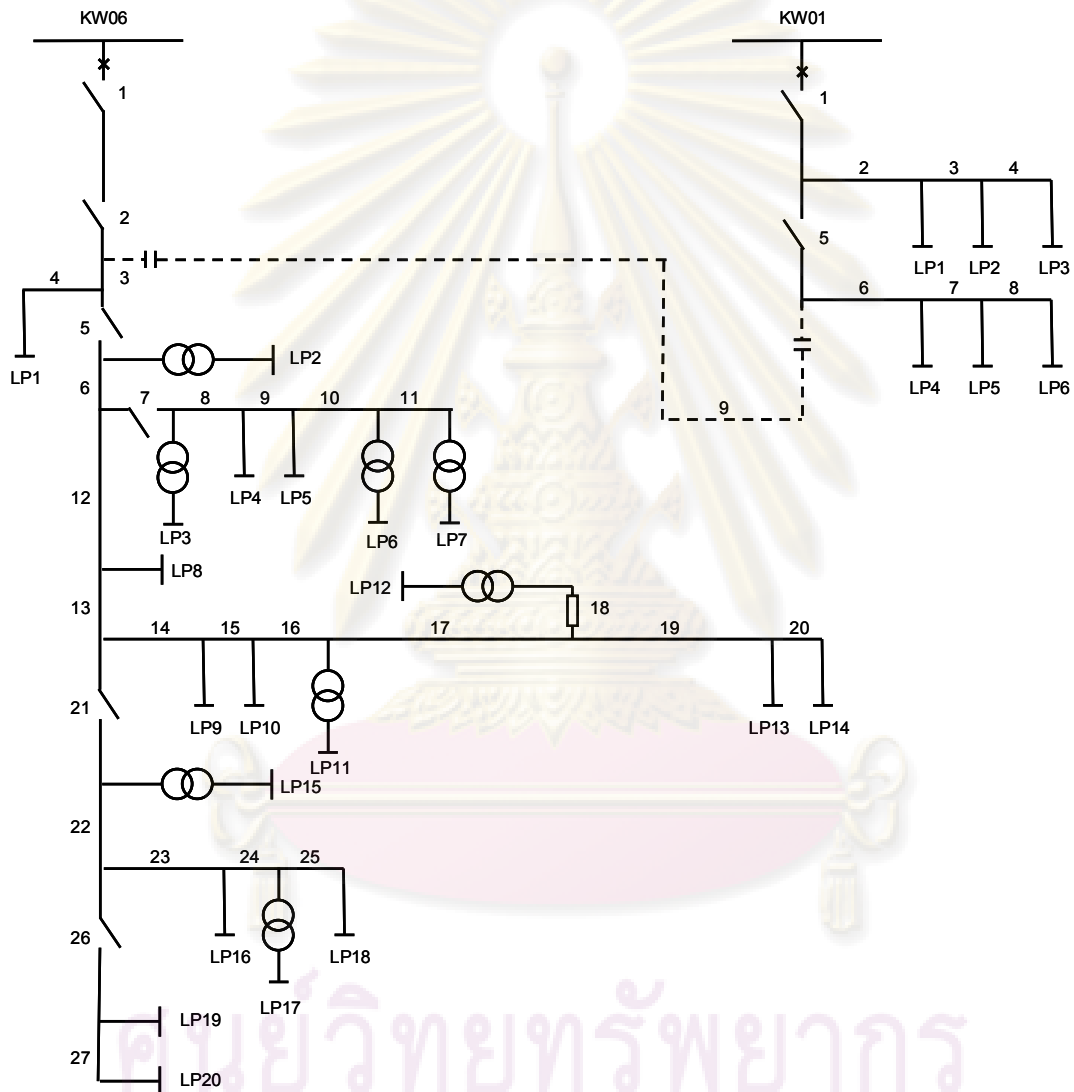
รูปที่ 5.20 ระบบทดสอบ RBTS หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยอาศัยวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.21 ระบบทดสอบ RBTS หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยการประมาณเป็นโหลดแบบสมมูล และใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

5.4 การทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 5.22 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยบัสจำนวน 38 บัส ระบบดังกล่าวมีกิ่งที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดจำนวน 8 กิ่ง และกิ่งที่อยู่ในสถานะเปิดจำนวน 1 กิ่ง นอกนั้นเป็นกิ่งที่ไม่มีสวิตช์ติดตั้งอยู่ รายละเอียดของข้อมูลในระบบทดสอบนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก ก



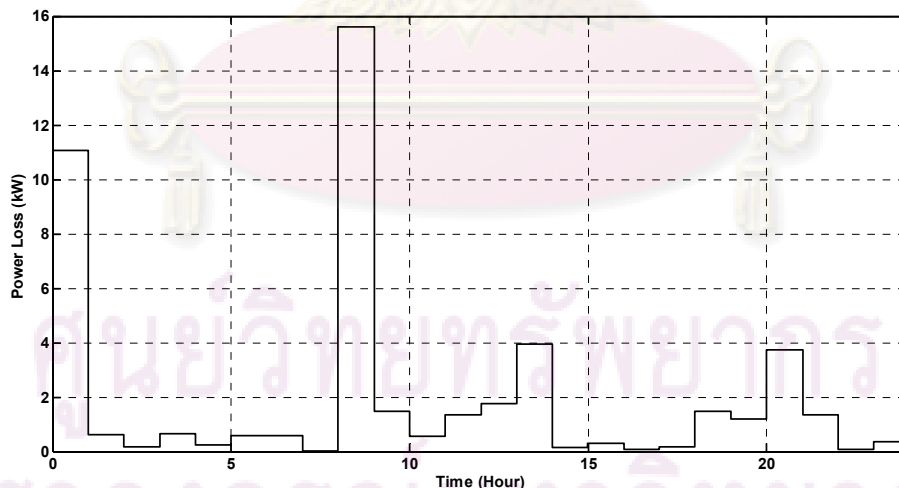
รูปที่ 5.22 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

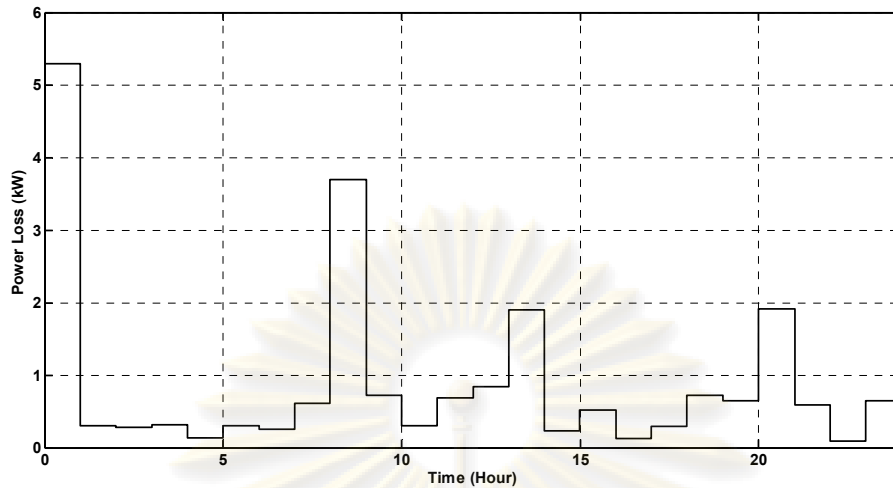
ตารางที่ 5.10 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	รูปแบบโหลด	จำนวนรุ่นการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม (kWh/day)	เวลาที่ใช้ (นาที)
วิธีการที่นำเสนอ	วันทำงาน	100	47.5074	21.56
	วันหยุด		21.4151	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุล	วันทำงาน	100	34.5719	20.40
	วันหยุด		14.1972	

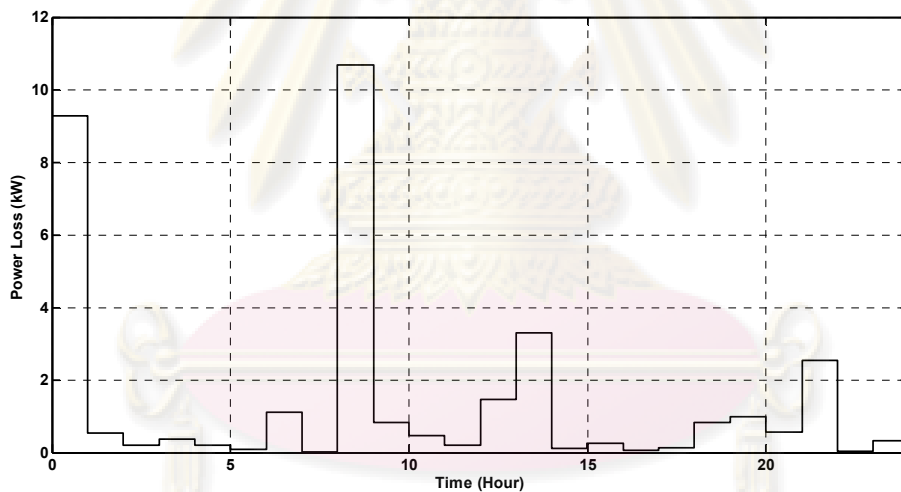
ตารางที่ 5.10 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด ซึ่งได้จากการคำนวณรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยทำการแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ ผลการคำนวณในลักษณะกราฟแสดงดังรูปที่ 5.23 - 5.26



รูปที่ 5.23 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ

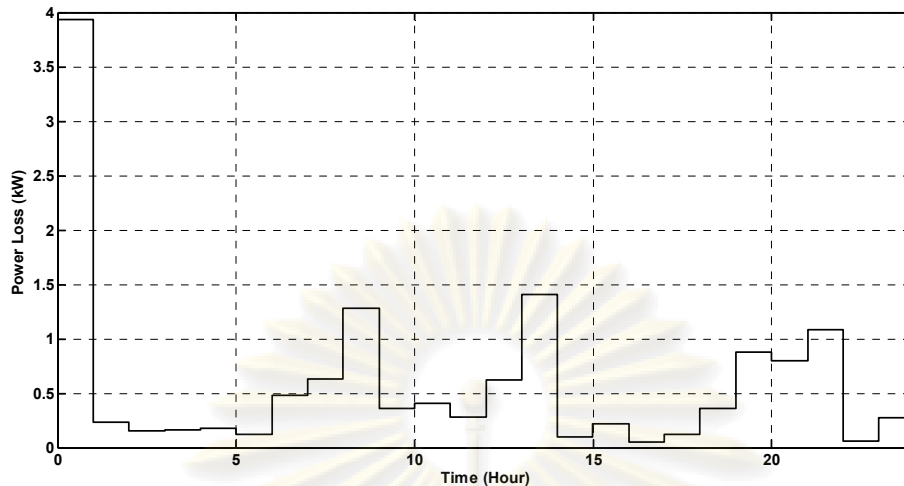


รูปที่ 5.24 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.25 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันทำงานในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.26 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของวันหยุดในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังการจัดเรียงสายบ่อน ด้วยวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลงและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปที่ 5.23 - 5.26 แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมในแต่ละชั่วโมงที่ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด (พื้นที่ใต้กราฟน้อยที่สุด) ของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในวันทำงาน 1 วัน และวันหยุด 1 วัน โดยรูปที่ 5.23 - 5.24 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ห้ปม และรูปที่ 5.25 - 5.26 จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 5.23 - 5.26 ก็คือข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมดังตารางที่ 5.10 นั้นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิธีคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบโครงสร้าง	สวิตช์เปิด	
			KWA01	KWA06
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.22	9	-
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.27	-	1 และ 2
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุล	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.22	9	-
	หลังการจัดเรียงสายป้อนใหม่	รูปที่ 5.27	-	1 และ 2

ตารางที่ 5.11 แสดงรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมน้อยที่สุด) ของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมดังตารางที่ 5.10 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอแล้ว พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีรูปแบบโครงสร้างเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนทั้งสองวิธี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หุ้มในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

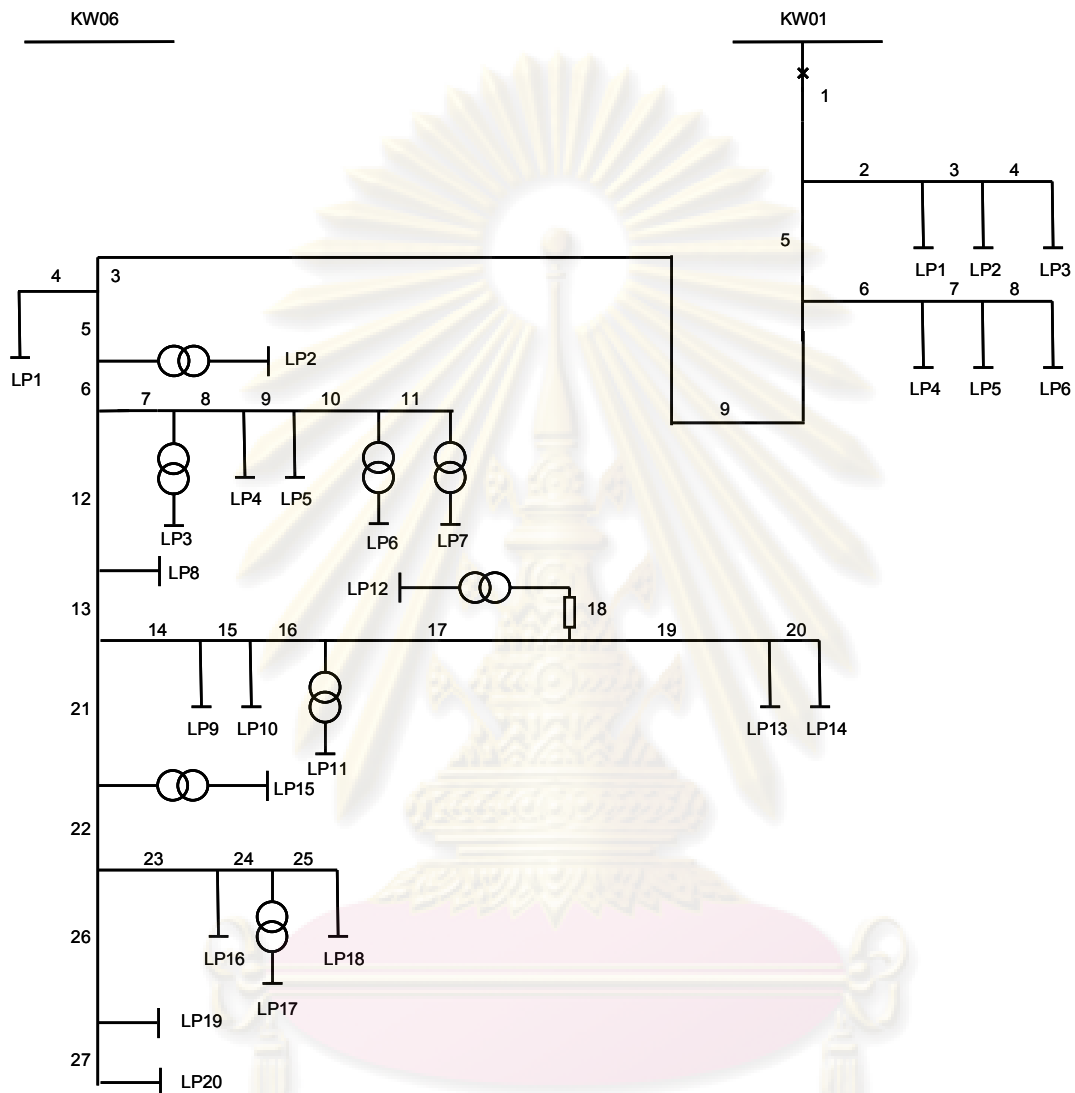
วิธีคำนวณรูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่เหมาะสม	ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	รูปแบบโครงสร้าง	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ (kWh/week)	การลดลงของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวม
วิธีการที่นำเสนอ	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.22	$(60.8762*5) + (27.9550*2) = 360.2912$	22.18%
	หลังการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.27	$(47.5074*5) + (21.4151*2) = 280.3673$	
วิธีประมาณเป็นโหลดแบบสมดุล	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.22	$(60.8762*5) + (27.9550*2) = 360.2912$	22.18%
	หลังการจัดเรียงสายป้อน	รูปที่ 5.27	$(47.5074*5) + (21.4151*2) = 280.3673$	

**พลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมใน 1 สัปดาห์ใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.12 แสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดที่ลดลงของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังจากการจัดเรียงสายป้อนด้วยวิธีการทั้งสองวิธี โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์หุ้ม ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีการทั้งสองทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิลดลงได้ 22.18%

จากผลดังกล่าวทำให้เราสรุปได้ว่า สำหรับระบบตัวอย่างที่มีสวิตช์ติดตั้งอยู่ไม่มากอย่างเช่นระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รูปแบบโครงสร้างสายป้อนที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอและจากวิธีการประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลและคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนออาจจะให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน โดยความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบมีค่าเท่ากับ 24,136 kWh/week เมื่อเทียบกับพลังงานสูญเสียรวมของระบบพบว่า รูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดที่

ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งสองวิธีมีค่าพลังงานสูญเสียรวมต่อความต้องการใช้ก
พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 1.2 %



รูปที่ 5.27 ระบบทดสอบ Roy Billinton หลังจากจัดเรียงสายป้อนโดยวิธีที่นำเสนอและการ
ประมาณเป็นโหลดแบบสมดุลและใช้วิธีการที่นำเสนอในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรม วิธีการที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งแบบโหลดสมดุลและโหลดไม่สมดุล ผลการทดสอบพบว่า รูปแบบโครงสร้างหลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปม (Node Analysis) ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลง 10.21 % และรูปแบบโครงสร้างหลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus หลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปม ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลง 36.43 % และรูปแบบโครงสร้างหลักของระบบทดสอบ RBTS หลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปม ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลง 7.59% ซึ่งรูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปมของทั้ง 3 ระบบดังที่กล่าวมาทำให้ระบบลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียได้มากกว่ารูปแบบโครงสร้างหลักของระบบหลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ ส่วนรูปแบบโครงสร้างหลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสายป้อน KWA01 - KWA06 ที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ปมมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบโครงสร้างหลักของระบบหลังการจัดเรียงสายป้อนที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลโดยวิธีการที่นำเสนอ และทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลง 22.18% ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

จากผลการทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบดังที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า สำหรับระบบที่มีสวิตช์ติดตั้งอยู่ไม่มากผลการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอและวิธีการประมาณโหลดเป็นแบบสมดุลอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดี การจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายตัวอย่างส่วนใหญ่ซึ่งมีสวิตช์ติดตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นแบบโหลดไม่สมดุลสามเฟส เนื่องจากในความเป็นจริงระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะมีลักษณะโหลดเป็นแบบไม่สมดุลสามเฟส และจากผลการทดสอบก็แสดงให้เห็นว่า ถ้า

การจัดเรียงสายป้อนที่อาศัยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการประมาณโหลดเป็นแบบ สมดุลจะส่งผลให้รูปแบบโครงสร้างที่ได้หลังการจัดเรียงสายป้อนนั้นอาจไม่ใช่รูปแบบโครงสร้างที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่น้อยที่สุดจริงได้ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้เสนอวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์หีบม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยพิจารณาโหลดทั้งสามเฟสร่วมกับหลักการจัดเรียงสายป้อนโดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบจำหน่ายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่พิจารณามีค่าต่ำที่สุดโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์แบบขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

อย่างไรก็ดี วิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน เนื่องจากระหว่างขั้นตอนวิธีทางพันธุศาสตร์แต่ละรุ่นการถ่ายทอดต้องผ่านขั้นตอนการตรวจสอบว่าในระบบมีโครงสร้างระบบย่อยหรือไม่ และแต่ละโครงสร้างย่อยมีรูปแบบเป็นแบบเรเดียลหรือไม่ นอกจากนี้ในขั้นตอนการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะต้องทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสจำนวนหลายครั้ง เนื่องจากโหลดที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาทำให้ต้องใช้เวลาคำนวณมาก

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลตอบของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบภายใน 1 สัปดาห์ โดยการประมาณโหลดให้วันทำงานทุกวันมีระดับโหลดเฉลี่ยเท่ากัน และวันหยุดทุกวันมีระดับโหลดเฉลี่ยเท่ากัน ซึ่งผลการคำนวณที่ได้เป็นที่น่าพอใจ สำหรับการศึกษและพัฒนาต่อไปควรนำวิธีที่นำเสนอไปปรับปรุงแก้ไขให้สามารถหาผลตอบของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบโดยระดับโหลดในแต่ละวันไม่จำเป็นต้องเท่ากันได้

2) สำหรับการศึกษและพัฒนาต่อไปอาจนำวิธีที่นำเสนอไปปรับปรุงแก้ไขให้สามารถหาผลตอบของรูปแบบโครงสร้างที่ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดในระบบที่น้อยที่สุดได้ภายในระยะเวลารวดเร็วมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Esther Romero Ramos, Fellow Riquelme Santos, Francisco Llorens Iborra. Path-Based Distribution Network Modeling: Application to Reconfiguration for Loss Reduction. IEEE Transactions on Power Systems 20 (May 2005) : 556-564.
- [2] Ching-Tzong Su Chu-Sheng Lee. Network Reconfiguration of Distribution Systems Using Improved Mixed-Integer Hybrid Differential Evolution. IEEE Transactions on Power Delivery 18 (July 2003) : 1022-1027.
- [3] F. S. Pereira, K. Vittori, G. R. M. Da Costa. Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction Based on Ant Colony Behavior 2006 : 1-5.
- [4] Charles Daniel L., Hafeezulla Khan I., Ravichandran S. Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm. IEEE Indicon 2005 Conference 11-13 (December 2005) : 619-622.
- [5] V.C. Veera Reddy, N. Perumal, Y. Rajasekharareddy. Loss Reduction in Distribution Networks by Network Reconfiguration: A Two Stage Solution Approach. National Power & Energy Conference(PECon) 20 2004 : 241-246.
- [6] Enrico Carpaneto, Gianfranco Chicco, Emiliano Roggero. Comparing deterministic and simulated annealing-based algorithms for minimum losses reconfiguration of large distribution systems. 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference 23-26 2003.
- [7] Ying-Yi Hong, Saw-Yu Ho. Genetic Algorithm Based Network Reconfiguration for Loss Minimization in Distribution Systems 2003 : 486-490.
- [8] Jorge Mendoza, Dario Morales, Philippe Dessante, Roger Moraga. Minimal Loss Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Retriected Population and Addressed Operators: Real Application. IEEE Transactions on Power Systems 21 (May 2006) : 948-954.
- [9] Joon-Ho Choi, Jae-Chul Kim. Network Reconfiguration at the Power Distribution System with Dispersed Generations for Loss Reduction. 2000 : 2363-2367
- [10] Jin-Cheng Wang, Hsiao-Dong Chiang, Gary R. Darling. An Efficient Algorithm for Real-Time Network Reconfiguration in Large Scale Unbalanced Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Systems 11 (February 1996) : 511-

516.

- [11] นายปฐม อัดตวิริยะนุภาพ. พ.ศ. 2540. การทำออปติมัลเพาเวอร์โพลโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] M.M.A. Salama, A.Y. Chikhani. Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: An Algorithm Based on Network Partitioning Theory. IEEE Transactions on Power Systems 11 (February 1996) : 504-510.
- [13] R.J. Sarfi, M.M.A. Salama, A.Y. Chikhani. Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: A New Algorithm Based on a Set of Quantified Heuristic Rules : 125-130.
- [14] Su Hongtian, Zhang Shuangrui, Song Wennan, D.Z. Fang. Application of Loop Equation for Distribution Network Reconfiguration. The 5th International Conference on Advances in Power System Control (October 2000) : 548-552.
- [15] S. K. Goswami, S. K. Basu. A New Algorithm For The Reconfiguration Of Distribution Feeders For Loss Minimization. 7 (July 1992) : 1484-1490.
- [16] Jorge Mendoza, Dario Morales, Philippe Dessante, Roger Moraga. Minimal Loss Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Retriected Population and Addressed Operators: Real Application. IEEE Transactions on Power Systems 21 (May 2006) : 948-954.
- [17] Dommel, H.W., and Tinney, W.F. Optimal power flow solutions. IEEE Transactions on Power Systems 10 (October 1968) : 1866-1876.
- [18] Yin, X., and Gerday, N. Investigations on solving the load flow problem by genetic algorithms. Electric Power Systems Research 22 1991 : 151-163.
- [19] Walters, D.C., and Sheble, G.B. Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading. IEEE Transactions on Power Systems 3 (August 1993) : 1325-1332.
- [20] Wong, K.P., and Func, C.C. Simulated annealing based economic dispatch algorithm. Proceeding of the IEE 6 (November 1993) : 509-515.
- [21] Bakirtzis, A., Petridis, V., and Kazarlis, S. Genetic algorithm solution to the economic dispatch problem. IEE Proceedings of the Generation, Transmission and Distribution 4 (July 1994) : 377-382.

- [22] Wong, K.P., and Wong, Y.W. Genetic and genetic/simulated-annealing approaches to economic dispatch. IEE Proceedings of the Generation, Transmission and Distribution 5 (September 1994) : 507-513.
- [23] Chira Achayuthakan. Genetic algorithms application to economic load dispatch. Master degree's thesis, Asian Institute of Technology, 1997.
- [24] Ma, J.T., and Wu, Q.H. Application of evolutionary programming to optimal reactive power dispatch. Proceedings of the first IEEE Conference on Evolutionary Computation 2 : 30-735.
- [25] Wu, Q.H., and Ma, J.T. Genetic search for optimal reactive power dispatch of power systems. IEE International Conference on Control 389 (1994) : 717-722.
- [26] Dasgupta, D., and McGregor, D.R. Thermal unit commitment using genetic algorithms. IEE Proceedings of the Generation, Transmission and Distribution 5 (September 1994) : 459-465.
- [27] Orero, S.O., and Irving, M.R. Large scale unit commitment using a hybrid genetic algorithm. Electrical Power & Energy Systems 1 (1996) : 45-55.
- [28] Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, Inc., 1989.
- [29] Michalewicz, Z. Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs. Springer Verlag, 1992.
- [30] Davis, L. Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Morgan Kaufmann, 1997.
- [31] Man, K.F., Tang, K.S., and Kwong, S. Genetic algorithm : Concept and application. IEEE Transactions on Industrial Electronics 5 (October 1996) : 519-534.
- [32] Syswerda, G. Uniform crossover in genetic algorithm. Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms University of Illinois at Urbana-Champaign, 1993 : 2-9.
- [33] J.S. Savier and Debapriya Das. Impact of Network Reconfiguration on Loss Allocation of Radial Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery 4 (October 2007) : 2473-2479.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

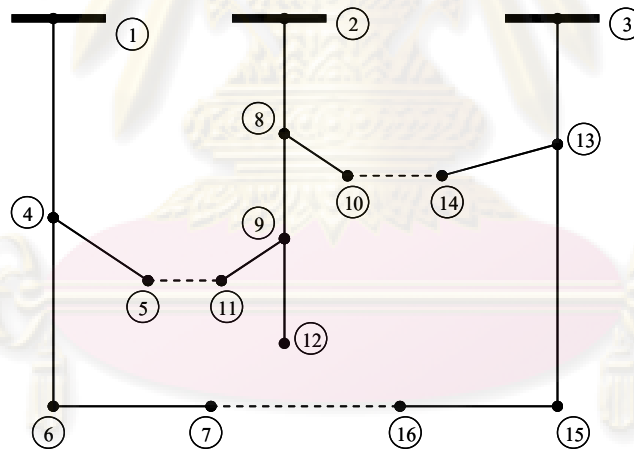
ภาคผนวก ก

ระบบทดสอบ

ในภาคผนวก ก ได้แสดงถึงข้อมูลของระบบทดสอบที่ได้นำมาใช้ในการทดสอบอันประกอบไปด้วย ระบบทดสอบ IEEE 16-bus , ระบบทดสอบ IEEE 33-bus , ระบบทดสอบของ Roy Billinton บัส 2 และระบบทดสอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสายป้อน KWA01 และสายป้อน KWA06 โดยแต่ละระบบทดสอบจะแสดงถึงข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้าฐาน และข้อมูลสายป้อนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ก.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 16-bus จะถูกจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเดียวกันโดยมีขนาด 100 MVA ที่ระดับแรงดัน 23 kV ข้อมูลสายป้อนแสดงไว้ในตารางที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ระบบทดสอบ IEEE 16-bus

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE 16-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
1	4	0.08	0.10
4	5	0.08	0.11
4	6	0.09	0.18
6	7	0.04	0.04

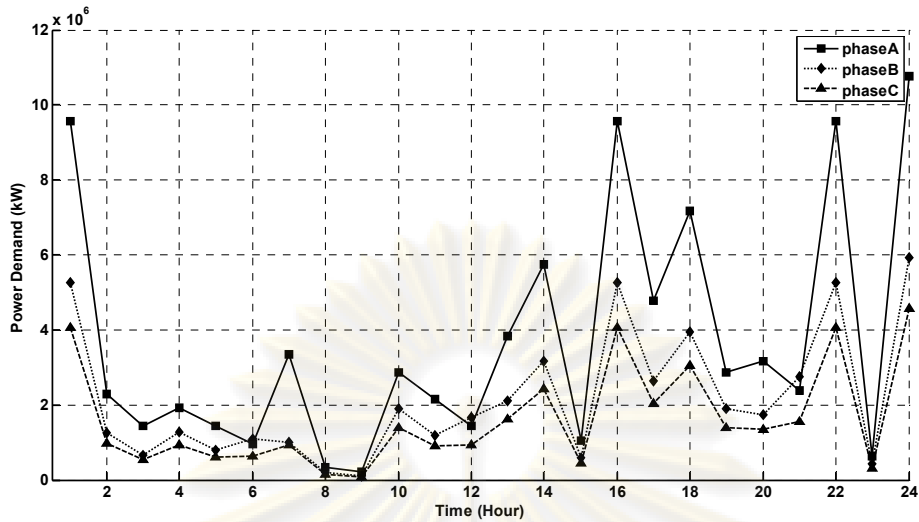
ตารางที่ ก.1(ต่อ) ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE16-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
2	8	0.11	0.11
8	9	0.08	0.11
8	10	0.11	0.11
9	11	0.11	0.11
9	12	0.08	0.11
3	13	0.11	0.11
13	14	0.09	0.12
13	15	0.08	0.11
15	16	0.04	0.04
5	11	0.04	0.04
10	14	0.04	0.04
7	16	0.09	0.12

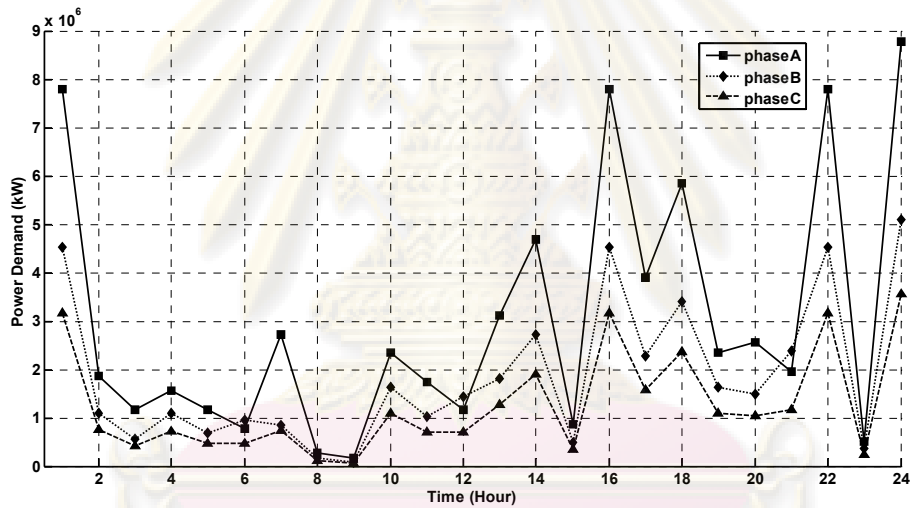
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลบัสของระบบIEEE 16-bus

บัส	ตัวเก็บประจุไฟฟ้า(Capacitor Bank (MVar))
5	1.10
6	1.20
9	1.20
11	0.60
12	3.70
14	1.80
16	1.80

ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.2 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ IEEE 16-bus

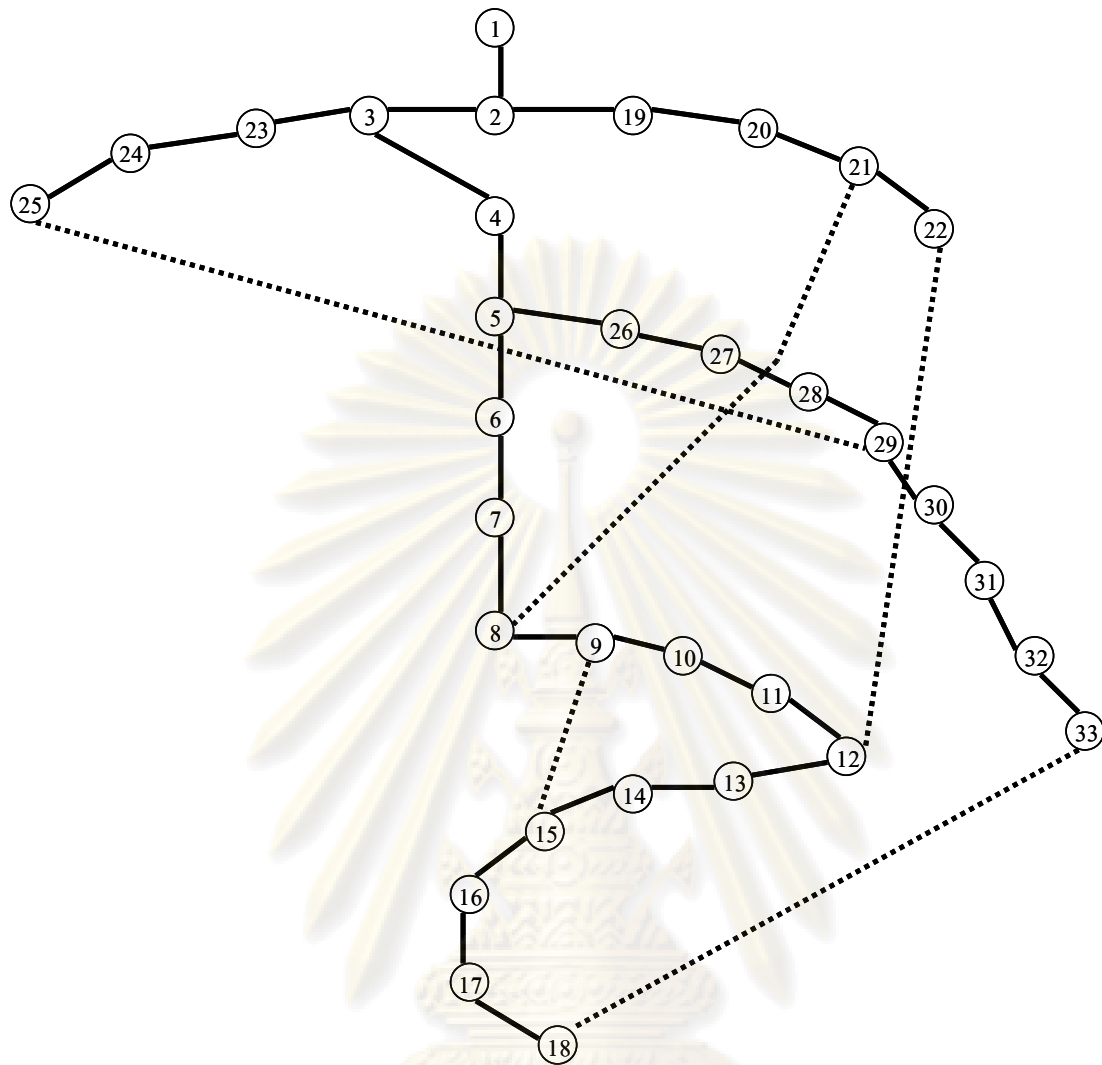


รูปที่ ก.3 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ IEEE 16-bus

ก.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 33-bus จะถูกจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเดียวกันโดยมีขนาด 100 MVA ที่ระดับแรงดัน 23 kV ข้อมูลสายป้อนแสดงไว้ในตารางที่ ก.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.4 ระบบทดสอบ IEEE 33-bus

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE 33-bus

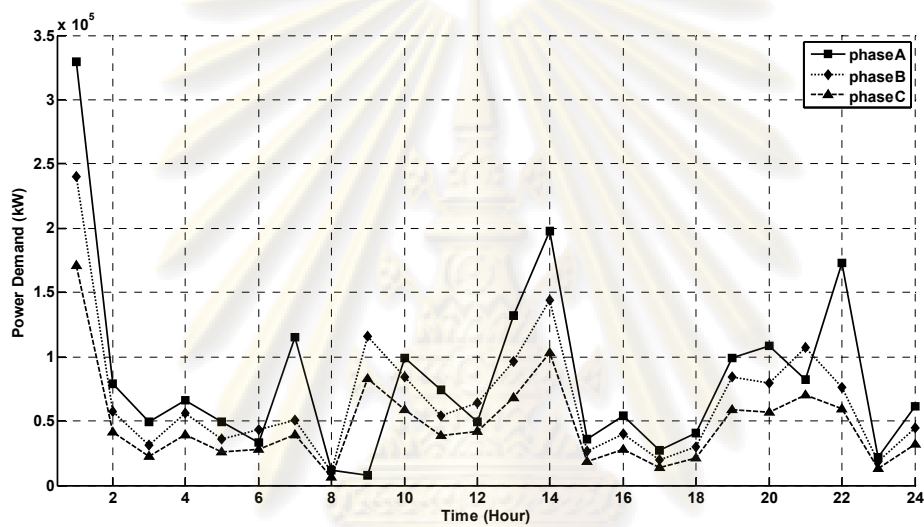
จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
1	2	0.0922	0.0470
2	3	0.4930	0.2511
3	4	0.3660	0.1864
4	5	0.3811	0.1941
5	6	0.8190	0.7070
6	7	0.1872	0.6188

ตารางที่ ก.3(ต่อ) ข้อมูลสายป้อนของระบบIEEE 33-bus

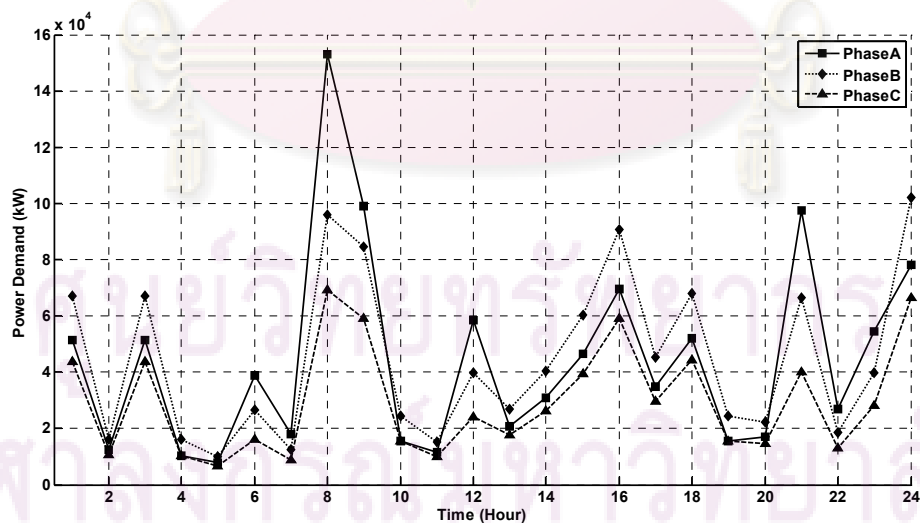
จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
7	8	0.7114	0.2351
8	9	1.0300	0.7400
9	10	1.0440	0.7400
10	11	0.1966	0.0650
11	12	0.3744	0.1238
12	13	1.4680	1.1550
13	14	0.5416	0.7129
14	15	0.5910	0.5260
15	16	0.7463	0.5450
16	17	1.2890	1.7210
17	18	0.7320	0.5740
2	19	0.1640	0.1565
19	20	1.5042	1.3554
20	21	0.4095	0.4784
21	22	0.7089	0.9373
3	23	0.4512	0.3083
23	24	0.8980	0.7091
24	25	0.8960	0.7011
6	26	0.2030	0.1034
26	27	0.2842	0.1447
27	28	1.0590	0.9337
28	29	0.8042	0.7006
29	30	0.5075	0.2585
30	31	0.9744	0.9630
31	32	0.3105	0.3619
32	33	0.3410	0.5302
8	21	2.0000	2.0000

ตารางที่ ก.3(ต่อ) ข้อมูลสายป้อนของระบบ IEEE 33-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
9	15	2.0000	2.0000
12	22	2.0000	2.0000
18	33	0.5000	0.5000
25	29	0.5000	0.5000



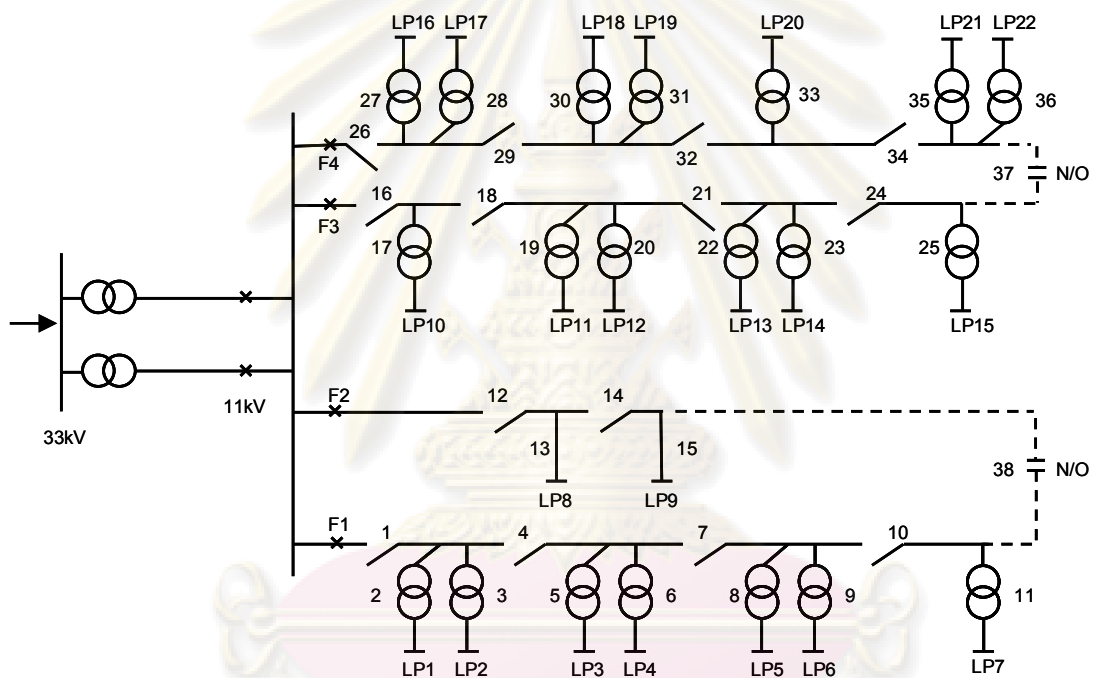
รูปที่ ก.5 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ IEEE 33-bus



รูปที่ ก.6 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ IEEE 33-bus

ก.3 ระบบทดสอบของ Roy Billinton (RBTS)

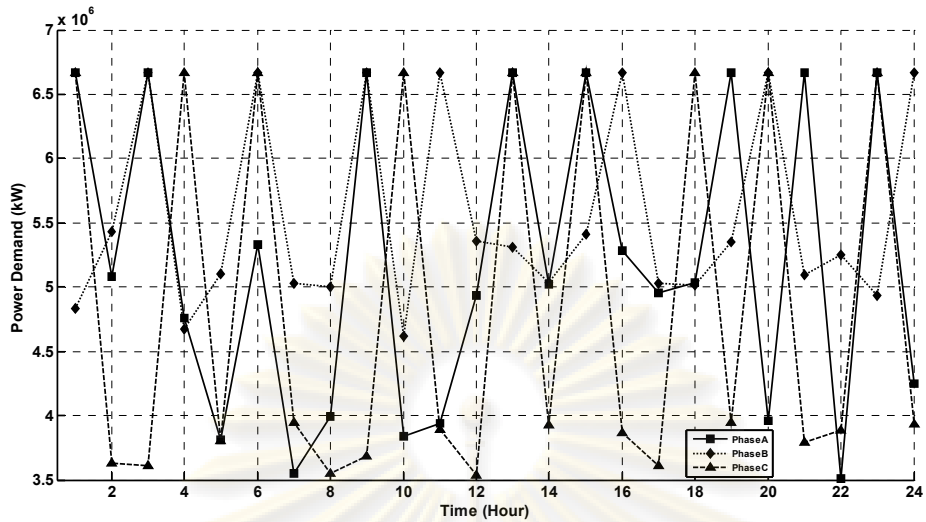
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton คือเป็นระบบที่รวมระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักที่สามารถพบได้ในการทำงานจริงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS ประกอบด้วย 5 โหลด บัสบาร์คือ บัส 2 ถึง บัส 6 ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้บัส 2 ในการวิเคราะห์โดยมีวงจรการต่อดังรูปที่ 5.10 ซึ่งกิ่งที่มีสวิตช์จะใช้สัญลักษณ์ $\text{---} \text{---}$ โดยมีขนาด 100 MVA ที่ระดับแรงดัน 11 kV ข้อมูลความยาวและชนิดของสายป้อนแสดงไว้ในตารางที่ ก.3 และอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัวในระบบมีค่าอัตราส่วนเป็น 11/0.415



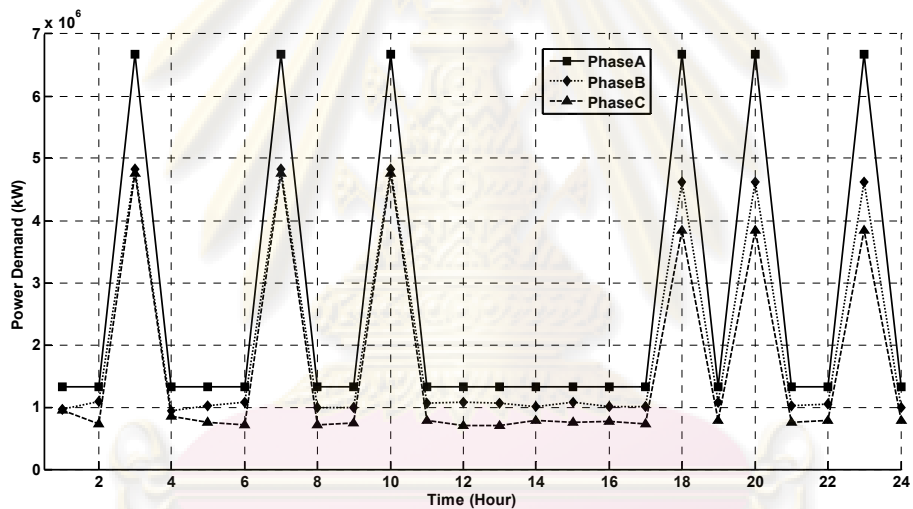
รูปที่ ก.7 วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Binllinton

ตารางที่ ก.4 ความยาวและชนิดของสายป้อนของระบบทดสอบ Roy Binllinton

หมายเลขตอนของสายป้อน	ความยาว (ก.ม.)	ชนิดของสาย
2 6 10 14 17 21 25 28 30 34	0.60	AAC 70
1 4 7 9 12 16 19 22 24 27 29 32 35	0.75	AAC 70
3 5 8 11 13 15 18 20 23 26 31 33 36	0.80	AAC 70



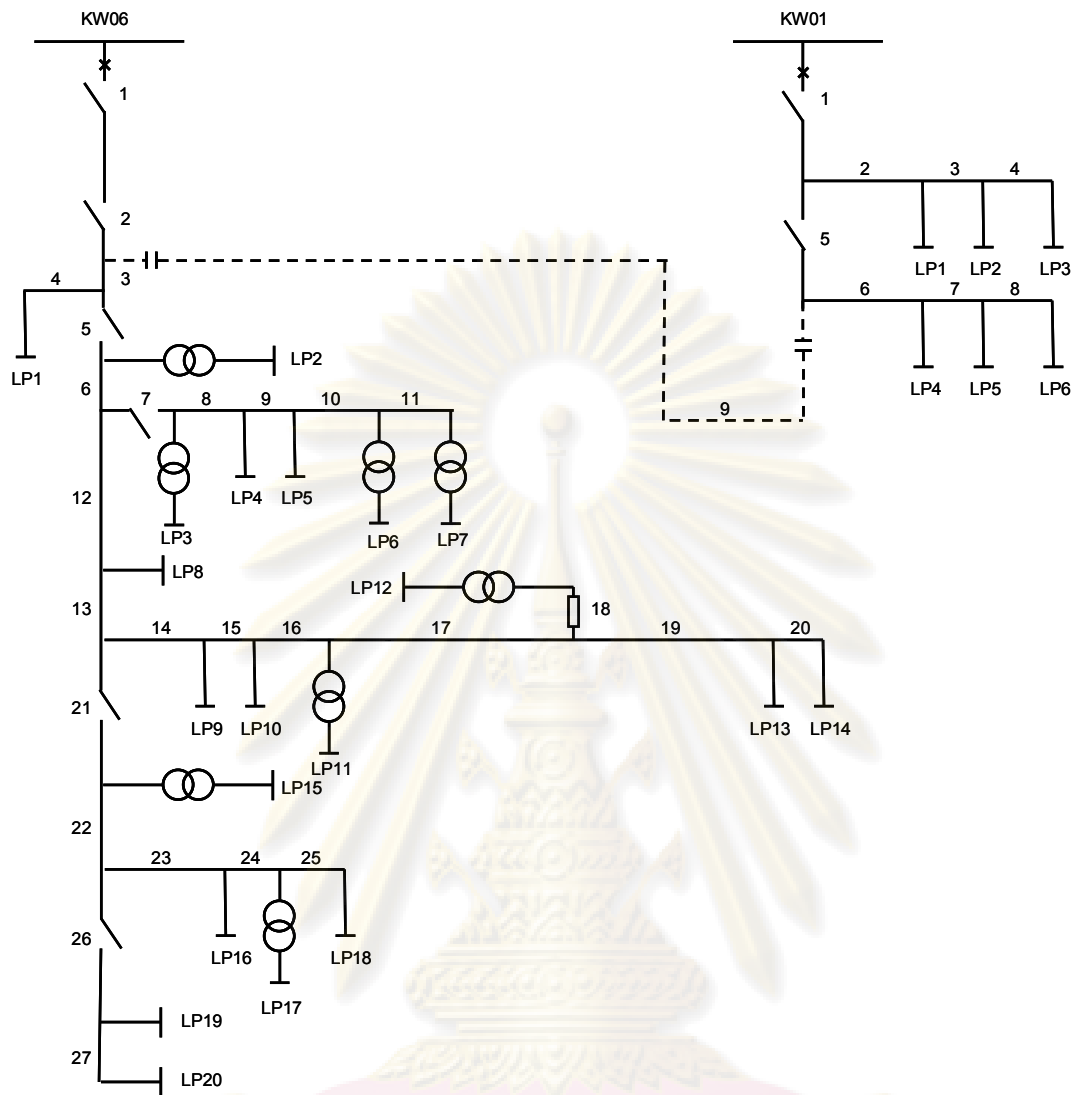
รูปที่ ก.8 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบ Roy Billinton



รูปที่ ก.9 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบ Roy Billinton

ก.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการพิจารณาระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเฉพาะสายป้อน KWA01 และ KWA06 ของสถานีไฟฟ้าคลองขวาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ในพื้นที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีขนาด 200 MVA ที่ระดับแรงดัน 11 kV ข้อมูลความยาวและชนิดของสายป้อนแสดงไว้ในตารางที่ ก.4 – ก.5



รูปที่ ก.10 วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01 และ KWA06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA01

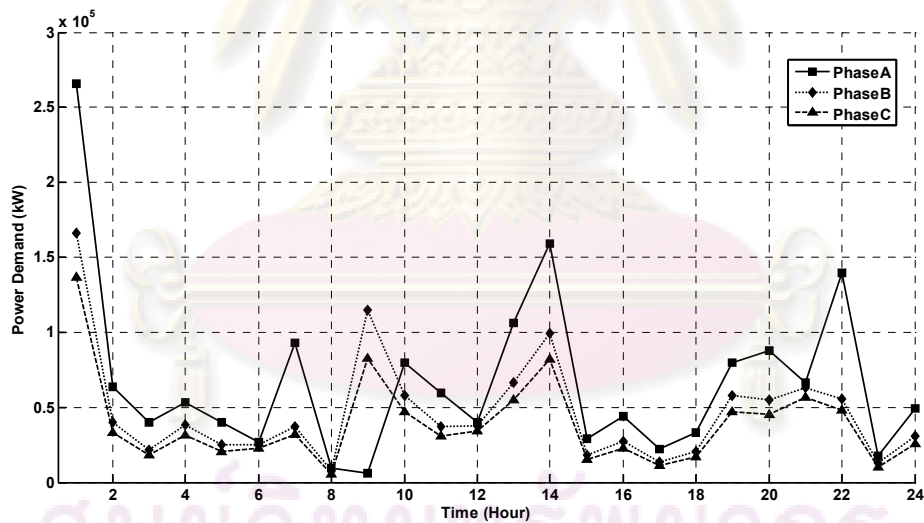
หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
1	1.076	ACSR185
2	0.974	ACSR185
3	0.0066	ACSR185
4	0.196	ACSR185
5	2.175	ACSR185
6	0.415	ACSR185
7	0.061	ACSR185
8	0.013	ACSR185
9	0.98	ACSR185

ตารางที่ ก.6 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA06

หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
1	8.74	ACSR185
2	0.383	ACSR185
3	0.429	ACSR185
4	0.289	ACSR185
5	3.196	ACSR185
6	1.069	ACSR50
7	0.854	ACSR50
8	0.017	ACSR50
9	0.222	ACSR50
10	0.518	ACSR50
11	0.081	ACSR50
12	0.508	ACSR50
13	0.064	ACSR50
14	0.312	ACSR50
15	0.051	ACSR50
16	0.466	ACSR50

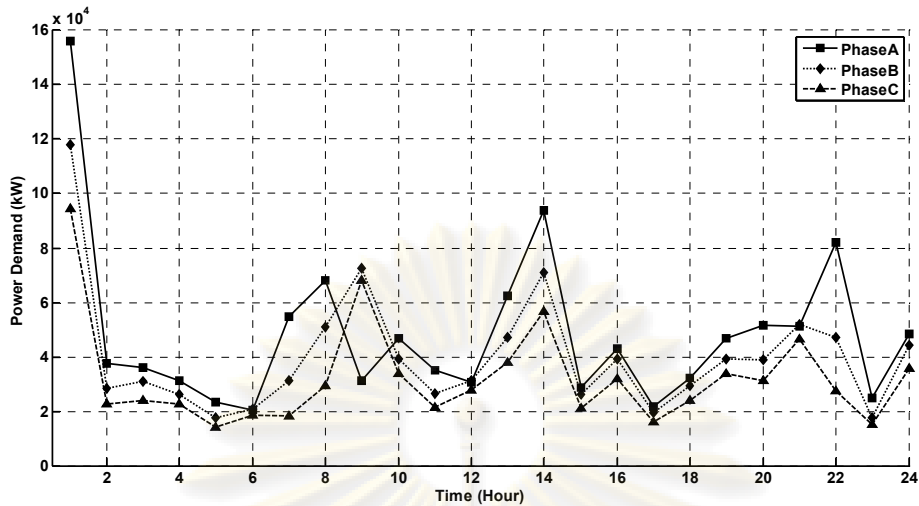
ตารางที่ ก.6(ต่อ) ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA06

หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
17	0.091	ACSR50
18	0.41	ACSR50
19	0.166	ACSR50
20	0.319	ACSR50
21	0.505	ACSR50
22	0.13	ACSR50
23	0.394	ACSR50
24	0.693	ACSR50
25	0.43	ACSR50
26	0.291	ACSR50
27	0.091	ACSR50



รูปที่ ก.11 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันทำงานของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.12 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันหยุดของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

ในภาคผนวก ข ได้แสดงถึงผลการทดสอบส่วนหนึ่งในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการวิเคราะห์โหนด (Node Analysis) ของตัวอย่างระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัสดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ของเมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (A) ของระบบ และเมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ของระบบจำหน่าย (Y_n) ดังตารางที่ ข.1 – ข.2 ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 เมตริกซ์แสดงการเชื่อมต่อของระบบ (A) ของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส รูปที่ 3.4

1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	
0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1

ตารางที่ ข.2 เมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ (Y_n) ของระบบจำหน่ายอย่างง่าย 5 บัส รูปที่ 3.4

2.14	-0.82	-0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.82	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.42	0.00	2.78	-2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	-2.36	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	2.14	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36

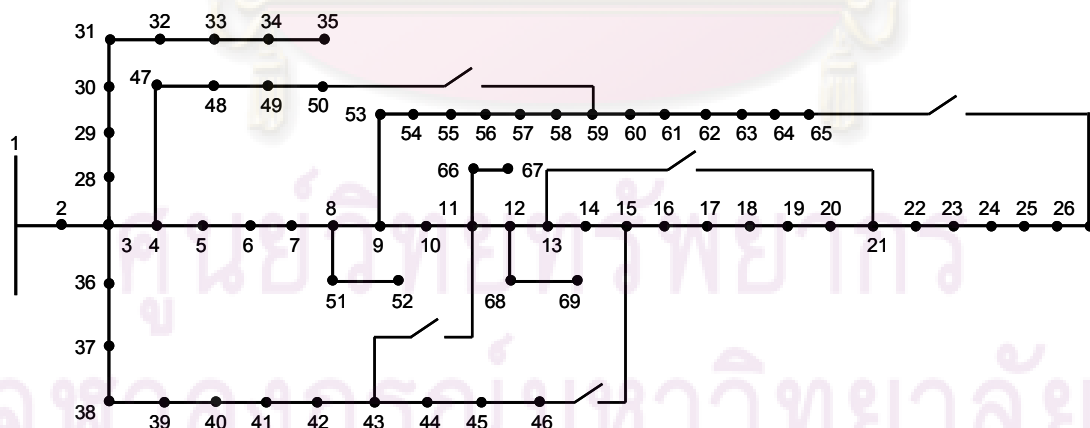
ภาคผนวก ค

การทดสอบ

ในภาคผนวก ค ได้แสดงการทดสอบการจัดเรียงสายป้อนของงานวิจัยที่ผ่านมากับวิธีที่นำเสนอ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างที่ดีที่สุดใ้สภาวะโหลดเดียวกัน โดยในวิทยานิพนธ์จะแสดงผลการเปรียบเทียบของระบบ IEEE 69-bus กับวิธี Fuzzy multi-objective [33] ซึ่งมีรูปแบบของโหลดเป็นแบบสมดุและพิจารณาสภาวะโหลดคงที่ โดยวิธีที่นำเสนอได้ใช้ค่ามาตรฐานดังนี้ จำนวนประชากรเริ่มต้น (Population size) เท่ากับ 10 ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ้เท่ากับ 0.2 ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าเท่ากับ 0.8 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดเท่ากับ 100 รุ่น

ค.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-bus [33]

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-bus แสดงดังรูปที่ ข.1 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยบัสจำนวน 69 บัส หากสมมติให้ทุกกึ่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้มีสวิตช์ตัดตอน จะมีกึ่งที่มีสวิตช์อยู่ในสถานะปิดจำนวน 68 กึ่ง และกึ่งที่อยู่ในสถานะเปิดจำนวน 5 กึ่ง ระบบจะถูกจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเดียวโดยมีขนาด 100 MVA ที่ระดับแรงดัน 22 kV ข้อมูลสายป้อนและบัสแสดงไว้ในตารางที่ ค.1-ค.2



รูปที่ ค.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า IEEE 69-bus

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่าย IEEE 69-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
1	2	0.00010	0.00025
2	3	0.00010	0.00025
3	4	0.00031	0.00074
4	5	0.00519	0.00607
5	6	0.07562	0.03851
6	7	0.07872	0.04010
7	8	0.01905	0.00971
8	9	0.01019	0.00519
9	10	0.16921	0.05593
10	11	0.03868	0.01279
11	12	0.14698	0.04857
12	13	0.21281	0.07025
13	14	0.21570	0.07128
14	15	0.21860	0.07223
15	16	0.04062	0.01343
16	17	0.07736	0.02558
17	18	0.00097	0.00033
18	19	0.06769	0.02238
19	20	0.04351	0.01426
20	21	0.07058	0.02333
21	22	0.00289	0.00095
22	23	0.03287	0.01087
23	24	0.07155	0.02366
24	25	0.15471	0.05114
25	26	0.06382	0.02110
26	27	0.03579	0.01182
3	28	0.00091	0.00374

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่าย IEEE 69-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
28	29	0.01322	0.03233
29	30	0.08219	0.02717
30	31	0.01450	0.00479
31	32	0.07252	0.02397
32	33	0.17335	0.05818
33	34	0.35289	0.11665
34	35	0.30455	0.10068
3	36	0.00091	0.00223
36	37	0.01322	0.03233
37	38	0.02176	0.02541
38	39	0.00628	0.00733
39	40	0.00037	0.00043
40	41	0.15048	0.17581
41	42	0.06405	0.07486
42	43	0.00847	0.00988
43	44	0.00190	0.00240
44	45	0.02250	0.02837
45	46	0.00019	0.00025
4	47	0.00070	0.00174
47	48	0.01758	0.04304
48	49	0.05988	0.14651
49	50	0.01698	0.04155
8	51	0.01917	0.00977
51	52	0.06857	0.02302
9	53	0.03595	0.01831
53	54	0.04194	0.02136

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ข้อมูลสายป้อนของระบบจำหน่าย IEEE 69-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)
54	55	0.05872	0.02990
55	56	0.05812	0.02961
56	57	0.32851	0.11027
57	58	0.16192	0.05434
58	59	0.06285	0.02079
59	60	0.07977	0.02421
60	61	0.10486	0.05341
61	62	0.02012	0.01025
62	63	0.02996	0.01525
63	64	0.14680	0.07477
64	65	0.21508	0.10955
11	66	0.04157	0.01262
66	67	0.00097	0.00029
12	68	0.15277	0.05050
68	69	0.00097	0.00033
11	43	0.10331	0.10331
13	21	0.10331	0.10331
15	46	0.20661	0.10331
50	59	0.41322	0.20661
27	65	0.20661	0.10331

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลบัสของระบบIEEE 69-bus

บัส	Real Power (MW)	Reactive Power (Mvar)
6	2.60	2.2
7	40.40	30
8	75	54
9	30	22
10	28	19
11	145	104
12	145	104
13	8	5
14	8	5.5
16	45.50	30
17	60	35
18	60	35
20	1	0.6
21	114	81
22	5	3.5
24	28	20
26	14	10
27	14	10
28	26	18.6
29	26	18.6
33	14	10
34	19.50	14
35	6	4
36	26	18.55
37	26	18.55
39	24	17
40	24	17
41	1	1

ตารางที่ ค.2(ต่อ) ข้อมูลบัสของระบบIEEE 69-bus

บัส	Real Power (MW)	Reactive Power (Mvar)
43	6	4.3
45	39.22	26.3
46	39.22	26.3
48	384.70	56.4
49	384.70	274.5
50	385.00	274.5
51	40.50	28.3
52	3.60	2.7
53	4.35	3.5
54	26.40	19
55	24	17.2
59	100	72
61	1244	888
62	32	23
64	227	162
65	59	42
66	18	13
67	18	13
68	28	20
69	28	20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 รูปแบบโครงสร้างหลักหลังการจัดเรียงสายป้อนของระบบIEEE 16-bus

วิธีการค้นหารูปแบบ โครงสร้างสายป้อนที่ เหมาะสม	ระบบจำหน่าย ไฟฟ้า	รูปแบบ โครงสร้าง	สวิตช์เปิด				
			(11,43)	(13,21)	(15,46)	(50,59)	(27,65)
Proposed method	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.1	(11,43)	(13,21)	(15,46)	(50,59)	(27,65)
	หลังการจัดเรียง สายป้อนใหม่	รูปที่ ค.2	(11,43)	(13,21)	(14,15)	(56,57)	(63,64)
Fuzzy multi- objective [33]	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.1	(11,43)	(13,21)	(15,46)	(50,59)	(27,65)
	หลังการจัดเรียง สายป้อนใหม่	รูปที่ ค.2	(11,43)	(13,21)	(14,15)	(56,57)	(63,64)

ตารางที่ ค.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงของรูปแบบโครงสร้างหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีที่นำเสนอและวิธี [33]

วิธีการค้นหารูปแบบ โครงสร้างสายป้อนที่ เหมาะสม	ระบบจำหน่าย ไฟฟ้า	รูปแบบ โครงสร้าง	กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม (p.u.)	การลดลงของ กำลังไฟฟ้า สูญเสียรวม
Proposed method	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.1	670.7552718	55.37 %
	หลังการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.2	299.3212148	
Fuzzy multi-objective [33]	ก่อนการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.1	670.7552718	55.37 %
	หลังการจัดเรียง สายป้อน	รูปที่ ค.2	299.3212148	

ตารางที่ ค.5 กำลังสูญเสียในสายป้อนก่อนและหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีการที่นำเสนอ

จากบัส	ถึงบัส	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
		ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	หลังการจัดเรียงสายป้อน
1	2	0.24712543	0.236913065
2	3	0.24712543	0.236913065
3	4	0.647291984	0.430262724
4	5	5.764984772	0.32491292
5	6	84.06312457	4.737774054
6	7	87.33797245	4.891797859
7	8	20.52261849	1.044152865
8	9	10.04583776	0.367704823
9	10	14.2173299	4.24452741
10	11	3.019870962	0.848885236
11	12	6.521075655	0.957531759
12	13	3.825223961	0.007156511
13	14	3.70956891	0.001866792
14	15	3.587887597	-
15	16	0.666709548	2.229411338
16	17	0.954301809	3.663514865
17	18	0.00775537	0.03746427
18	19	0.310118138	2.078301164
19	20	0.19936166	1.336050748
20	21	0.31990015	2.158304534
21	22	0.001596226	0.050339755
22	23	0.015305927	0.55593317
23	24	0.033315164	1.21005441
24	25	0.018013885	2.20795025
25	26	0.007431209	0.910838451
26	27	0.001041689	0.466347985

ตารางที่ ค.5(ต่อ) กำลังสูญเสียในสายป้อนก่อนและหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีการที่นำเสนอ

จากบัส	ถึงบัส	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
		ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน
3	28	0.001033729	0.001033727
28	29	0.007699127	0.007699113
29	30	0.017371103	0.017371073
30	31	0.003065489	0.003065483
31	32	0.015327444	0.015327417
32	33	0.036637394	0.03663733
33	34	0.031004503	0.031004449
34	35	0.001428276	0.001428274
3	36	0.004182515	0.083166835
36	37	0.044862644	1.134271214
37	38	0.051523009	1.746023646
38	39	0.014874639	0.504075203
39	40	0.000590224	0.02801267
40	41	0.14471769	10.61574615
41	42	0.059953361	4.504293517
42	43	0.007929315	0.595729143
43	44	0.001530763	0.131428727
44	45	0.018119575	1.555716123
45	46	3.74372E-05	0.011493282
4	47	0.10835741	0.605257131
47	48	2.712122237	15.14922995
48	49	4.872260897	40.53025126
49	50	0.345863569	7.826131846
8	51	0.005235052	0.005066361
51	52	0.000130481	0.000126276
9	53	17.20683653	0.014962798

ตารางที่ ค.5(ต่อ) กำลังสูญเสียในสายป้อนก่อนและหลังการจัดเรียงสายป้อนของวิธีการที่นำเสนอ

จากบัส	ถึงบัส	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
		ก่อนการจัดเรียงสายป้อน	ก่อนการจัดเรียงสายป้อน
53	54	19.97531837	0.014697151
54	55	27.15757756	0.004659037
55	56	26.1614248	3.0351E-26
56	57	147.8729663	-
57	58	72.88556208	2.74524E-26
58	59	28.29116752	8.58668E-26
59	60	31.75898754	19.61646789
60	61	41.74484894	25.78440159
61	62	0.333479343	0.003126635
62	63	0.401568359	6.34346E-26
63	64	1.967684958	-
64	65	0.1226485	1.607340372
11	66	0.007817304	0.007507314
66	67	4.56528E-05	4.38424E-05
12	68	0.069481122	0.06645389
68	69	0.000110414	0.000105604
11	43	-	-
13	21	-	-
15	46	-	11.33983387
50	59	-	118.0391569
27	65	-	2.447961737
ผลรวม		670.7552718	299.3212148

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภศิษย์ ศรีสวัสดิ์นุภาพ เกิดวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสงขลาสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย