



การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้วิธีอวิรสติก

สรศักดิ์ พรหมสูงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**NETWORK RECONFIGURATION OF PEA'S DISTRIBUTION
SYSTEM FOR LOSS REDUCTION BY HEURISTICS SEARCH**

SANCHAI PROMSUWONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY**

YEAR 2013

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย
โดยใช้วิธีฮิวริสติก

ผู้วิจัย นายสรรค์ชัย พรหมสูงค์

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัย กุลสุวรรณิชพงษ์

ประธานกรรมการ

ดร.คมสันต์ คาโรจน์

กรรมการ

ดร.สุรัช ชัยทัศนีย์

กรรมการ

ดร.สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.คมสันต์ คาโรจน์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร.จุฑามาศ หงษ์ทอง)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและ
ข้อคิดเห็นในการศึกษา เป็นอย่างคืบมาตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ขอขอบคุณ ดร.คมสันต์
ดาโรจน์

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองแผนงานและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2
ภาค 2 และรองผู้อำนวยการกองแผนงานและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 ที่ได้
ให้โอกาสในการศึกษา และให้คำปรึกษา ชี้แนะในการศึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษาใน
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 (กฟฉ.2) ที่อนุญาตให้ใช้ข้อมูลของ
หน่วยงานในการศึกษา ในการทำระบบทดสอบ รวมทั้งให้เผยแพร่ผลการศึกษา และขอขอบ
พนักงาน กฟฉ.2 ทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติม

ส.ไฉ่ชัย

(นายสรรรถชัย พรหมสุวงศ์)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยใช้วิธีฮิวริสติก

โดย : สรรค์ชัย พรหมสุวรรณ

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ดร.คมสันต์ คาโรจน์

ศัพท์สำคัญ : ระบบจำหน่ายไฟฟ้า การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ เป็นวิธีการหนึ่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) นำมาแก้ปัญหาที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของโหลดตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป้าหมายสำหรับการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ คือ การทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่าลดลงให้มากที่สุดและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยการค้นหาจุดเปิดวงจรของอุปกรณ์ตัดตอนในระบบใหม่ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยใช้วิธีการฮิวริสติกค้นหาจุดเปิดวงจรเริ่มต้นจากการไหลของกำลังไฟฟ้าที่มาบรรจบกัน จากสถานะที่สถานะของอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายอยู่ในสถานะปิดวงจร วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในระบบของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 (กฟภ.2) จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ระบบจำหน่าย 2 แหล่งจ่าย 2) ระบบจำหน่าย 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 3) ระบบจำหน่าย 1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ และ 4) ระบบจำหน่าย 3 แหล่งจ่าย ซึ่งมีจำนวนเป็นร้อยละ 80.27 ของโครงการทั้งหมดที่อยู่ในแผนงานปรับปรุงระบบของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 โดยคาดหวังว่าวิธีการที่นำเสนอจะสามารถนำไปใช้งานได้ในระบบไฟฟ้าจริง

ABSTRACT

TITLE : NETWORK RECONFIGURATION OF PEA'S DISTRIBUTION FOR LOSS
REDUCTION BY HEURISTIC SEARCH

BY : SANCHAI PROMSUWONG

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ELECTRICAL ENGINEERING

CHAIR : KOMSON DAROJ, Ph.D.

KEYWORDS : DISTRIBUTION SYSTEM / NETWORK RECONFIGURATION /
REAL POWER LOSS

Network Reconfiguration is one of methodologies that Provincial Electricity Authority (PEA) used for improving distribution system from an increasing of load growth in distribution system. The objective of network reconfiguration is to minimize loss of distribution lines by optimal relocation of sectionalizer switch in a system. This thesis proposed a framework of a reconfiguration method by using a heuristic search to obtain the initial point of a search, balance point, from a status that all switches one closed. The solution is started by closing all switches to form a mesh network. The power flows solution is consequently performed to obtain an equilibrium point of power flow. The developed algorithms are used for 1) two-source network, 2) two-source one-loop network, 3) one-source one-loop network and 4) three-source network, which are 80.27% of all projects in a developed plan under PEA region 2. The proposed method is tested with satisfied results, the optimal solution of switches location can guarantee to be used in a real system.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	7
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.4 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า	7
1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	8
2 การวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า กฟฉ.2	
2.1 ระบบจำหน่าย กฟฉ.2	9
2.2 ขั้นตอนการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟฉ.2	12
2.3 ตัวอย่างการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟฉ.2	14
3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า และการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่	
3.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	25
3.2 จุดที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน	29
3.3 การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่	31
3.4 วิธีการค้นหาคำตอบ	35
3.5 เงื่อนไขและข้อจำกัดในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ	37
3.6 ตัวประกอบโหลด และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย	39
3.7 การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 การจัดเตรียมระบบทดสอบ	
4.1 จัดเตรียมระบบทดสอบ	44
4.2 ระบบทดสอบ	51
4.3 การจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า	56
4.4 การจำลองระบบจำหน่าย	60
4.5 การลดรูประบบจำหน่าย	65
5 การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายใหม่	
5.1 ขั้นตอนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่	68
5.2 ตัวอย่างการค้นหาจุดเปิดวงจรโดยใช้วิธีฮิวริสติก	71
6 ผลการทดสอบ	
6.1 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ A	75
6.2 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ B	78
6.3 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ C	81
6.4 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ D	83
7 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	87
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	
ก ข้อมูลระบบทดสอบ	94
ข ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	114
ค ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า	165
ประวัติผู้วิจัย	171

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	พารามิเตอร์สายป้อนหลัก ระบบ 22 kV กฟภ.	10
2.2	รายละเอียดการจ่ายโหลดปัจจุบัน (ปี 2551) สถานีไฟฟ้า RRR	15
2.3	ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า สถานีไฟฟ้า RRR	16
2.4	สรุปปัญหาการรับภาระโหลดของสถานีไฟฟ้า กฟภ.2	17
2.5	รายละเอียดการถ่ายโอนโหลด ตามแผนงาน โครงการที่มีอยู่เดิม	17
2.6	รายละเอียดการถ่ายโอนโหลด โดยการจัดทำแผนงาน โครงการเพิ่มเติม	19
2.7	การวิเคราะห์ความสามารถในการถ่ายโอน โหลดของสถานีไฟฟ้า	21
2.8	การคำนวณหาจุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่	22
2.9	ปริมาณงานสถานีไฟฟ้าที่ผ่านการวิเคราะห์	23
2.10	ปริมาณงานก่อสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ผ่านการวิเคราะห์	23
3.1	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าขณะเปิดวงจรสวิตช์ของระบบตัวอย่าง	30
3.2	ประมาณการราคาค่าใช้จ่ายต่อหน่วย ที่ใช้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ	34
4.1	ข้อมูลโครงการที่อยู่ในแผนจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่	45
4.2	รูปแบบโครงการจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่	48
4.3	รูปแบบโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายที่พบมาก 4 อันดับแรก	48
4.4	ตัวอย่างจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่าย	58
4.5	การกระจายปริมาณการจ่ายโหลดให้หม้อแปลงจำหน่าย	59
4.6	ผลการกระจายปริมาณการจ่ายโหลด ให้ระบบตัวอย่าง	62
4.7	ข้อมูลบัส ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2	63
4.8	ข้อมูลแหล่งจ่าย ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2	63
4.9	ข้อมูลสายไฟฟ้าสำหรับการจำลองกิ่ง	64
4.10	ข้อมูลกิ่ง ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2	65
5.1	สรุปการนำขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร ที่พัฒนาได้ไปใช้งาน	71
5.2	ค่าพารามิเตอร์ระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส	72
5.3	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส	73
5.4	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.5	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 3 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัต์	73
6.1	การค้นหาจุดเปิดวงจร โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ A	75
6.2	การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบ A แบบไม่ยุบรวมโหลด	78
6.3	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ B จุดแรก	79
6.4	การค้นหาจุดเปิดวงจรที่ 2 ของระบบทดสอบรูปแบบ B	79
6.5	การไหลของกำลังไฟฟ้า ก่อนจัดโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C	81
6.6	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจร ของโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C	81
6.7	ผลการคำนวณพลังงานสูญเสีย ระบบทดสอบรูปแบบ C	82
6.8	การไหลของกำลังไฟฟ้า ก่อนจัดโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D	83
6.9	การค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D	84
6.10	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 ของโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D	84
6.11	ผลการคำนวณพลังงานสูญเสีย ระบบทดสอบรูปแบบ D	86
ก.1	หน่วยที่ใช้กับข้อมูลบัต	95
ก.2	หน่วยที่ใช้กับข้อมูลแหล่งจ่าย	95
ก.3	หน่วยที่ใช้กับข้อมูลกิ่ง	95
ก.4	ข้อมูลบัตระบบทดสอบรูปแบบ A	96
ก.5	ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ A	97
ก.6	ข้อมูลกิ่งระบบทดสอบรูปแบบ A	97
ก.7	ข้อมูลบัตระบบทดสอบรูปแบบ B	99
ก.8	ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ B	102
ก.9	ข้อมูลกิ่งระบบทดสอบรูปแบบ B	102
ก.10	ข้อมูลบัตระบบทดสอบรูปแบบ C	105
ก.11	ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ C	105
ก.12	ข้อมูลกิ่งระบบทดสอบรูปแบบ C	106
ก.13	ข้อมูลบัตระบบทดสอบรูปแบบ D	106
ก.14	ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ D	110
ก.15	ข้อมูลกิ่งระบบทดสอบรูปแบบ D	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.1 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงจร	115
ข.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงจร	116
ข.3 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	118
ข.4 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	120
ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงจร	121
ข.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงจร	125
ข.7 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	129
ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	132
ข.9 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร	136
ข.10 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร	137
ข.11 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C ขณะเป็นวงจร	138
ข.12 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C ขณะเป็นวงจร	138
ข.13 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	139
ข.14 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	140
ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร	140
ข.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร	145
ข.17 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงจร	149
ข.18 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงจร	153
ข.19 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	157
ข.20 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร	161

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การแบ่งกลุ่มระบบจำหน่ายสำหรับโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่	2
2.1	โครงสร้างระบบจำหน่าย กฟฉ.2	10
2.2	การเดินสายระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV ในพื้นที่ กฟฉ.2	11
2.3	หม้อแปลงจำหน่ายในพื้นที่ กฟฉ.2	12
2.4	รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ปีปัจจุบัน (ปี 2551)	14
2.5	รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ตามแผนงานโครงการที่มีอยู่เดิม	18
2.6	รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ภายหลังการเพิ่มแผนงาน โครงการ	20
2.7	รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR หลังการโอนย้ายโหลดระหว่างสถานีไฟฟ้า	21
3.1	การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย	25
3.2	ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล	27
3.3	บัสที่กักกำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน	29
3.4	ตัวอย่างระบบที่ใช้ค้นหาจุดที่กักกำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน	30
3.5	ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าระบบตัวอย่างที่ค้นหาจุดที่กักกำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน	31
3.6	ระบบจำหน่ายก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ โดยวิธีการ ปลด-สับ สวิตช์	32
3.7	ระบบจำหน่ายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการ ปลด-สับ สวิตช์เดิม	32
3.8	ระบบจำหน่ายก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการสลับกิ่ง	33
3.9	ระบบจำหน่ายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการสลับกิ่ง	33
3.10	การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านพักอาศัย	40
3.11	การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟประเภทกิจการเฉพาะอย่าง	41
3.12	ขอบเขตและความสัมพันธ์ระหว่าง LdF และ LsF	42
4.1	ระบบจำหน่ายรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)	49
4.2	ระบบจำหน่ายรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)	50
4.3	ระบบจำหน่ายรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)	50
4.4	ระบบจำหน่ายรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)	51
4.5	ระบบจำหน่ายรูปแบบ A ที่ต้องพิจารณาค้นหาจุดเปิดสวิตช์	52
4.6	โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)	53
4.7	ระบบจำหน่ายรูปแบบ B ที่ต้องพิจารณาค้นหาจุดเปิดสวิตช์	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)	54
4.9	โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)	55
4.10	โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)	56
4.11	ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟทั้ง 7 ประเภท	57
4.12	การจำลองข้อมูลโหลดให้ระบบทดสอบ	58
4.13	ฐานข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้า กฟฉ.2	60
4.14	ตัวอย่างระบบไฟฟ้า 1 แหล่งจ่าย	61
4.15	การกำหนดบัสจากระบบตัวอย่าง	62
4.16	การคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด	65
4.17	ผลการคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด	66
4.18	ตัวอย่างผลการคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด	67
4.19	ระบบตัวอย่างหลังจากการลดรูประบบจำหน่าย	67
5.1	flow chart ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร	69
5.2	flow chart ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร ของระบบที่มีวงรอบมาเกี่ยวข้อง	70
5.3	ระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส 16 กิ่ง	71
5.4	ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส 16 กิ่ง	74
6.1	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบทดสอบรูปแบบ A	76
6.2	แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ A	76
6.3	รอบการค้นหาจุดเปิดวงจร	77
6.4	เปรียบเทียบผลการค้นหาจุดเปิดวงจร ระหว่างระบบที่ยุบและไม่ยุบรวมโหลด	78
6.5	แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ B	80
6.6	กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบทดสอบรูปแบบ C	82
6.7	แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ C	83
6.8	แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ D	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.อุบลราชธานี (กฟฉ.2) ดูแลผู้ใช้ไฟฟ้าประมาณ 1.8 ล้านราย ครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดยโสธร จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดมุกดาหาร และ จังหวัดอำนาจเจริญ มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ประมาณ 740 MW คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 3,443 ล้านหน่วย ต่อปี โดยรับพลังงานไฟฟ้าจาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผ่านระบบสายส่ง ณ ระดับแรงดัน 115 kV มาปรับลดระดับแรงดันที่สถานีไฟฟ้าย่อย แล้วส่งกำลังไฟฟ้าไปที่ผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่ระดับแรงดัน 22 kV และ 400/230V

การขยายตัวทางเศรษฐกิจทำให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิม เช่น สายไฟฟ้าไม่สามารถรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีมากเกินไป รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบมีค่าลดลง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการวางแผนเพื่อปรับปรุงระบบให้คุณภาพของไฟฟ้าที่จำหน่ายให้แก่ลูกค้ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

การวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อรองรับปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่โดยการปลด – สับ สวิตช์ที่มีอยู่แล้ว การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพิ่มเติม การเพิ่มจำนวนสายจำหน่ายไฟฟ้า การเพิ่มวงจรจ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้า ไปจนถึงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่มเติม สำหรับวัตถุประสงค์หลักที่นิยมนำมาใช้ในการจัดรูปแบบระบบจำหน่ายใหม่คือ การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายให้ได้มากที่สุด

กฟฉ.2 มีพนักงานดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ให้มีความเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยในปัจจุบันผู้วางแผนสามารถใช้โปรแกรม PSS/Adept หรือ DigSILENT เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ แต่การใช้ฟังก์ชันจากโปรแกรมดังกล่าวไม่ยืดหยุ่น เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง มีองค์ประกอบหลายอย่างที่คำนึงถึงนอกเหนือไปจากฟังก์ชันของโปรแกรม ทำให้ผลที่ได้ไม่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ เช่น การใช้ฟังก์ชันค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติ ต้องแทรกสวิตช์เข้าไปในโปรแกรม แต่เนื่องจากระบบจำหน่ายจริงที่วิเคราะห์มีจำนวนองค์ประกอบมาก ทำให้ผู้วิเคราะห์ไม่สามารถแทรกสวิตช์ตัดตอนเข้าไปได้

ทุกจุดในระบบที่พิจารณา จึงต้องมีพื้นฐานความรู้มาช่วยในการกำหนดจุดและจำนวนการแทรกสวิตช์ นอกจากนั้นการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โดยตรง ทำให้ผู้ใช้งานขาดประสบการณ์ในการทำความเข้าใจและศึกษาระบบ ซึ่งทักษะดังกล่าวมีความสำคัญอันจะเป็นประโยชน์ต่อองค์กรในระยะยาว ด้วยเหตุนี้การศึกษาและแก้ไขปัญหาโดยใช้วิธีการพื้นฐานที่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ดังกล่าว มีความจำเป็นในการพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ของวิศวกรใหม่ที่เข้ามาในองค์กร ซึ่งเป็นประโยชน์อีกทางหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากการนำปริมาณงานโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใน กฟผ.2 มาจำแนกลักษณะระบบที่อยู่ในแผนงานของโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ สามารถแบ่งกลุ่มได้ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การแบ่งกลุ่มระบบจำหน่ายสำหรับโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

กลุ่มที่ 1 ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร มีจำนวน 30.26%
 กลุ่มที่ 2 ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย 1 วงจร มีจำนวน 26.32%
 กลุ่มที่ 3 ระบบจำหน่ายที่มี 1 แหล่งจ่าย 1 วงจร มีจำนวน 13.16%
 กลุ่มที่ 4 ระบบจำหน่ายที่มี 3 แหล่งจ่าย 0 วงจร มีจำนวน 10.53%
 และกลุ่มอื่นๆ มีปริมาณ 19.73% ของปริมาณงานทั้งหมด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจะได้พัฒนาวิธีดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ จากระบบจำหน่าย กฟผ.2 ทั้ง 4 กลุ่มที่มีปริมาณงานในโครงการคิดเป็น 80.27% ของทั้งหมด

การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่เพื่อลดกำลังสูญเสียเป็นวัตถุประสงค์ที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากให้ผลตอบแทนในการดำเนินการสูงในทางปฏิบัติ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้วัตถุประสงค์นี้ในการค้นหาจุดเปิดวงจร เพื่อจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

ที่ผ่านมาได้มีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟเพื่อให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายลดลงเหลือน้อยที่สุด [1] โดยปิดวงจรสวิตช์ตัดตอนตัวใดตัวหนึ่ง แล้วให้สวิตช์ตัดตอนที่เหลืออยู่ใน

สถานะเปิดวงจร ปิดวงจรของสวิตช์ตัดตอนที่อยู่ในสถานะเปิด แล้วใช้สมการฮิวริสติกประมาณการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพื่อหารูปแบบการจ่ายไฟที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเหลือน้อยที่สุด

Yuan-Kang, W. and et al. (2010) [2] ได้ใช้แนวความคิดพื้นฐานพฤติกรรมการค้นหาอาหารของมด มาใช้ในการจัดรูปแบบโครงสร้างระบบจำหน่าย โดยกำหนดให้มดเคลื่อนที่ผ่านจุดเชื่อมโยงที่สั้นที่สุด แล้วปรับปรุงการสับเปลี่ยนกระบวนการค้นหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาจุดเปิดวงจรเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้ได้มากที่สุด

Peponis, G. and et al. (1995) [3] ได้ผสมผสานการจัดรูปแบบการจ่ายไฟโดยการปิดวงจรสวิตช์ตัดตอน แล้วค้นหาจุดเปิดวงจรที่คงทำให้ระบบเป็นเรเดียล ร่วมกับการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเหลือน้อยที่สุด

Guedes, L. S.M. and et al. (2013) [4] ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบพารามิเตอร์การจัดรูปแบบการจ่ายไฟ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ

ที่ผ่านมาได้มีการใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ [5] ซึ่งอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งด้านการวางแผนและการควบคุมการจ่ายไฟเพื่อลดกำลังสูญเสียในสายจำหน่าย ดำเนินการโดยเริ่มต้นคำนวณจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ตัดตอนสถานะเปิดวงจรให้เป็นสถานะปิดวงจร คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า แล้วกำหนดจุดเปิดวงจรที่กิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยที่สุดเป็นจุดที่เหมาะสม โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ 1.1

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i \quad (1.1)$$

เมื่อ I_i คือ กระแสไฟฟ้าของ กิ่ง i
 R_i คือ ความต้านทานของกิ่ง i
 n คือ จำนวนกิ่งทั้งหมด

ในบางครั้งได้มีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟเป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ [6] เช่น การทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้เหลือน้อยที่สุด ควบคู่กับการสมดุลการจ่ายโหลดแต่ละหม้อแปลง การลดขนาดแรงดันตก การลดความถี่การเกิดไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ และการจัดสมดุลผู้ใช้ไฟรายสำคัญ เป็นต้น ดังสมการที่ 1.2-1.6

$$P_L = \left(\sum_{i=1}^{n_l} I_i^2 R_i + \sum_{j=1}^{n_t} DP_j \right) / \left(\sum_{j=1}^{n_t} P_j \right) \quad (1.2)$$

เมื่อ I_i , R_i คือ กระแสไฟฟ้า และความต้านทานของกิ่ง i ตามลำดับ
 P_j , ΔP_j คือ โหลด และกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่าย j
 n_l , n_t คือ จำนวนกิ่ง และจำนวนหม้อแปลงตามลำดับ

$$B = \frac{1}{n_s} \sum_{s=1}^{n_s} B_s \quad (1.3)$$

เมื่อ $B_s = \left| N_s - N^{av} \right|$ คือ ผลต่างของภาระโหลดกับโหลดเฉลี่ย
 $N_s = |S_s| / S_s^{rat}$ คือ โหลดที่หม้อแปลงรับภาระขณะเปรียบเทียบกับพิกัดหม้อแปลง
 $N^{av} = \left(\sum |S_s| \right) / \left(\sum S_s^{rat} \right)$ คือ โหลดเฉลี่ยของหม้อแปลงทุกเครื่อง
 S_s , S_s^{rat} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด และพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง
 n_s คือ จำนวนหม้อแปลงทั้งหมด

จากสมการ 1.3 แสดงวัตถุประสงค์ เพื่อให้หม้อแปลงแต่ละเครื่องรับภาระโหลดใกล้เคียงกัน โดยผลพลอยได้ที่ได้รับคือการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลง ถ้าค่า B เท่ากับ 0 แสดงให้เห็นว่าหม้อแปลงมีการจ่ายโหลดสมดุลหรือจ่ายโหลดเท่าๆ กัน

นอกเหนือจากการสมดุลการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแล้ว การสมดุลการจ่ายโหลดของแต่ละวงจรใช้แนวทางการพิจารณาเช่นเดียวกัน และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ ทำได้โดยการค้นหาจุดเปิดวงจรที่ทำให้แต่ละวงจรจ่ายโหลดในปริมาณเท่าๆ กัน โดยมีแนวโน้มทำให้ระบบนั้นมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง

$$D_j = \left(\sum_{i=1}^{n_j} I_i Z_i \right) / V_j^{rat} \quad (1.4)$$

- เมื่อ D_j คือ ตัวชี้วัดปริมาณแรงดันตก ถ้ามีค่ามากแสดงว่าแรงดันในระบบดี
- I_i, Z_i คือ กระแส และอิมพีแดนซ์ ของกิ่ง i ตามลำดับ
- V_j^{rat} คือ แรงดันพิกัดของระบบ
- n_j คือ จำนวนกิ่งทั้งหมด

สมการที่ 1.4 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยในระบบจำหน่ายบางระบบที่มีปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกจะใช้วัตถุประสงค์นี้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ แต่ในหลายบทความไม่นำเรื่องขนาดแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย มาเป็นวัตถุประสงค์ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ แต่จะนิยมกำหนดเป็นข้อจำกัด (constraint) ประกอบการพิจารณาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ

$$W = \left(\sum_{j=1}^{n_t} P_j \lambda_j \right) / \left(\sum_{j=1}^{n_t} P_j \right) \quad (1.5)$$

- เมื่อ W คือ ผลการลดผลกระทบไฟดับที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลง
- P_j คือ โหลดของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง
- λ_j คือ ความถี่การเกิดไฟดับที่หม้อแปลง j
- n_t คือ จำนวนหม้อแปลงจำหน่ายทั้งหมด

สมการที่ 1.5 เป็นอีกหนึ่งวัตถุประสงค์ที่จำเป็นในทางปฏิบัติ เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปมีความต้องการความต่อเนื่องของการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับสูง แต่ระบบจำหน่ายจริงมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับได้ตลอดเวลา การจัดรูปแบบการจ่ายไฟเพื่อลดมูลค่าความสูญเสียจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ จึงมีความเหมาะสมในทางปฏิบัติในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่เมืองธุรกิจ เป็นต้น

$$E = \left(\sum_{s=1}^{n_s} E_s \right) / \left(\sum_{s=1}^{n_s} L_s \right) \quad (1.6)$$

- เมื่อ E คือ ผลการสมดุลผู้ใช้ไฟรายสำคัญ

$E_s = |L_s - L^{av}|$ คือ ผลต่างจำนวนผู้ใช้ไฟรายสำคัญ กับค่าเฉลี่ย

L_s คือ จำนวนผู้ใช้ไฟรายสำคัญ ที่รับไฟจากหม้อแปลง s

L^{av} คือ จำนวนผู้ใช้ไฟรายสำคัญเฉลี่ยต่อหม้อแปลง

n_s คือ จำนวนหม้อแปลงจำหน่ายทั้งหมด

สมการ 1.6 เป็นวัตถุประสงค์ที่ลดความเสี่ยงของการสูญเสียทางเศรษฐกิจ โดยกระจายผู้ใช้ไฟรายสำคัญให้อยู่ต่างสายป้อนกัน

Jac Jeon Y. and et al. (2002) [7] นำเสนอการจัดรูปแบบการจ่ายไฟที่มีวัตถุประสงค์ในการลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีจำลองการอบเหนียว (simulated annealing : SA) ช่วยในการคำนวณหาคำตอบเพื่อกำหนดจุดเปิด-ปิด สวิตช์ ของระบบจำหน่ายขนาดใหญ่ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ 1.7

$$\text{Min} \left(P_{\text{loss}}^{\text{total}} + \alpha A(x) + \beta B(x) \right) \quad (1.7)$$

เมื่อ $P_{\text{loss}}^{\text{total}}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมในระบบ

α คือ ตัวประกอบการปรับโทษของเงื่อนไขฟังก์ชันการรับภาระโหลด

β คือ ตัวประกอบการปรับโทษของเงื่อนไขแรงดันตก

$A(x)$ คือ ฟังก์ชันเงื่อนไขการฟังก์ชันการรับภาระโหลด

$B(x)$ คือ ฟังก์ชันเงื่อนไขแรงดันตก

Carreno, E. M. and et al. (2008) [8] ได้เสนอการจัดรูปแบบการจ่ายไฟโดยใช้วิธีการฮิวริสติกเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม ที่มีวัตถุประสงค์ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเหลือน้อยที่สุด นอกจากนั้นใน [9] ได้นำวิธีการฮิวริสติกที่นำความแตกต่างของแรงดันตกคร่อมระหว่างอุปกรณ์ตัดตอนสถานะเปิดวงจรมาใช้เริ่มต้นค้นหาจุดเปิดวงจรร่วมกับการใช้ตรรกะแบบฟัซซี่ ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดทุกๆ วัตถุประสงค์

นอกจากนี้ Karegar, H. K. and et al. (2008) [10] ได้นำการทำให้ต้นทุนราคาค่าซื้อไฟฟ้าต่ำสุดมาเป็นวัตถุประสงค์ นิยมใช้กับตลาดซื้อขายไฟฟ้า ดังสมการที่ 1.8

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n EP_i \left(\sum_{k=1}^m P_k \right) T \quad (1.8)$$

- เมื่อ EP_i คือ ค่าซื้อพลังงานไฟฟ้า ณ สถานีไฟฟ้า i
 P_k คือ โหลดเฉลี่ยของผู้ใช้ไฟ k
 T คือ คาบเวลาที่พิจารณา
 n, m คือ จำนวนสถานีไฟฟ้า และจำนวนผู้ใช้ไฟ ตามลำดับ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการหาคำตอบของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟจากระบบจำหน่าย ทั้ง 4 กลุ่ม โดยการใช้ดัชนีชี้วัดประมาณค่าเพื่อกำหนดจุดเปิดวงจรของระบบจำหน่าย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยสร้างเป็นปัญหา การหาค่าที่เหมาะสมแบบมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย

1.2.2 เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ที่จะนำไปใช้ปฏิบัติงานจริง สำหรับเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ปัญหาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้กรณีศึกษาจากระบบของ กฟผ.2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำเสนอข้อมูลในเชิงวิชาการผ่านการประชุมวิชาการ

1.3.2 หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้รับวิธีการพิจารณาที่เหมาะสมในทางวิชาการ และสามารถใช้ได้จริงในเชิงปฏิบัติ

1.3.3 ทำให้ผู้ทำหน้าที่จัดรูปแบบการจ่ายไฟเข้าใจแนวทางปฏิบัติ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

1.4 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

1.4.1 พัฒนารูปแบบการ สำหรับพิจารณาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยวิธีฮิวริสติก

1.4.2 ใช้ระบบจำหน่ายในพื้นที่ กฟผ.2 เป็นกรณีศึกษาในวิทยานิพนธ์

1.4.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะคำนึงถึงความคุ้มค่าของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง จากต้นทุนในการดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ได้เรียบเรียงตามความเหมาะสม ดังนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงระบบจำหน่าย และการวางแผนระบบไฟฟ้า ของ กฟผ.2 ที่จะทำให้เห็นภาพของระบบจำหน่าย และกระบวนการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

บทที่ 3 จะกล่าวถึงการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า การค้นหาจุดที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน การจัดรูปแบบการจ่ายไฟที่เน้นไปที่การค้นหาจุดติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอน

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการนำโครงการของ กฟผ.2 มาจัดการเพื่อกำหนดรูปแบบระบบทดสอบ และการนำฐานข้อมูลระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ ของ กฟผ.2 มาสร้างหรือจำลองระบบเพื่อใช้ในการทดสอบการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ

บทที่ 5 จะกล่าวถึงขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจรที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาขึ้นมา และตัวอย่างการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

บทที่ 6 จะเป็นผลการนำระบบจำหน่ายที่เลือกไว้ไปทดสอบ

บทที่ 7 จะเป็นการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

การวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า กฟผ.2

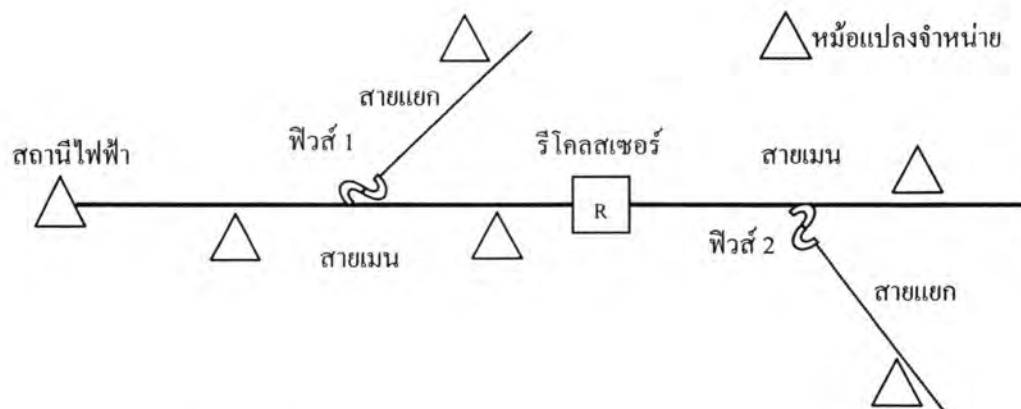
กฟผ.2 มีระบบจำหน่ายทั้งระบบแรงดันไฟฟ้าสูง 115 kV แรงดันไฟฟ้าปานกลาง 22 kV และระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ 400/230 V ที่ใช้ส่งผ่านพลังงานให้ผู้ใช้งานไฟฟ้า ประมาณ 89,000 วงจร-กม. แต่จากการที่ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และมีแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทุกปี จึงต้องมีการวางแผนงานปรับปรุงระบบเพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ให้เหมาะสมตามความจำเป็น ตามช่วงเวลาและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้งานไฟฟ้า รายละเอียดที่เกี่ยวข้อง อธิบายได้ดังนี้

2.1 ระบบจำหน่าย กฟผ.2

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ระบบจำหน่ายปฐมภูมิ (primary distribution system) หมายถึงระบบจำหน่ายที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดระดับแรงดันเพื่อส่งต่อพลังงานไปให้ผู้ใช้งานไฟฟ้า หรือหม้อแปลงจำหน่าย และระบบจำหน่ายทุติยภูมิ (secondary distribution system) หมายถึงระบบจำหน่ายที่ลดระดับแรงดันจากหม้อแปลงจำหน่าย เป็นระดับแรงดันต่ำไปให้ผู้ใช้งานไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายปฐมภูมิ หรือเรียกอีกอย่างว่า ระบบแรงสูงปานกลางใน กฟผ. แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบเรเดียล (radial type) ที่ผู้ใช้งานรับไฟจากแหล่งจ่ายทางเดียว กับระบบวงรอบเปิด (open loop type) ที่ผู้ใช้งานรับไฟจากสองแหล่งจ่าย [11] ลักษณะทางกายภาพส่วนมากเป็นระบบจำหน่ายเหนือดิน แบบเรเดียล ที่มีข้อดีคือไม่ซับซ้อน ราคาถูก และบำรุงรักษาง่าย มีระดับแรงดัน 22 kV หรือ 33 kV พื้นที่ กฟผ.2 ใช้ระดับแรงดัน 22 kV ลักษณะทางกายภาพของระบบจำหน่ายประกอบด้วยสายป้อนหลัก (main feeder) ที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อย ที่มี เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันต้นทาง และมีรีโครสเซอร์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย และสายแยก (lateral) จะมีฟิวส์คัทเอาต์ (drop-out fuse) เป็นอุปกรณ์ป้องกัน โดยมีผู้ใช้งานไฟฟ้ากระจายอยู่ในระบบ โครงสร้างระบบจำหน่ายแสดงได้ดัง ภาพที่ 2.1

ระบบจำหน่ายทุติยภูมิ หรือเรียกใน กฟผ.2 ว่าระบบแรงดันต่ำ เกือบทั้งหมดเป็นแบบส่งเหนือศีรษะ (over head aerial system) จ่ายไฟออกจากหม้อแปลงจำหน่าย มี 2 ระบบคือ แบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส



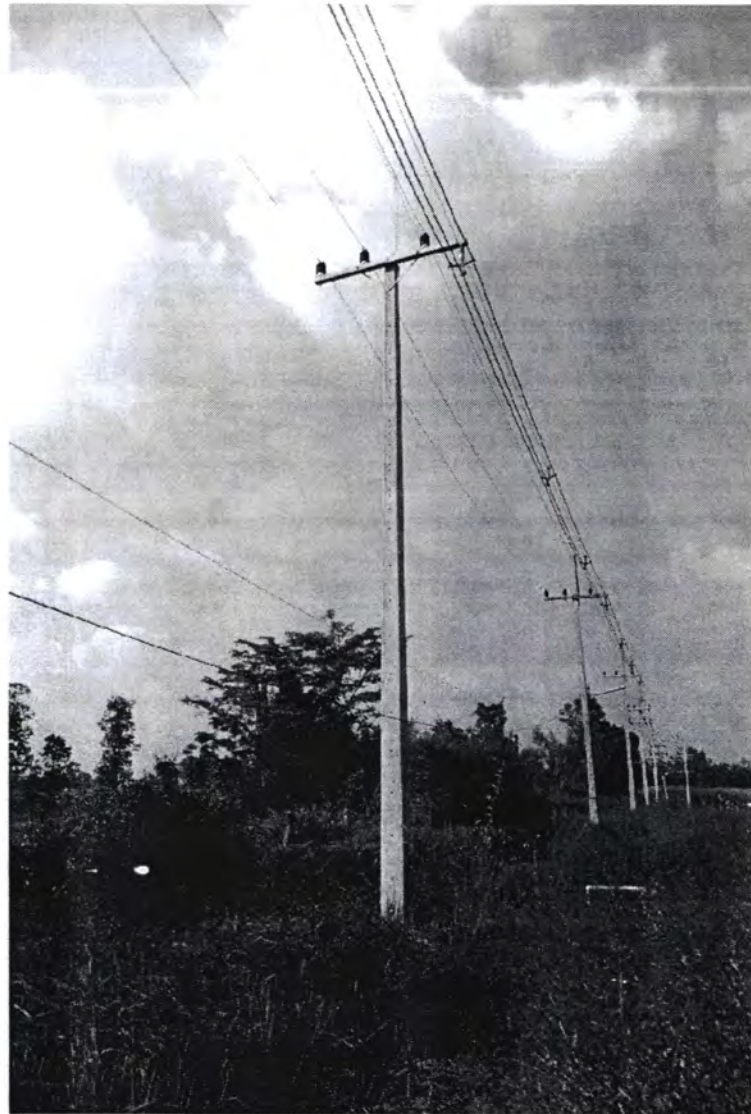
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างระบบจำหน่าย กฟล.2

จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นภาพระบบจำหน่าย กฟล.2 อธิบายเพิ่มเติมเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ดังนี้

2.1.1 สายป้อนหลัก ในพื้นที่ กฟล.2 ส่วนใหญ่ใช้สายไฟฟ้าขนาดพื้นที่หน้าตัด 185 ตร.มม. มีทั้งแบบหุ้มฉนวน ได้แก่ สายอลูมิเนียมหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด 1 ชั้น (partially insulated conductor – PIC) ที่พาดสายบนลูกถ้วย สายอลูมิเนียมหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด 2 ชั้น (space aerial cable-SAC) ที่พาดสายบนลูกถ้วยหรือใช้ร่วมกับเคเบิลสเปเซอร์ (cable spacer) และสายอลูมิเนียมดีเกลียวเปลือย (all aluminium conductor-AAC) ที่มีการติดตั้งโดยการพาดบนลูกถ้วย แต่ในบางพื้นที่ยังมีการใช้สายไฟฟ้าขนาด 95 ตร.มม. หรือ 120 ตร.มม. เป็นสายป้อนหลัก ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในการจำลองระบบจำหน่าย โดยใช้พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า [12] ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์สายป้อนหลัก ระบบ 22 kV กฟภ.

ที่	ชนิดสาย	ขนาดสาย (ตร.มม.)	พิกัด กระแส (A)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (MW)		r (โอห์ม/กม.)	x (โอห์ม/กม.)
				100%	50%		
1	SAC	50	390	5.83	2.91	0.821935	0.339591
2	AAC	120	390	13.37	6.68	0.266855	0.423335
3	AAC	185	520	17.83	8.91	0.176351	0.409092
4	ACSR	185	520	17.83	8.91	0.177274	0.422422
5	PIC	185	425	14.58	7.29	0.210658	0.414406
6	SAC	185	410	14.06	7.03	0.210660	0.298586



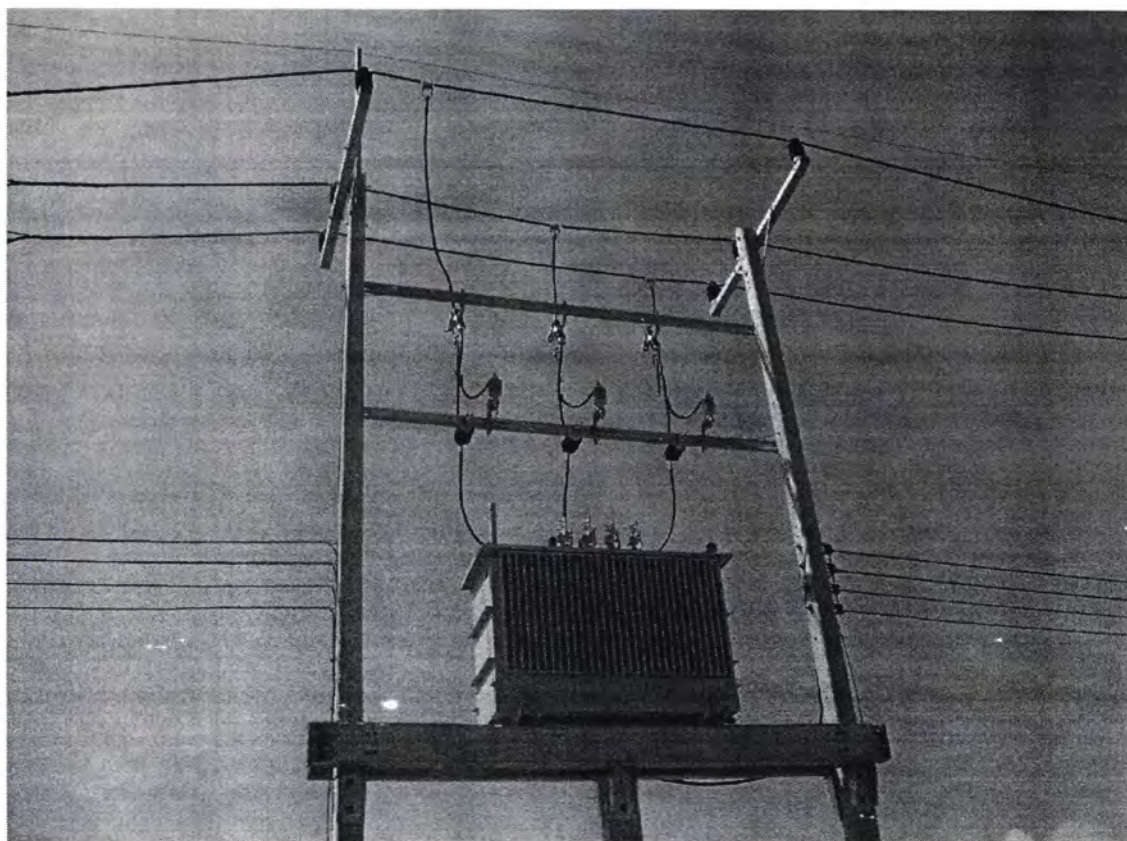
ภาพที่ 2.2 การเดินสายระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 kV ในพื้นที่ กฟล.2

จากภาพที่ 2.2 เป็นระบบจำหน่ายในพื้นที่ กฟล.2 จำนวน 2 วงจร วงจรแรกเป็นสายเปลือย ส่วนวงจรที่ 2 เป็นสาย SAC

2.1.2 สายแยก (lateral) มีทั้งระบบ 1 เฟส 2 สาย และ 3 เฟส 3 สาย สายไฟฟ้าที่ใช้ในสายแยกส่วนใหญ่จะมีขนาด 50 ตร.มม. มีทั้งชนิด SAC และชนิดอลูมิเนียมแกนเหล็ก (aluminium conductor steel reinforced- ACSR) สายแยกจะเป็นระบบจำหน่ายส่วนที่ไม่นำมาพิจารณาในระบบทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.1.3 หม้อแปลงจำหน่ายของ กฟล.2 ดังภาพที่ 2.3 ทำหน้าที่ลดระดับแรงดัน 22 kV เป็น 400/230V เพื่อจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟฟ้า

จากข้อมูลระบบจำหน่ายที่กล่าวมา จะอธิบายอีกครั้งในบทที่ 4 ในเรื่องการจำลองระบบทดสอบ เพื่อนำไปวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 2.3 หม้อแปลงจำหน่ายในพื้นที่ กฟผ.2

2.2 ขั้นตอนการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟผ.2 [13]

การวางแผนรองรับการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จะเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบสภาพปัจจุบันของสถานีไฟฟ้า ระบบจำหน่าย นำข้อมูลพยากรณ์โหลดมาประเมินความสามารถในการรับโหลดที่จะเกิดขึ้นใน แต่ละปีจากสภาพระบบในปัจจุบัน แล้วจึงสรุปประเด็นที่มีปัญหาในการรับโหลดตั้งแต่ระดับ สถานีไฟฟ้า ไปจนถึงระบบจำหน่าย นำข้อมูลปัญหาการจ่ายโหลดที่เกิดขึ้นมาพิจารณาหาทางเลือกในการแก้ปัญหา เช่น อาจจะดำเนินการได้โดยการโอนย้ายโหลดระหว่างวงจร การโอนย้ายโหลดระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในสถานีไฟฟ้าเดียวกัน การโอนย้ายโหลดระหว่างสถานีไฟฟ้า จนถึงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่เพิ่มเติมเมื่อไม่สามารถโอนย้ายโหลดได้ ดังได้กล่าวในช่วงต้นขั้นตอนการวางแผนระบบไฟฟ้าสามารถเขียนสรุปได้ ดังนี้

2.2.1 ตรวจสอบสภาพปัจจุบันของ สถานีไฟฟ้าและระบบจำหน่าย ได้แก่ ขนาดหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า ความสามารถในการรับโหลดของหม้อแปลง จำนวนวงจรจ่ายไฟ ความสามารถในการจ่ายไฟของแต่ละวงจร

2.2.2 พยากรณ์โหลด เพื่อจะได้นำไปประเมินความสามารถในการรับโหลดของสถานีไฟฟ้าและระบบจำหน่าย และเพื่อประเมินปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เช่น จะทำให้ทราบปีที่มีหม้อแปลงจะจ่ายโหลดเกินพิกัด และปีที่มีระบบจำหน่ายจะไม่สามารถรองรับโหลดได้ เป็นต้น

2.2.3 สรุปการรับภาระโหลดของสถานีไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้ทราบสถานีไฟฟ้าที่จะมีปัญหการจ่ายโหลดเกินพิกัด และสถานีไฟฟ้าที่สามารถรับโอนโหลดเพิ่มได้

2.2.4 สรุปการรับภาระโหลดของวงจรจ่ายไฟ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงวงจรไฟฟ้าที่มีปัญหการจ่ายโหลดเกินพิกัด และวงจรไฟฟ้าที่สามารถรับโอนโหลดเพิ่มเติมได้

2.2.5 พิจารณาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดเกินพิกัด เริ่มต้นจากการพิจารณาแก้ไขปัญหจากระดับวงจรในสถานีไฟฟ้าเดียวกัน โดยการถ่ายโอนโหลดจากวงจรหนึ่งไปสู่อีกวงจรหนึ่ง ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวต้องไม่ส่งผลให้หม้อแปลงลูกใดลูกหนึ่งในสถานีไฟฟ้า จ่ายโหลดเกินพิกัด ถ้าการถ่ายโอนโหลดระดับวงจรในสถานีเดียวกันไม่สามารถแก้ไขปัญหการจ่ายโหลดเกินได้ทั้งหมด ให้พิจารณาถ่ายโอนโหลดระหว่างวงจรกับสถานีไฟฟ้าอื่น โดยการถ่ายโอนโหลดต้องไม่ทำให้หม้อแปลงสถานีไฟฟ้าข้างเคียงจ่ายโหลดเกินพิกัด

2.2.6 วิเคราะห์แรงดันตกของระบบจำหน่ายแต่ละวงจร

นำระบบจำหน่ายวงจรที่มีการถ่ายโอน โหลด และระบบจำหน่ายที่เกิดแรงดันตกมาพิจารณาแก้ไขโดยการติดตั้ง คาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่ายตามความเหมาะสม เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์แล้ว ไม่สามารถแก้ไขแรงดันตกได้ นำวงจรดังกล่าวไปร่วมพิจารณาก่อสร้างสถานีไฟฟ้าใหม่

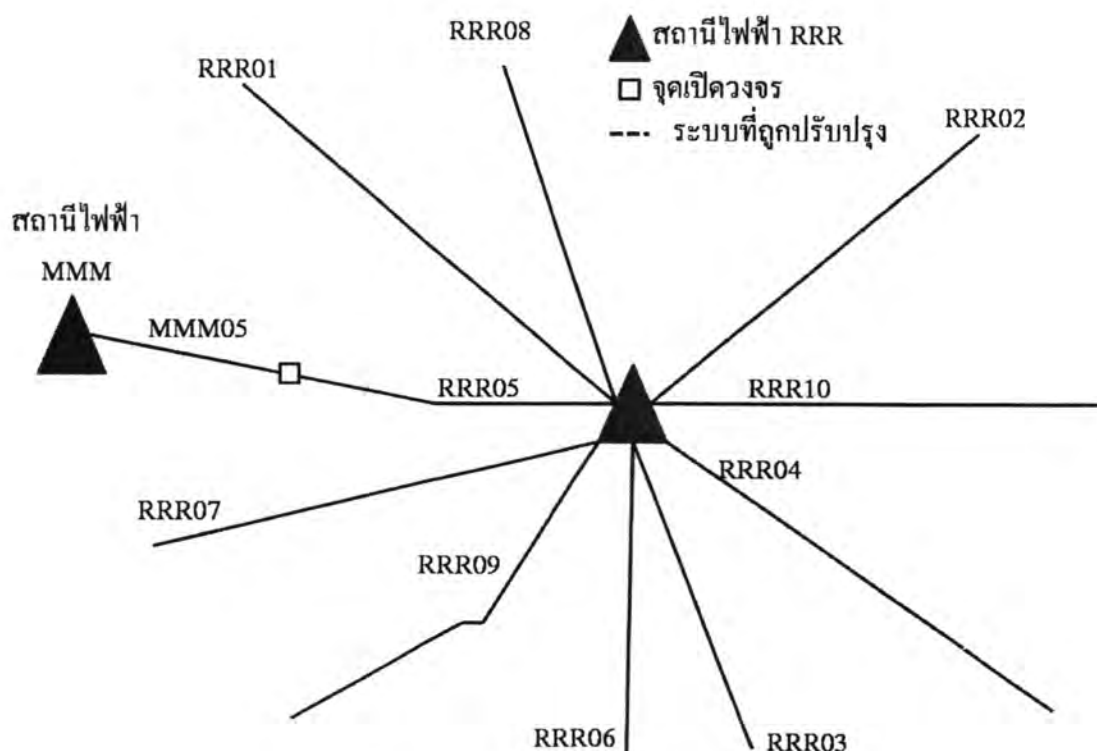
2.2.7 สรุปแผนงานก่อสร้างสถานีไฟฟ้า และแผนงานก่อสร้างระบบจำหน่าย

ภายหลังการถ่ายโอน โหลด ปัญหาที่เกิดขึ้นจะบรรเทาในระดับหนึ่ง แต่เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งจะมีสายป้อนที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหการจ่ายโหลดเกิน และวงจรที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหแรงดันตกได้ จึงต้องนำวงจรดังกล่าวมาพิจารณาความเหมาะสมในการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า และระบบจำหน่ายเพิ่มเติม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้อยู่ในส่วนของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่โดยค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายปฐมภูมิ ภายหลังจากการพิจารณาถ่ายโอน โหลดระหว่างวงจร หรือ ภายหลังการพิจารณาสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติมเพื่อถ่ายโอน โหลด ไประบบจำหน่ายข้างเคียง

2.3 ตัวอย่างการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟฉ.2

จากขั้นตอนการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟฉ.2 แสดงให้เห็นถึงการดำเนินการจริง ได้ดังตัวอย่างการวางแผนระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้า RRR ที่มีรูปแบบการจ่ายไฟในปัจจุบัน (ปี 2551) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ปีปัจจุบัน (ปี 2551)

ดำเนินการตามขั้นตอนข้อ 2.2 เพื่อวางแผนระบบไฟฟ้า ดังนี้

2.3.1 ตรวจสอบสภาพการจ่ายไฟปัจจุบันของสถานีไฟฟ้า และระบบจำหน่าย

ตรวจสอบสภาพการจ่ายไฟปัจจุบันของสถานีไฟฟ้า RRR พบว่ามีหม้อแปลงขนาด 50 MVA จำนวน 2 เครื่อง จ่ายโหลดสูงสุดรวม 48.30 MW มีวงจรจ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน วงจร 10 วงจร มีความยาวระบบจำหน่ายเฉลี่ยวงจรละ 36.2 วงจร-กม. รายละเอียด ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดการจ่ายโหลดปัจจุบัน (ปี 2551) สถานีไฟฟ้า RRR

วงจรจ่ายไฟ	การจ่ายโหลดสูงสุด (MW)	พิกัดการจ่ายโหลด (MW)	ระยะทาง (กม.)	คาปาซิเตอร์ (kVAR)	แรงดันตก (%)
หม้อแปลง 1	28.50	37.5			
วงจรที่ 1	3.80	7.03	27.17	0	2.32
วงจรที่ 2	7.20	7.29	34.57	3,000	4.78
วงจรที่ 3	4.50	7.03	49.72	1,500	3.81
วงจรที่ 4	5.90	7.03	53.81	2,400	7.06
วงจรที่ 5	7.10	7.03	23.06	1,800	3.26
หม้อแปลง 2	19.80	37.5			
วงจรที่ 6	2.40	7.29	38.47	1,800	1.44
วงจรที่ 7	2.00	7.03	41.14	300	1.62
วงจรที่ 8	5.20	7.03	26.65	1,800	2.32
วงจรที่ 9	5.70	7.03	34.62	2,700	4.19
วงจรที่ 10	4.50	7.03	32.75	2,400	3.38

จากตารางที่ 2.2 ทำให้เห็นสภาพการจ่ายไฟของสถานี RRR ในภาพรวมสถานีไฟฟ้ามีพิกัดการจ่ายโหลด 100 MVA แต่ตามหลักเกณฑ์พิกัดการรับโหลด กฟภ.[14] กำหนดให้หม้อแปลงรับโหลดในกรณีปกติได้ไม่เกิน 75% หรือ 75 MVA หรือจ่ายโหลดได้เครื่องละไม่เกิน 37.5 MVA ปัจจุบันหม้อแปลงเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 จ่ายโหลด 49.0% และ 39.6% ตามลำดับ

จากข้อมูลวงจรจ่ายไฟจะเห็นว่าวงจรที่ 2 จ่ายโหลดสูงสุด 7.20 MW ขณะที่สายไฟฟ้ารับโหลดได้ 7.29 MW สามารถรับโหลดได้อีก 0.09 MW มีแรงดันตกปลายสายจำหน่าย 4.78% และจากการตรวจสอบข้อมูลการจ่ายไฟของ วงจรที่ 4 พบว่าจ่ายโหลดสูงสุด 5.90 MW ขณะที่สายไฟฟ้ารับภาระ โหลดได้ 7.03 MW สามารถรับโอนโหลดได้อีก 1.13 MW แต่มีแรงดันตกที่ปลายสายจำหน่าย 7.06% ซึ่งเกินข้อกำหนดของ กฟภ. ต้องแก้ไขทันที อาจดำเนินการได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพิ่มเติม หรือโอนย้ายโหลดไปให้วงจร หรือสถานีไฟฟ้าข้างเคียง โดยหลังดำเนินการแก้ไขจำเป็นต้องมีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่โดยการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสมซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีดังกล่าว

2.3.2 นำข้อมูลโหลดในอดีต จนถึงปี 2550 และ โหลดปีปัจจุบัน (ปี 2551) ของแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยมาพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้พิจารณาความสามารถในการรับโหลดของสถานีไฟฟ้า ผลการพยากรณ์เป็นดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า สถานีไฟฟ้า RRR

ที่	สถานีไฟฟ้า	พิกัดหม้อแปลง (MVA)	ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า												
			2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564
			2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	RRR	2 x 50	48.3	49.4	48.2	48.9	51.5	54.3	57.4	60.7	64.1	67.5	71.0	74.6	78.3

ผลการพยากรณ์ทำให้ทราบถึงปัญหาการรับภาระโหลดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่า สถานีไฟฟ้า RRR เริ่มจ่ายโหลดเกินข้อกำหนด 75% ของพิกัดหม้อแปลง ในปี 2564 การแก้ปัญหาเบื้องต้น อาจจะต้องถ่ายโอนโหลดไปให้สถานีไฟฟ้าข้างเคียงก่อน แต่ถ้า สถานีไฟฟ้าข้างเคียงไม่สามารถรับการโอนโหลดได้ ก็ให้พิจารณาก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่มเติม ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.3.3 นำค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าทุกสถานีไฟฟ้ามาสรุปสถานะการรับภาระโหลดในอนาคต ดังตารางที่ 2.4

จากตารางที่ 2.4 ทำให้พบว่าสถานีไฟฟ้าย่อย MMM, DDD และ WWW จะเริ่มรับภาระโหลดเกินพิกัด ในปี 2556, 2552 และ 2551 ตามลำดับ

การแก้ปัญหาจะพิจารณาแก้ไขตามโครงสร้างของสถานีไฟฟ้า ว่าสามารถเปลี่ยนขนาดหม้อแปลงกำลัง หรือเพิ่มจำนวนหม้อแปลงกำลัง หรือทั้งเปลี่ยนขนาดและเพิ่มจำนวนหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้านั้นๆ ได้หรือไม่ โดยสถานีไฟฟ้า MMM ปัจจุบันมีหม้อแปลงขนาด 50 MVA ติดตั้งอยู่ จำนวน 2 เครื่อง เป็นการติดตั้งเต็มพิกัดสถานีไฟฟ้าย่อย ตามข้อกำหนด กฟภ. แล้ว ทำให้ไม่สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาการรับภาระโหลดเกินตามแนวทางนี้ได้

ส่วนสถานีไฟฟ้าย่อย DDD และสถานีไฟฟ้าย่อย WWW ติดตั้งหม้อแปลงกำลังขนาด 50 MVA จำนวนสถานีละ 1 เครื่อง ทำให้สถานียังสามารถติดตั้งหม้อแปลงกำลังเพิ่มได้อีก ซึ่งการติดตั้งหม้อแปลงเพิ่ม 1 เครื่อง จะทำให้มีวงจรจ่ายไฟเพิ่มขึ้นอีก 5 วงจร

กรอบระยะเวลาที่พิจารณาแก้ปัญหาจะดำเนินการให้ครอบคลุมระยะเวลาโครงการ ตามตัวอย่างที่นำเสนอเป็น โครงการที่มีกรอบระยะเวลาดำเนินการ จากปีปัจจุบัน 2554 จนถึงปี 2561 ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังปี 2561 ให้พิจารณาแก้ไขในโครงการถัดไป

ตารางที่ 2.4 สรุปปัญหาการรับภาระโหลดของสถานีไฟฟ้า กฟล.2

ที่	สถานีไฟฟ้า	สถานีไฟฟ้าของ	พิกัดหม้อแปลง MVA	Zone	ปีที่เริ่มมี ปัญหาในการ รองรับโหลด	โหลด ปี 2561 (MW)	ขนาดหม้อแปลงที่ต้องการปรับปรุง (จำนวนxขนาด) MVA			Load ₂₅₆₁ ≥ 75% พิกัดหม้อแปลง	
							เพิ่ม	เปลี่ยน	ปีที่ ดำเนินการ	ใช่	ไม่ใช่
1	AAA	กฟผ.	2 x 50	3	-	44.1	-	-	-	-	✓
2	KKK	กฟผ.	2 x 50	3	-	62.6	-	-	-	-	✓
3	MMM	กฟผ.	2 x 50	2	2556	98.4	-	-	2555	✓	-
4	RRR	กฟผ.	2 x 50	2	-	67.5	-	-	-	-	✓
5	DDD	กฟผ.	1 x 50	3	2552	64.1	1 x 50	-	2553	✓	-
6	WWW	กฟผ.	1 x 50	2	2551	83.1	1 x 50	-	2553	✓	-
7	PPP	กฟผ.	1 x 25	4	-	13.5	-	-	-	-	✓

2.3.4 สรุปสถานะการรับภาระโหลดของวงจรจ่ายไฟ

เริ่มต้นจากการพิจารณาโอนย้ายโหลดตามแผนงานโครงการก่อสร้างเดิมที่มีอยู่แล้ว ทั้งที่ยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ และที่จะก่อสร้างในอนาคต ผลการดำเนินการตามตารางที่ 2.5

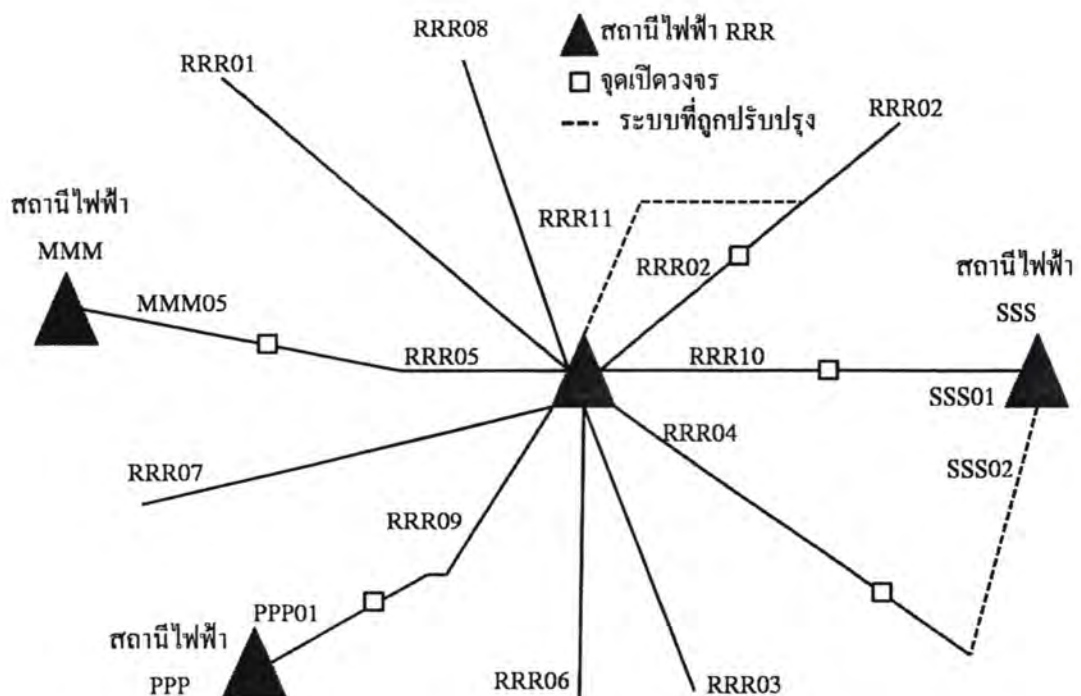
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดการถ่ายโอนโหลด ตามแผนงานโครงการที่มีอยู่เดิม

ปี	ขนาดหม้อแปลงเครื่องที่ 1 =50.....MVA , ขนาดหม้อแปลงเครื่องที่ 2 =50..... MVA													
	โหลด หม้อแปลง 2 (MW)	วงจร 6 (MW)	วงจร 7 (MW)	วงจร 8 (MW)	วงจร 9 (MW)	วงจร 10 (MW)	วงจร 11 (MW)	โหลด หม้อแปลง 1 (MW)	วงจร 1 (MW)	วงจร 2 (MW)	วงจร 3 (MW)	วงจร 4 (MW)	วงจร 5 (MW)	
2008	28.50	2.40	2.00	5.20	5.70	4.50		28.50	3.80	7.20	4.50	5.90	7.10	
2009	31.43	2.65	2.21	5.74	6.29	4.96		31.43	4.19	7.94	4.96	6.51	7.83	
2010	32.11	2.70	2.25	5.86	6.42	5.07		32.11	4.28	8.12	5.07	6.64	8.00	
2010	27.29	2.70	2.25	5.86	6.42	5.07	4.82	27.29	4.28	3.30	5.07	6.64	8.00	
2011	28.23	2.80	2.33	6.06	6.65	5.25	5.00	28.23	4.43	3.40	5.25	6.88	8.28	
2011	26.91	2.80	2.33	6.06	6.65	3.49	5.00	26.91	4.43	3.40	5.25	5.56	8.28	
2012	28.08	2.92	2.43	6.33	6.94	3.64	5.22	28.08	4.62	3.54	5.48	5.80	8.64	
2012	28.08	2.92	2.43	6.33	5.33	3.64	5.22	28.08	4.62	3.54	5.48	5.80	8.64	
2013	29.42	3.06	2.55	6.63	5.58	3.81	5.47	29.42	4.84	3.71	5.74	6.08	9.05	
2014	30.87	3.21	2.67	6.95	5.85	4.00	5.74	30.87	5.08	3.89	6.02	6.38	9.50	
2015	32.50	3.38	2.82	7.32	6.16	4.21	6.04	32.50	5.35	4.10	6.34	6.71	10.00	
2016	34.20	3.56	2.96	7.71	6.49	4.43	6.36	34.20	5.63	4.31	6.67	7.07	10.52	
2017	35.95	3.74	3.12	8.10	6.82	4.66	6.69	35.95	5.92	4.53	7.01	7.43	11.06	
2018	37.74	3.93	3.27	8.51	7.16	4.89	7.03	37.74	6.22	4.75	7.36	7.80	11.61	
Conductor Type		185PIC	185SAC	185SAC	185SAC	185SAC	185SAC	Conductor Type		185SAC	185PIC	185SAC	185SAC	185SAC
Feeder capacity (Mw)		14.57	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	Feeder capacity (Mw)		14.06	14.57	14.06	14.06	14.06
50% capacity (Mw)		7.29	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	50% capacity (Mw)		7.03	7.29	7.03	7.03	7.03
Feeder Length (km)		38.47	41.14	26.65	34.62	32.75	33.00	Feeder Length (km)		27.17	34.57	49.72	53.81	23.06
คำอธิบาย				(4)	(3),(4)	(2)	(1)	คำอธิบาย			(1)	(4)	(2),(4)	(4)

คำอธิบายแผนงานโครงการที่มีอยู่เดิม

- (1) แผนงานปี 2010 แบ่งโหลดจาก วงจรที่ 2 ให้ วงจรที่ 11 จำนวน 4.82 MW
- (2) แผนงานปี 2011 เปิดจ่ายไฟสถานีไฟฟ้า SSS แบ่งโหลดจาก วงจรที่ 4 และวงจรที่ 10 ให้ สถานีไฟฟ้า SSS จำนวน 1.32 MW และ 1.76 MW ตามลำดับ
- (3) แผนงานปี 2012 เปิดจ่ายไฟสถานีไฟฟ้า PPP แบ่งโหลดจาก วงจรที่ 9 ให้ สถานีไฟฟ้า PPP จำนวน 1.61 MW
- (4) วงจรที่ 3, วงจรที่ 4, วงจรที่ 5, วงจรที่ 8 และ วงจรที่ 9 มีปัญหาไม่สามารถรับภาระโหลดได้เพียงพอ ในปี 2018, 2016, 2008, 2015 และ ปี 2018 ตามลำดับ

จากตารางที่ 2.5 ทำให้ทราบรายละเอียดการจ่ายไฟแต่ละวงจร ภายหลังจากโอนย้ายโหลดตามแผนงานโครงการเดิมที่มีอยู่ และตามแผนงานโครงการเดิมที่ยังก่อสร้างไม่แล้วเสร็จ การดำเนินการตามข้อ (1), (2) และ (3) เป็นดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ตามแผนงานโครงการที่มีอยู่เดิม

จากภาพที่ 2.5 จะเห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบจำหน่าย ทำให้ต้องมีการพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

จากรายละเอียดข้อ (4) ของตารางที่ 2.5 จะเห็นว่าภายหลังการดำเนินการตามแผนงานที่มีอยู่เดิม ยังคงทำให้ระบบจำหน่าย จำนวน 5 วงจร มีการจ่ายโหลดเกินพิกัดเนื่องจากไม่มีแผนงานโครงการรองรับ จึงต้องพิจารณาเพิ่มแผนงานโครงการสำหรับแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติม หรือติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนใหม่เพิ่มเติม ตามความเหมาะสม ดังตัวอย่างตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดการถ่ายโอนโหลด โดยการจัดทำแผนงานโครงการเพิ่มเติม

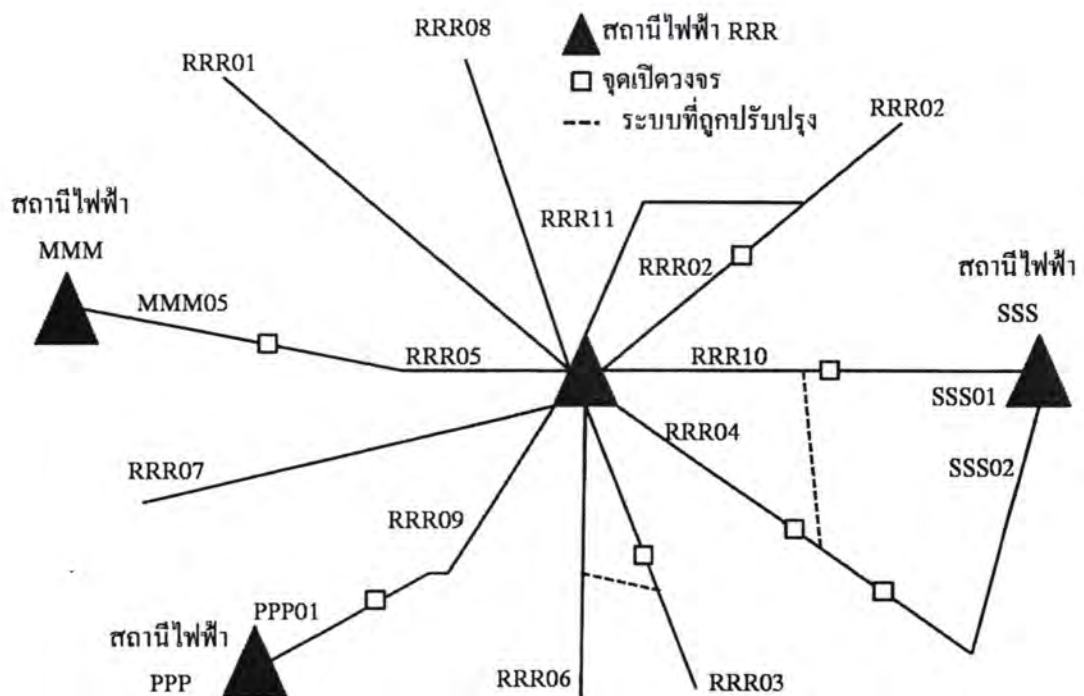
ปี	ขนาดหม้อแปลงเครื่องที่ 1 =50.....MVA , ขนาดหม้อแปลงเครื่องที่ 2 =50..... MVA													
	โหลดหม้อแปลง 2 (MW)	วงจร 6 (MW)	วงจร 7 (MW)	วงจร 8 (MW)	วงจร 9 (MW)	วงจร 10 (MW)	วงจร 11 (MW)	โหลดหม้อแปลง 1 (MW)	วงจร 1 (MW)	วงจร 2 (MW)	วงจร 3 (MW)	วงจร 4 (MW)	วงจร 5 (MW)	
2008	19.80	2.40	2.00	5.20	5.70	4.50		28.50	3.80	7.20	4.50	5.90	7.10	
2009	21.84	2.65	2.21	5.74	6.29	4.96		31.43	4.19	7.94	4.96	6.51	7.83	
2010	22.30	2.70	2.25	5.86	6.42	5.07		32.11	4.28	8.12	5.07	6.64	8.00	
2010	27.12	2.70	2.25	5.86	6.42	5.07	4.82	27.29	4.28	3.30	5.07	6.64	8.00	
2011	28.09	2.80	2.33	6.06	6.65	5.25	5.00	28.23	4.43	3.40	5.25	6.88	8.28	
2011	26.33	2.80	2.33	6.06	6.65	3.49	5.00	26.91	4.43	3.40	5.25	5.56	8.28	
2012	27.47	2.92	2.43	6.33	6.94	3.64	5.22	28.08	4.62	3.54	5.48	5.80	8.64	
2012	25.86	2.92	2.43	6.33	5.33	3.64	5.22	28.08	4.62	3.54	5.48	5.80	8.64	
2013	27.10	3.06	2.55	6.63	5.58	3.81	5.47	29.42	4.84	3.71	5.74	6.08	9.05	
2014	28.43	3.21	2.67	6.95	5.85	4.00	5.74	30.87	5.08	3.89	6.02	6.38	9.50	
2015	29.94	3.38	2.82	7.32	6.16	4.21	6.04	32.50	5.35	4.10	6.34	6.71	10.00	
2016	31.51	3.56	2.96	7.71	6.49	4.43	6.36	34.20	5.63	4.31	6.67	7.07	10.52	
2017	33.13	3.74	3.12	8.10	6.82	4.66	6.69	35.95	5.92	4.53	7.01	7.43	11.06	
2017	34.57	4.44	3.12	8.10	6.82	5.40	6.69	34.51	5.92	4.53	6.31	6.69	11.06	
2018	36.29	4.66	3.27	8.51	7.16	5.67	7.03	36.22	6.22	4.75	6.62	7.02	11.61	
Conductor Type		185PIC	185SAC	185SAC	185SAC	185SAC	185SAC	Conductor Type	185SAC	185PIC	185SAC	185SAC	185SAC	
Feeder capacity (Mw)		14.57	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	Feeder capacity (Mw)	14.06	14.57	14.06	14.06	14.06	
50% capacity (Mw)		7.29	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	50% capacity (Mw)	7.03	7.29	7.03	7.03	7.03	
Feeder Length (km)		38.47	41.14	26.65	34.62	32.75	33.00	Feeder Length (km)	27.17	34.57	49.72	53.81	23.06	
คำอธิบาย		(1)		(3)	(3)	(2)		คำอธิบาย			(1)	(2)	(3)	

คำอธิบายแผนงานโครงการเพิ่มเติม

- (1) วงจรที่ 3 ถ่ายโอนโหลดให้ วงจรที่ 6 จำนวน 0.70 MW ในปี 2017 โดยเพิ่มโครงการเสริมระบบจำหน่ายจาก สี่แยกบายพาสไป อ.จตพ - อ.จตพ ระยะทาง 25 กม.
- (2) วงจรที่ 4 ถ่ายโอนโหลดให้ วงจรที่ 10 จำนวน 0.74 MW ในปี 2017 โดยเพิ่มโครงการเสริมระบบจำหน่ายจาก สี่แยกรอบเมืองไป อ.อส. - อ.อส. ระยะทาง 32 กม.
- (3) วงจรที่ 5, วงจรที่ 8 และวงจรที่ 9 ไม่สามารถถ่ายโอนโหลดภายใน สถานีไฟฟ้า RRR ได้ ให้พิจารณาโอนย้ายโหลดไปสถานีไฟฟ้าข้างเคียง

จากตารางที่ 2.6 จะเห็นว่าวงจรที่ 3 และวงจรที่ 4 สามารถถ่ายโอนโหลดระหว่างวงจรในสถานีไฟฟ้าเดียวกันได้ โดยการเพิ่มโครงการก่อสร้างระบบจำหน่ายตาม (1) และ (2) ดัง

ภาพที่ 2.6 ภายหลังการก่อสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติม จะต้องพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม และจะเห็นว่าวงจรที่ 2 และวงจรที่ 7 รับภาระโหลด 4.62 MW และ 3.20 MW ตามลำดับซึ่งต่ำกว่าพิกัดสายที่กำหนดคือ 7.03 MW แต่ไม่สามารถออกแบบระบบจำหน่ายให้รับโอน โหลดจากวงจรที่มีปัญหาได้ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพอยู่คนละทิศทาง ดังภาพที่ 2.6



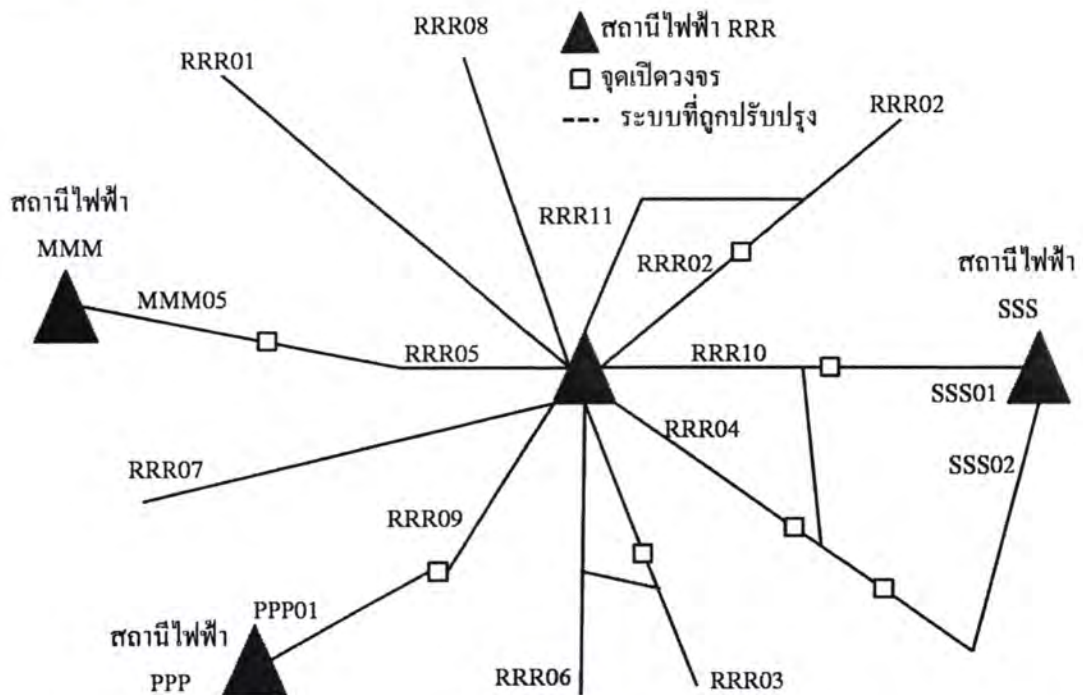
ภาพที่ 2.6 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR ภายหลังการเพิ่มแผนงานโครงการ

ในส่วนของวงจรที่ 5 วงจรที่ 8 และวงจรที่ 9 ไม่สามารถเพิ่มโครงการเพื่อโอนย้ายโหลดระหว่างวงจรในสถานีไฟฟ้าได้ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพไม่เหมาะสม ทำให้สถานีไฟฟ้า RRR มีจะมีปัญหาการจ่ายโหลดไม่เพียงพอในอนาคต จำนวน 3 วงจร

2.3.5 นำวงจรที่มีปัญหาการจ่ายโหลดเกิน มาพิจารณาถ่ายโอนโหลดระหว่างวงจรกับสถานีไฟฟ้าข้างเคียง โดยการถ่ายโอนโหลดต้องไม่ทำให้หม้อแปลงในสถานีไฟฟ้าที่รับโอนจ่ายโหลดเกินพิกัด ดังนี้

ลักษณะทางกายภาพระบบจำหน่ายวงจรที่ 5 ของสถานีไฟฟ้า RRR มีทิศทางเชื่อมโยงกับวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้า MMM ดังภาพที่ 2.7 แต่จากตารางที่ 2.7 พบว่าไม่สามารถ

โอนย้ายโหลดจากวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้า RRR ไปยังวงจรที่ 5 สถานีไฟฟ้า MMM ได้เนื่องจากรับโอนโหลดได้เพียง 0.45 MW



ภาพที่ 2.7 รูปแบบการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้า RRR หลังการโอนย้ายโหลดระหว่างสถานีไฟฟ้า

ตารางที่ 2.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการถ่ายโอนโหลดของสถานีไฟฟ้า

ชื่อสถานีไฟฟ้าที่มีปัญหาในการรองรับโหลด					ชื่อสถานีไฟฟ้าข้างเคียงที่สามารถรองรับการถ่ายโอนโหลด					สรุปผล
วงจรที่	สถานีไฟฟ้า	โหลดปี 2561	พิกัดสาย	โหลดที่ต้องการโอน	สถานีไฟฟ้า	วงจรที่	โหลดปี 2561	พิกัดสาย	โหลดที่สามารถรับโอนได้	
5	RRR	11.61	7.03	4.58	MMM	5	6.58	7.03	0.45	ไม่สามารถโอนโหลดจำนวน 4.58 MW ไปยังสถานีไฟฟ้า MMM ได้
8	RRR	8.51	7.03	1.48	-	-	-	-	-	ไม่มีวงจรสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมาเชื่อมต่อทำให้ไม่สามารถถ่ายโอนโหลดไปได้
9	RRR	7.16	7.03	0.13	PPP	1	4.35	7.03	2.68	สามารถโอนโหลดจำนวน 0.13 MW ไปยังสถานีไฟฟ้า PPP ได้

วงจรที่ 8 ของสถานีไฟฟ้า RRR ไม่มีสถานีไฟฟ้าข้างเคียงที่สามารถรับโอนโหลดได้ ทำให้ยังคงมีปัญหาจ่ายโหลดเกินพิกัด จึงนำไปพิจารณาแก้ปัญหาพร้อมกับวงจรที่ 5 ของสถานีไฟฟ้า RRR โดยอาจแก้ไขโดยการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่เพิ่มเติม เพื่อรองรับโหลดดังกล่าว

วงจรที่ 9 ของสถานีไฟฟ้า RRR รับภาระโหลดเกินพิกัด 0.13 MW ระบบจำหน่ายทางกายภาพเชื่อมโยงกับวงจรที่ 1 ของสถานีไฟฟ้า PPP พิจารณาย้ายโอนโหลดเพิ่ม โดยการปิดวงจรสวิตช์ตัดตอนสถานะเปิดวงจรที่มีอยู่เดิมที่คั่นวงจรระหว่างทั้ง 2 สถานีไฟฟ้า แล้วจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนสถานะเปิดวงจรในจุดที่เหมาะสม

2.3.6 นำระบบจำหน่ายวงจรที่มีปัญหาแรงดันตก และระบบจำหน่ายที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้ มาวิเคราะห์แก้ไขปัญหา

นำวงจรที่เกิดแรงดันตกและระบบจำหน่ายที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้ มาพิจารณาแก้ไขโดยการติดตั้ง คาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่ายตามความเหมาะสมซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในขั้นตอนนี้ เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์แล้วไม่สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันตกได้ นำวงจรดังกล่าวไปร่วมพิจารณาก่อสร้างสถานีไฟฟ้าใหม่

การพิจารณาจุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าใหม่ทำได้โดยการรวมกลุ่มวงจรที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาในระบบจำหน่ายได้ กับวงจรที่ไม่เกิดปัญหาการจ่ายไฟที่อยู่บริเวณใกล้เคียงที่มีความเป็นไปได้ที่จะรับไฟจากสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ มาคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด (load center) ดังตัวอย่างตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การคำนวณหาจุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่

สถานี ไฟฟ้า	วงจร	หม้อแปลง ติดตั้ง (kVA)	อัตราส่วน	ขนาดโหลด (MW)	พิกัดตำแหน่งจุดโหลด (Coordinate)		โหลด x พิกัด แนวแกน X	โหลด x พิกัด แนวแกน Y
					X	Y		
		(1)	(2)	(3)=(1)x(2)/1000	(4)	(5)	(6)=(3)x(4)	(7)=(3)x(5)
RRR	1	15,240	0.400	6.09	999,111.78	1,780,008.54	6,083,688.11	10,839,828.99
RRR	3	12,050	0.539	6.49	996,568.01	1,771,061.87	6,469,487.27	11,520,949.48
RRR	6	7,840	0.583	4.57	1,003,080.77	1,769,740.24	4,580,227.08	8,096,538.94
RRR	8	20,895	0.399	8.33	997,553.69	1,780,559.93	8,316,095.80	14,839,516.67
RRR	9	13,500	0.516	6.97	989,376.33	1,775,318.48	6,908,836.75	12,383,258.14
RRR	5	20,355	0.638	12.98	986,966.89	1,785,702.95	12,815,391.37	23,168,983.29
รวม		89,880	0.505	45.43	5,972,657.00	10,662,392.00	45,173,726.00	80,849,076.00
พิกัดตำแหน่ง							994,271.64	1,779,484.44

จากตารางที่ 2.8 จะได้จุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มเติมใหม่ที่จุด Coordinate X,Y = (994,271.64,1,779,484.44) โดยเมื่อนำไปค้นหาตามพิกัดในแผนที่ จะทำให้ทราบจุดศูนย์กลางโหลด หรือจุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าทางกายภาพ ซึ่งถ้าหากจุดดังกล่าวอยู่นอกแนวนถนนหลัก ให้ปรับจุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่

2.3.7 สรุปแผนงานโครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ และแผนงานก่อสร้างปรับปรุงระบบจำหน่ายเพิ่มเติม โดยนำแผนงานโครงการที่พิจารณาแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบมาสรุปรวบรวม เพื่อกำหนดเป็นแผนงานก่อสร้างสถานีไฟฟ้า และแผนงานปรับปรุงระบบจำหน่าย กฟผ.2 ดังตารางที่ 2.9 และตารางที่ 2.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.9 ปริมาณงานก่อสร้างสถานีไฟฟ้าที่ผ่านการวิเคราะห์

สถานีไฟฟ้า	ระยะทางสายส่ง	ขนาดพิกัดหม้อแปลง (จำนวนxขนาด)	ชนิดของสถานีไฟฟ้า	โหลด ปี 2561 (MW)	ปีที่เริ่มมีปัญหในการรองรับโหลด
RRR 2	1.00 กม.	1 x 50 MVA	H-Config	22.15	2558
UUU 3	1.00 กม.	1 x 50 MVA	M & T	25.80	2557
MMM 2	1.00 กม.	1 X 50 MVA	M & T	23.87	2556
KKK 2	18.80 กม.	1 X 50 MVA	H-Config	22.51	2558
NNN	40.00 กม.	1 X 25 MVA	H-Config	18.00	2555

ตารางที่ 2.10 ปริมาณงานก่อสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ผ่านการวิเคราะห์

ที่	รายละเอียดงาน	ปริมาณงาน (วงจร-กม.)	รายละเอียดการก่อสร้าง	ปีดำเนินการแล้วเสร็จ
1	เสริมระบบจำหน่ายจาก สี่แยกบายพาสไป อ.จตพ - อ.จตพ	25.00	สาย 185 SAC	2017
2	เสริมระบบจำหน่ายจาก สี่แยกรอบเมืองไป อ.อส. - อ.อส.	32.00	สาย 185 A	2017
รวม		57.00		

หลังจากกำหนดแผนงานก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ จะต้องกำหนดแผนงานก่อสร้างระบบจำหน่ายรองรับการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าตามความเหมาะสม โดยจะมีวงจรจ่ายไฟเพิ่มขึ้นจำนวน 5 วงจร ต่อหม้อแปลงกำลังที่เพิ่มขึ้น 1 เครื่อง

จากตัวอย่างการวางแผนระบบไฟฟ้าของ กฟฉ.2 จะเห็นว่าการดำเนินการวางแผนปรับปรุงระบบในทางปฏิบัติจริงมีประเด็นและเงื่อนไขที่ต้องใช้ประสบการณ์ และความเข้าใจระบบในการดำเนินการและภายหลังการวางแผนงาน โครงการ หรือภายหลังการกำหนดทางเลือกการแก้ปัญหาาระบบจำหน่ายในแต่ละขั้นตอนแล้วเสร็จ ยังถือว่าการวางแผนงานไม่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ เนื่องจากการแก้ปัญหาดังกล่าวจะต้องมีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ที่ต้องมีการเปิดวงจร ณ จุดที่เหมาะสม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจะนำเสนอวิธีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ซึ่งจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมทั้งเชิงปฏิบัติและวิชาการ โดยภาพรวมการดำเนินการค้นหาจุดเปิดวงจร โดยวิธีฮิวริสติก จะขอใช้ระบบทดสอบตาม [15] แสดงเป็นตัวอย่าง ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.2 ต่อไป

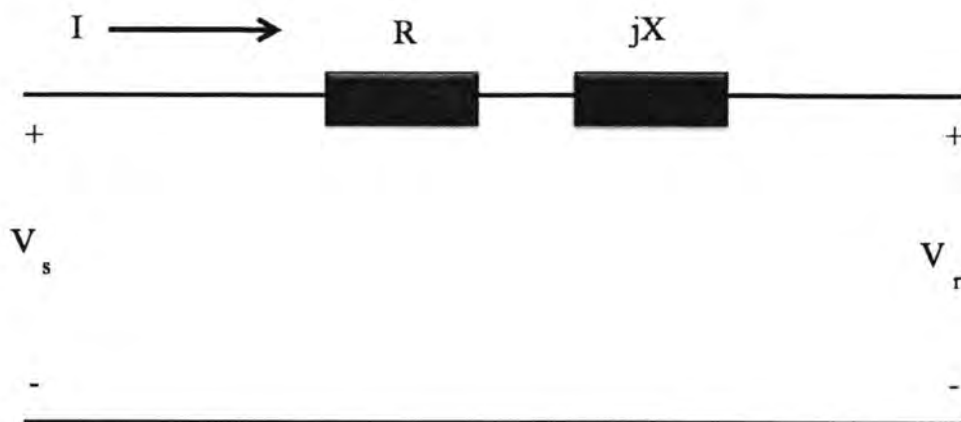
บทที่ 3

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า และการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

ในบทนี้จะพูดถึงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ที่เริ่มต้นตั้งแต่การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Matpower 3.2 การค้นหาจุดเปิดวงจร โดยวิธีฮิวริสติกที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน และศึกษาวิธีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ที่เน้นไปที่การค้นหาจุดติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะเปิดวงจร เพื่อให้ได้รูปแบบระบบจำหน่ายตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ที่เหมาะสม

3.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า [16-17]

ในหัวข้อนี้จะพูดถึงการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ



ภาพที่ 3.1 การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

กำหนดให้ V_s เป็นแรงดันด้านจ่ายมีมุม δ_s และ V_r เป็นแรงดันด้านรับมีมุม δ_r โดยแรงดันและมุมมีหน่วยเป็น V และ องศา ตามลำดับ I คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบ มีหน่วยเป็น A กำหนดให้สายจำหน่ายมีอิมพีแดนซ์ $Z = R + jX = Z \angle \gamma$ ohm

จากภาพที่ 3.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าได้จากสมการ 3.1

$$S = P + jQ \text{ หรือ } S = VI^* \quad \text{MVA} \quad (3.1)$$

และหาค่าล้งไฟฟ้าที่ไหลจากต้นทางได้ ตามสมการ (3.2)

$$S_s = P_s + jQ_s \text{ หรือ } S_s = V_s I_s^* \quad \text{MVA} \quad (3.2)$$

จากภาพที่ 3.1 คำนวณหากระแสไฟฟ้าได้จาก สมการที่ 3.3-3.4

$$I = \frac{|V_s| \angle (\delta_s - \gamma)}{|Z|} - \frac{|V_r| \angle (\delta_r - \gamma)}{|Z|} \quad \text{A} \quad (3.3)$$

โดย

$$I^* = \frac{|V_s| \angle (\gamma - \delta_s)}{|Z|} - \frac{|V_r| \angle (\gamma - \delta_r)}{|Z|} \quad \text{A} \quad (3.4)$$

จะได้ค่าล้งไฟฟ้าที่ไหลในระบบตามสมการที่ 3.5

$$S_s = \frac{|V_s|^2}{|Z|} \angle \gamma - \frac{|V_s||V_r|}{|Z|} \angle (\gamma + \delta_s - \delta_r) \quad \text{MVA} \quad (3.5)$$

จัดรูปใหม่จะได้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.6-3.7

$$P_s = \frac{|V_s|^2}{|Z|} \cos \gamma - \frac{|V_s||V_r|}{|Z|} \cos (\gamma + \delta_s - \delta_r) \quad \text{MW} \quad (3.6)$$

$$Q_s = \frac{|V_s|^2}{|Z|} \sin \gamma - \frac{|V_s||V_r|}{|Z|} \sin (\gamma + \delta_s - \delta_r) \quad \text{MVAr} \quad (3.7)$$

เนื่องจากการจ่ายไฟจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ดังนั้นสามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียได้จากสมการที่ 3.8

$$P_L = |I|^2 R \quad \text{MW} \quad (3.8)$$

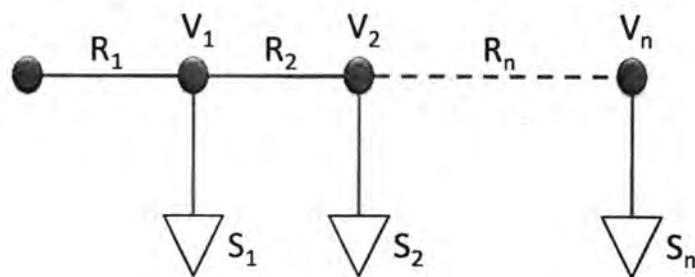
จากสมการที่ 3.2 จะได้กระแสไฟฟ้า $I^* = \frac{P+jQ}{V}$ และ $I = \frac{P-jQ}{V^*}$ ดังนั้น

$$|I|^2 = (I)(I^*) = \frac{P^2 + Q^2}{|V|^2} \text{ จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ดังสมการที่ 3.9}$$

$$P_L = \frac{(P^2 + Q^2)}{|V|^2} R \quad \text{MW} \quad (3.9)$$

จากสมการที่ 3.9 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในระบบเกิดขึ้นจากทั้งกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังนั้นการลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของโหลด จึงเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ ในการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย ซึ่งอาจดำเนินการได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์ชาน ในระบบ

และจากสมการที่ 3.9 เป็นสมการที่อธิบายกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบทั่วไป แต่เนื่องจาก ระบบจำหน่ายจริงมีจุดโหลดหลายจุด ดังเช่นภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

จึงอาจคำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียได้จากการปรับสมการที่ 3.9 ใหม่ ได้ดัง สมการที่ 3.10

$$P_L = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} R_i \quad \text{MW} \quad (3.10)$$

เมื่อ P_L คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในระบบ (MW)
 P_i, Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจริง (MW) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (MVar) ที่ถึง
i ตามลำดับ

$$S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \quad \text{คือกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ถึง } i \text{ (MVA)}$$

$$R_i \quad \text{คือ ค่าความต้านทานที่ถึง } i \text{ (ohm)}$$

$$n \quad \text{คือ จำนวนกิ่งทั้งหมด}$$

จากสมการ 3.10 จะเห็นว่า $(P_i^2 + Q_i^2)$ เป็นค่าที่ทราบจากข้อมูลบัส และ R_i เป็นค่าที่ทราบจากข้อมูลกิ่ง ถ้าทราบค่าแรงดันไฟฟ้า V_i จะสามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่วิเคราะห์ได้

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้น มีรูปแบบสมการไม่เป็นเชิงเส้นจึงต้องใช้กระบวนการขั้นตอนการวนซ้ำมาช่วยหาค่าต่างๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการนิวตัน-ราฟสัน (newton-raphson) ที่กำหนดให้โหลดที่ใช้คำนวณมีค่าคงที่ โดยจะได้ใช้การคำนวณจากโปรแกรม Matpower 3.2 ซึ่งเป็นโปรแกรม open source ที่ทำงานบนโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย กำลังไฟฟ้าที่ไหลในส่วนต่างๆ และแรงดันไฟฟ้า ณ ทุกบัส ดังสมการที่ 3.11 และ 3.12

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) \quad \text{MW} \quad (3.11)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| (G_{ik} \sin \theta_{ik} + B_{ik} \cos \theta_{ik}) \quad \text{MVar} \quad (3.12)$$

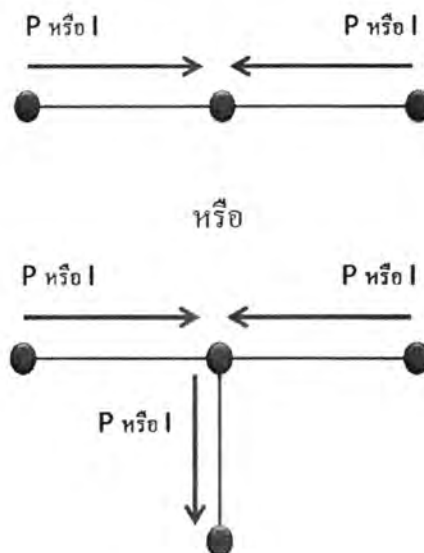
เมื่อ P_i, Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจริง (MW), กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (MVar) ที่บัส *i*
 V_i, V_k คือ แรงดันไฟฟ้า (kV) ที่บัส *i* และ *k* ตามลำดับ
 G_{ik}, B_{ik} คือ ค่าความนำไฟฟ้า, ค่าซัสเซปแทนซ์

ปกติการใช้โปรแกรม Matpower3.2 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะใช้คำสั่ง Runcpf ที่กำหนดให้มี slack บัส (บัสชนิดที่ 3) จำนวน 1 บัส แต่การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ของระบบจำหน่ายจริงส่วนมากต้องพิจารณาจัดรูปแบบของระบบที่มีสถานีไฟฟ้า 2 แห่งขึ้นไป ซึ่งไม่สามารถกำหนดเป็น slack บัส ทั้ง 2 บัสได้ จึงมีการประยุกต์การคำนวณโดยกำหนดบัสที่เป็นสถานีไฟฟ้าอื่นๆ เป็น isolated บัส (บัสชนิดที่ 4) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือน slack บัส

3.2 จุดที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน [5]

คือ บัสที่มีกระแสไฟฟ้าจากเส้นทางหลักไหลเข้ามากกว่า 1 ทิศทาง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้บัสที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน เป็นจุดเปิด สวิตช์/กึ่ง เริ่มต้น สำหรับการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม

การหาจุดที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน ทำได้โดยการปิดวงจรสวิตช์ทุกตัวในระบบที่พิจารณา ระบบจะกลายเป็นวงจรเมื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าบัสที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน แสดงได้ ดังภาพที่ 3.3



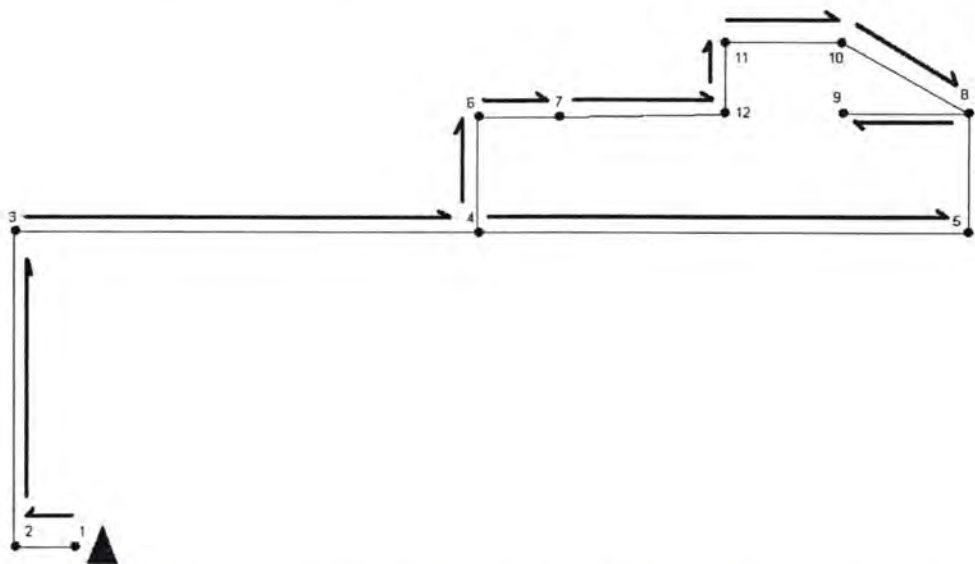
ภาพที่ 3.3 บัสที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน

ตัวอย่างการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้ามาบรรจบกันของระบบจำหน่าย 1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ

การค้นหาค่าล้งไฟฟ้ามาบรรจบกันดำเนินการโดยปีดวงจรของสวิตช์ตัดตอนทุกตัว คำนวณการไหลของค่าล้ง ค้นหาจุดค่าล้งไฟฟ้ามาบรรจบกัน จากผลการคำนวณในส่วนข้อมูลกึ่ง ดังตารางที่ 3.1 อธิบายวิธีค้นหาได้ดังนี้

(1) เขียนทิศทางการไหลของค่าล้งไฟฟ้า โดยดูทิศทางการไหลของค่าล้งไฟฟ้าจากคอลัมน์ที่ 2 – 4 เช่น กิ่งที่ 1 มีทิศทางการไหลของค่าล้งไฟฟ้าจาก บัสที่ 1 ไปบัสที่ 2 และกิ่งที่ 9 มีทิศทางการไหลค่าล้งไฟฟ้าจากบัสที่ 10 มาบัสที่ 8 เมื่อเขียนครบทุกกิ่งจะได้ทิศทางการไหลของค่าล้งไฟฟ้าดังภาพที่ 3.5

(2) ค้นหาบัสที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามากกว่า 1 ทิศทาง ซึ่งก็คือบัสที่ 8



ภาพที่ 3.5 ทิศทางการไหลของค่าล้งไฟฟ้าระบบตัวอย่างที่ใช้ค้นหาค่าล้งไฟฟ้ามาบรรจบกัน

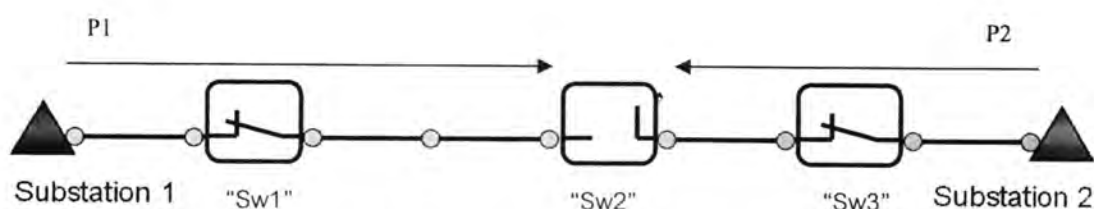
3.3 การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ คือ การเปลี่ยนโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลงแหล่งจ่ายให้โหลดรับไฟจากแหล่งจ่ายที่เหมาะสม มีหลักการพื้นฐานคือ โหลดแต่ละโหลดจะต้องรับไฟจากแหล่งจ่ายที่ใกล้ที่สุด [18] ซึ่งถ้าหากทำได้จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบจำหน่ายผลกระทบจากไฟดับ และค่าล้งไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบมีแนวโน้มน้อยที่สุด

การพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่สามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การปลด-สับสวิตช์ที่มีอยู่เดิม การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนใหม่ การเพิ่มจำนวนวงจรไฟฟ้าในระบบจำหน่าย การเพิ่มวงจรจ่ายไฟที่สถานีไฟฟ้า ไปจนถึงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ ในหัวข้อ 3.3 นี้จะเน้นเฉพาะ

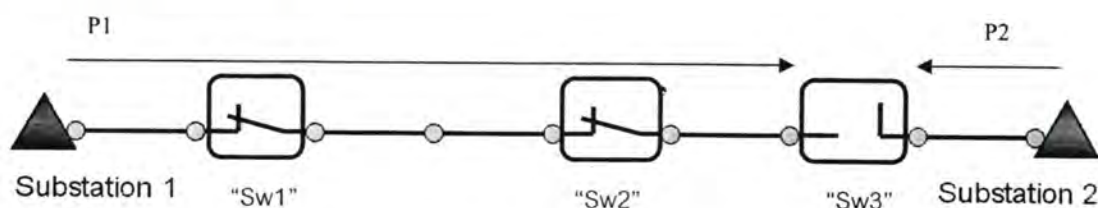
ขั้นตอนการพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยการปลด-สับสวิตช์ ที่มีอยู่เดิม และการปลด-สับสวิตช์ที่ติดตั้งใหม่ ที่เป็นวิธีที่ใช้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้า ที่จะทำให้อำนาจไฟฟ้าสูญเสียในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

3.3.1 การปลด-สับ สวิตช์ตัดตอน ที่มีอยู่เดิม ดังตัวอย่างตาม ภาพที่ 3.6 และ ภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.6 ระบบจำหน่ายก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ โดยวิธีการ ปลด-สับ สวิตช์

ภาพที่ 3.6 แสดงระบบจำหน่ายก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ประกอบไปด้วย สวิตช์ตัดตอนจำนวน 3 ชุด โดย Sw1 และ Sw3 เป็นสวิตช์ตัดตอนที่มีสถานะ “ปิดวงจร” Sw2 เป็นสวิตช์ตัดตอนที่มีสถานะ “เปิดวงจร” โดยวงจรแรกจ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้า 1 ไปจนถึง Sw2 ซึ่งเป็นจุดเปิดวงจรระหว่างสถานี วงจรที่ 2 จ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้า 2 ไปจนถึง Sw2 ตามทิศทาง การไหลของกำลัง P1, P2 ตามลำดับ



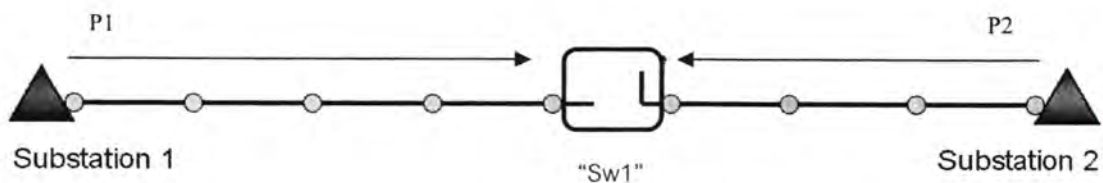
ภาพที่ 3.7 ระบบจำหน่ายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการ ปลด-สับ สวิตช์เดิม

จากภาพที่ 3.7 แสดงระบบจำหน่ายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ โดยการสับสวิตช์ตัดตอน Sw2 ให้อยู่ในสถานะ “ปิดวงจร” แล้วเลือกจุด “เปิดวงจร” ระหว่าง Sw1 กับ Sw3 ซึ่งจุด “เปิดวงจร” ดังกล่าวมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย มีผลต่อการบาลานซ์การจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าทั้ง 2 แห่ง มีผลต่อแรงไฟฟ้าดันตกในระบบจำหน่าย มีผลต่อผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟดับในระบบจำหน่าย ซึ่งจากภาพที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการเลือกจุด “เปิดวงจร” ที่ Sw3 โดยภายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

โดยการสับสวิชต์ตัดตอน Sw2 ให้อยู่ในสถานะ “ปิดวงจร” และ “เปิดวงจร” ที่ Sw3 กำลังไฟฟ้า P1 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 1 มาที่ “Sw3” และ กำลังไฟฟ้า P2 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 2 มาที่ “Sw3”

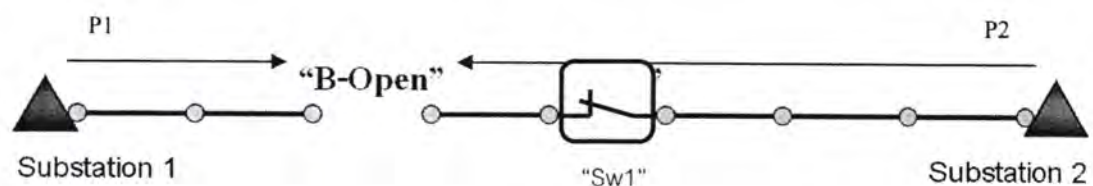
การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายใหม่ โดยวิธีการ ปลดและสับ สวิตช์ ตัดตอนที่มีอยู่เดิม เป็นวิธีการที่สามารถทำได้รวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องรอรระยะเวลาในการติดตั้ง อุปกรณ์ อีกทั้งยังมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ

3.3.2 ปลด-สับ สวิตช์ตัดตอน และกิ่ง หรือการสลับกิ่ง (branch exchange) เป็นการ ค้นหาจุดเปิดวงจรใหม่ โดยกำหนดให้สวิตช์ตัดตอนทุกตัว และกิ่งทุกกิ่งสามารถ เปิด-ปิด วงจรได้ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นการค้นหาจุดติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะ “เปิดวงจร” จุดใหม่ในระบบ จำหน่าย [4] ดังตัวอย่างภาพที่ 3.8 และภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 ระบบจำหน่ายก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการสลับกิ่ง

ภาพที่ 3.8 แสดงให้เห็นรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ที่มี “Sw1” เป็นจุดเปิดวงจรระหว่างสถานี ที่ติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะ “เปิดวงจร” ก่อนทำการ เปลี่ยนแปลงรูปแบบการจ่ายไฟ หรือ ก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ กำลังไฟฟ้า P1 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 1 มาที่ “Sw1” และ กำลังไฟฟ้า P2 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 2 มาที่ “Sw1”



ภาพที่ 3.9 ระบบจำหน่ายหลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยวิธีการสลับกิ่ง

ภาพที่ 3.9 ทำการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ด้วยวิธีสลับกิ่ง โดยการเปลี่ยนสถานะ ของจุดเปิดวงจรระหว่างสถานี ที่เป็นจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะ “เปิดวงจร” ให้อยู่ใน สถานะ “ปิดวงจร” และหาจุดเปิดวงจรระหว่างสถานีจุดใหม่จาก กิ่ง ที่มีในโครงสร้างระบบจำหน่าย

ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบของระบบจำหน่ายที่มีสถานะ “ปิดวงจร” โดยการกำหนด กิ่ง ดังกล่าวให้อยู่ในสถานะ “เปิดวงจร” ซึ่งจุด “เปิดวงจร” ดังกล่าวมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย มีผลต่อการบาลานซ์การจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าทั้ง 2 แห่ง มีผลต่อแรงไฟฟ้าดันตกในระบบจำหน่าย มีผลต่อผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟดับในระบบจำหน่าย ซึ่งการดำเนินการในระบบจำหน่ายจริง สามารถดำเนินการได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะ “เปิดวงจร” ที่กิ่ง ที่ถูกเปิดวงจร (จากภาพที่ 3.9 คือจุด “B-Open”) หลังการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ กำลังไฟฟ้า P1 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 1 มาที่จุด “B-Open” และกำลังไฟฟ้า P2 จะไหลจาก สถานีไฟฟ้า 2 มาที่ “B-Open”

วิธีการสลับกิ่ง หรือการติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอนสถานะเปิดวงจรใหม่ เพื่อจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ เป็นวิธีดำเนินการที่ กฟผ.2 นิยมใช้เนื่องจากสามารถจัดรูปแบบการจ่ายไฟได้ยืดหยุ่นกว่าวิธีการ ปลดและสับสวิตช์ตัดตอนที่มีอยู่เดิม มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประมาณ 300,000 บาท ต่อชุด รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟโดยวิธีการอื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ประมาณการราคาค่าใช้จ่ายต่อหน่วย ที่ใช้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ

ที่	ชนิดของการก่อสร้าง	ราคาก่อสร้างโดยประมาณ
1	การปลด-สับ อุปกรณ์ตัดตอนที่มีอยู่เดิม	10,000 บาท ต่อ ชุด
2	ค่าติดตั้ง โหลดเบรกสวิตช์ ชนิด SF6	304,330 บาท ต่อ ชุด
3	ก่อสร้างระบบจำหน่ายใหม่ ด้วยสาย 185 A	444,268 บาท ต่อ วงจร-กม
4	ก่อสร้างระบบจำหน่ายใหม่ ด้วยสาย 185 SAC	1,053,663 บาท ต่อ วงจร-กม
5	ก่อสร้างระบบจำหน่ายใหม่ ด้วยสาย 50 SAC	656,733 บาท ต่อ วงจร-กม
6	ก่อสร้างระบบจำหน่ายใหม่ ด้วยสาย 50 ACSR	259,159 บาท ต่อ วงจร-กม

จากตารางที่ 3.2 ทำให้เห็นวิธีการที่ใช้ในแก้ปัญหาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ วิธีต่างๆ ที่ กฟผ.2 ใช้ดำเนินการ ดังนี้

(1) การปลด-สับ อุปกรณ์ตัดตอนที่มีอยู่เดิมมีค่าใช้จ่ายถูกที่สุด เหมาะสำหรับการจัดรูปแบบการจ่ายไฟเพื่อถ่ายโอนโหลดชั่วคราว เมื่อมีบำรุงรักษาระบบ หรือ กรณีจ่ายโหลดในสถานะฉุกเฉิน

(2) การติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอน สถานะเปิด ได้แก่การติดตั้ง โหลดเบรกสวิตช์ ชนิดต่างๆ การดำเนินการวิธีนี้เป็น การจัดรูปแบบการจ่ายไฟวิธี หลักที่ใช้ควบคู่กับ วิธีการข้อ 3-6

(3) การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ด้วยการก่อสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติม (ข้อ 3 - 6) เป็นการก่อสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติมรูปแบบต่างๆ ภายหลังการก่อสร้าง ต้องมีการค้นหาจุดเปิดวงจร ของอุปกรณ์ตัดตอนเพื่อทำให้เป็นระบบเรเดียล

จากข้อที่ 3.2.1 และข้อ 3.3.2 จะเห็นว่าการกำหนดจุดเปิดวงจร หรือการกำหนดตำแหน่ง สวิตช์ตัดตอนสถานะเปิดมีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ ถ้าเป็นการกำหนดจุดเปิด วงจรให้ระบบที่ไม่ซับซ้อน เช่น ระบบจำหน่าย 2 แหล่งจ่ายไม่มีวงรอบ ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับตำแหน่งเปิดวงจรจะมีจุดต่ำสุดเพียงจุดเดียว (convexity) [19] กำลังไฟฟ้า สูญเสียจะขึ้นกับตำแหน่งเปิดวงจรทั้งหมดที่ต้องใช้ แต่เมื่อพิจารณาดำหนดตำแหน่งเปิดวงจรอื่นคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูญเสียกับตำแหน่งที่กำหนดให้เคลื่อนที่ไป จะยังคงมีจุดต่ำสุด เพียงจุดเดียว ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในแง่ทำให้เกิดความยืดหยุ่น ในการค้นหาจุดเปิด วงจรที่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติหลายจุดโดยที่มีผลแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งจะเป็นประเด็นที่ สามารถทำการศึกษาขยายผลเพิ่มเติมได้ อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การค้นหาจุดเปิดวงจรที่ ละจุด

3.4 วิธีการค้นหาคำตอบ

จากข้อ 3.3 ทำให้ทราบถึงวิธีการทางกายภาพที่ใช้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ หัวข้อนี้ จะนำเสนอวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ หรือวิธีการที่ใช้ค้นหาจุดเปิดวงจรที่ทำให้ได้รูปแบบการ จ่ายไฟที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งได้กว้างๆ 3 วิธีได้แก่ วิธี exact method, approximate method และ วิธีเฉพาะอื่นๆ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีฮิวริสติกซึ่งอยู่ในกลุ่มของ approximate method จำนวนเพื่อหาคำตอบ โดยรายละเอียดในแต่ละวิธีมีดังนี้

3.4.1 exact method [8]

วิธีการ exact method เป็นวิธีการคำนวณเพื่อหาคำตอบ โดยพิจารณาทุกๆ เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ และมีการพิสูจน์ความเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (optimal solution) ของคำตอบ ทำให้คำตอบที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (global solution) ของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ ในทางปฏิบัติวิธีการ exact method อาจจะไม่คุ้มค่างับเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากเสียเวลาในการคำนวณมาก อีกทั้ง ความไม่แน่นอนของตัวแปรในปัญหาที่สร้างขึ้น จึงทำให้พิสูจน์ได้ยากในทางปฏิบัติ

3.4.2 approximate method [8]

approximate method เป็นวิธีการใช้หาคำตอบที่มีคุณภาพ สามารถใช้งานได้จริง โดยไม่มีการพิสูจน์ความเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด approximate method แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

3.4.2.1 ฮิวริสติก (heuristics) เป็นกระบวนการในการหาคำตอบของปัญหา โดยใช้ข้อมูลตัวชี้วัดต่างๆ ช่วยในการหาคำตอบ ส่วนใหญ่จะอยู่บนฐานความรู้ (knowledge base) หรือพื้นฐานของประสบการณ์ของนักวิจัยเป็นหลัก ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการนี้ในการหาคำตอบ

3.4.2.2 เมตา-ฮิวริสติก (metaheuristic) เป็นวิธีการที่มีความนิยมในการนำมาแก้ปัญหาที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่สามารถเขียนได้อย่างชัดเจน หรือปัญหาที่ยากในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหานั้นมีขนาดใหญ่ การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดอาจใช้เวลาในการคำนวณมาก หรือเป็นไปได้ วิธีการหาคำตอบแบบเมตา-ฮิวริสติก จึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในทางปฏิบัติอยู่มาก ตัวอย่างของวิธีการเมตา-ฮิวริสติก ได้แก่

1) tabu search [20] วิธีการค้นหาคำตอบแบบทาบู เป็นวิธีการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่เป็นที่ยอมรับว่าสามารถที่จะหลีกเลี่ยงการให้คำตอบสุดท้ายที่เป็นที่ให้ผลลัพธ์ไม่ดีที่สุด (local optimum) และยังสามารถดำเนินการคำนวณหาคำตอบต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (global solution)

2) simulated annealing – SA เป็นการคำนวณเพื่อหาคำตอบโดยการจำลองการอบเหนียว (simulated annealing) เรียกสั้นๆ ว่า SA เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมากในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นโพลิโนเมียล (NP-hard) SA เป็นกลวิธีการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่ (local search) ซึ่งมีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำ (iterative) เพื่อค้นผลเฉลยในปริภูมิผลเฉลยไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่พอใจ โดยเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้น

3) genetic algorithm – GA [8] เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimal solution) โดยการแทนคำตอบที่มีอยู่ให้อยู่ในลักษณะ โครโมโซม (chromosomes) แล้วปรับปรุงคำตอบแต่ละชุด (individual) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิวัฒนาการ (evolutionary operation) การเปลี่ยนแปลงยีนแบบสุ่ม ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม (evolutionary operator) เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยทั่วไปจะแทนคำตอบด้วยเลขฐานสอง (0 และ 1) การวิวัฒนาการ (evolution) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (the fitness solution) จะเริ่มจากประชากรที่ได้จากการสุ่มทั้งหมดและจะทำเป็นรุ่น ๆ ในแต่ละรุ่นคำตอบหลายชุดจะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือสับเปลี่ยนยีนระหว่างกัน จนได้ประชากรรุ่น

ใหม่ ที่มีค่าความเหมาะสม (fitness) มากขึ้น การวิวัฒนาการนี้จะทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมตามต้องการ

3.4.2.3 other optimization technique ได้แก่วิธีการเฉพาะอื่นๆที่ไม่เข้ากลุ่ม ซึ่งจะ
ไม่กล่าวถึง

โดยสรุปถึงแม้วิธีการเมตา-ฮิวริสติก สามารถใช้ในการหาคำตอบได้ แต่วิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการหาคำตอบโดยการสร้างขั้นตอนการค้นหาคำตอบจากฐานความรู้ (knowledge based) ร่วมกับประสบการณ์ (heuristic) ซึ่งจะสามารถช่วยให้ผู้ที่เข้ามาศึกษางานด้านการวางแผนจัดรูปแบบระบบจำหน่ายใหม่ได้เรียนรู้การพิจารณาเลือกวิธีการค้นหาคำตอบต่อไป

3.5 เงื่อนไขและข้อจำกัดในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ

เป็นเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาเพื่อให้รูปแบบการจ่ายไฟที่กำหนดสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยทั่วไปข้อจำกัดที่ต้องพิจารณา มีดังนี้

3.5.1 ข้อจำกัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้า เป็นเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ยอมรับได้ขณะจ่ายไฟฟ้าตามมาตรฐานการบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย [14] ดังสมการที่ 3.13

$$0.95\text{pu} < V_i < 1.05\text{pu} \quad (3.13)$$

เมื่อ V_i คือ แรงดัน (pu) ที่บัสใด ๆ

3.5.2 ข้อจำกัดขนาดกระแสไฟฟ้า เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องมีสายจำหน่ายเส้นใดเส้นหนึ่งรับภาระโหลดเกินพิกัด โดยสายไฟฟ้าขนาด 185 ตร.มม. สามารถรับภาระทางไฟฟ้าได้ 520 A เมื่อเป็นสายชนิดอลูมิเนียม และ 429 A เมื่อเป็นสาย SAC นอกจากนั้นเกณฑ์ด้านพิกัดการรับโหลด (loading criteria) [14] ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดให้พิกัดการรับโหลดระบบจำหน่ายแบบวงรอบเปิด เป็น 50% ของพิกัดสายไฟฟ้าในสภาวะการจ่ายโหลดปกติ เมื่อนำพิกัดกระแสไฟฟ้า และแรงดัน ของสายไฟฟ้ามาคำนวณ ที่ PF เท่ากับ 0.90 ข้อจำกัดขนาดกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไป แสดงได้ดังสมการที่ 3.14

$$|I_i| < K_i^{\text{line}} I_i^{\text{max}} \quad (3.14)$$

เมื่อ I_i คือ กระแสที่ไหลผ่านสายไฟฟ้า i (A)
 K_i^{line} คือ ค่าสะท้อนเงื่อนไขพิกัดสายไฟฟ้า i
 I_i^{max} คือ พิกัดการรับโหลดสูงสุดของสายไฟฟ้า i (A)

3.5.3 ข้อจำกัดพิกัดของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องไม่ทำให้หม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าจ่ายโหลดเกินพิกัด วงจรละไม่เกิน 8 MW [14]
 ข้อจำกัดพิกัดของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไป เป็นดังสมการที่ 3.15

$$|S_i| < K_i^{\text{source}} S_i^{\text{max}} \quad (3.15)$$

เมื่อ S_i คือ กำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย i รับภาระโหลด (MVA)
 K_i^{source} คือ ค่าสะท้อนเงื่อนไขพิกัดแหล่งจ่าย i
 S_i^{max} คือ พิกัดการรับโหลดสูงสุดของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า i (MVA)

3.5.4 ข้อจำกัดให้ทุกจุดในระบบจำหน่ายถูกจ่ายแรงดัน เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายมีไฟฟ้าใช้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวในระบบจำหน่ายต้องได้รับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.16

$$V_i \neq 0 \quad (3.16)$$

เมื่อ V_i คือ แรงดันไฟฟ้าที่ (pu) บัส i

3.5.5 ข้อจำกัดโครงสร้างของระบบ ต้องยังคงเป็นแบบเรเดียล เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีทิศทางเดียว ทำให้การประสานสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันไม่ซับซ้อน

3.6 ตัวประกอบโหลด และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย [21]

ตัวประกอบโหลด และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบ เนื่องจากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถที่จะจำลองโหลดทุกๆ เวลา เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจะใช้ ตัวประกอบโหลดมาจำลองพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง จากค่าโหลดสูงสุด และใช้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาจำลองพฤติกรรมกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง จากค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุด ดังนี้

3.6.1 ตัวประกอบโหลด (load factor : LF)

ตัวประกอบโหลด คืออัตราส่วนระหว่างโหลดเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ต่อค่าโหลดสูงสุด ในช่วงเวลานั้น คำนวณได้ดังสมการที่ 3.17-3.19

$$LF = \frac{\text{average_load}}{\text{peak_load}} \quad (3.17)$$

$$LF = \frac{\text{average_load} \times T}{\text{peak_load} \times T} \quad (3.18)$$

$$\text{Annual_LF} = \frac{\text{total_annual_energy}}{\text{annual_peak_load} \times 8,760} \quad (3.19)$$

เมื่อ $\text{average_load} = \left(\sum_{i=1}^n \text{load}_i \right) / n$ คือ ค่าโหลดเฉลี่ย ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา

peak_load คือ ค่าโหลดสูงสุด ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา (MW)

T คือ ช่วงคาบเวลาที่พิจารณา (ปี)

load_i คือ ค่าโหลดตัวที่ i (MW)

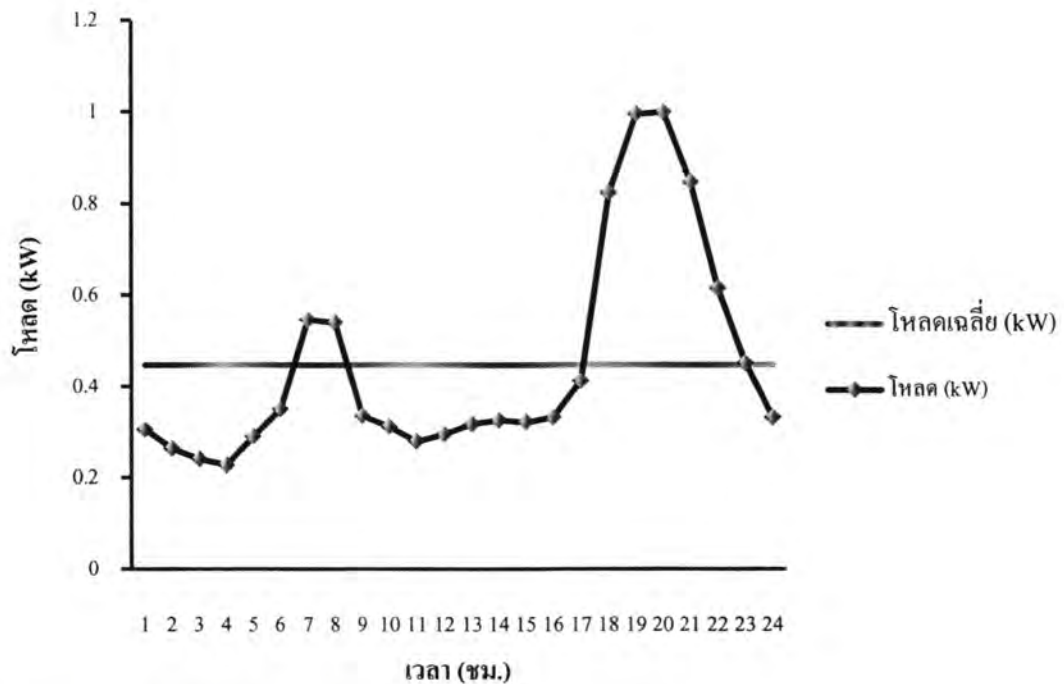
n คือ จำนวนค่าโหลดทั้งหมด

annual_LF คือ ตัวประกอบโหลดในรอบปี

$\text{total_annual_energy}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในรอบ 1 ปี (kWh/Y)

annual_peak_load คือ ค่าโหลดสูงสุดในรอบ 1 ปี (MW)

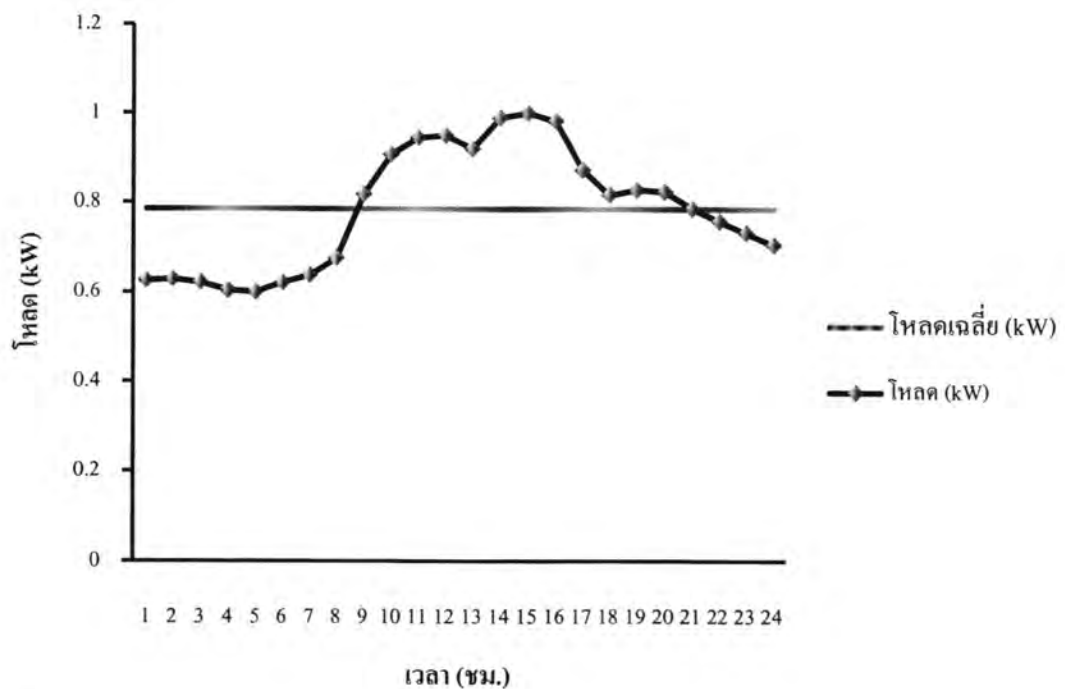
ตัวประกอบโหลดจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังตัวอย่างตามภาพที่ 3.10 และภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย

ภาพที่ 3.10 เป็นลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอาศัยในรอบ 1 วัน ที่ได้กำหนดการใช้โหลดสูงสุดเป็น 1 kW มีโหลดเฉลี่ย และมีการใช้พลังงานต่อวัน 0.44828 kW และ 10.76 kWh ตามลำดับ นำสมการที่ 3.17 มาคำนวณหาค่าตัวประกอบโหลด ได้ 0.44828

ภาพที่ 3.11 เป็นลักษณะการใช้ไฟฟ้าของกิจการเฉพาะอย่าง ในรอบ 1 วัน เช่น โรงแรม หรือโรงงาน เป็นต้น ที่กำหนดให้มีโหลดสูงสุด 1 kW และจากรูปคำนวณค่าโหลดเฉลี่ยได้ 0.78481 kW คำนวณหาค่าตัวประกอบโหลดโดยใช้สมการที่ 3.17 ได้ 0.78481 มีการใช้พลังงานต่อวัน 18.84 kWh



ภาพที่ 3.11 การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟประเภทกิจการเฉพาะอย่าง

จากภาพที่ 3.10 และ 3.11 จะเห็นว่ามีการใช้โหลดสูงสุด 1 kW เท่ากัน แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจการเฉพาะอย่างจะมากกว่า ซึ่งตัวประกอบโหลดจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้โหลดสูงสุด กับพลังงานที่ใช้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าตัวประกอบโหลดมาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า และนำไปใช้ในการคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อใช้ประเมินผลการดำเนินโครงการ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

3.6.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss factor : LsF)

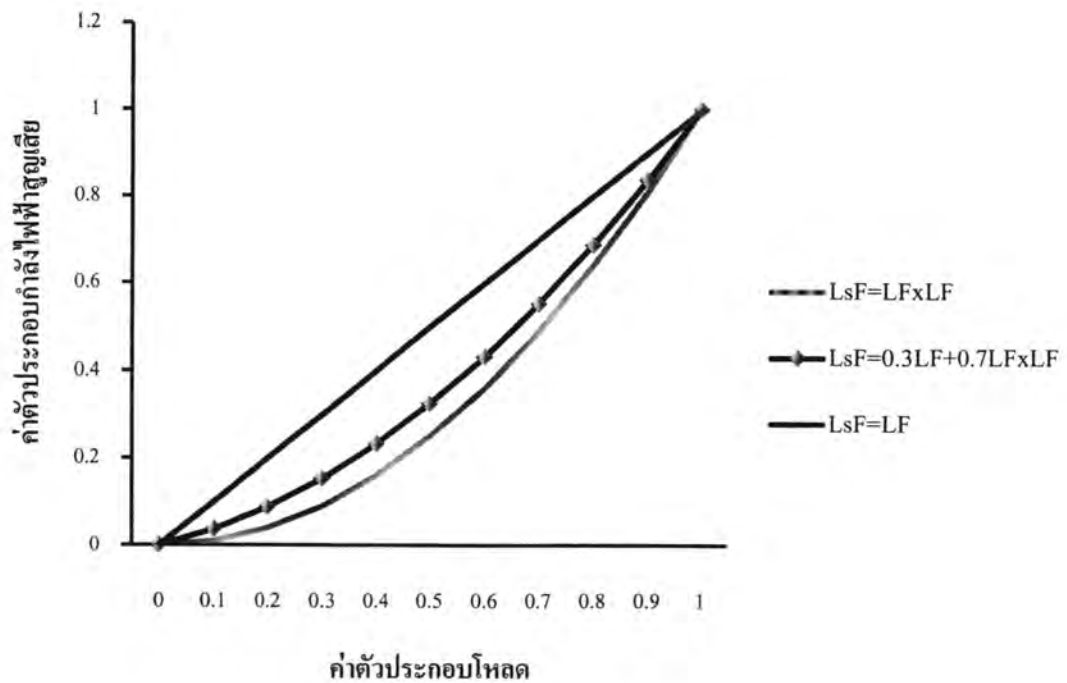
โดยทั่วไปไม่สามารถตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ไม่สามารถคำนวณได้จากค่าตัวประกอบโหลด แต่สามารถหาขอบเขตและความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ 3.20

$$LF^2 < LsF < LF \quad (3.20)$$

เมื่อ LF คือ ค่าตัวประกอบโหลด

LsF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

แสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.20 ได้ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ขอบเขตและความสัมพันธ์ระหว่าง LF และ LsF

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ณ ช่วงเวลาโหลดสูงสุด และจะใช้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ประมาณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ช่วงเวลาอื่นๆ ในรูปแบบของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย เพื่อจะนำมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย โดยใช้ค่า LsF ตามสมการที่ 3.21

$$LsF = 0.3LF + 0.7LF^2 \quad (3.21)$$

3.7 การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย [22]

จากข้อ 3.6 ทำให้ทราบถึงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการนำค่าดังกล่าว มาใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า และพลังงานสูญเสีย สามารถทำได้ดังสมการที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ

$$E = P_{\max} \times 1000 \times LF \times T \quad \text{kWh/Y} \quad (3.22)$$

เมื่อ E คือ พลังงานไฟฟ้า (kWh/Y)

P_{\max} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา (MW)
 LF คือ ค่าตัวประกอบโหลด
 T คือ ช่วงเวลาที่พิจารณาในรอบ 1 ปี คือ 8,640 ชั่วโมง ต่อ ปี

$$E_L = P_{\text{loss}_{\max}} \times 1000 \times LsF \times T \quad \text{kWh/Y} \quad (3.23)$$

เมื่อ E_L คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kWh/Y)
 $P_{\text{loss}_{\max}}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา (MW)
 LsF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย
 T คือ ช่วงเวลาที่พิจารณาในรอบ 1 ปี คือ 8,640 ชั่วโมง ต่อ ปี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.23 มาประเมินมูลค่าหน่วยสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ จากสมการ

$$E_v = E_L \times \text{Unit_price} \quad \text{บาท} \quad (3.24)$$

เมื่อ E_v คือ มูลค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (บาท)
 E_L คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kWh/Y)
 Unit_price คือ มูลค่าพลังงานสูญเสีย (บาท ต่อ kWh)

จากสมการที่ 3.24 จะทำให้ประเมินมูลค่าหน่วยสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงในระบบได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้มูลค่าหน่วยสูญเสีย 3 บาท ต่อ kWh ซึ่งเป็นมูลค่าโดยประมาณของหน่วยจำหน่ายเฉลี่ย เดือน พ.ค. 2553 ของ กฟผ.2 [23]

บทที่ 4

การจัดเตรียมระบบทดสอบ

จากบทที่ 2 ที่ได้กล่าวถึงแนวทางการวางแผนเพื่อปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีการแก้ไขปัญหาลักษณะหนึ่งคือการจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ ที่จำเป็นต้องค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้นำระบบจำหน่ายที่อยู่ในแผนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ของ กฟผ.2 บางส่วน มาจัดประเภทเพื่อจะได้ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการพัฒนาขั้นตอนวิธีสติกในการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม โดยในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงกระบวนการจัดเตรียมระบบทดสอบเพื่อนำระบบทดสอบไปพัฒนาขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร

4.1 การจัดเตรียมระบบทดสอบ

จากที่ กฟผ.2 มีโครงการที่อยู่ในแผนงานการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ 76 โครงการ จึงนำแผนงานของโครงการทั้งหมด เข้าดำเนินการตามขั้นตอนการจัดเตรียมระบบ เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบของระบบจำหน่ายก่อนที่จะพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาขึ้นภายหลัง ตามขั้นตอนการจัดเตรียมระบบ ดังนี้

(1) พิจารณาความจำเป็นและวิธีการในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าใหม่โดยใช้เกณฑ์พลังงานสูญเสีย แรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสาย และการเพิ่มขึ้นของโหลดในอนาคต ร่วมกับรูปแบบการแก้ปัญหา เช่น การโอนย้ายโหลดโดยการสับ-ปลดสวิตช์ที่มีอยู่แล้ว การก่อสร้างระบบจำหน่ายเพิ่มเติม และการติดตั้งสวิตช์เปิดวงจรจุดใหม่ เป็นต้น

(2) เชื่อมต่อระบบจำหน่ายเรเดียลเดิม เข้าด้วยกันโดยทำการปิดสวิตช์ที่มีอยู่เดิมในบางจุด ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องอาศัยความเข้าใจที่มีต่อระบบ และความแม่นยำของแนวทางการเดินสายจำหน่ายเดิม ซึ่งในทางปฏิบัติจะนิยมเชื่อมโยงจุดที่อยู่ใกล้กัน แต่บางกรณีจะพิจารณาค่าโหลดของแต่ละวงจรร่วมด้วย เป็นต้น

(3) จากขั้นตอนที่ 2 จะได้ระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมโยงเป็นโครงข่าย (network) และหลายกรณีมีสถานีไฟฟ้าย่อยมากกว่า 3 แห่งเชื่อมโยงกัน นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่สายป้อนหลัก (main feeder) หรือสายป้อนย่อย (lateral) พบว่ามีบางส่วนมีลักษณะเป็นวงรอบปิด (loop) ซ้อนอยู่ภายใน

เมื่อดำเนินการทั้งสามขั้นตอนเสร็จสิ้นพบว่าระบบจำหน่าย กฟผ.2 มีโครงการที่ต้องพิจารณาจัดเรียงสายป้อนใหม่ทั้งสิ้น 76 โครงการ [24] ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโครงการที่อยู่ในแผนจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	จำนวนแหล่งจ่าย	จำนวนวงรอบปิด
1	ANA1	1	1
2	ANA2	1	1
3	ANA3	3	2
4	ANA4	1	0
5	ANA5	2	1
6	ANA6	2	1
7	BOR1	1	1
8	CYN1	2	0
9	CYN2	3	0
10	CYN3	3	0
11	CYN4	2	0
12	CYN5	2	0
13	CYN6	2	0
14	DEA1	4	2
15	DEA2	4	2
16	KEA1	1	0
17	KLA1	2	1
18	KN11	3	1
19	KN12	3	1
20	KRA1	2	1
21	KTR1	3	2
22	KUK1	3	4
23	LNT1	3	1
24	LNT2	2	0
25	LNT3	2	0

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโครงการที่อยู่ในแผนจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	จำนวนแหล่งจ่าย	จำนวนวงจรปิด
26	LNT4	2	0
27	LNT5	2	0
28	MDB1	2	1
29	MDB2	2	1
30	MDB3	2	1
31	MKA1	2	1
32	MKA2	2	1
33	MKA3	5	3
34	MKA4	5	3
35	MKB1	2	1
36	PYP1	2	0
37	REA1	2	0
38	REA2	2	0
39	REA3	2	0
40	REB1	2	0
41	REB2	4	3
42	REB3	2	0
43	SDA1	2	0
44	SDA2	2	0
45	SDA3	2	1
46	SDA4	2	1
47	SDA5	2	1
48	SDA6	2	1
49	SDA7	1	1
50	SEL1	2	0
51	SEL2	2	0
52	SEL3	3	0
53	SEL4	3	0
54	SEL5	3	1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโครงการที่อยู่ในแผนจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	จำนวนแหล่งจ่าย	จำนวนวงจรปิด
55	SEL6	3	0
56	SEL7	1	1
57	SIA1	1	1
58	SIA2	1	1
59	SIA3	2	1
60	SIA4	1	1
61	SJA1	2	1
62	SJA2	2	1
63	UBB1	1	1
64	UBB2	1	1
65	UBC1	2	0
66	WPT1	3	0
67	WPT2	3	0
68	WPT3	2	0
69	WPT4	2	0
70	WPT5	2	1
71	WPT6	3	0
72	WRA1	2	0
73	WRA2	2	2
74	YTA1	2	1
75	YTA2	2	1
76	YTA3	2	0

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 สามารถจัดกลุ่มเป็นลักษณะรูปแบบการจ่ายไฟ เพื่อค้นหาจุดเปิดวงจร ตามจำนวนแหล่งจ่าย และจำนวนวงจร และเมื่อแยกประเภทย่อย ตามจำนวนสถานีไฟฟ้าย่อย และจำนวนวงจรปิดที่ซ่อนอยู่ภายในจะมีทั้งสิ้น 12 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.2

ในคอลัมน์สุดท้าย เป็นจำนวนจุดเปิดวงจร ที่ระบบไฟฟ้าแต่ละรูปแบบต้องมีเพื่อให้ยังคง ความเป็นเอกลักษณ์

ตารางที่ 4.2 รูปแบบโครงการจัดรูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่

รูปแบบที่	จำนวน แหล่งจ่าย	จำนวน วงรอบ	จำนวน โครงการ	เปอร์เซ็นต์	จำนวนจุดเปิด วงจรที่ต้องการ เพื่อทำให้เป็น ระบบเรเดียล
1	1	0	2	2.63	0
2	1	1	10	13.16	1
3	2	0	23	30.26	1
4	2	1	20	26.32	2
5	2	2	1	1.32	3
6	3	0	8	10.53	2
7	3	1	4	5.26	3
8	3	2	2	2.63	4
9	3	4	1	1.32	6
10	4	2	2	2.63	5
11	4	3	1	1.32	6
12	5	3	2	2.63	7

จากตารางที่ 4.2 รูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายที่มากที่สุด 4 อันดับแรก แสดงได้
ดังตารางที่ 4.3

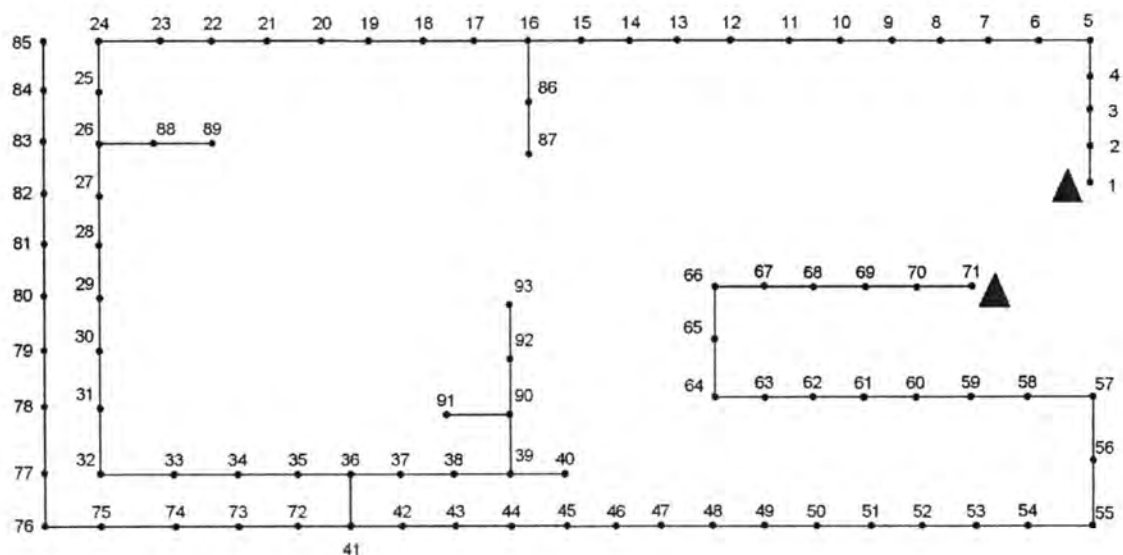
ตารางที่ 4.3 รูปแบบโครงการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรก

รูปแบบ	จำนวน แหล่งจ่าย	จำนวน วงรอบ	จำนวน โครงการ	เปอร์เซ็นต์	จำนวนจุดเปิด วงจรที่ต้องการ เพื่อทำให้เป็น ระบบเรเดียล
A	2	0	23	30.26	1
B	2	1	20	26.32	2
C	1	1	10	13.16	1
D	3	0	8	10.53	2

ทั้ง 4 กรณี มีจำนวนโครงการรวมกันทั้งสิ้น 61 โครงการคิดเป็น 80.27% ของจำนวนโครงการทั้งหมด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นถึงขั้นตอนดำเนินการเพื่อจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายจากรูปแบบที่พบมากที่สุด 4 กรณี ตามตารางที่ 4.3 โดยในแต่ละรูปแบบจะยกตัวอย่างการคำนวณเพียงตัวอย่างเดียว ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 ส่วนกรณีอื่นๆ สามารถใช้แนวทางการแก้ปัญหาอย่างที่ได้พบใน 4 กรณีนี้ได้ โครงสร้างของระบบที่จะนำมาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ทั้ง 4 กรณี มีลักษณะดังตัวอย่างต่อไปนี้

4.1.1 ระบบจำหน่ายรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร)

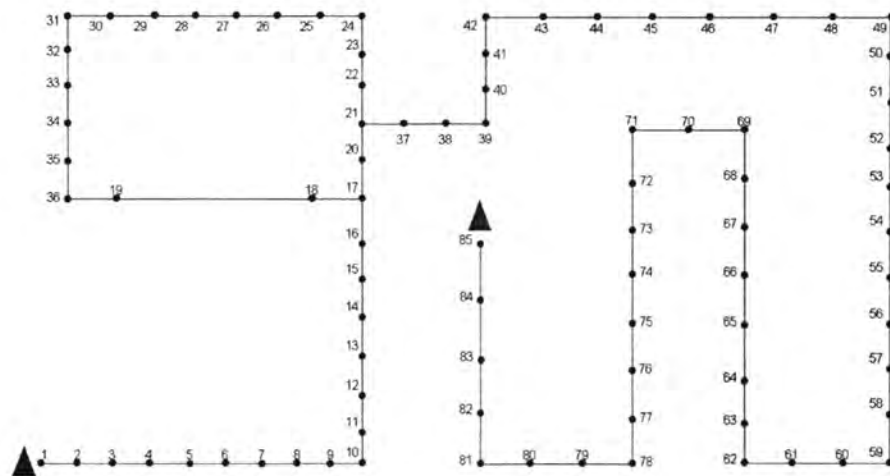


ภาพที่ 4.1 ระบบจำหน่ายรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร)

จากภาพที่ 4.1 เป็นระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่ายไม่มีวงจร ที่พบว่าระบบต้องการจุดเปิดวงจรจำนวน 1 จุด เพื่อให้เป็นระบบเรเดียล

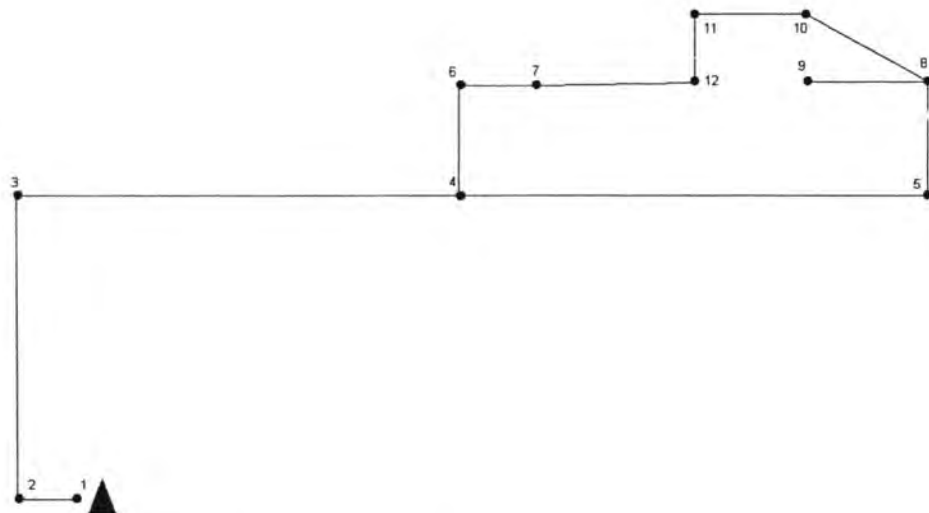
4.1.2 ระบบจำหน่ายรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงจร)

ลักษณะระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย 1 วงจร เป็นไปตามภาพที่ 4.2 ซึ่งเป็นระบบที่มี 85 บัส และวงจรที่อยู่ระหว่างบัส 17-36 ต้องทำการเปิดวงจร 2 จุด จึงจะทำให้ระบบจำหน่ายรูปแบบ B เป็นระบบจำหน่ายแบบเรเดียล



ภาพที่ 4.2 ระบบจำหน่ายรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

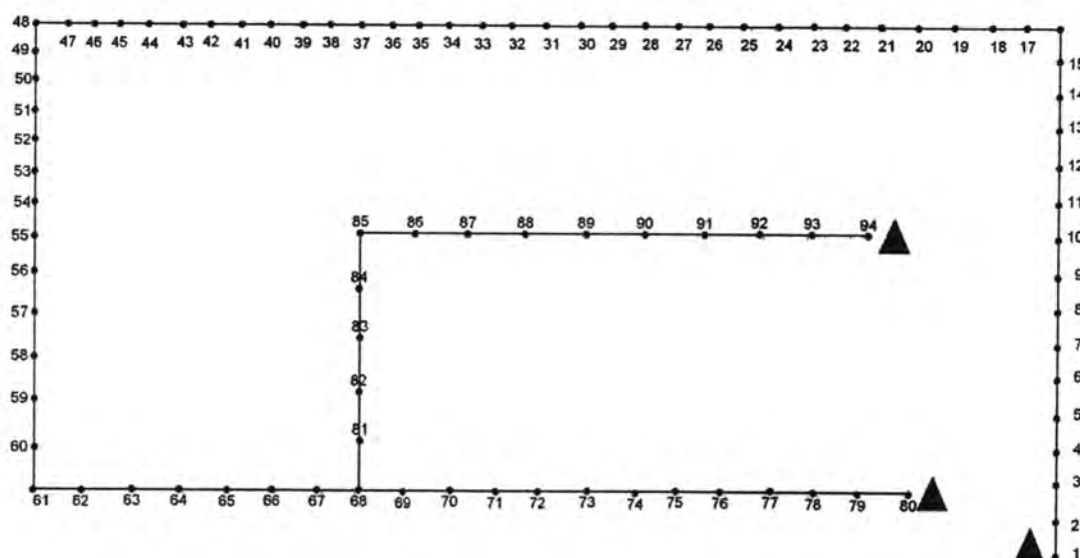
4.1.3 ระบบจำหน่ายรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)



ภาพที่ 4.3 ระบบจำหน่ายรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

ระบบจำหน่ายตามภาพที่ 4.3 ต้องการจุดเปิดวงจร 1 จุด ภายในวงรอบ จึงจะทำให้ระบบเป็นเรเดียล

4.1.4 ระบบจำหน่ายรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ) จากภาพที่ 4.4 ระบบต้องการจุดเปิดวงจร 2 จุด เพื่อให้ระบบจำหน่ายเป็นระบบเรเดียล 3 ระบบ



ภาพที่ 4.4 ระบบจำหน่ายรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

จากลักษณะโครงสร้างระบบจำหน่ายตัวอย่าง ตามข้อ 4.1.1-4.1.4 ทั้ง 4 กรณี พบว่า จำนวนจุดเปิดวงจร ที่จะทำให้โครงสร้างระบบจำหน่ายเป็นแบบเรเดียล เป็นไปตามสมการที่ 4.1

$$\text{จำนวนจุดเปิดวงจร} = \text{จำนวนแหล่งจ่าย} + \text{จำนวนวงรอบ} - 1 \quad (4.1)$$

4.2 ระบบทดสอบ

จากหัวข้อ 4.1 ได้อธิบายถึงโครงสร้างระบบที่จะนำมาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ทั้ง 4 กรณี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้คัดเลือกระบบจำหน่ายที่จะนำมาเป็นระบบทดสอบ จากโครงการของ กฟน.2 โดยพิจารณาจากความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลที่จะใช้ดำเนินการเป็นหลัก ทำให้ได้ระบบทดสอบจำนวน 4 ระบบ ดังนี้

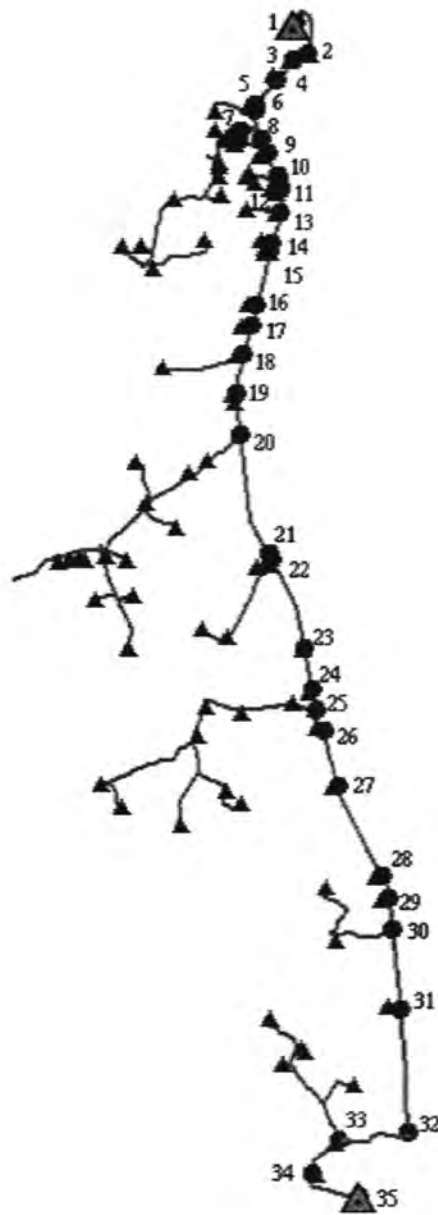
4.2.1 ระบบทดสอบรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

เลือกระบบจำหน่ายในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ที่มีสถานีไฟฟ้าย่อยเดิม 2 สถานี ที่มีผลการพิจารณาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดเกินพิกัดตามขั้นตอนการวางแผนระบบไฟฟ้า กฟน.2 ให้มีการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่เพิ่มอีก 1 สถานี สถานีไฟฟ้าแห่งใหม่แทรกอยู่ระหว่างระบบจำหน่าย ระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยเดิม ทำให้ระบบจำหน่ายมีโครงสร้างแบบวงรอบระหว่างสถานีแห่งเดิม และแห่งใหม่ ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ระบบจำหน่ายรูปแบบ A ที่ต้องพิจารณาค้นหาจุดเปิดสวิตช์

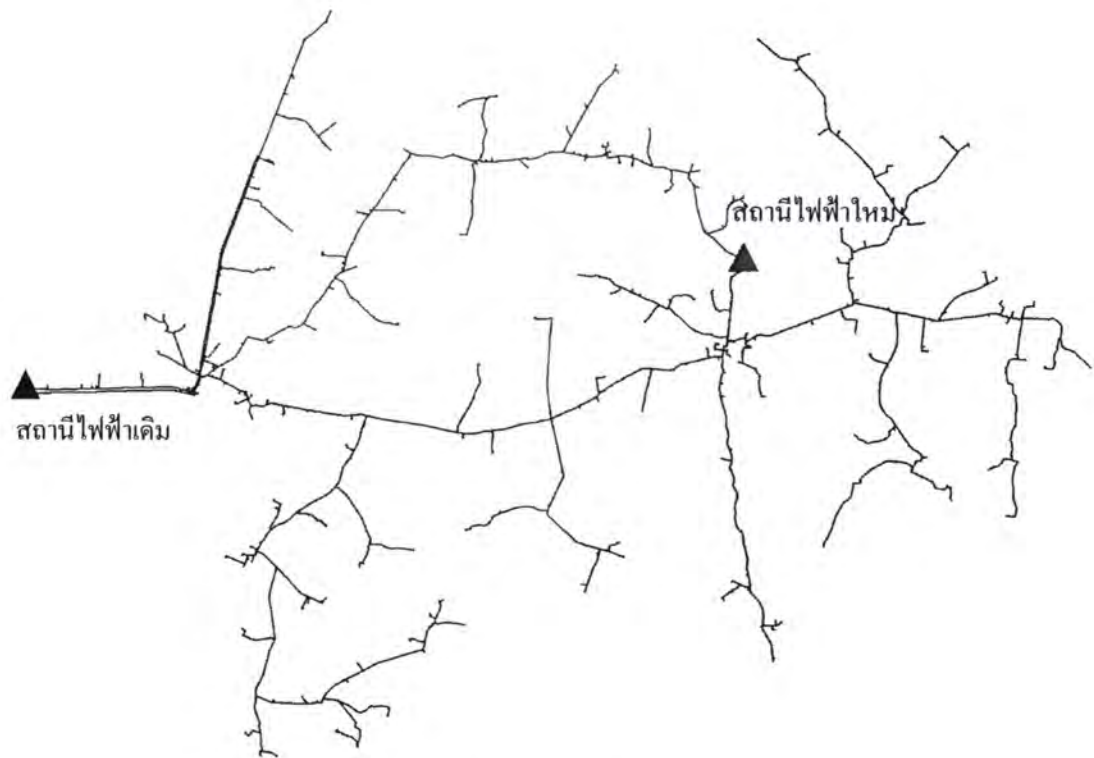
จากภาพที่ 4.5 จะเห็นว่าระบบเป็นวงรอบ จึงต้องมีการพิจารณาค้นหาจุดเปิดวงจร เพื่อให้ระบบเป็นเรเดียล การค้นหาจุดเปิดวงจรดำเนินการภายใต้ระบบจำหน่ายเดิมระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยเดิม และสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่ ดังภาพที่ 4.6



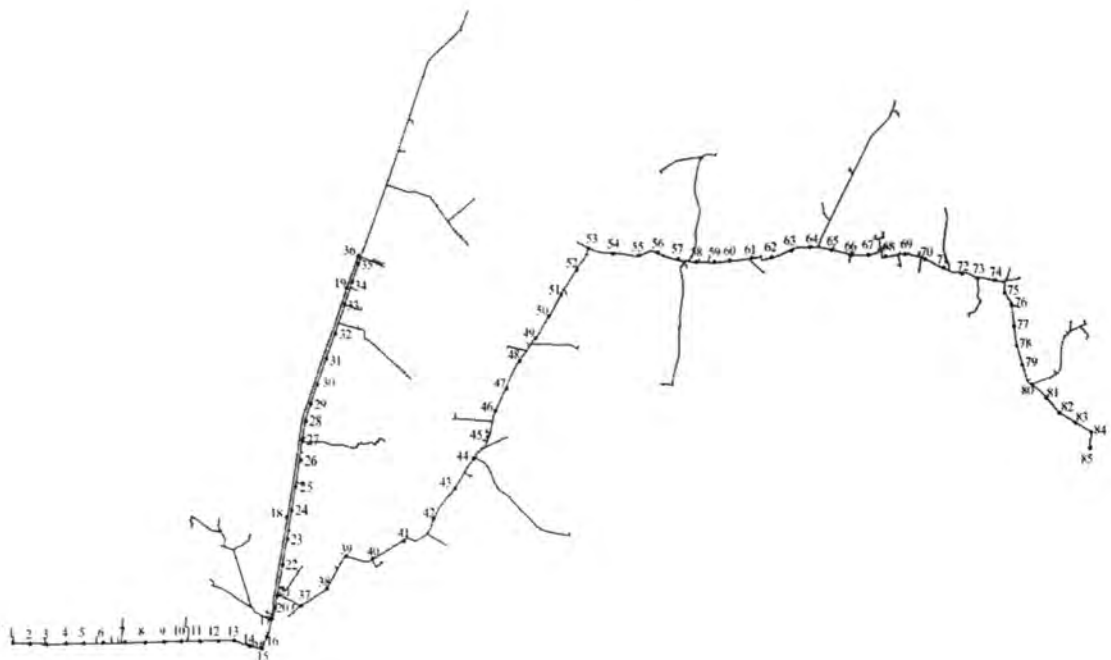
ภาพที่ 4.6 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

จากภาพที่ 4.6 เป็นสายจำหน่ายของสถานีไฟฟ้า ที่นำมาพิจารณาจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งเดิมอยู่ที่บัส 1 และมีสถานีไฟฟ้าย่อยที่ก่อสร้างใหม่ที่บัส 35 สายจำหน่ายดังกล่าวเป็นแบบมี 2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ จากสมการ 4.1 ทำให้ทราบว่าระบบต้องการจุดเปิดวงจรจำนวน 1 จุด จึงจะทำให้สายจำหน่ายเป็นสายจำหน่ายแบบเรเดียล

4.2.2 ระบบทดสอบรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)



ภาพที่ 4.7 ระบบจำหน่ายรูปแบบ B ที่ต้องพิจารณาค้นหาจุดเปิดสวิตช์

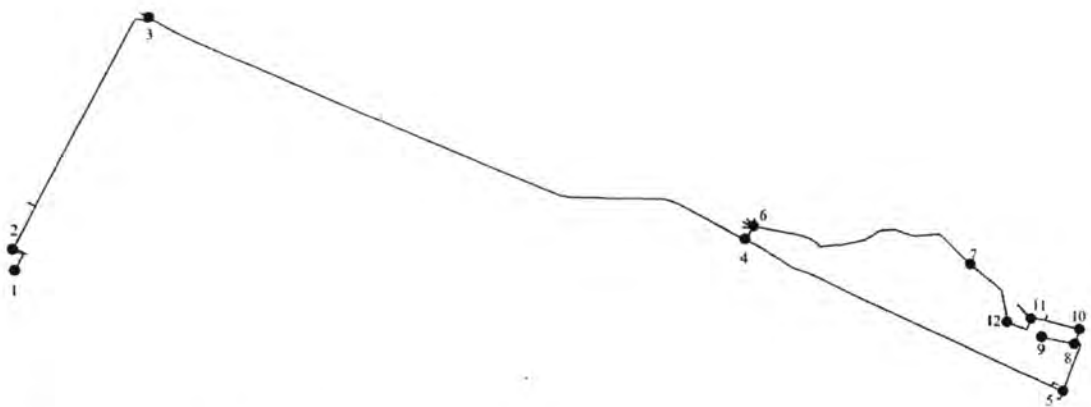


ภาพที่ 4.8 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

จากภาพที่ 4.7 เป็นระบบจำหน่ายในพื้นที่ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่บริเวณรอบๆ มีสถานีไฟฟ้าเดิม 1 สถานี และมีการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่เพิ่มอีก 1 สถานี เนื่องจากระบบจำหน่ายเดิมไม่สามารถรองรับการจ่ายโหลดในอีก 4-5 ปี ข้างหน้าได้ หลังจากการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ทำให้ระบบมีสภาพคล้ายๆ กับระบบทดสอบรูปแบบ A แต่มีวงจรรอบเพิ่มขึ้นมา ดังภาพที่ 4.8

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าระบบที่พิจารณามี 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ มีสถานีไฟฟ้าย่อยที่ก่อสร้างใหม่ที่บัส 85 และมีวงจรอยู่ระหว่างบัส 17-21-24-31-36-17 ระบบต้องการจุดเปิดวงจรจำนวน 2 จุด ตามสมการ 4.1 จุดเปิดวงจรจุดแรกอยู่ภายในวงจรรอบ ส่วนจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 จะอยู่ในระบบจำหน่ายระหว่าง 2 สถานี

4.2.3 ระบบทดสอบรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

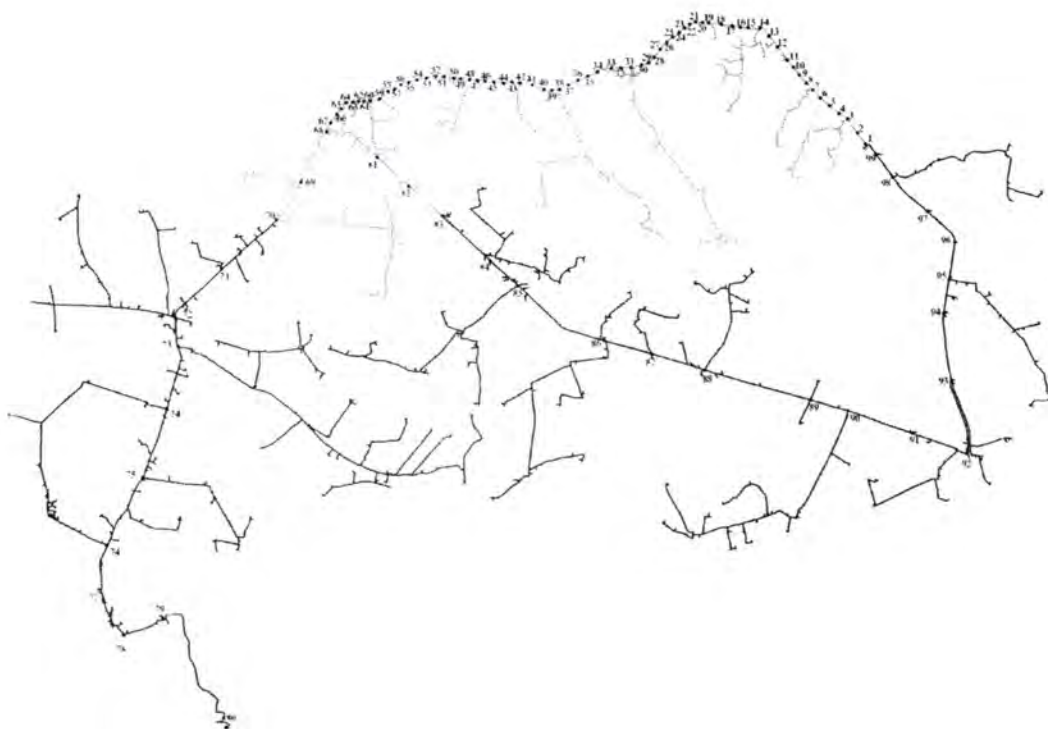


ภาพที่ 4.9 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

จากภาพที่ 4.9 เป็นระบบจำหน่ายในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่สายจำหน่ายต่อออกมาจากสถานีเพียงแห่งเดียว มีจุดเปิดวงจรที่กั้นระหว่างบัสที่ 7 กับบัสที่ 12 ระยะห่างประมาณ 3 กม. เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่บัส 9-11 เป็นผู้ใช้ไฟรายสำคัญ กฟน.2 จึงมีโครงการก่อสร้างระบบจำหน่ายระหว่างบัส 7 กับบัส 12 เพิ่มเติม ซึ่งทำให้ระบบที่พิจารณามีโครงสร้างรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ) จึงต้องมีการพิจารณาหาจุดเปิดวงจรจำนวน 1 จุด ตามสมการ 4.1 ภายในวงจรรอบ บัส 4-5-8-10-11-12-7-6-4

4.2.4 ระบบทดสอบรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจรรอบ)

ระบบจำหน่ายที่มี 3 สถานีไฟฟ้าย่อยที่เลือกมาเป็นระบบทดสอบ อยู่ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดกาฬสินธุ์ โดย 2 สถานีแรกอยู่ที่บัส 1 และบัส 99 ตามลำดับ จ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้าเดียวกันแต่คนละหม้อแปลง และอีกสถานีหนึ่งอยู่ที่บัส 80 จุดเปิดวงจรเดิมมี 2 จุด คือ ระหว่างบัส 70 กับบัส 71 และระหว่างบัส 82 กับบัส 83 ดังรูปที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นจึงได้มีการพิจารณาหาจุดเปิดวงจรแห่งใหม่เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า จากสมการ 4.1 ทำให้ทราบว่าโครงสร้างสายจำหน่ายรูปแบบนี้ ต้องการจุดเปิดวงจรจำนวน 2 จุด เพื่อให้สายจำหน่ายเป็นสายจำหน่ายแบบเรเดียล

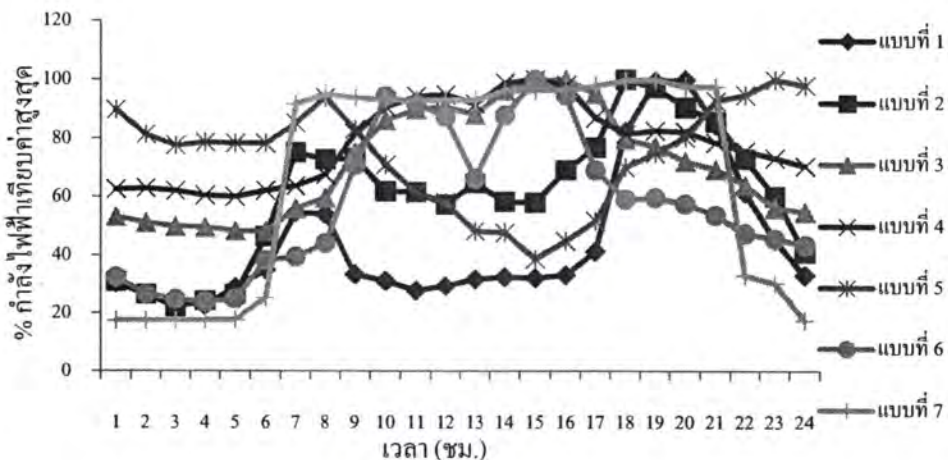
นำระบบจำหน่ายตามข้อ 4.2.1-4.2.4 ที่ได้เลือก มาจำลองเป็นระบบทดสอบเพื่อให้สามารถใช้โปรแกรม Matpower 3.2 คำนวณผลได้ ตามขั้นตอนการจำลองระบบที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.3 ต่อไป เพื่อความสวยงาม ข้อมูลของระบบทดสอบทั้ง 4 รูปแบบ จะแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

4.3 การจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า

กฟผ. รับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และมีการซื้อขายพลังงานกับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ในบางพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) โดยตรง ในพื้นที่รับผิดชอบ กฟผ.2 มีการรับซื้อพลังงานไฟฟ้า จาก กฟผ. และ VSPP แล้วส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟ ทางสายส่งไฟฟ้าแรงสูง หรือระบบจำหน่ายแรงสูง/แรงต่ำ ตามความต้องการของผู้ใช้ไฟ โดยมีมิเตอร์ทำหน้าที่วัดการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ และวัดพลังงานไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้า มิเตอร์บางเครื่องที่ติดตั้งให้ผู้ใช้ไฟบางราย และมิเตอร์ที่ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าสามารถบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

จากผลการใช้ข้อมูลที่บันทึกค่าไว้ในมิเตอร์มาวิจัยในโครงการวิจัยภาระไฟฟ้า (load research project) ของ กฟภ. ทำให้ทราบถึงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟประเภทต่างๆ ที่มีรูปแบบการใช้ไฟแตกต่างกัน 7 ลักษณะ ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟทั้ง 7 ประเภท

จากภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้า ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละแบบ ตามรายละเอียด ดังนี้

- (1) รูปแบบที่ 1 เป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย
- (2) รูปแบบที่ 2 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก
- (3) รูปแบบที่ 3 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง
- (4) รูปแบบที่ 4 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่
- (5) รูปแบบที่ 5 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทกิจการเฉพาะอย่าง
- (6) รูปแบบที่ 6 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทส่วนราชการ
- (7) รูปแบบที่ 7 รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทสูบน้ำเพื่อการเกษตร

จากฐานข้อมูล GIS กฟภ.2 ของสายป้อนแต่ละเส้นพบว่าหม้อแปลงแต่ละเครื่องมีผู้ใช้ไฟฟ้า หลายรายรับไฟอยู่ เช่นดังตารางที่ 4.4 โดยผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การนำข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าทั้ง 7 รูปแบบ มาจำลอง เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้ามีความยุ่งยากมากและมีความไม่แน่นอนของข้อมูล

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่าย

ที่	หม้อแปลง	ขนาด (kVA)	จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)
1	หมายเลข 23004841e	10	21
2	หมายเลข 301-000070	50	133
3	หมายเลข 101-023491	100	76
4	หมายเลข 027390	160	159
5	หมายเลข 101-019315	250	86
6	หมายเลข 101-003716	250	118
7	หมายเลข 101-011148	400	232
8	หมายเลข 000049	500	226

การจำลองโหลดสำหรับใช้เพื่อวางแผนจะต้องใช้ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่บันทึกไว้ที่สถานีไฟฟ้า ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกัน (coincident demand) โดยใช้ตัวประกอบความต้องการใช้ไฟฟ้า กระจายค่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุดให้หม้อแปลงในระบบทดสอบ ตามสัดส่วนตามขนาดและจำนวนหม้อแปลงจำหน่ายที่มีในระบบทดสอบ และจำลองการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ กำลังไฟฟ้าคงที่ (constant power load) คือ $P = VI = \text{ค่าคงที่}$ ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการจำลองการใช้ไฟฟ้าได้ ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 การจำลองข้อมูลโหลดให้ระบบทดสอบ

ตัวอย่างการจำลอง ณ ช่วงเวลา 19.00 น. สมมติให้มีการใช้ไฟฟ้าในเวลา 19.00 น. เท่ากับ 6,300 kW ในระบบมีหม้อแปลงจำนวน 10 เครื่อง พิกัดรวม 8,600 kVA หาตัวประกอบความต้องการใช้ไฟฟ้า ได้จาก สมการ 4.2

$$\text{ตัวประกอบความต้องการไฟฟ้า} = \frac{\text{ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด/ พิกัดโหลดติดตั้ง}}{\quad} \quad (4.2)$$

แทนค่าจะได้

$$\text{ตัวประกอบความต้องการไฟฟ้า} = 6,300 \text{ kW} / 8,600 \text{ kVA} = 0.7326$$

นำค่าตัวประกอบความต้องการไฟฟ้า ไปกระจายปริมาณการจ่ายโหลดให้หม้อแปลงจำหน่ายแต่ละเครื่องได้ผลดังตารางที่ 4.5

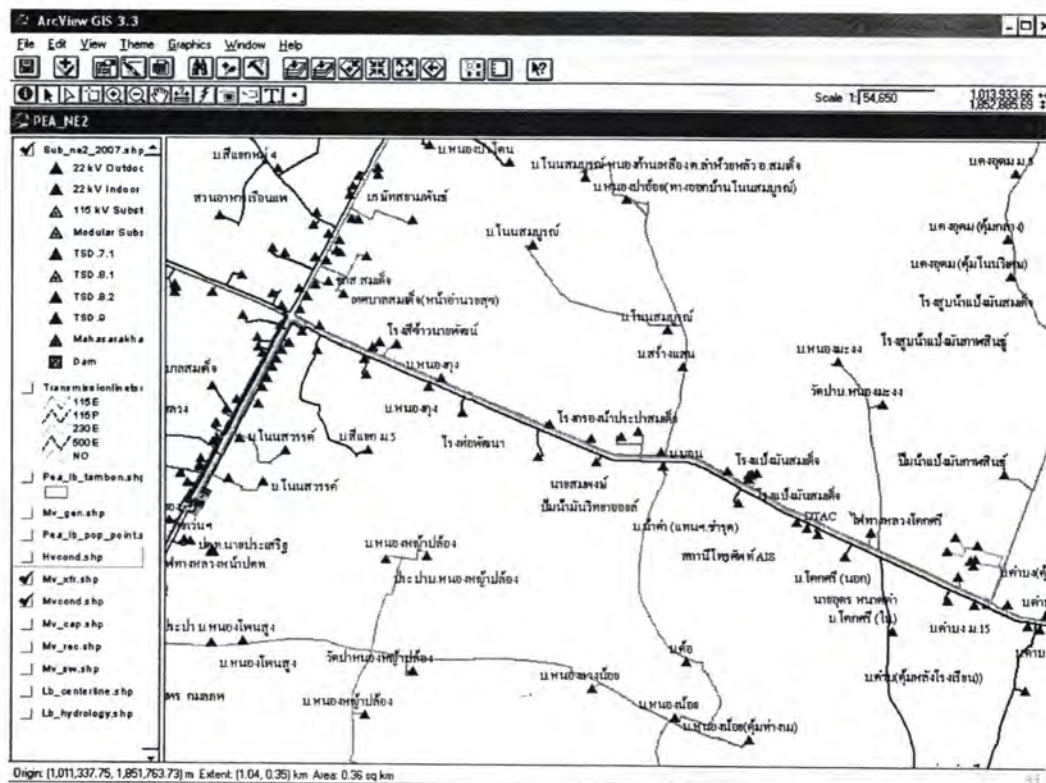
ตารางที่ 4.5 การกระจายปริมาณการจ่ายโหลดให้หม้อแปลงจำหน่าย

หม้อแปลง เครื่องที่	ขนาด (kVA)	ตัวประกอบการจ่าย โหลด	ปริมาณการจ่ายโหลด (MW)
1	1,500	0.733	1.099
2	500	0.733	0.366
3	250	0.733	0.183
4	500	0.733	0.366
5	1,000	0.733	0.733
6	1,250	0.733	0.916
7	2,000	0.733	1.465
8	100	0.733	0.073
9	1,000	0.733	0.733
10	500	0.733	0.366
รวม	8,600	0.733	6.300

จากตารางที่ 4.5 นำค่าปริมาณการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง ไปจำลองโหลด เพื่อใช้คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา 19.00 น.

4.4 การจำลองระบบจำหน่าย

กพล.2 ได้นำระบบ GIS มาประยุกต์ใช้งานในการจัดเก็บข้อมูลระบบไฟฟ้า ได้แก่ ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย 22-33 kV ระบบแรงต่ำ ไปจนถึงมิเตอร์ ดังภาพที่ 4.13 หัวข้อนี้จะพูดถึงการนำข้อมูล GIS กพล.2 มาจำลองโครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อให้สามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Matpower 3.2 ได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 4.13 ฐานข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้า กพล.2

การใช้โปรแกรม Matpower 3.2 เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม [18] คือ การจำลองข้อมูลบัส (bus data) การจำลองข้อมูลแหล่งจ่าย (generator data) และการจำลองกิ่ง (branch data) จะใช้ภาพที่ 4.14 ที่เป็นข้อมูลระบบไฟฟ้าระบบหนึ่งที่ได้มาจากฐานข้อมูล GIS กพล.2 เป็นตัวอย่างในการจำลองระบบ



ภาพที่ 4.14 ตัวอย่างระบบไฟฟ้า 1 แหล่งจ่าย

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าบัสที่ 1 เป็นบัสที่มีสถานีไฟฟ้าติดตั้งอยู่ บัสที่ 2 เป็นบัสที่เกิดจากการเปลี่ยนชนิดสาย บัสที่ 3 บัสที่ 4 และบัสที่ 6 เป็นบัสที่มีหม้อแปลงติดตั้งอยู่ ส่วนบัสที่ 5 เป็นบัสที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 300 kVAR หรือ 0.3 MVAR

4.4.1 การจำลองข้อมูลบัส บัส ทำหน้าที่เป็นจุดต่อของอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับฐานข้อมูล GIS จะเป็นจุดต่อของอุปกรณ์ เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ รีโครสเซอร์ สวิตช์ตัดตอน เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรม ส่วน คาปาซิเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับจ่ายโหลด เป็นอุปกรณ์ที่ต่อแบบขนานกับระบบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีจุดเปลี่ยนชนิดสาย ที่ต้องใช้บัสเป็นจุดต่อระหว่างสายไฟ 2 ชนิด คุณสมบัติของบัสมี 4 ชนิดดังนี้

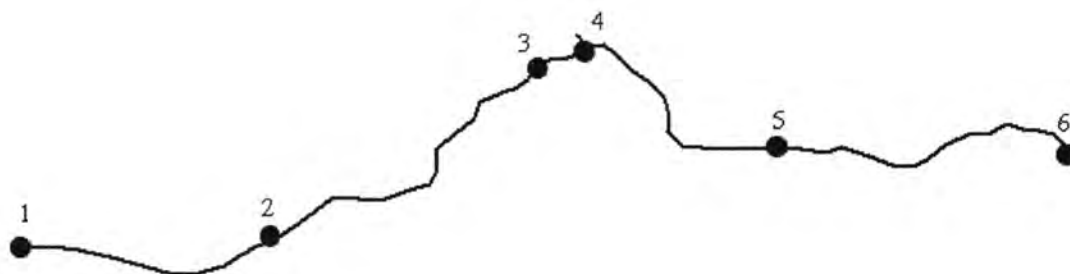
4.4.1.1 ชนิดที่ 1 กรณีเป็นโหลดบัส หรือ PQ Bus จะกำหนดให้กำลังไฟฟ้าจริงและ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีค่าคงที่ เมื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แรงดันที่บัส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาพระบบจำหน่าย กรณีจำลองบัสเป็นแหล่งจ่าย จะเป็นแหล่งจ่ายที่ทำงานในโหมดที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้า (power factor control mode) ส่วนใหญ่ในระบบของ กฟภ. จะเป็นการจำลองผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่กำหนดการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงออกจากโรงไฟฟ้า

4.4.1.2 ชนิดที่ 2 เป็นบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (voltage control bus) หรือ PV Bus กำหนดให้กำลังไฟฟ้าจริง และค่าแรงดัน ที่บัสมีค่าคงที่ เมื่อวิเคราะห์การไหลของกำลัง ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาพการจ่ายไฟเพื่อควบคุมแรงดันให้คงที่ ในระบบ กฟภ. บัสชนิดนี้เชื่อมต่ออยู่กรณีเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

4.4.1.3 ชนิดที่ 3 บัสอ้างอิง (reference bus) หรือ (slack bus) เป็นบัส ที่กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ ใช้เพื่อสร้างสมดุลการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ ในระบบ กฟภ. หมายถึงบัสต้นทางของสายป้อนที่ต่อกับสถานีไฟฟ้าย่อย

4.4.1.4 ชนิดที่ 4 เป็น isolated bus มีคุณสมบัติเหมือนชนิดที่ 3 กำหนดให้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแหล่งอื่นนอกเหนือจากสถานีไฟฟ้าย่อย หรือใช้ในกรณีการจ่ายไฟของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่ทำงานในโหมดที่ไม่ต่อการไฟฟ้าหลัก (islanding)

จากภาพที่ 4.14 เมื่อนำจุดต่อของอุปกรณ์มากำหนดบัสจากสถานีไฟฟ้าไปปลายสายจำหน่ายจะได้ ระบบที่มีบัสจำนวน 6 บัส ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การกำหนดบัสจากระบบตัวอย่าง

ใช้สมการ 4.2 คำนวณหาค่าตัวประกอบความต้องการไฟฟ้า ได้ 0.4437 นำค่าที่ได้ไปคำนวณการใช้ไฟของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง ที่สถานีไฟฟ้าอ่านค่ากำลังไฟฟ้าได้ 0.65 MW กำลังไฟรีแอกทีฟ 0.02 MVAR แต่ในระบบจำหน่ายติดตั้งคาปาซิเตอร์ 0.3 MVAR แสดงว่าในระบบมีกำลังไฟรีแอกทีฟประมาณ 0.32 MVAR คิดเป็นค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8972 กำหนดให้หม้อแปลงแต่ละเครื่องจ่ายโหลด 44.37% ของพิกัด ที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.8972 จะทำให้ได้ผลการจำลองการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการกระจายปริมาณการจ่ายโหลด ให้ระบบตัวอย่าง

หม้อแปลง เครื่องที่	พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ตัวประกอบ การจ่ายโหลด	ปริมาณการจ่ายโหลด	
			(MW)	(MVAR)
1	400	0.4437	0.177	0.087
2	250	0.4437	0.111	0.055
3	315	0.4437	0.140	0.069
4	500	0.4437	0.222	0.109
รวม	1,465	0.4437	0.650	0.320

นำผลการคำนวณปริมาณการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง ที่ได้จากตารางที่ 4.6 มาจำลองข้อมูลบัส ที่คอลัมน์ Pd และ Qd สำหรับใช้กับโปรแกรม Matpower 3.2 ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลบัส ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
1	3	0.000	0.000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
2	1	0.000	0.000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
3	1	0.177	0.087	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
4	1	0.111	0.055	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
5	1	0.000	-0.300	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
6	1	0.362	0.178	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

จากตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลบัส ที่จำลองแล้วเสร็จจะเห็นว่าบัสที่ 1 กำหนดชนิดบัส slack บัส ส่วนบัสที่ 5 เป็นการจำลองบัสที่มีคาปาซิเตอร์ติดตั้ง และบัสที่ 6 เกิดจากการรวมโหลดของหม้อแปลงขนาด 315 kVA กับ 500 kVA

4.4.2 การจำลองข้อมูลแหล่งจ่าย แหล่งจ่ายเป็นได้ทั้งสถานีไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า วงจรจ่ายไฟ หรือ ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก คุณสมบัติของแหล่งจ่ายจำลองได้ 4 ชนิด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากระบบจำหน่ายในภาพที่ 4.14 จะเห็นว่ามีแหล่งจ่ายอยู่ที่บัส 1 ลักษณะแหล่งจ่ายเป็น สถานีไฟฟ้า จำลองเป็นบัสชนิดที่ 3 ดังตารางที่ 4.7 คอลัมน์ที่ 2

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลแหล่งจ่าย ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2

bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	8	4	4	-4	1.05	100	1	10	0

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่ามีสถานีไฟฟ้าอยู่ที่บัส 1 มีกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจ่ายออกเริ่มต้น 8 MW และ 4 MVAR ตามลำดับ ขอบเขตการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟอยู่ระหว่าง -4 MVAR ถึง 4 MVAR แรงดันไฟฟ้าที่บัสควบคุมไว้ที่ 1.05 pu กำลังไฟฟ้าฐาน

100 MVA สถานะของสถานีไฟฟ้า สถานะ 1 คือถูกใช้งาน (สถานะ 0 ไม่ได้ใช้งาน) และขอบเขตการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 10 MW

4.4.3 การจำลองข้อมูลกึ่ง เป็นอุปกรณ์กลุ่มต่อแบบอนุกรมกับระบบ ได้แก่ สายไฟฟ้า รีโกลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอนทำหน้าที่เป็นจุดต่อของอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับฐานข้อมูล GIS จะเป็นจุดต่อของอุปกรณ์ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ รีโกลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอน เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรมต้องใช้ 2 บัสในการเชื่อมต่อ

จากภาพที่ 4.4 มีกึ่งจำนวน 5 กึ่ง แต่ละกึ่งใช้พารามิเตอร์จากตารางที่ 4.4 ผลการเตรียมข้อมูลกึ่งเป็นไปดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลสายไฟฟ้าสำหรับการจำลองกึ่ง

หมายเลข กึ่ง	การเชื่อมต่อกึ่ง		ข้อมูลกึ่ง	ความยาว (km)	พารามิเตอร์สายไฟฟ้า	
	บัส	บัส			r (Ohm/km)	x (Ohm/km)
1	1	2	สายไฟฟ้า 185 SAC	3.30	0.210660	0.298586
2	2	3	สายไฟฟ้า 185 PIC	3.10	0.210658	0.414406
3	3	4	สายไฟฟ้า 185 A	0.51	0.176351	0.409092
4	4	5	สายไฟฟ้า 120 A	2.70	0.266855	0.433335
5	5	6	สายไฟฟ้า 120 A	2.76	0.266855	0.433335

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.9 มาคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์แต่ละกึ่ง โดยนำความยาวสายไฟฟ้า คูณกับค่าพารามิเตอร์สายไฟฟ้า หาค่าด้วยค่าอิมพีแดนซ์ฐาน 4.84 โอห์ม (22kV 100 MVA) จะได้ข้อมูลกึ่ง โดยข้อมูลกึ่งที่ได้ เป็นการจำลองกึ่งเป็นสายไฟฟ้า แต่นอกเหนือจากนี้ยังสามารถจำลองกึ่งเป็นอุปกรณ์ตัดตอน หรือเป็นเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (automatic voltage regulator) ได้ ดังตารางที่ 4.10

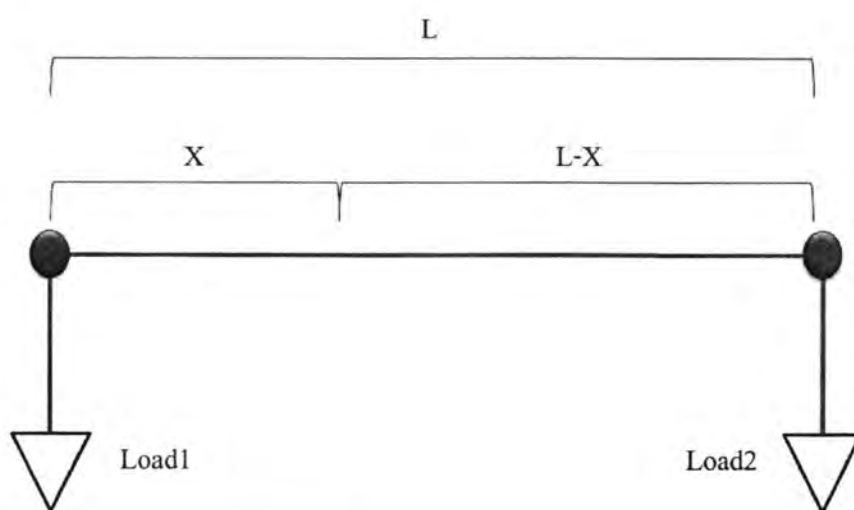
การจำลองข้อมูลบัส การจำลองแหล่งจ่าย และการจำลองกึ่ง เป็นพื้นฐานที่มีความสำคัญของผู้วิเคราะห์จัดรูปแบบการจ่ายไฟ เพราะต้องใช้ในการสร้างระบบที่จะนำมาวิเคราะห์ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจริงกับระบบจำลอง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับสภาพจริง และมีความเหมาะสมกับการวางแผน

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลกึ่ง ที่จำลองแล้วเสร็จ ตามรูปแบบของ Matpower 3.2

fbus	tbus	r (pu)	X (pu)	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
1	2	0.1436	0.2036	0	14.06	7.03	0	0	0	1
2	3	0.1349	0.2654	0	14.57	7.285	0	0	0	1
3	4	0.0186	0.0431	0	17.83	8.915	0	0	0	1
4	5	0.1489	0.2417	0	13.37	6.685	0	0	0	1
5	6	0.1522	0.2471	0	13.37	6.685	0	0	0	1

4.5 การลดรูประบบจำหน่าย

เนื่องจากการจำลองระบบจำหน่ายจากฐานข้อมูล GIS โดยทั่วไปจะมีบัส และกึ่ง จำนวนมาก บางระบบทดสอบมีจำนวนบัสถึง 490 บัส อาจทำให้มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ ในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการลดรูปโดยใช้เทคนิคการคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลดแทนกลุ่มโหลดที่ต้องการยุบ [18] ดังนี้



ภาพที่ 4.16 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด

- เมื่อ L คือ ระยะทางระหว่าง Load1 กับ Load2
 X คือ ระยะทางระหว่าง Load1 กับ จุดศูนย์กลางโหลด
 Load1, Load2 คือ โหลด หรือหม้อแปลงในระบบจำหน่าย

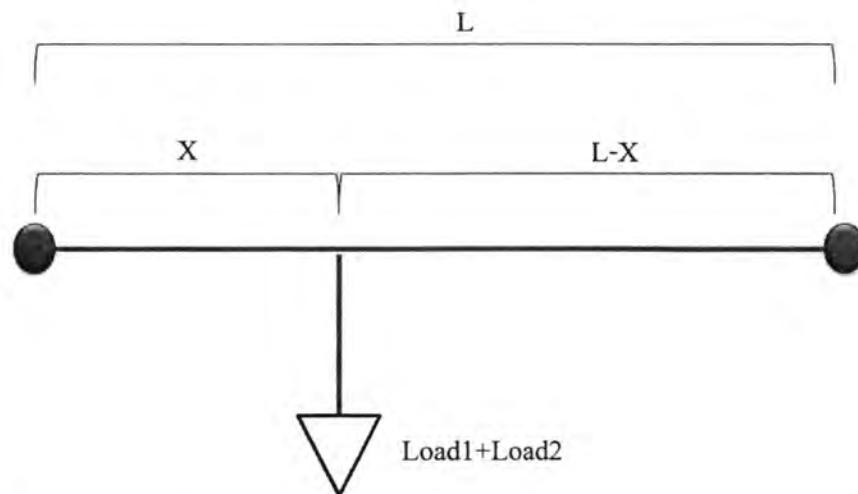
จากจุดศูนย์กลางโหลด คือจุดที่

$$\text{Load1}X = \text{Load2}(L - X) \quad (4.3)$$

$$X = \frac{\text{Load2}}{(\text{Load1} + \text{Load2})} L \quad (4.4)$$

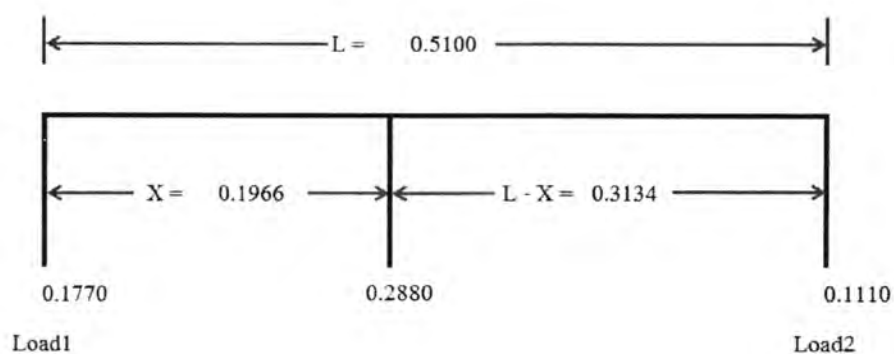
จะได้ระบบที่ลดรูปแล้ว ดังภาพที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นว่าหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับจ่ายโหลด ถูกยุบจาก 2 เครื่องเหลือ 1 เครื่อง ปริมาณการจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่ยุบ คำนวณจากผลรวม โหลดของหม้อแปลงทั้ง 2 เครื่อง

ส่วนจุดติดตั้งหม้อแปลงจะย้ายไปที่จุดใหม่ ตามระยะ X ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.4 และต้องนำระยะทางที่ได้ไปคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าใหม่

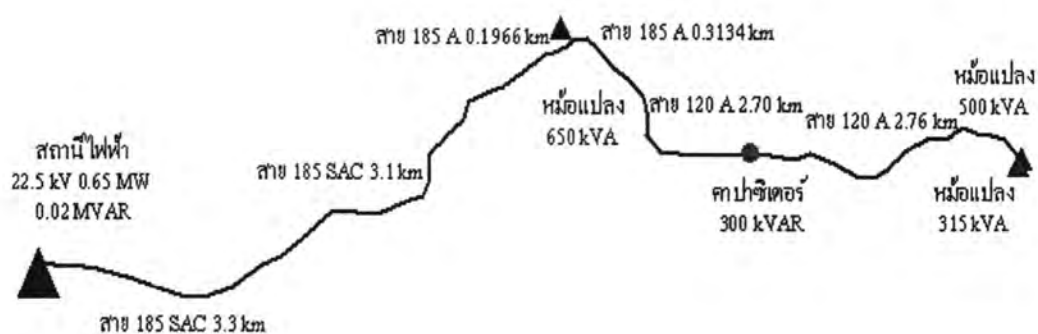


ภาพที่ 4.17 ผลการคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด

แนวทางการลดรูประบบจำหน่ายดังกล่าว กฟภ. ใช้ในการกำหนดกลุ่มโหลด สำหรับงานที่ใช้ในการวางแผนปรับปรุงระบบ ซึ่งมีความเหมาะสม เนื่องจากใช้เวลาไม่นานมาก โดยมีความถูกต้องของผลการคำนวณที่ยอมรับได้ เมื่อนำระบบตามภาพที่ 4.14 มาลดรูประบบ จำหน่าย ตามสมการ 4.4 ได้ผลดังภาพที่ 4.18 และ 4.19



ภาพที่ 4.18 ตัวอย่างผลการคำนวณหาจุดศูนย์กลางโหลด



ภาพที่ 4.19 ระบบตัวอย่างหลังจากการลดรูประบบจำหน่าย

บทที่ 5

การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายใหม่

ในบทนี้จะพูดถึงขั้นตอนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ที่ได้มาจากการนำระบบทดสอบ ทั้ง 4 กรณี มาทดลองค้นหาจุดเปิดวงจรด้วยวิธีฮิวริสติก โดยใช้โปรแกรม Matpower 3.2 จำนวน การไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อความเข้าใจจะได้นำขั้นตอนที่ได้ไปทดสอบกับระบบไฟฟ้าตัวอย่างเพื่อ แสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยรายละเอียดแต่ละส่วนอธิบายได้ดังนี้

5.1 ขั้นตอนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่

การค้นหาจุดเปิดวงจร โดยทั่วไปอาจทำได้โดยการสุ่มเปิดวงจร แล้วเปรียบเทียบค่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากระบบจำหน่ายจริงมีจุดที่สามารถกำหนดเป็นจุด เปิดวงจรได้เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีสุ่มทดลองเปิดวงจรจนเจอจุดเปิดวงจรที่ เหมาะสมได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจะพัฒนาขั้นตอนกระบวนการค้นหาแบบฮิวริสติก เพื่อนำมาใช้ กับระบบจำหน่ายจริง

จากลักษณะการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ของแผนงานโครงการ กฟฉ.2 ตามข้อ 4.1 และจากข้อมูลการคัดเลือกระบบทดสอบ ตามข้อ 4.2 นำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาทดลองค้นหาจุด เปิดวงจรตามวิธีการข้อ 3.3.2 ทำให้สามารถสรุปขั้นตอนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยการ ค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ตามขั้นตอนการค้นหาที่พัฒนาจากรูปแบบระบบจำหน่ายที่มีมากที่สุด ทั้ง 4 กรณี ได้ดังนี้

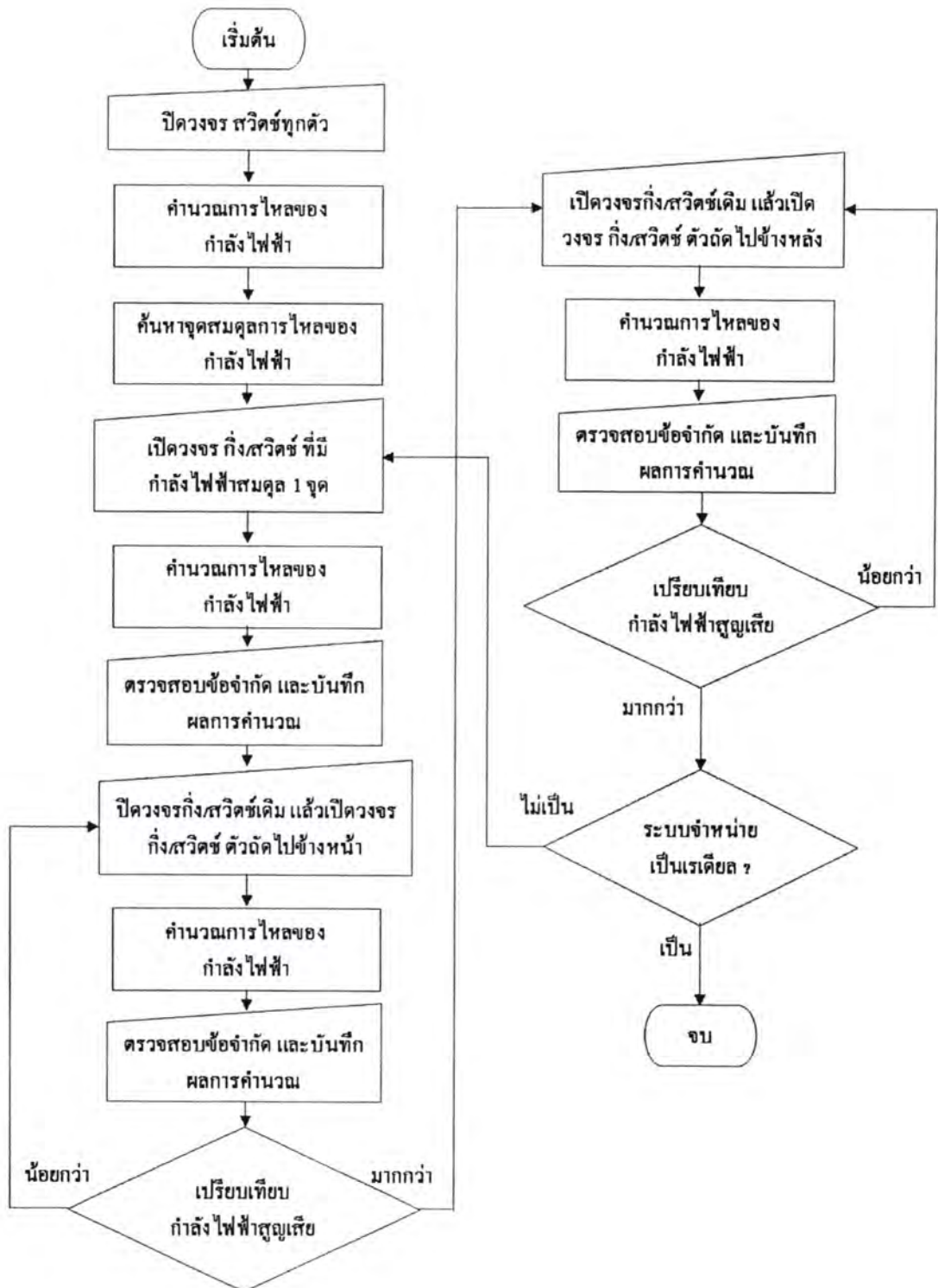
(1) เริ่มต้นจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ตัดคอนสแตนเปิดวงจรให้เป็นสแตนเปิดวงจร ที่จะ ทำให้ระบบจำหน่ายอยู่ในรูปแบบวงรอบ (Mesh)

(2) คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า แล้วกำหนดกิ่งที่อยู่ติดกับบัสที่กำลังไฟฟ้าไหลมา บรรจบกัน (หัวข้อที่ 3.2) เป็นจุดเริ่มต้นค้นหาจุดเปิดวงจร

(3) ทำการเปิดวงจรของกิ่งตัวถัดไปทั้งด้านหน้า และด้านหลัง ตามทิศทางตรงข้ามกับ กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส ตรวจสอบข้อจำกัดและเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น ถ้าเพิ่มขึ้น ให้หยุดการค้นหาในทิศทางดังกล่าว

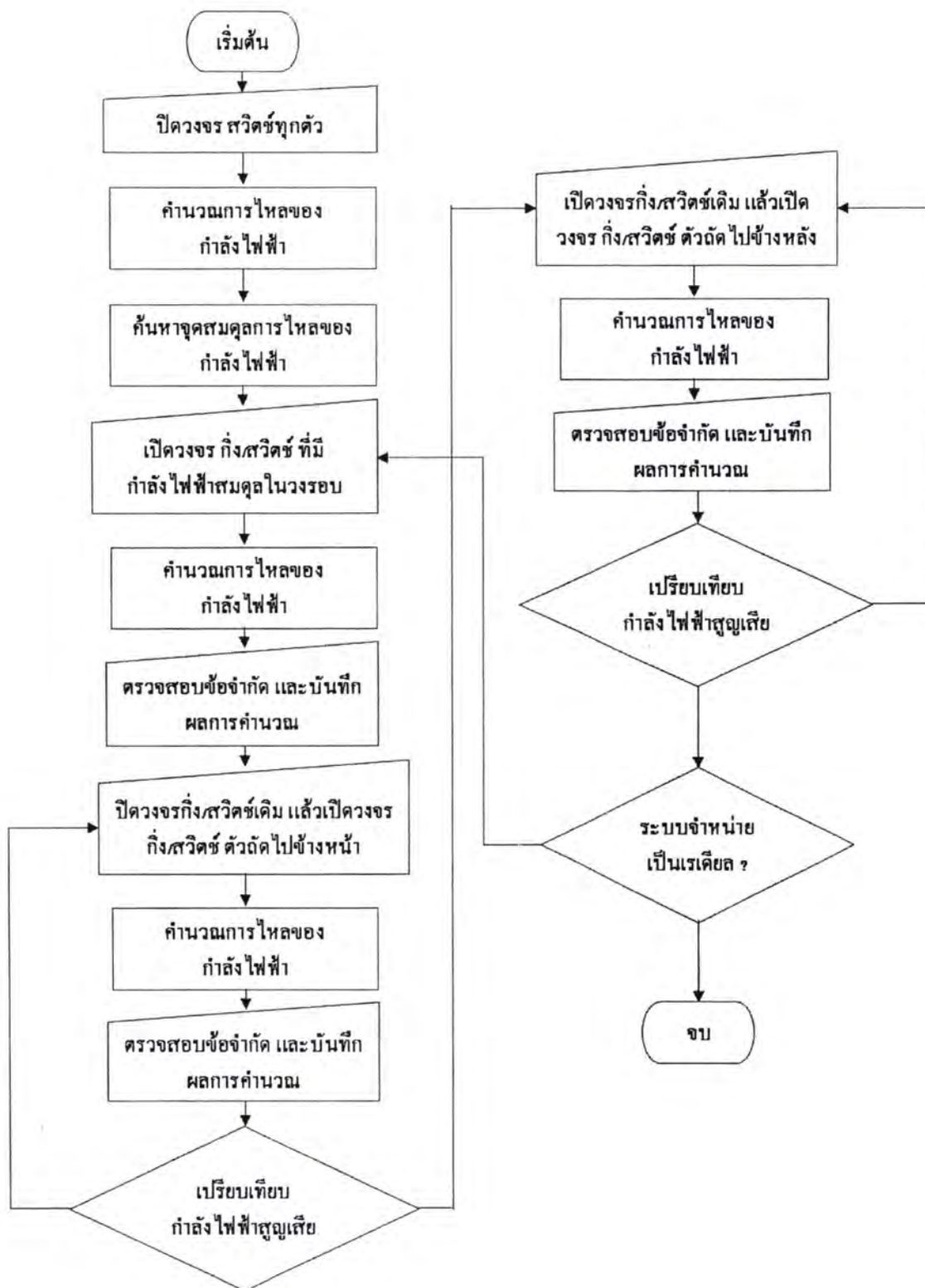
(4) ดำเนินการตามข้อ 3 จนระบบจำหน่ายเป็นเรเดียล

ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจรของระบบที่ไม่มีวงรอบมาเกี่ยวข้อง อธิบายได้
ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 flow chart ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร

ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจรของระบบที่มีวงรอบมาเกี่ยวข้อง อธิบายได้ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 flow chart ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร ของระบบที่มีวงรอบมาเกี่ยวข้อง

จากผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีสติกสำหรับการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม สามารถนำขั้นตอนดังกล่าวไปใช้กับระบบทดสอบทั้ง 4 กรณี ได้ดังตารางที่ 5.1 โดยผลการนำไปใช้งานกับระบบจำหน่ายจริง จะนำเสนอในบทที่ 6 ต่อไป

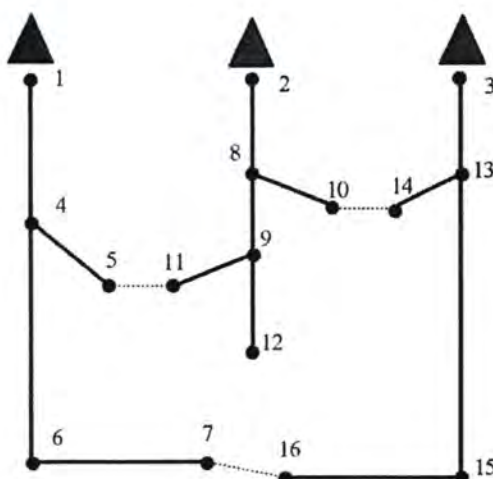
ตารางที่ 5.1 สรุปการนำขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร ที่พัฒนาได้ไปใช้งาน

รูปแบบ	จำนวน แหล่งจ่าย	จำนวน วงรอบ	จำนวน โครงการ	ขั้นตอนการค้นหา เหมาะสม
A	2	0	23	ตามภาพที่ 5.1
B	2	1	20	ตามภาพที่ 5.2
C	1	1	10	ตามภาพที่ 5.2
D	3	0	8	ตามภาพที่ 5.1

5.2 ตัวอย่างการค้นหาจุดเปิดวงจร โดยใช้วิธีวิธีสติก

เพื่อให้เข้าใจการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่เพิ่มขึ้น จึงขอนำระบบจำหน่าย[15] มาแสดงวิธีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนการค้นหาที่พัฒนาขึ้นมา

ระบบที่นำมาเป็นตัวอย่าง เพื่อให้เห็นภาพรวมการดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่เป็นระบบทดสอบที่มี 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส 16 กิ่ง ดังภาพที่ 5.3 จากสมการที่ 4.1 ในบทที่ 4 ทำให้ทราบว่าต้องค้นหาจุดเปิดวงจร 3 จุด การค้นหาได้ผลดังตารางที่ 5.3 – ตารางที่ 5.5



ภาพที่ 5.3 ระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส 16 กิ่ง

จากภาพที่ 5.3 เป็นระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ ที่มีแหล่งจ่ายอยู่ที่บัส 1 บัส 2 และ บัส 3 ตามลำดับ และมีจุดเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 5 กับบัส 11 กึ่งระหว่างบัส 10 กับบัส 14 และกึ่งระหว่างบัส 7 กับบัส 16 มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส

ที่	กึ่งระหว่างบัส		r (pu)	x (pu)	โหลด		ตัวเก็บประจุ (MVar)
	บัส	บัส			(MW)	(MVar)	
1	1	4	0.075	0.100	2	1.6	
2	4	5	0.08	0.110	3	1.5	1.1
3	4	6	0.09	0.180	2	0.8	1.2
4	6	7	0.04	0.040	1.5	1.2	
5	2	8	0.11	0.110	4	2.7	
6	8	9	0.08	0.110	5	3	1.2
7	8	10	0.11	0.110	1	0.9	
8	9	11	0.11	0.110	0.6	0.1	0.6
9	9	12	0.08	0.110	4.5	2	3.7
10	3	13	0.11	0.110	1	0.9	
11	13	14	0.09	0.120	1	0.7	1.8
12	13	15	0.08	0.110	1	0.9	
13	15	16	0.04	0.040	2.1	1	1.8
14	5	11	0.04	0.040			
15	10	14	0.04	0.040			
16	7	16	0.09	0.120			

การค้นหาจุดเปิดวงจร เริ่มต้นจากปิดสวิตช์ทุกตัว ได้แก่ กึ่งระหว่างบัส 5 กับบัส 11 กึ่งระหว่างบัส 10 กับบัส 14 และกึ่งระหว่างบัส 7 กับบัส 16 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้จุดที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน 3 จุดที่บัส 7 บัส 8 และบัส 9

กำหนดกึ่งระหว่างบัส 8 กับบัส 9 เป็นจุดเปิดวงจรเริ่มต้น ค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 ไปข้างหน้า และไปข้างหลัง ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 เป็นไปดังตารางที่ 5.3 ซึ่งจุดเปิดวงจรระหว่างบัส 8 กับบัส 10 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ 0.428 MW

ตารางที่ 5.3 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส

รอบที่	กึ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส							
1	8	9	0.6803287	1.000	0.956	16.93	5.58	6.87	16.93
2	8	10	0.4282443	1.000	0.978	10.72	11.35	7.05	11.35
3	10	14	0.4438242	1.000	0.976	10.76	12.15	6.23	12.15

ค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 เปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 8 กับบัส 10 แล้วเริ่มค้นหาจุดเปิดวงจร ไปข้างหน้า และไปข้างหลังจากกึ่งที่อยู่ติดกับบัส 9 ได้ผลดังตารางที่ 5.4 จุดเปิดวงจรระหว่างบัส 9 กับบัส 11 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ 0.466 MW

ตารางที่ 5.4 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส

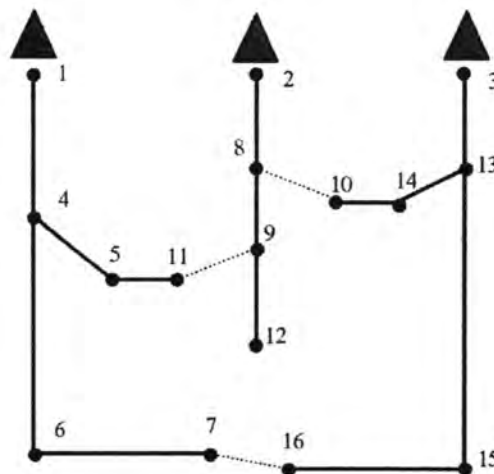
รอบที่	กึ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส							
1	8	9	0.6903046	1.000	0.956	17.22	4.03	8.14	17.22
2	9	11	0.4663247	1.000	0.972	8.65	13.82	6.7	13.82
3	5	11	0.4837694	1.000	0.971	8.12	14.44	6.61	14.44

ตารางที่ 5.5 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 3 ของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 16 บัส

รอบที่	กึ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส							
1	7	16	0.4661267	1.000	0.972	9.19	13.82	6.16	13.82
2	15	16	0.4928323	1.000	0.972	11.35	13.82	4.03	13.82
3	6	7	0.4792915	1.000	0.972	7.66	13.82	7.7	13.82

ค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดสุดท้าย เปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 8 กับบัส 10 และระหว่างบัส 9 กับบัส 11 เริ่มค้นหาจุดเปิดวงจร ไปข้างหน้า และไปข้างหลังจากกิ่งที่อยู่ติดกับบัส 7 ผลการค้นหาเป็นไปตามตารางที่ 5.5 จุดเปิดวงจรระหว่างบัส 7 กับบัส 16 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 0.466 MW

จากการค้นหาทำให้ทราบจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเหลือน้อยที่สุด ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงจาก 511.4 kW เป็น 466.1 kW ดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรของระบบทดสอบ 3 แหล่งจ่าย 16 บัส 16 กิ่ง

จากตัวอย่างจะเห็นว่าการค้นหาจุดเปิดวงจร 3 จุด ทดลองค้นหาจุดเปิดวงจรโดยใช้ขั้นตอนตามภาพที่ 5.1 โดยใช้โปรแกรม Matpower 3.2 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ทำได้จุดเปิดวงจรที่เหมาะสมเป็นจุดเปิดวงจรจุดเดียวกันกับ [15]

บทที่ 6

ผลการทดสอบ

ในบทนี้กล่าวถึงการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และการค้นหาจุดเปิดวงจรจากระบบจำหน่ายทดสอบ ทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย 1 วงจร ระบบจำหน่ายมี 1 แหล่งจ่าย 1 วงจร และระบบจำหน่ายมี 3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร โดยนำขั้นตอนการค้นหาที่พัฒนาได้ จากบทที่ 5 มาใช้จัดรูปแบบการจ่ายไฟที่เหมาะสม ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเหลือน้อยที่สุด ตามรายละเอียดดังนี้

6.1 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงจร)

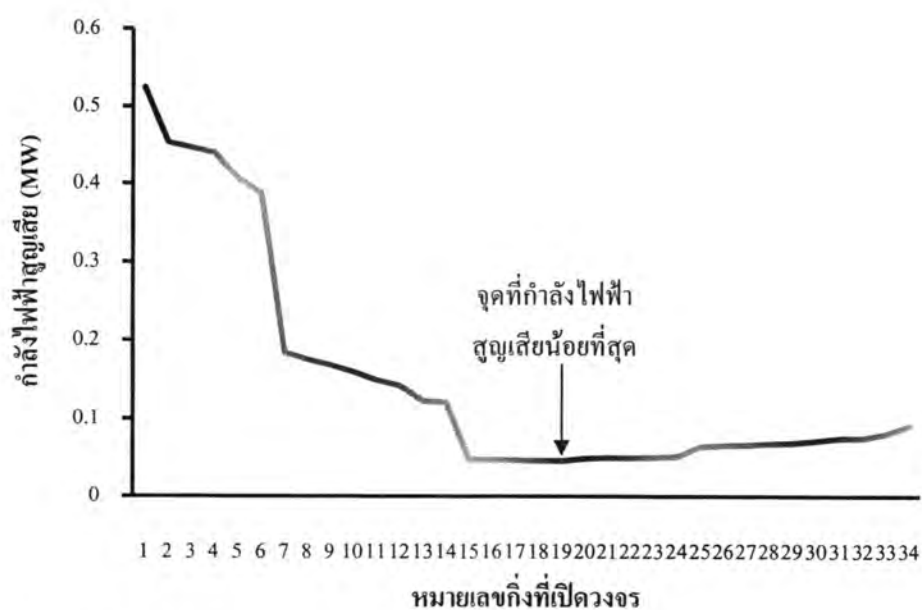
ระบบต้องการจุดเปิดวงจร 1 จุด ซึ่งเมื่อดำเนินการตามขั้นตอนดังภาพที่ 5.1 ในบทที่ 5 ได้ผลการค้นหาดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การค้นหาจุดเปิดวงจร โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ A

รอบ ที่	กิ่งที่เปิด วงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{35} (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส						
1	19	20	0.0089301	1.050	1.04	1.33	0.72	1.33
2	20	21	0.0094681	1.050	1.04	1.65	0.40	1.65
3	18	19	0.0090258	1.050	1.039	1.32	0.73	1.32

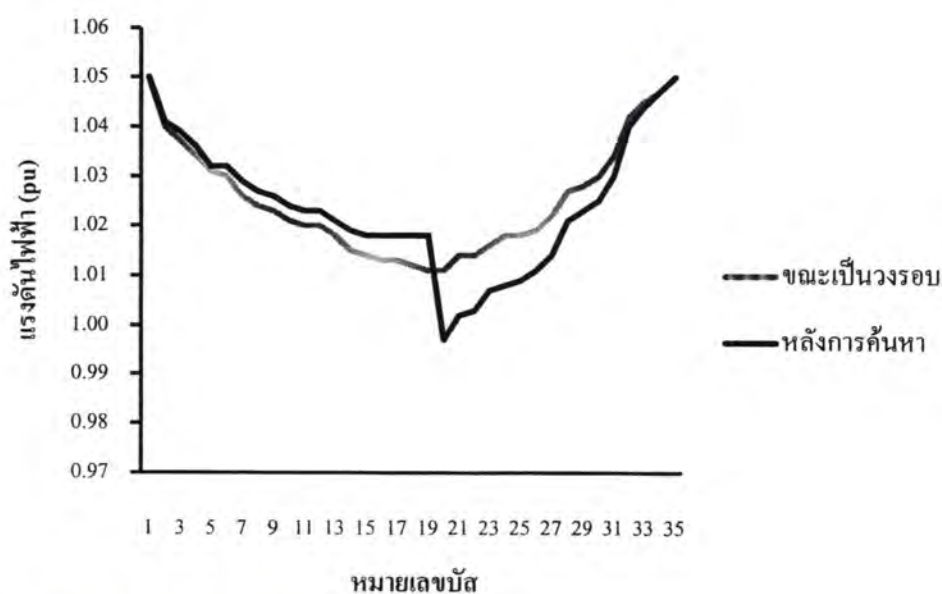
จากตารางที่ 6.1 จะได้จุดเปิดวงจร คือกิ่งหมายเลข 19 ในรอบการคำนวณที่ 1 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเหลือน้อยที่สุด

เนื่องจากระบบทดสอบรูปแบบ A เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนจึงมีจุดค่าสุดของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพียงจุดเดียว ดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบทดสอบรูปแบบ A

เมื่อตรวจสอบข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ พบว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด
ดังภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ A

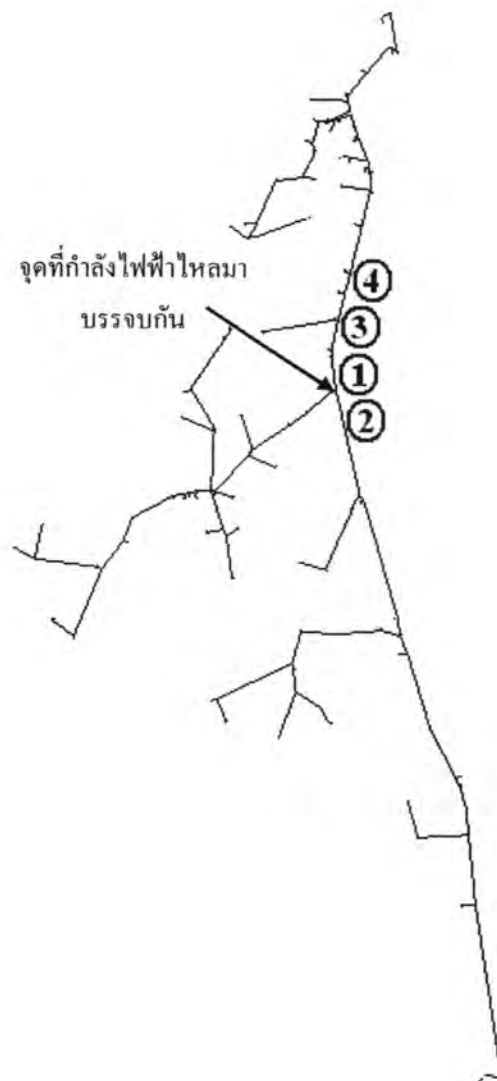
ระบบทดสอบรูปแบบ A เป็นโครงสร้างการจัดรูปแบบการจ่ายไฟที่เกิดจากงานก่อสร้าง
สถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่มเติม ที่มีโครงการมาเกี่ยวข้องหลายโครงการ แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เลือกระบบทดสอบจากงานเพิ่มสถานีไฟฟ้าย่อยดังกล่าวเพียงตัวอย่างเดียว ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากโครงสร้างระบบทดสอบ A ได้

ผลการเปรียบเทียบการค้นหาจุดเปิดวงจร โดยใช้ระบบทดสอบรูปแบบ A ระหว่างระบบจำหน่ายที่ทำการลดรูป ดังภาพที่ 4.6 กับระบบจำหน่ายที่ไม่ได้ลดรูป ดังภาพที่ 6.3 ได้ผลดังนี้

ระบบทดสอบรูปแบบ A ก่อนการลดรูปที่มีจำนวนบัส 273 บัส 265 กิ่ง จำนวนการไหลของกำลังไฟฟ้า จะได้จุดที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกันดังภาพที่ 6.3 ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับระบบที่ทำการลดรูปแล้ว

ใช้ขั้นตอนการค้นหา ดังภาพที่ 5.1 ค้นหาจุดเปิดวงจร โดยใช้วิธีการสลับกิ่งตามหัวข้อ 3.3.2 จะได้จุดเปิดวงจรในรอบที่ 3 ตามภาพที่ 6.3 ผลการค้นหาดังตารางที่ 6.2

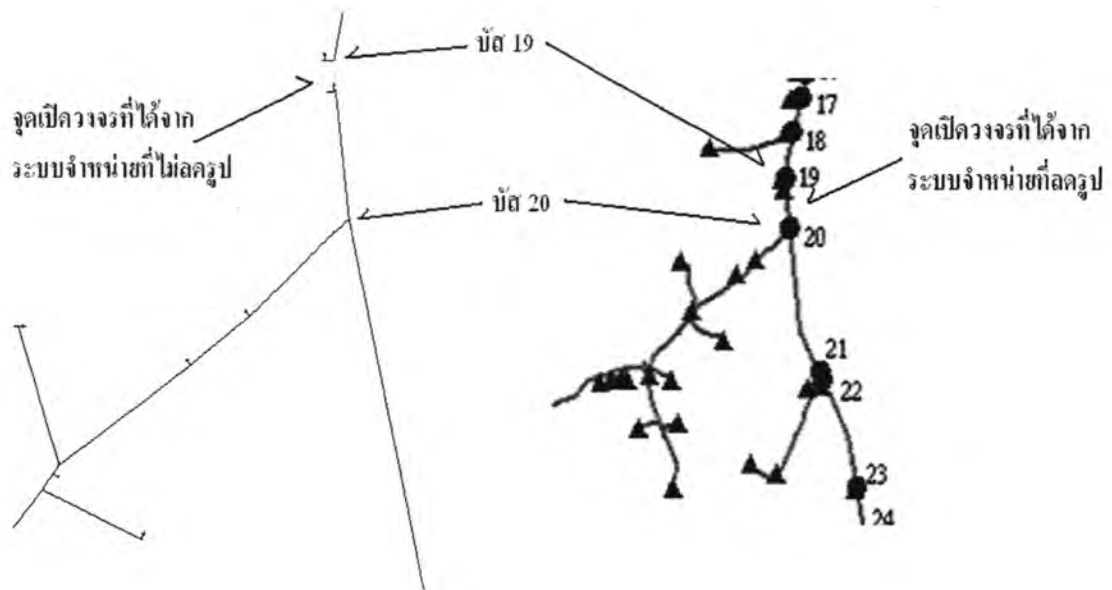


ภาพที่ 6.3 รอบการค้นหาจุดเปิดวงจร

ตารางที่ 6.2 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบ A แบบไม่ยุบรวมโหลด

รอบ ที่	P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{35} (MW)	P_{max} (MW)
1	0.011047	1.050	1.037	1.330	0.7058	1.330
2	0.011512	1.050	1.039	1.794	0.2420	1.794
3	0.011037	1.050	1.037	1.329	0.7058	1.329
4	0.011163	1.050	1.037	1.317	0.7187	1.317

จากการค้นหาจุดเปิดวงจร ตามตารางที่ 6.2 พบว่าจุดเปิดวงจรในรอบการค้นหาที่ 1 และ 3 อยู่ระหว่างบัสหมายเลข 19 กับบัสหมายเลข 20 ดังภาพที่ 6.4 ซึ่งอยู่ในบริเวณเดียวกันกับการค้นหาโดยการลดรูประบบจำหน่าย อย่างไรก็ตามการที่ตามกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนจากระบบที่ลดรูปแล้ว



ภาพที่ 6.4 เปรียบเทียบผลการค้นหาจุดเปิดวงจร ระหว่างระบบที่ยุบและไม่ยุบรวมโหลด

6.2 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

ตามสมการ 5.1 ระบบต้องการจุดเปิดวงจร 2 จุด เมื่อทำการค้นหาตามขั้นตอน ดังภาพที่ 5.2 ในบทที่ 5 ได้ผลการค้นหาจุดเปิดวงจร ดังตารางที่ 6.3- 6.4

ตารางที่ 6.3 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ B จุดแรก

รอบ ที่	กิ่งที่เปิด วงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{85} (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส						
1	19	36	0.15041	1.050	0.980	2.29	1.19	2.29
2	18	19	0.17701	1.050	0.954	2.29	1.22	2.29
3	35	36	0.15084	1.050	0.980	2.29	1.19	2.29

จากตารางที่ 6.3 เริ่มค้นหาจุดเปิดวงจรจากการเปิดวงจรที่กิ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 จากการค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหน้า และค้นหาจุดเปิดวงจรย้อนไปข้างหลังพบว่าจุดเปิดวงจรรอบที่ 1 ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเหลือน้อยที่สุด และจากการตรวจสอบข้อจำกัดผ่านทุกข้อทั้งด้านแรงดัน และด้านการรับภาระโหลดของสายไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้า กิ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 จึงเป็นจุดเปิดวงจรจุดแรก

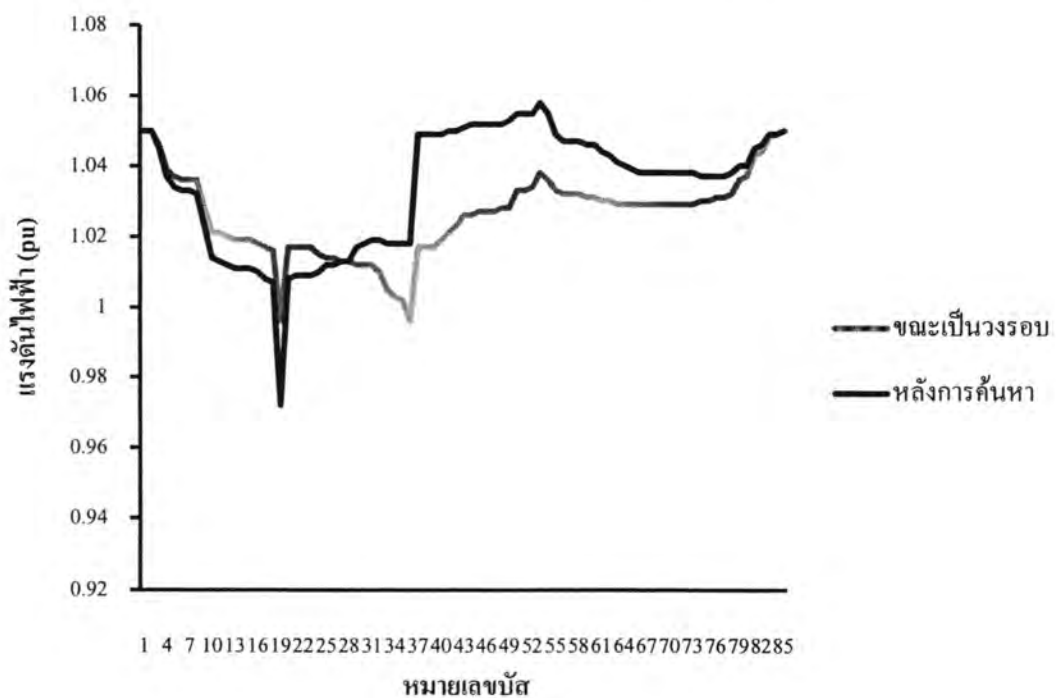
จุดเปิดวงจรที่ 2 ดำเนินการเพื่อทำให้ระบบเป็นเรเดียล ผลการค้นหาคือดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 การค้นหาจุดเปิดวงจรที่ 2 ของระบบทดสอบรูปแบบ B

รอบ ที่	กิ่งที่เปิด วงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{85} (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส						
1	43	44	0.17211	1.072	0.966	2.29	1.21	2.29
2	44	45	0.17421	1.076	0.964	2.35	1.16	2.35
3	42	43	0.17186	1.072	0.966	2.28	1.22	2.28
4	41	42	0.17072	1.068	0.968	2.24	1.26	2.24
5	40	41	0.17036	1.067	0.968	2.22	1.28	2.22
6	39	40	0.17024	1.067	0.968	2.22	1.28	2.22
7	38	39	0.16964	1.063	0.970	2.17	1.33	2.17
8	37	38	0.16952	1.062	0.970	2.16	1.34	2.16
9	21	37	0.16944	1.058	0.972	2.10	1.40	2.10
10	21	22	ไม่ดำเนินการเพราะทำให้ บัส 23 ถึง บัส 36 ไม่มีแรงดัน					
11	20	21	0.23514	1.074	0.966	1.72	1.84	1.84

จากตารางที่ 6.4 จะเห็นว่ารอบที่ 2 ที่ค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหน้า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดเปิดวงจรเริ่มต้น ค้นหาต่อมาข้างหลังตั้งแต่รอบที่ 3 มาจนถึงรอบที่ 9 พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเรื่อยๆ ถึงรอบที่ 10 พบว่าจุดเปิดวงจรดังกล่าวทำให้บัส 23 ถึง บัส 36 ไม่มีแรงดันไม่ผ่านข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ พอถึงรอบที่ 11 จุดเปิดในรอบนี้ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น จุดเปิดวงจรระหว่างบัส 21 กับ 37 ในรอบที่ 9 จึงเป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม จากตารางที่ 6.3 และตารางที่ 6.4 จะได้จุดเปิดวงจรของระบบ 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ

ตรวจสอบข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ ระบบมีแรงดัน 0.972 pu – 1.058 pu ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพแรงดันไฟฟ้า ดังภาพที่ 6.5 เนื่องจากในระบบจำหน่ายมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาถึงการย้ายจุดติดตั้งคาปาซิเตอร์ การดำเนินการของ กฟผ.2 จะส่งต่อข้อมูลให้หน่วยงานที่รับผิดชอบพิจารณาย้ายจุดติดตั้งคาปาซิเตอร์ ต่อไป



ภาพที่ 6.5 แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ B

ระบบทดสอบรูปแบบ B มีลักษณะการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายโดยการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งใหม่เพิ่มเติม ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ เช่นเดียวกับระบบทดสอบรูปแบบ A

6.3 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

ระบบทดสอบรูปแบบ C มีการไหลของกำลังไฟฟ้าก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 การไหลของกำลังไฟฟ้า ก่อนจัดโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C

รอบที่	กิ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_i (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส					
1	7	12	0.0797347	1.05	1.013	3.86	3.86

หลังการก่อสร้างสายจำหน่ายเพิ่มเติมระหว่างบัสที่ 7 กับบัส 12 ทำการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ตามขั้นตอนดังภาพที่ 5.2 ในบทที่ 5 ได้ผลการค้นหาดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจร ของโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ C

รอบที่	กิ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_i (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส					
1	5	8	0.0663866	1.050	1.021	3.86	3.86
2	4	5	0.0663866	1.050	1.021	3.86	3.86
3	4	6	0.1127410	1.050	1.003	3.91	3.91
4	8	10	0.0643778	1.050	1.020	3.86	3.86
5	10	11	0.0646149	1.050	1.020	3.86	3.86

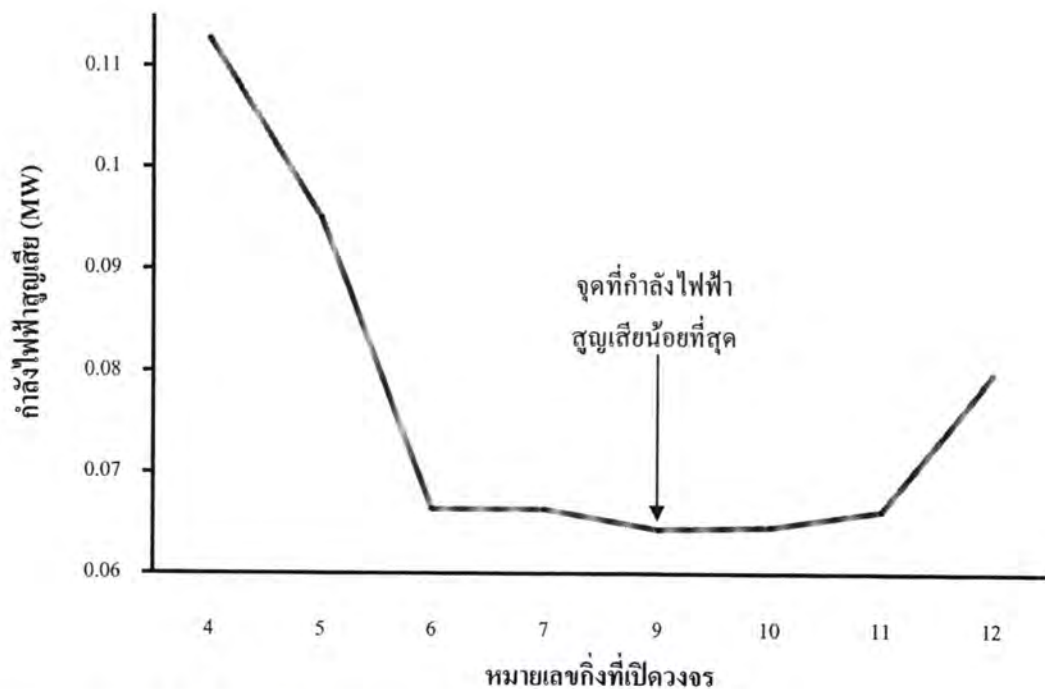
จากตารางที่ 6.6 จะได้จุดเปิดวงจรในรอบการคำนวณที่ 4 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม ตรวจสอบข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟพบว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และทำให้หน่วยสูญเสียลดลงจาก 0.0797347 MW เป็น 0.0643778 MW คิดเป็น 19.26% ดังตารางที่ 6.7

จุดเปิดวงจรที่ค้นหาได้ เป็นจุดเปิดวงจรที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเหลือน้อยที่สุด และทำให้ระบบมีแรงดันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังภาพที่ 6.6 และภาพที่ 6.7

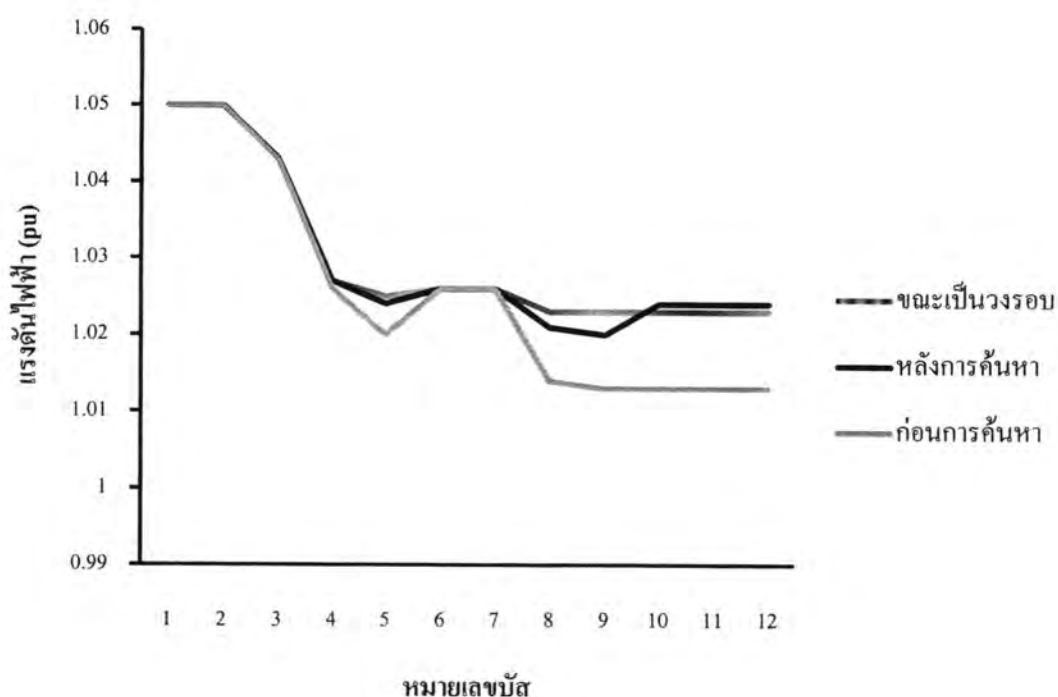
ตารางที่ 6.7 ผลการคำนวณพลังงานสูญเสีย ระบบทดสอบรูปแบบ C

การดำเนินการ	แหล่งจ่าย	P_L (MW)	พลังงานสูญเสีย (kWh/Y)	มูลค่า (บาท/ปี)
ก่อน	P_1	0.07973	688,907.81	2,066,723.42
หลัง	P_1	0.06438	556,224.19	1,668,672.58
ผลต่าง	P_1	-0.01536	-132,683.62	-398,050.85

จากตารางที่ 6.7 การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ลดพลังงานสูญเสียลงได้ 398,050.85 บาทต่อปี โดยคำนวณหาค่าพลังงานสูญเสีย ที่ค่า load factor เท่ากับ 0.95926 และ loss factor เท่ากับ 0.93191 เมื่อเทียบกับเงินลงทุนค่าติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอน และค่าก่อสร้างระบบจำหน่ายใหม่ด้วยสายไฟขนาด 50 ตร.มม. ชนิด SAC ระยะทางประมาณ 3 กม. เป็นเงิน 304,330 บาท และ 1,970,199 บาท ตามลำดับ จะคุ้มค่ากับการลงทุนที่ 5.71 ปี



ภาพที่ 6.6 กำลังไฟฟ้สูญเสียของระบบทดสอบรูปแบบ C



ภาพที่ 6.7 แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ C

6.4 การค้นหาจุดเปิดวงจรระบบทดสอบรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

ก่อนการจัดรูปแบบการจ่ายไฟโดยการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดใหม่ ระบบมีการไหลของกำลังไฟฟ้างดงามที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 การไหลของกำลังไฟฟ้า ก่อนจัดโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D

รอบ ที่	กิ่งที่เปิดวงจร		P_L	V_{max}	V_{min}	P_1	P_{80}	P_{99}	P_{max}
	บัส	บัส	(MW)	(kV)	(kV)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
1	70	71	0.3152612	1.05	0.976	5.03	4.19	4.12	5.03
	82	83							

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลด จึงได้มีการพิจารณาค้นหาจุดเปิดวงจรแห่งใหม่ เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า เมื่อดำเนินการค้นหาตามขั้นตอนดังภาพที่ 5.1 ในบทที่ 5 ได้ผลการค้นหาดังตารางที่ 6.9 – 6.10

ตารางที่ 6.9 การค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1 โครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D

รอบ ที่	กึ่งที่เปิด วงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{80} (MW)	P_{99} (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส							
1	67	68	0.330977	1.05	0.991	4.25	5.21	3.87	5.21
2	66	67	0.3313321	1.05	0.991	4.25	5.22	3.87	5.22
3	68	69	0.284941	1.05	1.010	4.96	4.75	3.59	4.96
4	69	70	0.2818239	1.05	1.010	5.16	4.45	3.7	5.16
5	70	71	0.2831009	1.05	1.007	5.33	4.19	3.8	5.33

จากตารางที่ 6.9 จุดเปิดวงจรเริ่มต้นอยู่ระหว่างบัส 67 กับบัสที่ 68 เมื่อดำเนินการถึงรอบที่ 5 พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเหลือน้อยที่สุด ณ รอบที่ 4 กึ่งระหว่างบัส 69 กับบัสที่ 70 จึงเป็นจุดเปิดวงจรจุดแรก

จุดเปิดวงจรที่สองทำให้ระบบเป็นเรเดียล เริ่มต้นโดยเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 69 กับบัสที่ 70 ไว้ ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 เป็นไปตามตารางที่ 6.10

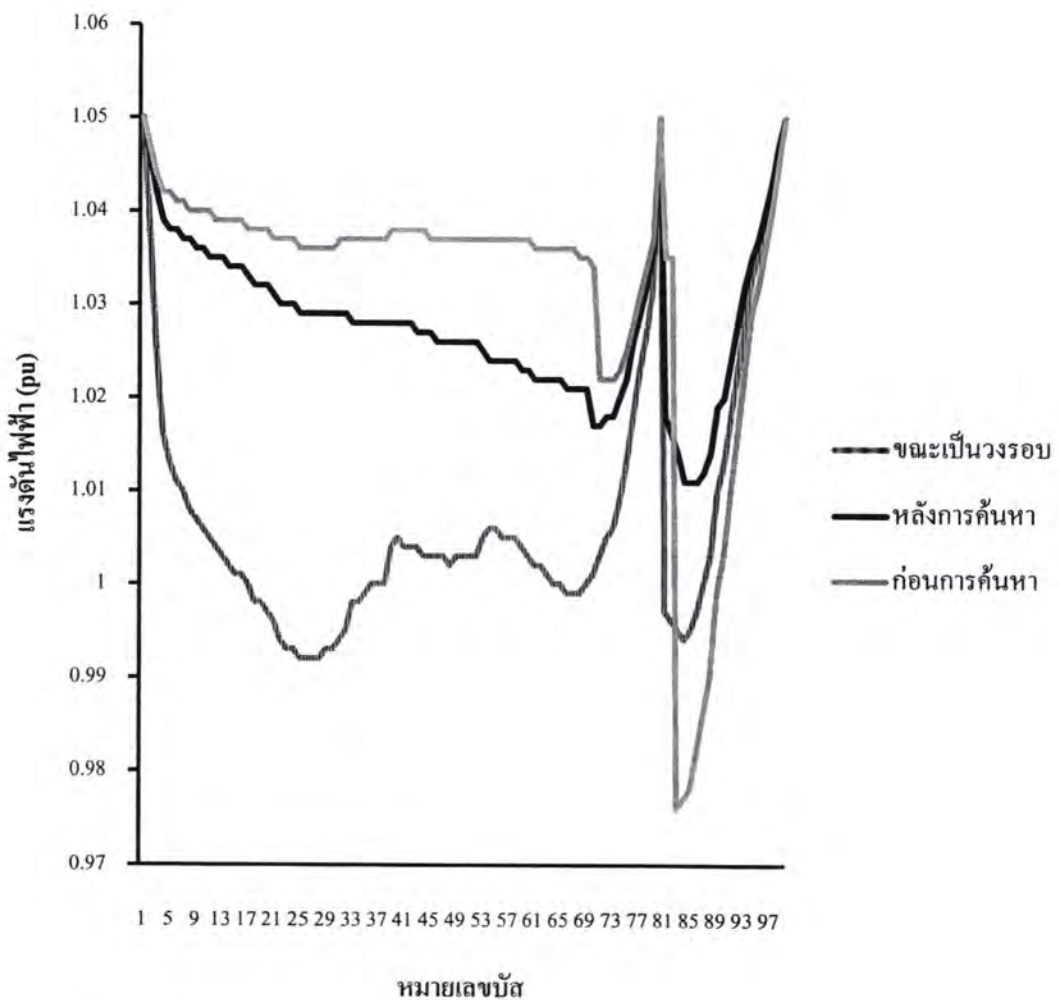
ตารางที่ 6.10 ผลการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2 ของโครงสร้างระบบทดสอบรูปแบบ D

รอบ ที่	กึ่งที่เปิด วงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_1 (MW)	P_{80} (MW)	P_{99} (MW)	P_{max} (MW)
	บัส	บัส							
1	83	84	0.3129020	1.05	0.98	4.85	4.45	4.04	4.85
2	82	83	0.3194522	1.05	0.976	4.77	4.45	4.12	4.77
3	84	85	0.2906564	1.05	0.995	5.27	4.45	3.59	5.27
4	85	86	0.2881879	1.05	1.011	5.74	4.45	3.12	5.74
5	86	87	0.3107640	1.05	0.992	6.27	4.45	2.63	6.27

จากตารางที่ 6.10 การค้นหาจำนวน 5 รอบ จุดเปิดวงจรระหว่างบัส 85 กับ 86 ในรอบที่ 4 เป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม

จากผลการค้นหาตามตารางที่ 6.9 และตารางที่ 6.10 เมื่อตรวจสอบข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟพบว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ดังภาพที่ 6.8 ดังนี้

- 1) ระบบมีแรงดัน 1.011 pu – 1.050 pu ผ่านเกณฑ์คุณภาพ
- 2) ขนาดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ไหลผ่านสายไฟฟ้าคือ 5.74 MW
- 3) ทุกบัสในระบบจำหน่ายได้รับไฟ
- 4) และจากการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ทำให้หน่วยสูญเสียลดลงจาก 0.3152612 MW เป็น 0.2881879 MW คิดเป็น 8.59% และแรงดันต่ำสุดในระบบเพิ่มขึ้นจาก 0.976 pu เป็น 1.011 pu ดังตารางที่ 6.11



ภาพที่ 6.8 แรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบรูปแบบ D

จากตารางที่ 6.11 การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ทำให้พลังงานสูญเสียลดลง 132,580 หน่วยต่อปี โดยคำนวณหาค่าพลังงานสูญเสีย ที่ค่า load factor เท่ากับ 0.71070 และ loss factor เท่ากับ 0.56678 เป็นเงิน 397,741 บาท เมื่อเทียบกับการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ตัดตอน 2 ชุด เป็นเงิน 608,660 บาท คูณค่ากับการลงทุนภายใน 2 ปี

ตารางที่ 6.11 ผลการคำนวณพลังงานสูญเสีย ระบบทดสอบรูปแบบ D

การ ดำเนินการ	แหล่งจ่าย	P_L	พลังงานสูญเสีย	มูลค่า
		(MW)	(kWh/Y)	(บาท/ปี)
ก่อน	P_1	0.09483	464,364	1,393,091
	P_{80}	0.08409	411,773	1,235,319
	P_{99}	0.13635	667,682	2,003,046
	รวม	0.31526	1,543,819	4,631,456
หลัง	P_1	0.1044235	511,356	1,534,069
	P_{80}	0.1319118	645,965	1,937,895
	P_{99}	0.0518521	253,917	761,751
	รวม	0.28819	1,411,238	4,233,714
ผลต่าง	P_1	0.00960	46,993	140,978
	P_{80}	0.04782	234,192	702,576
	P_{99}	-0.08449	-413,765	-1,241,295
	รวม	-0.02707	-132,580	-397,741

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีการฮิวริสติก เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ วิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยได้ทดลองใช้กับระบบ IEEE 16 บัส ดังหัวข้อ 5.2 ได้จุดเปิดวงจรของสวิตช์ตัดตอนจุดเดียวกันเมื่อนำขั้นตอนการค้นหาไปใช้จัดรูปแบบการจ่ายไฟของ กฟภ. ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือ ขั้นตอนที่นำเสนอสามารถใช้หาคำตอบได้ โดยการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบ 2 แหล่งจ่าย และระบบ 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ ไม่มีการเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการดำเนินการ เนื่องจากเป็นโครงการเพิ่มสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีโครงการย่อยหลายโครงการไปเกี่ยวข้อง ต้องวิเคราะห์ครบทุกโครงการจึงจะทราบผลที่ได้รับจากการก่อสร้าง ส่วนผลการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบ 1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ 0.01536 MW คิดเป็น 19.26% ระยะเวลาคืนทุน 5.71 ปี และการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบ 3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ 0.13258 MW คิดเป็น 8.59% ระยะเวลาคืนทุน ภายใน 2 ปี

จากผลการทดสอบระบบจำหน่ายทั้ง 4 ระบบ สรุปได้ว่าการค้นหาจุดเปิดวงจร เป็นไปในแนวทางลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากแหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาก แล้วไปเพิ่มให้กับแหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อย จนพบจุดที่มีแนวโน้มว่าเป็นจุดเปิดวงจรที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่พิจารณาเหลือน้อยที่สุด และขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจรที่นำเสนอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมอื่นๆ ได้ เช่น DIGSILENT PSS/Adept เป็นต้น การใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันถึงแม้บางโปรแกรมจะมีฟังก์ชันค้นหาจุดเปิดวงจรอัตโนมัติ แต่ก็มีคามยากในการใช้งาน ทำให้ผู้รับผิดชอบวิเคราะห์จัดรูปแบบระบบจำหน่ายต้องใช้ประสบการณ์ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอีกแนวทางที่จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ระบบได้เร็วยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามจุดเปิดวงจรที่ได้จากการค้นหาอาจจะยังไม่เป็นคำตอบในเชิงปฏิบัติ 100% เนื่องจากการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ หรือการค้นหาจุดเปิดวงจร อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุประสงคเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในบางกรณี เช่น กรณีเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกมีค่าสูงกว่าข้อกำหนด ก็จำเป็นต้องนำผลการลดแรงดันตกมากำหนดเป็นวัตถุประสงคเพื่อหาจุดเปิดอุปกรณ์ที่ทำให้แรงดัน

ในระบบดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีความเหมาะสมด้านอื่นที่หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องพิจารณาคือ ความเหมาะสมของบริเวณติดตั้งจุดเปิดวงจร ว่าปลอดภัย และสะดวกในการใช้งานหรือไม่ ระยะห่างจากหน่วยงานที่ใช้งานจนถึงอุปกรณ์มีผลต่อระยะเวลาในการเดินทางมาที่อุปกรณ์มากน้อยเพียงใด องค์ประกอบนอกเหนือจากการคำนวณบางตัวยังมีอิทธิพลต่อการกำหนดรูปแบบการจ่ายไฟที่เหมาะสม

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ เวลาที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมาคำนวณหาจุดเปิดวงจร จึงใช้ Loss Factor ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน ซึ่งผลการคำนวณจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นแต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ควรนำขั้นตอนการค้นหาคำตอบที่นำเสนอไปปรับปรุงเพิ่มเติม

7.2.2 ระบบทดสอบตัวอย่างที่ใช้เป็นระบบทดสอบที่ผ่านการลดจำนวนองค์ประกอบซึ่งในสายแยก ทำการยุบรวมหม้อแปลงติดตั้งมาไว้ที่สายจำหน่ายหลัก โดยใช้หลักการที่ว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายแยกคงที่เนื่องจากความต้องการใช้ไฟในสายแยกไม่เปลี่ยนแปลง แต่การจัดรูปแบบใหม่ทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงอาจส่งผลต่อผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

7.3.3 การจำลองค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบทดสอบเป็นแบบความต้องการคงที่ สมดุลทั้ง 3 เฟส ทำให้ผลการคำนวณที่ได้เกิดความผิดพลาด เนื่องจากระบบจำหน่าย กฟภ. มีการจ่ายโหลดไม่สมดุล ซึ่งประเด็นนี้สามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมได้

7.3.4 การกำหนดรูปแบบระบบจำหน่าย ให้เป็นรูปแบบ A B C D เป็นขั้นตอนการดำเนินการที่มีความซับซ้อน สามารถนำไปเป็นประเด็นศึกษาเพิ่มเติมได้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mesut, E B. and F. F Wu. "Network Reconfiguration in Distribution System for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Transaction on Power Delivery. (4): 1401-1407; April, 1989.
- [2] Yuan-Kang, W., L. Ching-Yin, L. Le-Chang, and T. Shao-Hong. "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators", IEEE Transaction on Power Delivery. (25): 1678-1685; July, 2010.
- [3] Peponis, G., M.P. Papadopoulos and N. D. Hatziaargyriou. "Distribution Network Reconfiguration To minimize Resistive Line Loss", IEEE Transaction on Power Delivery. (10): 1338-1342; July, 1995.
- [4] Guedes, L. S.M., A. C. Lisboa, D. A. G. Vieira and R. R. Saldanha. "A Multiobjective Heuristic for Reconfiguration of the Electrical Radial Network", IEEE Transaction on Power Delivery. (28): 311-319; January, 2013.
- [5] Shirmohammadi, D. and H. Wayne Hong. "Reconfiguration of Electric Distribution Networks For Resistive Line Losses Reduction", IEEE Transaction on Power Delivery. (4): 1492-1498; April, 1989.
- [6] Roytelman, I., V. Melnik, S. S. H. Lee and R. L. Lugtu. "Multi-objective Feeder Reconfiguration by Distribution Management System", IEEE Transaction on Power System. (11): 661-667; May, 1996.
- [7] Jae Jeon Y., J-C Kim, J-O. Kim and other. "An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Network Reconfiguration in Large-Scale Distribution System", IEEE Transaction on Power Delivery. (17): 1070-1078; October, 2002.
- [8] Carreno, E. M., R. Romero and A. P. Feltrin. "An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem", IEEE Transaction on Power System. (23): 1542-1551; November, 2008.
- [9] Das, D. "A Fuzzy Multiobjective Approach for Network Reconfiguration of Distribution System", IEEE Transaction on Power Delivery. (21): 202-209; January, 2006.

เอกสารอ้างอิง

- [10] Karegar, H. K. and et al. "Reconfiguration of Deregulated Distribution Network for Minimizing Energy Supply Cost by using Multi-Objective BGA", World Academy of Science and Technology. (45): 604-610; September, 2008.
- [11] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คู่มือวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2547.
- [12] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง 22/33 kV และระบบสายส่ง 115 kV. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2550.
- [13] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. การศึกษาความเหมาะสมโครงการพัฒนาศานีไฟฟ้าและสายส่งระยะที่ 9. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2552.
- [14] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2553.
- [15] Civanlar, S., J.J. Grainger, H. Yin and S.S.H. Lee. "Distribution Feeder Reconfiguration For Loss Reduction", IEEE Transaction on Power Delivery. (3): 1217-1223; July, 1988.
- [16] สมโภชน์ ผิวเหลือง. ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพมหานคร : แมคกรอ-ฮิล, 1997.
- [17] Hadi Saadat. Power System Analysis. Singapore: McGraw-Hill, 1997.
- [18] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คู่มือการวางแผนสถานียไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2553.
- [19] Gao, X. and L. Liao. "A Novel Neural Network for a Class of Convex Quadratic Minimax Problems", Neural Computation. (8): 1818-1846; August, 2006.
- [20] Leite da Silva, A. M., L. C. Nascimento, A. M. Cassula and C. E. Sacramento. "Network Reconfiguration of Distribution Systems Using Metaheuristics and Reliability Measures", Intelligent System Applications to Power Systems. 1-8; November, 2009.
- [21] Turan Gonen. Electric Power Distribution System Engineering. New York: McGraw-Hill, 1965.
- [22] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คู่มือการลดหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า ของ กฟผ.2 ฉบับปรับปรุง. อุบลราชธานี : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2, 2550.

เอกสารอ้างอิง

- [23] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรายผู้ใช้ไฟฟ้า หน่วยการใช้และรายได้. อุบลราชธานี : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2, 2553.
- [24] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. สรุปความต้องการงานปรับปรุงระบบจำหน่ายสายเมน โครงการคสจ.7 ของ กฟผ.2 (ปรับปรุง 10 พ.ค.2553). อุบลราชธานี : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2, 2553.
- [25] Zimmerman, R. D. and C. E. Murillo-Sanchez. MATPOWER A MATLAB Power System Simulation Package Version 3.2 User's Manual. New York: Power System Engineering Research Center, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลระบบทดสอบ

ก.1 หน่วยที่ใช้กับข้อมูลระบบทดสอบ

ตารางที่ ก.1 หน่วยที่ใช้กับข้อมูลบัส

รายละเอียด	หน่วยที่ใช้
Pd	MW
Qd	MVAr
Gs	MW
Bs	MVAr
Vm	p.u. ที่ Vbase เท่ากับ 22 kV
Va	องศา
baseKV	kV
Vmax	p.u. ที่ Vbase เท่ากับ 22 kV
Vmin	p.u. ที่ Vbase เท่ากับ 22 kV

ตารางที่ ก.2 หน่วยที่ใช้กับข้อมูลแหล่งจ่าย

รายละเอียด	หน่วยที่ใช้
Pg	MW
Qg	MVAr
Qmax	MW
Qmin	MVAr
Vg	p.u. ที่ Vbase เท่ากับ 22 kV
mBase	MVA
Pmax	p.u. ที่ MVABase เท่ากับ 100
Pmin	p.u. ที่ MVABase เท่ากับ 100

ตารางที่ ก.3 หน่วยที่ใช้กับข้อมูลกิ่ง

รายละเอียด	หน่วยที่ใช้
r	p.u. ที่ MVABase เท่ากับ 100 และ Vbase เท่ากับ 22 kV
x	p.u. ที่ MVABase เท่ากับ 100 และ Vbase เท่ากับ 22 kV

ก.2 ข้อมูลระบบทดสอบรูปแบบ A (2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลบัสระบบทดสอบรูปแบบ A

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
1	3	0.0000	0.0000	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
2	1	0.0724	0.0351	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
3	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
4	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
5	1	0.0388	0.0188	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
6	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
7	1	0.3853	0.1866	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
8	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
9	1	0.0207	0.0100	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
10	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
11	1	0.0336	0.0163	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
12	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
13	1	0.0724	0.0351	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
14	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
15	1	0.5327	0.2580	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
16	1	0.0052	0.0025	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
17	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
18	1	0.0155	0.0075	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
19	1	0.0155	0.0075	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
20	1	0.3155	0.1528	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
21	1	0.0181	0.0088	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
22	1	0.0026	0.0013	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
23	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
24	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลับัระบบทดสอบรูปแบบ A (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
25	1	0.1603	0.0777	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
26	1	0.0129	0.0063	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
27	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
28	1	0.0129	0.0063	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
29	1	0.0078	0.0038	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
30	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
31	1	0.0259	0.0125	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
32	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
33	1	0.0414	0.0200	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
34	1	0.0647	0.0313	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95
35	4	0.0000	0.0000	0	0	1	1	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ A

bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	40	18.6	25	-25	1.05	100	1	50	-50
35	20	9.3	12.5	-12.5	1.05	100	1	25	-25

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลกึ่งระบบทดสอบรูปแบบ A

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
1	2	0.087273	0.118698	0	14	0	0	0	0	1
2	3	0.023492	0.031963	0	14	0	0	0	0	1
3	4	0.028347	0.038554	0	14	0	0	0	0	1
4	5	0.034318	0.046674	0	14	0	0	0	0	1
5	6	0.006715	0.009132	0	14	0	0	0	0	1
6	7	0.035434	0.048182	0	14	0	0	0	0	1
7	8	0.031694	0.04312	0	14	0	0	0	0	1
8	9	0.014917	0.020289	0	14	0	0	0	0	1
9	10	0.027231	0.037025	0	14	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ A (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
10	11	0.014855	0.019442	0	12	0	0	0	0	1
11	12	0.008802	0.011529	0	12	0	0	0	0	1
12	13	0.033574	0.043946	0	12	0	0	0	0	1
13	14	0.052293	0.06845	0	12	0	0	0	0	1
14	15	0.012107	0.015847	0	12	0	0	0	0	1
15	16	0.084215	0.110227	0	12	0	0	0	0	1
16	17	0.035785	0.046818	0	12	0	0	0	0	1
17	18	0.04624	0.060517	0	12	0	0	0	0	1
18	19	0.064401	0.084298	0	12	0	0	0	0	1
19	20	0.063306	0.082851	0	12	0	0	0	0	0
20	21	0.193223	0.252872	0	12	0	0	0	0	1
21	22	0.01157	0.015124	0	12	0	0	0	0	1
22	23	0.148636	0.194525	0	12	0	0	0	0	1
23	24	0.066054	0.086446	0	12	0	0	0	0	1
24	25	0.031921	0.041777	0	12	0	0	0	0	1
25	26	0.03469	0.045393	0	12	0	0	0	0	1
26	27	0.089174	0.116715	0	12	0	0	0	0	1
27	28	0.154132	0.201715	0	12	0	0	0	0	1
28	29	0.037975	0.049711	0	12	0	0	0	0	1
29	30	0.04845	0.063388	0	12	0	0	0	0	1
30	31	0.126612	0.165702	0	12	0	0	0	0	1
31	32	0.197624	0.258636	0	12	0	0	0	0	1
32	33	0.082045	0.111591	0	14	0	0	0	0	1
33	34	0.051095	0.069483	0	14	0	0	0	0	1
34	35	0.058926	0.080145	0	14	0	0	0	0	1

ก.3 ข้อมูลระบบทดสอบรูปแบบ B (2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ B

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
1	3	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
2	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
3	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
4	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
5	1	0.0050	0.0024	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
6	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
7	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
8	1	0.0025	0.0012	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
9	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
10	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
11	1	0.0247	0.0119	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
12	1	0.0247	0.0119	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
13	1	0.0247	0.0119	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
14	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
15	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
16	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
17	1	0.2115	0.1016	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
18	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
19	1	1.1278	0.5415	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
20	1	0.0025	0.0012	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
21	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
22	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
23	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
24	1	0.0158	0.0076	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
25	1	0.0443	0.0213	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
26	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
27	1	0.0565	0.0271	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
28	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ B (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
29	1	0.0683	0.0328	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
30	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
31	1	0.0000	-0.600	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
32	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
33	1	0.0686	0.0329	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
34	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
35	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
36	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
37	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
38	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
39	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
40	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
41	1	0.0158	0.0076	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
42	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
43	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
44	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
45	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
46	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
47	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
48	1	0.0021	0.0010	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
49	1	0.0443	0.0213	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
50	1	0.0271	0.0130	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
51	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
52	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
53	1	0.0000	-1.200	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
54	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
55	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
56	1	0.0759	0.0365	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
57	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ B (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
58	1	0.0446	0.0214	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
59	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
60	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
61	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
62	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
63	1	0.0700	0.0336	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
64	1	0.0516	0.0248	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
65	1	0.0468	0.0225	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
66	1	0.0789	0.0379	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
67	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
68	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
69	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
70	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
71	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
72	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
73	1	0.0135	0.0065	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
74	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
75	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
76	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
77	1	0.0170	0.0082	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
78	1	0.0085	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
79	1	0.0288	0.0138	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
80	1	0.0927	0.0445	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
81	1	0.0394	0.0189	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
82	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
83	1	0.0073	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
84	1	0.0059	0.0028	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
85	4	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ B

bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	35	16.45	25	-25	1.05	100	1	50	-50
85	35	16.45	25	-25	1.05	100	1	50	-50

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลกึ่งระบบทดสอบรูปแบบ B

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
1	2	0.0002	0.0037	0	17.22	0	0	0	0	1
2	3	0.1775	0.3379	0	14.58	0	0	0	0	1
3	4	0.2763	0.5259	0	14.58	0	0	0	0	1
4	5	0.0864	0.1644	0	14.58	0	0	0	0	1
5	6	0.0358	0.0681	0	14.58	0	0	0	0	1
6	7	0.0170	0.0324	0	14.58	0	0	0	0	1
7	8	0.0157	0.0299	0	14.58	0	0	0	0	1
8	9	0.3369	0.6412	0	14.58	0	0	0	0	1
9	10	0.3268	0.6221	0	14.58	0	0	0	0	1
10	11	0.0282	0.0537	0	14.58	0	0	0	0	1
11	12	0.0212	0.0403	0	14.58	0	0	0	0	1
12	13	0.0461	0.0878	0	14.58	0	0	0	0	1
13	14	0.0132	0.0180	0	14.06	0	0	0	0	1
14	15	0.0101	0.0138	0	14.06	0	0	0	0	1
15	16	0.0513	0.0698	0	14.06	0	0	0	0	1
16	17	0.0680	0.0925	0	14.06	0	0	0	0	1
17	18	0.0275	0.0523	0	14.58	0	0	0	0	1
17	20	0.0950	0.1807	0	17.83	0	0	0	0	1
18	19	1.8552	2.5233	0	14.06	0	0	0	0	1
19	36	0.0000	0.0000	0	20.00	0	0	0	0	1
20	21	0.0473	0.0900	0	17.83	0	0	0	0	1
21	37	0.0427	0.0580	0	14.06	0	0	0	0	1
21	22	0.0164	0.0312	0	17.83	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ B (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
22	23	0.0228	0.0433	0	17.83	0	0	0	0	1
23	24	0.2767	0.5267	0	17.83	0	0	0	0	1
24	25	0.2372	0.4515	0	17.83	0	0	0	0	1
25	26	0.1477	0.2811	0	17.83	0	0	0	0	1
26	27	0.0489	0.0930	0	17.83	0	0	0	0	1
27	28	0.0197	0.0375	0	17.83	0	0	0	0	1
28	29	0.5909	1.1247	0	17.83	0	0	0	0	1
29	30	0.0939	0.1787	0	17.83	0	0	0	0	1
30	31	0.0898	0.1710	0	17.83	0	0	0	0	1
31	32	0.1475	0.2808	0	17.83	0	0	0	0	1
32	33	0.3899	0.7421	0	17.83	0	0	0	0	1
33	34	0.1732	0.3296	0	17.83	0	0	0	0	1
34	35	0.1615	0.3073	0	17.83	0	0	0	0	1
35	36	0.5334	1.0152	0	17.83	0	0	0	0	1
37	38	0.0593	0.0806	0	14.06	0	0	0	0	1
38	39	0.0351	0.0477	0	14.06	0	0	0	0	1
39	40	0.2056	0.3914	0	17.83	0	0	0	0	1
40	41	0.2227	0.4239	0	17.83	0	0	0	0	1
41	42	0.3357	0.6390	0	17.83	0	0	0	0	1
42	43	0.3719	0.5058	0	14.06	0	0	0	0	1
43	44	0.0927	0.1261	0	14.06	0	0	0	0	1
44	45	0.0556	0.0756	0	14.06	0	0	0	0	1
45	46	0.0148	0.0281	0	17.83	0	0	0	0	1
46	47	0.0351	0.0668	0	17.83	0	0	0	0	1
47	48	0.0422	0.0803	0	17.83	0	0	0	0	1
48	49	0.0560	0.1067	0	17.83	0	0	0	0	1
49	50	0.3932	0.7484	0	17.83	0	0	0	0	1
50	51	0.0260	0.0496	0	17.83	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ B (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
51	52	0.0206	0.0215	0	11.66	0	0	0	0	1
52	53	0.3227	0.6143	0	17.83	0	0	0	0	1
53	54	0.2117	0.4030	0	17.83	0	0	0	0	1
54	55	0.4415	0.8403	0	17.83	0	0	0	0	1
55	56	0.1178	0.2243	0	17.83	0	0	0	0	1
56	57	0.0016	0.0030	0	17.83	0	0	0	0	1
57	58	0.0255	0.0485	0	17.83	0	0	0	0	1
58	59	0.0505	0.0962	0	17.83	0	0	0	0	1
59	60	0.0549	0.1045	0	17.83	0	0	0	0	1
60	61	0.2209	0.4205	0	17.83	0	0	0	0	1
61	62	0.0597	0.1137	0	17.83	0	0	0	0	1
62	63	0.3245	0.6177	0	17.83	0	0	0	0	1
63	64	0.0808	0.1537	0	17.83	0	0	0	0	1
64	65	0.1021	0.1943	0	17.83	0	0	0	0	1
65	66	0.1807	0.3439	0	17.83	0	0	0	0	1
66	67	0.0133	0.0253	0	17.83	0	0	0	0	1
67	68	0.0573	0.1091	0	17.83	0	0	0	0	1
68	69	0.0599	0.1140	0	17.83	0	0	0	0	1
69	70	0.0102	0.0194	0	17.83	0	0	0	0	1
70	71	0.0468	0.0892	0	17.83	0	0	0	0	1
71	72	0.0548	0.1044	0	17.83	0	0	0	0	1
72	73	0.0142	0.0271	0	17.83	0	0	0	0	1
73	74	0.1586	0.3018	0	17.83	0	0	0	0	1
74	75	0.1672	0.3183	0	17.83	0	0	0	0	1
75	76	0.0851	0.1619	0	17.83	0	0	0	0	1
76	77	0.0625	0.1189	0	17.83	0	0	0	0	1
77	78	0.1924	0.2519	0	13.37	0	0	0	0	1
78	79	0.5760	0.7538	0	13.37	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลกึ่งระบบทดสอบรูปแบบ B (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
79	80	0.0188	0.0246	0	13.37	0	0	0	0	1
80	81	0.7260	0.9502	0	13.37	0	0	0	0	1
81	82	0.1251	0.1638	0	13.37	0	0	0	0	1
82	83	0.3967	0.5192	0	13.37	0	0	0	0	1
83	84	0.0935	0.1224	0	13.37	0	0	0	0	1
84	85	0.0783	0.1025	0	13.37	0	0	0	0	1

ก.4 ข้อมูลระบบทดสอบรูปแบบ C (1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ)

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลบัสระบบทดสอบรูปแบบ C

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
1	3	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
2	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
3	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
4	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
5	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
6	1	0.6104	0.1867	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
7	1	0.6976	0.2133	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
8	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
9	1	1.1540	0.4537	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
10	1	0.0513	0.0202	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
11	1	0.2564	0.1008	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
12	1	1.0258	0.4033	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ C

bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	40	19	25	-25	1.05	100	1	50	0

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลกึ่งระบบทดสอบรูปแบบ C

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
1	2	0.0000	0.0007	0	17.83	0	0	0	0	1
2	3	0.1089	0.2073	0	17.83	0	0	0	0	1
3	4	0.2592	0.4934	0	17.83	0	0	0	0	1
4	6	0.0058	0.0111	0	17.83	0	0	0	0	1
6	7	0.0000	0.0000	0	25	0	0	0	0	1
4	5	0.1383	0.2633	0	17.83	0	0	0	0	1
5	8	0.1601	0.3047	0	17.83	0	0	0	0	1
8	9	0.0131	0.0249	0	17.83	0	0	0	0	1
8	10	0.0207	0.0394	0	17.83	0	0	0	0	1
10	11	0.0073	0.0138	0	17.83	0	0	0	0	1
11	12	0.0123	0.0235	0	17.83	0	0	0	0	1
12	7	0.1053	0.2004	0	17.83	0	0	0	0	1

ก.5 ข้อมูลระบบทดสอบรูปแบบ D (3 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ)

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลบัสระบบทดสอบรูปแบบ D

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
1	3	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
2	1	0.1798	0.1241	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
3	1	0.2354	0.1624	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
4	1	0.0554	0.0382	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
5	1	0.0396	0.0273	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
6	1	0.1046	0.0722	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
7	1	0.0340	0.0234	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
8	1	0.2652	0.1830	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
9	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
10	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
11	1	0.0289	0.0199	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
12	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
13	1	0.0158	0.0109	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
14	1	0.0444	0.0306	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
15	1	0.0396	0.0273	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
16	1	0.0171	0.0118	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
17	1	0.0050	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
18	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
19	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
20	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
21	1	0.0340	0.0234	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
22	1	0.0059	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
23	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
24	1	0.0059	0.0041	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
25	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
26	1	0.0444	0.0306	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
27	1	1.4677	1.0127	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
28	1	0.0000	-0.600	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
29	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
30	1	0.0444	0.0306	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
31	1	0.0085	0.0059	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
32	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
33	1	0.0289	0.0199	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
34	1	0.1894	0.1307	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
35	1	0.0644	0.0444	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
36	1	0.0289	0.0199	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
37	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
38	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
39	1	0.0510	0.0352	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
40	1	0.0000	-1.500	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
41	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
42	1	0.0158	0.0109	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
43	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
44	1	0.0085	0.0059	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
45	1	0.0920	0.0635	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
46	1	0.0073	0.0051	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
47	1	0.0021	0.0015	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
48	1	0.3297	0.2275	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
49	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
50	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
51	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
52	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
53	1	0.0025	0.0017	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
54	1	0.0085	0.0059	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
55	1	0.0000	-1.500	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
56	1	0.0517	0.0357	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
57	1	0.0907	0.0626	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
58	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
59	1	0.0396	0.0273	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
60	1	0.0532	0.0367	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
61	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
62	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
63	1	0.0396	0.0273	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
64	1	0.0136	0.0094	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
65	1	0.0248	0.0171	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
66	1	0.0289	0.0199	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
67	1	0.0050	0.0035	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
68	1	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
69	1	0.2886	0.1991	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
70	1	0.2494	0.1721	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลับระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

bus_i	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax	Vmin
71	1	0.2932	0.2023	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
72	1	0.7132	-1.008	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
73	1	0.6217	0.1290	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
74	1	0.6592	0.4549	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
75	1	0.4059	0.2800	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
76	1	0.3320	0.2290	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
77	1	0.6756	0.4662	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
78	1	0.3495	0.2412	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
79	1	0.0997	0.0688	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
80	4	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
81	1	0.1838	0.1268	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
82	1	0.0295	0.0203	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
83	1	0.0780	0.0538	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
84	1	0.4041	0.2788	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
85	1	0.4395	0.3033	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
86	1	0.4750	0.3277	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
87	1	0.1311	0.0905	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
88	1	0.3332	0.2299	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
89	1	0.0922	0.0636	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
90	1	0.4891	-0.263	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
91	1	0.0780	0.0538	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
92	1	0.5175	0.3571	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
93	1	0.0213	0.0147	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
94	1	0.1506	0.1039	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
95	1	0.4502	0.3106	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
96	1	0.0106	0.0073	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
97	1	0.0177	0.0122	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
98	1	0.3119	0.2152	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95
99	4	0.0000	0.0000	0	0	1	1.02	0	22	1	1.05	0.95

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลแหล่งจ่ายระบบทดสอบรูปแบบ D

bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	35	16.45	25	-25	1.05	100	1	50	-50
80	35	16.45	25	-25	1.05	100	1	50	-50
99	35	16.45	25	-25	1.05	100	1	50	-50

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลกึ่งระบบทดสอบรูปแบบ D

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
1	2	0.2811	0.5350	0	17.83	0	0	0	0	1
2	3	0.3107	0.5914	0	17.83	0	0	0	0	1
3	4	0.2724	0.5185	0	14.58	0	0	0	0	1
4	5	0.1090	0.2075	0	14.58	0	0	0	0	1
5	6	0.0385	0.0732	0	14.58	0	0	0	0	1
6	7	0.0484	0.0922	0	14.58	0	0	0	0	1
8	9	0.0144	0.0273	0	14.58	0	0	0	0	1
7	8	0.0896	0.1705	0	14.58	0	0	0	0	1
10	11	0.0271	0.0516	0	14.58	0	0	0	0	1
9	10	0.0841	0.1601	0	14.58	0	0	0	0	1
11	12	0.0668	0.1272	0	14.58	0	0	0	0	1
12	13	0.0408	0.0776	0	14.58	0	0	0	0	1
13	14	0.0316	0.0601	0	14.58	0	0	0	0	1
15	16	0.0282	0.0536	0	14.58	0	0	0	0	1
14	15	0.0568	0.1081	0	14.58	0	0	0	0	1
16	17	0.0690	0.1313	0	14.58	0	0	0	0	1
17	18	0.1087	0.2068	0	14.58	0	0	0	0	1
18	19	0.0031	0.0060	0	14.58	0	0	0	0	1
19	20	0.1004	0.1912	0	14.58	0	0	0	0	1
20	21	0.0539	0.1025	0	14.58	0	0	0	0	1
21	22	0.1352	0.2573	0	14.58	0	0	0	0	1
22	23	0.0418	0.0795	0	14.58	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
23	24	0.0359	0.0683	0	14.58	0	0	0	0	1
24	25	0.0794	0.1511	0	14.58	0	0	0	0	1
25	26	0.0037	0.0071	0	14.58	0	0	0	0	1
26	27	0.0118	0.0160	0	14.06	0	0	0	0	1
27	28	0.0002	0.0003	0	14.58	0	0	0	0	1
28	29	0.1176	0.2239	0	14.58	0	0	0	0	1
29	30	0.0179	0.0340	0	14.58	0	0	0	0	1
30	31	0.0784	0.1491	0	14.58	0	0	0	0	1
31	32	0.0304	0.0579	0	14.58	0	0	0	0	1
32	33	0.2599	0.4947	0	14.58	0	0	0	0	1
33	34	0.0175	0.0333	0	14.58	0	0	0	0	1
34	35	0.0548	0.1043	0	14.58	0	0	0	0	1
35	36	0.0231	0.0439	0	14.58	0	0	0	0	1
36	37	0.0139	0.0264	0	14.58	0	0	0	0	1
37	38	0.0126	0.0240	0	14.58	0	0	0	0	1
39	40	0.0418	0.0795	0	14.58	0	0	0	0	1
38	39	0.1698	0.3231	0	14.58	0	0	0	0	1
40	41	0.0664	0.1265	0	14.58	0	0	0	0	1
41	42	0.0264	0.0503	0	14.58	0	0	0	0	1
42	43	0.0370	0.0704	0	14.58	0	0	0	0	1
44	45	0.0965	0.1837	0	14.58	0	0	0	0	1
43	44	0.0698	0.1329	0	14.58	0	0	0	0	1
45	46	0.0525	0.0999	0	14.58	0	0	0	0	1
46	47	0.0270	0.0513	0	14.58	0	0	0	0	1
48	49	0.0226	0.0430	0	14.58	0	0	0	0	1
47	48	0.0302	0.0574	0	14.58	0	0	0	0	1
49	50	0.0069	0.0130	0	14.58	0	0	0	0	1
50	51	0.0562	0.1070	0	14.58	0	0	0	0	1
51	52	0.0395	0.0752	0	14.58	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
52	53	0.3396	0.6463	0	14.58	0	0	0	0	1
53	54	0.0794	0.1511	0	14.58	0	0	0	0	1
54	55	0.0280	0.0532	0	14.58	0	0	0	0	1
56	57	0.0101	0.0192	0	14.58	0	0	0	0	1
55	56	0.0247	0.0471	0	14.58	0	0	0	0	1
57	58	0.0288	0.0549	0	14.58	0	0	0	0	1
58	59	0.0436	0.0829	0	14.58	0	0	0	0	1
59	60	0.0325	0.0619	0	14.58	0	0	0	0	1
60	61	0.1056	0.2011	0	14.58	0	0	0	0	1
61	62	0.0062	0.0117	0	14.58	0	0	0	0	1
62	63	0.0474	0.0903	0	14.58	0	0	0	0	1
63	64	0.0312	0.0595	0	14.58	0	0	0	0	1
64	65	0.0153	0.0291	0	14.58	0	0	0	0	1
66	67	0.0063	0.0121	0	14.58	0	0	0	0	1
65	66	0.0775	0.1476	0	14.58	0	0	0	0	1
67	68	0.0103	0.0197	0	14.58	0	0	0	0	1
68	69	0.0759	0.1444	0	14.58	0	0	0	0	1
68	81	0.1400	0.1465	0	11.66	0	0	0	0	1
69	70	0.0672	0.1278	0	14.58	0	0	0	0	1
70	71	0.1013	0.1928	0	14.58	0	0	0	0	0
71	72	0.0958	0.1824	0	14.58	0	0	0	0	1
72	73	0.0425	0.0578	0	14.58	0	0	0	0	1
73	74	0.0947	0.1288	0	14.58	0	0	0	0	1
74	75	0.1041	0.1415	0	14.58	0	0	0	0	1
75	76	0.1126	0.1532	0	14.58	0	0	0	0	1
76	77	0.0929	0.1263	0	14.58	0	0	0	0	1
77	78	0.0545	0.0741	0	14.58	0	0	0	0	1
78	79	0.0664	0.0903	0	14.58	0	0	0	0	1
79	80	0.2323	0.3160	0	14.58	0	0	0	0	1

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลถึงระบบทดสอบรูปแบบ D (ต่อ)

fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status
81	82	0.1654	0.1731	0	11.66	0	0	0	0	1
82	83	0.1098	0.1149	0	11.66	0	0	0	0	0
83	84	0.1717	0.1797	0	11.66	0	0	0	0	1
84	85	0.1042	0.1090	0	11.66	0	0	0	0	1
85	86	0.2970	0.3108	0	11.66	0	0	0	0	1
86	87	0.1372	0.1436	0	11.66	0	0	0	0	1
87	88	0.1548	0.1620	0	11.66	0	0	0	0	1
88	89	0.2934	0.3071	0	11.66	0	0	0	0	1
89	90	0.1091	0.1141	0	11.66	0	0	0	0	1
90	91	0.1879	0.1966	0	11.66	0	0	0	0	1
91	92	0.1647	0.1723	0	11.66	0	0	0	0	1
92	93	0.1100	0.2094	0	11.66	0	0	0	0	1
93	94	0.0951	0.1810	0	11.66	0	0	0	0	1
94	95	0.0490	0.0933	0	11.66	0	0	0	0	1
95	96	0.0519	0.0988	0	11.66	0	0	0	0	1
96	97	0.0599	0.1140	0	11.66	0	0	0	0	1
97	98	0.0701	0.1334	0	11.66	0	0	0	0	1
98	99	0.0566	0.1078	0	11.66	0	0	0	0	1

หมายเหตุ

ข้อมูลโหลดบัส และอิมพีแดนซ์สายที่ผู้นิพนธ์ใช้คำนวณ เป็นทศนิยม 6 ตำแหน่ง

ภาคผนวก ข
ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ข.1 ผลการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยโปรแกรม Matpower 3.2 ของระบบทดสอบ A

ตารางที่ ข.1 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงรอบ

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	1.45	0.71	-	-
2	1.048	-0.057	-	-	0.07	0.04
3	1.047	-0.072	-	-	0.01	0
4	1.047	-0.090	-	-	0.01	0
5	1.046	-0.111	-	-	0.04	0.02
6	1.046	-0.115	-	-	0.03	0.01
7	1.045	-0.136	-	-	0.39	0.19
8	1.045	-0.149	-	-	0.03	0.01
9	1.045	-0.155	-	-	0.02	0.01
10	1.044	-0.166	-	-	0.03	0.01
11	1.044	-0.171	-	-	0.03	0.02
12	1.044	-0.174	-	-	0.03	0.01
13	1.043	-0.185	-	-	0.07	0.04
14	1.043	-0.201	-	-	0.01	0
15	1.043	-0.205	-	-	0.53	0.26
16	1.043	-0.211	-	-	0.01	0
17	1.042	-0.213	-	-	0.01	0
18	1.042	-0.216	-	-	0.02	0.01
19	1.042	-0.22	-	-	0.02	0.01
20	1.042	-0.223	-	-	0.32	0.15
21	1.043	-0.206	-	-	0.02	0.01
22	1.043	-0.205	-	-	0	0

ตารางที่ ข.1 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
23	1.043	-0.190	-	-	0.01	0
24	1.043	-0.184	-	-	0.01	0
25	1.044	-0.180	-	-	0.16	0.08
26	1.044	-0.174	-	-	0.01	0.01
27	1.044	-0.158	-	-	0.01	0
28	1.045	-0.130	-	-	0.01	0.01
29	1.046	-0.123	-	-	0.01	0
30	1.046	-0.114	-	-	0.03	0.01
31	1.047	-0.089	-	-	0.03	0.01
32	1.048	-0.047	-	-	-	-
33	1.049	-0.028	-	-	0.04	0.02
34	1.049	-0.016	-	-	0.06	0.03
35	1.050	0	20	0.29	-	-
รวม			21.45	1	2.04	0.99

ตารางที่ ข.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงรอบ

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	1.45	0.71	-1.45	-0.71	0.0020648	0.0028083
2	2	3	1.38	0.67	-1.38	-0.67	0.0005017	0.0006826
3	3	4	1.37	0.67	-1.37	-0.67	0.0005986	0.0008141
4	4	5	1.36	0.66	-1.36	-0.66	0.0007164	0.0009743
5	5	6	1.32	0.64	-1.32	-0.64	0.0001323	0.0001799
6	6	7	1.29	0.63	-1.29	-0.63	0.000671	0.0009124

ตารางที่ ข.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
7	7	8	0.91	0.44	-0.91	-0.44	0.0002961	0.0004028
8	8	9	0.88	0.43	-0.88	-0.43	0.0001315	0.0001789
9	9	10	0.86	0.42	-0.86	-0.42	0.0002290	0.0003113
10	10	11	0.83	0.41	-0.83	-0.41	0.0001175	0.0001538
11	11	12	0.80	0.39	-0.8	-0.39	0.0000641	0.0000840
12	12	13	0.77	0.38	-0.77	-0.38	0.0002292	0.0002999
13	13	14	0.70	0.34	-0.7	-0.34	0.00029340	0.0003840
14	14	15	0.69	0.34	-0.69	-0.34	0.0000664	0.0000869
15	15	16	0.16	0.08	-0.16	-0.08	0.0000252	0.0000330
16	16	17	0.16	0.08	-0.16	-0.08	0.0000101	0.0000132
17	17	18	0.15	0.07	-0.15	-0.07	0.0000117	0.0000154
18	18	19	0.13	0.07	-0.13	-0.07	0.0000131	0.0000172
19	19	20	0.12	0.06	-0.12	-0.06	0.0000101	0.0000132
20	20	21	-0.20	-0.09	0.2	0.09	0.0000854	0.0001117
21	21	22	-0.22	-0.10	0.22	0.10	0.0000061	0.0000080
22	22	23	-0.22	-0.10	0.22	0.10	0.0000802	0.0001050
23	23	24	-0.23	-0.11	0.23	0.11	0.0000382	0.0000500
24	24	25	-0.23	-0.11	0.23	0.11	0.0000198	0.0000259
25	25	26	-0.40	-0.19	0.4	0.19	0.0000611	0.0000799
26	26	27	-0.41	-0.19	0.41	0.20	0.0001675	0.0002192
27	27	28	-0.42	-0.20	0.42	0.20	0.0003007	0.0003935
28	28	29	-0.43	-0.21	0.43	0.21	0.0000788	0.0001031
29	29	30	-0.44	-0.21	0.44	0.21	0.0001042	0.0001363

ตารางที่ ข.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
30	30	31	-0.46	-0.22	0.46	0.22	0.0003055	0.0003998
31	31	32	-0.49	-0.24	0.49	0.24	0.0005316	0.0006957
32	32	33	-0.49	-0.24	0.49	0.24	0.0002207	0.0003002
33	33	34	-0.53	-0.26	0.53	0.26	0.0001617	0.0002198
34	34	35	-0.60	-0.29	0.60	0.29	0.0002346	0.0003191
รวม							0.0085781	0.0115325

ตารางที่ ข.3 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	1.33	0.65	-	-
2	1.048	-0.053	-	-	0.07	0.04
3	1.048	-0.066	-	-	0.01	0
4	1.047	-0.082	-	-	0.01	0
5	1.046	-0.102	-	-	0.04	0.02
6	1.046	-0.106	-	-	0.03	0.01
7	1.046	-0.125	-	-	0.39	0.19
8	1.045	-0.136	-	-	0.03	0.01
9	1.045	-0.141	-	-	0.02	0.01
10	1.045	-0.151	-	-	0.03	0.01
11	1.045	-0.155	-	-	0.03	0.02
12	1.045	-0.158	-	-	0.03	0.01
13	1.044	-0.167	-	-	0.07	0.04
14	1.044	-0.181	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.3 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
15	1.044	-0.184	-	-	0.53	0.26
16	1.044	-0.185	-	-	0.01	0
17	1.043	-0.186	-	-	0.01	0
18	1.043	-0.187	-	-	0.02	0.01
19	1.043	-0.187	-	-	0.02	0.01
20	1.040	-0.289	-	-	0.32	0.15
21	1.041	-0.262	-	-	0.02	0.01
22	1.041	-0.261	-	-	0	0
23	1.041	-0.239	-	-	0.01	0
24	1.042	-0.229	-	-	0.01	0
25	1.042	-0.224	-	-	0.16	0.08
26	1.042	-0.217	-	-	0.01	0.01
27	1.043	-0.196	-	-	0.01	0
28	1.044	-0.161	-	-	0.01	0.01
29	1.045	-0.152	-	-	0.01	0
30	1.045	-0.140	-	-	0.03	0.01
31	1.046	-0.108	-	-	0.03	0.01
32	1.048	-0.057	-	-	-	-
33	1.049	-0.034	-	-	0.04	0.02
34	1.049	-0.019	-	-	0.06	0.03
35	1.050	0	20	0.35	-	-
	รวม		21.33	1	2.04	0.99

ตารางที่ ข.4 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	1.33	0.65	-1.33	-0.65	0.0017379	0.0023637
2	2	3	1.26	0.61	-1.26	-0.61	0.0004183	0.0005691
3	3	4	1.25	0.61	-1.25	-0.61	0.0004985	0.0006780
4	4	5	1.24	0.60	-1.24	-0.6	0.0005960	0.0008105
5	5	6	1.20	0.58	-1.20	-0.58	0.0001094	0.0001488
6	6	7	1.18	0.57	-1.18	-0.57	0.0005529	0.0007518
7	7	8	0.79	0.38	-0.79	-0.38	0.0002235	0.0003040
8	8	9	0.76	0.37	-0.76	-0.37	0.0000984	0.0001338
9	9	10	0.74	0.36	-0.74	-0.36	0.0001700	0.0002312
10	10	11	0.72	0.35	-0.72	-0.35	0.0000864	0.0001131
11	11	12	0.68	0.33	-0.68	-0.33	0.0000465	0.0000609
12	12	13	0.66	0.32	-0.66	-0.32	0.0001642	0.0002150
13	13	14	0.58	0.28	-0.58	-0.28	0.0002025	0.0002651
14	14	15	0.58	0.28	-0.58	-0.28	0.0000456	0.0000597
15	15	16	0.04	0.02	-0.04	-0.02	0.0000018	0.0000024
16	16	17	0.04	0.02	-0.04	-0.02	0.0000006	0.0000008
17	17	18	0.03	0.02	-0.03	-0.02	0.0000005	0.0000007
18	18	19	0.02	0.01	-0.02	-0.01	0.0000002	0.0000002
19	19	20	0	0	0	0	0	0
20	20	21	-0.32	-0.15	0.32	0.15	0.0002197	0.0002875
21	21	22	-0.33	-0.16	0.33	0.16	0.0000147	0.0000192
22	22	23	-0.34	-0.16	0.34	0.16	0.0001919	0.0002512
23	23	24	-0.34	-0.17	0.34	0.17	0.0000893	0.0001169
24	24	25	-0.35	-0.17	0.35	0.17	0.0000451	0.0000591

ตารางที่ ข.4 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ A หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
25	25	26	-0.51	-0.25	0.51	0.25	0.0001038	0.0001358
26	26	27	-0.53	-0.26	0.53	0.26	0.0002804	0.0003670
27	27	28	-0.53	-0.26	0.53	0.26	0.0004991	0.0006532
28	28	29	-0.55	-0.27	0.55	0.27	0.0001290	0.0001689
29	29	30	-0.56	-0.27	0.56	0.27	0.0001693	0.0002215
30	30	31	-0.58	-0.28	0.58	0.28	0.0004846	0.0006342
31	31	32	-0.61	-0.30	0.61	0.30	0.0008251	0.0010798
32	32	33	-0.61	-0.30	0.61	0.30	0.0003425	0.0004659
33	33	34	-0.65	-0.32	0.65	0.32	0.0002432	0.0003308
34	34	35	-0.72	-0.35	0.72	0.35	0.0003390	0.0004610
รวม							0.0089301	0.0119608

ข.2 ผลการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยโปรแกรม Matpower 3.2 ของระบบทดสอบ B

ตารางที่ ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.05	0	2.28	0.13	-	-
2	1.05	-0.004	-	-	-	-
3	1.046	-0.393	-	-	0.01	0
4	1.039	-1.003	-	-	0.01	0
5	1.037	-1.195	-	-	0.01	0
6	1.036	-1.275	-	-	0.01	0
7	1.036	-1.313	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
8	1.036	-1.347	-	-	0	0
9	1.028	-2.098	-	-	0.01	0
10	1.021	-2.835	-	-	0.04	0.02
11	1.021	-2.898	-	-	0.02	0.01
12	1.02	-2.945	-	-	0.02	0.01
13	1.019	-3.047	-	-	0.02	0.01
14	1.019	-3.067	-	-	0.01	0
15	1.019	-3.083	-	-	0.03	0.01
16	1.018	-3.163	-	-	0.05	0.02
17	1.017	-3.268	-	-	0.21	0.1
18	1.016	-3.292	-	-	0.05	0.02
19	0.996	-4.397	-	-	1.13	0.54
20	1.017	-3.369	-	-	0	0
21	1.017	-3.420	-	-	-	-
22	1.017	-3.431	-	-	0.04	0.02
23	1.017	-3.445	-	-	0.01	0
24	1.015	-3.618	-	-	0.02	0.01
25	1.014	-3.764	-	-	0.04	0.02
26	1.014	-3.850	-	-	0.01	0
27	1.013	-3.878	-	-	0.06	0.03
28	1.013	-3.888	-	-	0.01	0
29	1.012	-4.198	-	-	0.07	0.03
30	1.012	-4.243	-	-	0.01	0
31	1.012	-4.285	-	-	0	-0.6

ตารางที่ ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
32	1.01	-4.304	-	-	0.01	0.01
33	1.005	-4.350	-	-	0.07	0.03
34	1.003	-4.362	-	-	0.01	0
35	1.002	-4.371	-	-	0.01	0.01
36	0.996	-4.397	-	-	0.01	0
37	1.017	-3.435	-	-	0.05	0.02
38	1.017	-3.454	-	-	0.01	0.01
39	1.017	-3.465	-	-	0.04	0.02
40	1.019	-3.532	-	-	0.01	0
41	1.021	-3.602	-	-	0.02	0.01
42	1.023	-3.704	-	-	0.04	0.02
43	1.026	-3.804	-	-	0.01	0
44	1.026	-3.829	-	-	0.05	0.02
45	1.027	-3.842	-	-	0.05	0.02
46	1.027	-3.845	-	-	0.01	0
47	1.027	-3.851	-	-	0.01	0
48	1.028	-3.858	-	-	0	0
49	1.028	-3.868	-	-	0.04	0.02
50	1.033	-3.921	-	-	0.03	0.01
51	1.033	-3.924	-	-	0.04	0.02
52	1.034	-3.928	-	-	0.01	0
53	1.038	-3.953	-	-	0	-1.2
54	1.036	-3.833	-	-	0.03	0.01
55	1.033	-3.574	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
56	1.032	-3.504	-	-	0.08	0.04
57	1.032	-3.503	-	-	0.05	0.02
58	1.032	-3.485	-	-	0.04	0.02
59	1.031	-3.448	-	-	0.04	0.02
60	1.031	-3.406	-	-	0.01	0
61	1.03	-3.237	-	-	0.01	0
62	1.03	-3.191	-	-	0.01	0
63	1.029	-2.937	-	-	0.07	0.03
64	1.029	-2.870	-	-	0.05	0.02
65	1.029	-2.781	-	-	0.05	0.02
66	1.029	-2.616	-	-	0.08	0.04
67	1.029	-2.603	-	-	0.03	0.01
68	1.029	-2.546	-	-	0.01	0
69	1.029	-2.486	-	-	0.01	0.01
70	1.029	-2.476	-	-	0.01	0
71	1.029	-2.429	-	-	0.01	0
72	1.029	-2.373	-	-	0.01	0.01
73	1.029	-2.358	-	-	0.01	0.01
74	1.03	-2.193	-	-	0.03	0.01
75	1.03	-2.016	-	-	0.03	0.01
76	1.031	-1.924	-	-	0.04	0.02
77	1.031	-1.855	-	-	0.02	0.01
78	1.032	-1.699	-	-	0.01	0
79	1.036	-1.233	-	-	0.03	0.01

ตารางที่ ข.5 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
80	1.037	-1.218	-	-	0.09	0.04
81	1.043	-0.598	-	-	0.04	0.02
82	1.044	-0.490	-	-	0.01	0
83	1.048	-0.148	-	-	0.01	0
84	1.049	-0.068	-	-	0.01	0
85	1.05	0	35	-0.1	-	-
รวม			37.28	0.03	3.33	-0.2

ตารางที่ ข.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	2.28	0.13	-2.28	-0.13	0.0000090	0
2	2	3	2.28	0.13	-2.27	-0.11	0.0083617	0.02
3	3	4	2.26	0.11	-2.25	-0.09	0.0129163	0.02
4	4	5	2.24	0.08	-2.23	-0.07	0.0040104	0.01
5	5	6	2.23	0.07	-2.23	-0.07	0.0016535	0
6	6	7	2.22	0.06	-2.22	-0.06	0.0007811	0
7	7	8	2.21	0.06	-2.21	-0.06	0.0007159	0
8	8	9	2.21	0.06	-2.19	-0.03	0.0152963	0.03
9	9	10	2.18	0.02	-2.17	0	0.0147259	0.03
10	10	11	2.13	-0.02	-2.13	0.03	0.0012258	0
11	11	12	2.10	-0.04	-2.10	0.04	0.0008984	0
12	12	13	2.08	-0.05	-2.07	0.05	0.0019128	0
13	13	14	2.05	-0.07	-2.05	0.07	0.0005341	0

ตารางที่ ข.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
14	14	15	2.04	-0.07	-2.04	0.07	0.0004077	0
15	15	16	2.01	-0.09	-2.01	0.09	0.0020051	0
16	16	17	1.96	-0.11	-1.96	0.12	0.0025274	0
17	17	18	0.95	0.19	-0.95	-0.19	0.0002475	0
18	17	20	0.80	-0.41	-0.80	0.41	0.0007388	0
19	18	19	0.89	0.16	-0.88	-0.14	0.0148386	0.02
20	19	36	-0.25	-0.4	0.25	0.40	0.0000000	0
21	20	21	0.80	-0.41	-0.80	0.41	0.0003665	0
22	21	37	0.18	-0.4	-0.18	0.40	0.0000779	0
23	21	22	0.62	-0.01	-0.62	0.01	0.0000609	0
24	22	23	0.58	-0.03	-0.58	0.03	0.0000743	0
25	23	24	0.57	-0.04	-0.57	0.04	0.0008855	0
26	24	25	0.56	-0.04	-0.56	0.05	0.0007193	0
27	25	26	0.51	-0.07	-0.51	0.07	0.0003833	0
28	26	27	0.50	-0.07	-0.50	0.07	0.0001230	0
29	27	28	0.45	-0.10	-0.45	0.10	0.0000402	0
30	28	29	0.44	-0.10	-0.44	0.10	0.0011720	0
31	29	30	0.37	-0.14	-0.37	0.14	0.0001430	0
32	30	31	0.36	-0.14	-0.36	0.14	0.0001329	0
33	31	32	0.36	0.46	-0.36	-0.46	0.0004919	0
34	32	33	0.35	0.45	-0.35	-0.45	0.0012407	0
35	33	34	0.28	0.42	-0.28	-0.41	0.0004288	0
36	34	35	0.27	0.41	-0.27	-0.41	0.0003887	0
37	35	36	0.26	0.40	-0.26	-0.40	0.0012179	0

ตารางที่ ข.6 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
38	37	38	0.12	-0.42	-0.12	0.42	0.0001108	0
39	38	39	0.11	-0.43	-0.11	0.43	0.0000664	0
40	39	40	0.07	-0.45	-0.07	0.45	0.0004078	0
41	40	41	0.07	-0.45	-0.07	0.45	0.0004455	0
42	41	42	0.05	-0.46	-0.05	0.46	0.0006878	0
43	42	43	0.01	-0.48	-0.01	0.48	0.0008171	0
44	43	44	0	-0.48	0	0.48	0.0002066	0
45	44	45	-0.05	-0.51	0.05	0.51	0.0001383	0
46	45	46	-0.10	-0.53	0.10	0.53	0.0000415	0
47	46	47	-0.11	-0.54	0.11	0.54	0.0001005	0
48	47	48	-0.12	-0.54	0.12	0.54	0.0001231	0
49	48	49	-0.12	-0.54	0.12	0.54	0.0001644	0
50	49	50	-0.17	-0.56	0.17	0.57	0.0012881	0
51	50	51	-0.19	-0.58	0.19	0.58	0.0000913	0
52	51	52	-0.23	-0.60	0.23	0.60	0.0000797	0
53	52	53	-0.24	-0.60	0.24	0.61	0.0012773	0
54	53	54	-0.24	0.59	0.24	-0.59	0.0008091	0
55	54	55	-0.27	0.58	0.27	-0.58	0.0016815	0
56	55	56	-0.28	0.57	0.28	-0.57	0.0004489	0
57	56	57	-0.36	0.53	0.36	-0.53	0.0000061	0
58	57	58	-0.41	0.51	0.41	-0.51	0.0001024	0
59	58	59	-0.46	0.49	0.46	-0.49	0.0002113	0
60	59	60	-0.50	0.47	0.50	-0.47	0.0002395	0
61	60	61	-0.50	0.46	0.50	-0.46	0.0009740	0

ตารางที่ ข.7 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)
1	1.05	0	2.1	0.53	-	-
2	1.05	-0.004	-	-	-	-
3	1.045	-0.326	-	-	0.01	0
4	1.037	-0.833	-	-	0.01	0
5	1.034	-0.992	-	-	0.01	0
6	1.033	-1.058	-	-	0.01	0
7	1.033	-1.089	-	-	0.01	0
8	1.032	-1.118	-	-	0	0
9	1.023	-1.743	-	-	0.01	0
10	1.014	-2.358	-	-	0.04	0.02
11	1.013	-2.411	-	-	0.02	0.01
12	1.012	-2.450	-	-	0.02	0.01
13	1.011	-2.535	-	-	0.02	0.01
14	1.011	-2.551	-	-	0.01	0
15	1.011	-2.564	-	-	0.03	0.01
16	1.01	-2.627	-	-	0.05	0.02
17	1.008	-2.709	-	-	0.21	0.10
18	1.007	-2.735	-	-	0.05	0.02
19	0.972	-3.813	-	-	1.13	0.54
20	1.008	-2.769	-	-	0	0
21	1.009	-2.799	-	-	-	-
22	1.009	-2.809	-	-	0.04	0.02
23	1.009	-2.823	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.7 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	1.01	-2.987	-	-	0.02	0.01
25	1.012	-3.124	-	-	0.04	0.02
26	1.012	-3.204	-	-	0.01	0
27	1.013	-3.23	-	-	0.06	0.03
28	1.013	-3.239	-	-	0.01	0
29	1.017	-3.523	-	-	0.07	0.03
30	1.018	-3.563	-	-	0.01	0
31	1.019	-3.601	-	-	0	-0.60
32	1.019	-3.613	-	-	0.01	0.01
33	1.018	-3.643	-	-	0.07	0.03
34	1.018	-3.647	-	-	0.01	0
35	1.018	-3.649	-	-	0.01	0.01
36	1.018	-3.653	-	-	0.01	0
37	1.049	-5.962	-	-	0.05	0.02
38	1.049	-5.961	-	-	0.01	0.01
39	1.049	-5.960	-	-	0.04	0.02
40	1.049	-5.944	-	-	0.01	0
41	1.05	-5.926	-	-	0.02	0.01
42	1.05	-5.894	-	-	0.04	0.02
43	1.051	-5.866	-	-	0.01	0
44	1.052	-5.859	-	-	0.05	0.02
45	1.052	-5.853	-	-	0.05	0.02
46	1.052	-5.850	-	-	0.01	0
47	1.052	-5.843	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.7 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
48	1.052	-5.834	-	-	0	0
49	1.053	-5.822	-	-	0.04	0.02
50	1.055	-5.724	-	-	0.03	0.01
51	1.055	-5.717	-	-	0.04	0.02
52	1.055	-5.715	-	-	0.01	0
53	1.058	-5.617	-	-	0	-1.20
54	1.055	-5.423	-	-	0.03	0.01
55	1.049	-5.004	-	-	0.01	0
56	1.047	-4.891	-	-	0.08	0.04
57	1.047	-4.89	-	-	0.05	0.02
58	1.047	-4.863	-	-	0.04	0.02
59	1.046	-4.808	-	-	0.04	0.02
60	1.046	-4.746	-	-	0.01	0
61	1.044	-4.496	-	-	0.01	0
62	1.043	-4.428	-	-	0.01	0
63	1.041	-4.056	-	-	0.07	0.03
64	1.040	-3.958	-	-	0.05	0.02
65	1.039	-3.831	-	-	0.05	0.02
66	1.038	-3.600	-	-	0.08	0.04
67	1.038	-3.582	-	-	0.03	0.01
68	1.038	-3.504	-	-	0.01	0
69	1.038	-3.422	-	-	0.01	0.01
70	1.038	-3.408	-	-	0.01	0
71	1.038	-3.343	-	-	0.01	0

ตารางที่ ข.7 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
72	1.038	-3.266	-	-	0.01	0.01
73	1.038	-3.246	-	-	0.01	0.01
74	1.037	-3.022	-	-	0.03	0.01
75	1.037	-2.782	-	-	0.03	0.01
76	1.037	-2.658	-	-	0.04	0.02
77	1.037	-2.565	-	-	0.02	0.01
78	1.038	-2.348	-	-	0.01	0
79	1.040	-1.697	-	-	0.03	0.01
80	1.040	-1.675	-	-	0.09	0.04
81	1.045	-0.822	-	-	0.04	0.02
82	1.046	-0.673	-	-	0.01	0
83	1.049	-0.203	-	-	0.01	0
84	1.049	-0.093	-	-	0.01	0
85	1.050	0	35	-0.45	-	-
รวม			37.1	0.08	3.33	-0.2

ตารางที่ ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	2.10	0.53	-2.10	-0.53	0.0000081	0
2	2	3	2.10	0.53	-2.10	-0.52	0.0075828	0.01
3	3	4	2.09	0.51	-2.08	-0.49	0.0117026	0.02
4	4	5	2.07	0.49	-2.07	-0.48	0.0036306	0.01
5	5	6	2.06	0.48	-2.06	-0.47	0.0014961	0

ตารางที่ ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาคัดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
6	6	7	2.05	0.47	-2.05	-0.47	0.0007061	0
7	7	8	2.04	0.46	-2.04	-0.46	0.0006465	0
8	8	9	2.04	0.46	-2.02	-0.44	0.0138088	0.03
9	9	10	2.02	0.43	-2.00	-0.41	0.0132798	0.03
10	10	11	1.96	0.39	-1.96	-0.38	0.0010995	0
11	11	12	1.94	0.37	-1.94	-0.37	0.0008031	0
12	12	13	1.91	0.36	-1.91	-0.36	0.0017036	0
13	13	14	1.89	0.34	-1.89	-0.34	0.0004738	0
14	14	15	1.88	0.34	-1.88	-0.34	0.0003613	0
15	15	16	1.85	0.33	-1.85	-0.32	0.0017686	0
16	16	17	1.80	0.30	-1.79	-0.30	0.0022093	0
17	17	18	1.21	0.61	-1.21	-0.61	0.0004970	0
18	17	20	0.37	-0.41	-0.37	0.42	0.0002893	0
19	18	19	1.16	0.58	-1.13	-0.54	0.0307529	0.04
20	19	36	0	0	0	0	0.0000000	0
21	20	21	0.37	-0.42	-0.37	0.42	0.0001437	0
22	21	37	0	0	0	0	0.0000000	0
23	21	22	0.37	-0.42	-0.37	0.42	0.0000499	0
24	22	23	0.33	-0.44	-0.33	0.44	0.0000667	0
25	23	24	0.32	-0.44	-0.32	0.44	0.0008066	0
26	24	25	0.31	-0.45	-0.31	0.45	0.0006840	0
27	25	26	0.26	-0.47	-0.26	0.47	0.0004179	0
28	26	27	0.25	-0.48	-0.25	0.48	0.0001380	0
29	27	28	0.20	-0.50	-0.20	0.50	0.0000559	0

ตารางที่ ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
30	28	29	0.19	-0.51	-0.19	0.51	0.0016805	0
31	29	30	0.12	-0.54	-0.12	0.54	0.0002795	0
32	30	31	0.11	-0.55	-0.11	0.55	0.0002693	0
33	31	32	0.11	0.05	-0.11	-0.05	0.0000213	0
34	32	33	0.1	0.05	-0.1	-0.05	0.0000433	0
35	33	34	0.03	0.01	-0.03	-0.01	0.0000016	0
36	34	35	0.02	0.01	-0.02	-0.01	0.0000008	0
37	35	36	0.01	0	-0.01	0	0.0000003	0
38	37	38	-0.05	-0.02	0.05	0.02	0.0000018	0
39	38	39	-0.07	-0.03	0.07	0.03	0.0000017	0
40	39	40	-0.10	-0.05	0.10	0.05	0.0000252	0
41	40	41	-0.11	-0.05	0.11	0.05	0.0000304	0
42	41	42	-0.13	-0.06	0.13	0.06	0.0000598	0
43	42	43	-0.17	-0.08	0.17	0.08	0.0001141	0
44	43	44	-0.17	-0.08	0.17	0.08	0.0000310	0
45	44	45	-0.22	-0.11	0.22	0.11	0.0000313	0
46	45	46	-0.28	-0.13	0.28	0.13	0.0000126	0
47	46	47	-0.28	-0.14	0.28	0.14	0.0000317	0
48	47	48	-0.29	-0.14	0.29	0.14	0.0000401	0
49	48	49	-0.29	-0.14	0.29	0.14	0.0000540	0
50	49	50	-0.34	-0.16	0.34	0.16	0.0005018	0
51	50	51	-0.37	-0.18	0.37	0.18	0.0000387	0
52	51	52	-0.41	-0.20	0.41	0.20	0.0000375	0
53	52	53	-0.41	-0.20	0.41	0.20	0.0006139	0

ตารางที่ ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
54	53	54	-0.41	1	0.42	-0.99	0.0022130	0
55	54	55	-0.45	0.98	0.45	-0.97	0.0046043	0.01
56	55	56	-0.46	0.97	0.46	-0.97	0.0012288	0
57	56	57	-0.54	0.93	0.54	-0.93	0.0000164	0
58	57	58	-0.59	0.90	0.59	-0.90	0.0002702	0
59	58	59	-0.63	0.88	0.63	-0.88	0.0005433	0
60	59	60	-0.67	0.86	0.67	-0.86	0.0005992	0
61	60	61	-0.68	0.86	0.68	-0.85	0.0024214	0
62	61	62	-0.69	0.85	0.69	-0.85	0.0006572	0
63	62	63	-0.7	0.84	0.70	-0.84	0.0035818	0.01
64	63	64	-0.77	0.80	0.77	-0.80	0.0009272	0
65	64	65	-0.83	0.78	0.83	-0.77	0.0012128	0
66	65	66	-0.87	0.75	0.88	-0.75	0.0022225	0
67	66	67	-0.95	0.71	0.95	-0.71	0.0001746	0
68	67	68	-0.98	0.70	0.98	-0.69	0.0007718	0
69	68	69	-0.99	0.69	0.99	-0.69	0.0008122	0
70	69	70	-1.01	0.68	1.01	-0.68	0.0001396	0
71	70	71	-1.01	0.68	1.01	-0.68	0.0006471	0
72	71	72	-1.02	0.68	1.02	-0.67	0.0007617	0
73	72	73	-1.03	0.67	1.03	-0.67	0.0002002	0
74	73	74	-1.05	0.66	1.05	-0.66	0.0022597	0
75	74	75	-1.08	0.64	1.08	-0.64	0.0024502	0
76	75	76	-1.11	0.62	1.11	-0.62	0.0012828	0
77	76	77	-1.15	0.60	1.15	-0.60	0.0009799	0

ตารางที่ ข.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ B หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
78	77	78	-1.17	0.59	1.17	-0.59	0.0030730	0
79	78	79	-1.18	0.58	1.19	-0.57	0.0092791	0.01
80	79	80	-1.22	0.56	1.22	-0.56	0.0003116	0
81	80	81	-1.31	0.51	1.33	-0.5	0.0133115	0.02
82	81	82	-1.36	0.48	1.37	-0.47	0.0023949	0
83	82	83	-1.37	0.47	1.38	-0.46	0.0076413	0.01
84	83	84	-1.39	0.46	1.39	-0.46	0.0018157	0
85	84	85	-1.40	0.45	1.40	-0.45	0.0015296	0
รวม							0.1694389	0.28

ข.3 ผลการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยโปรแกรม Matpower 3.2 ของระบบทดสอบ C

ตารางที่ ข.9 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	3.88	1.53	-	-
2	1.050	-0.001	-	-	-	-
3	1.043	-0.334	-	-	-	-
4	1.026	-1.146	-	-	-	-
5	1.020	-1.43	-	-	-	-
6	1.026	-1.152	-	-	0.61	0.19
7	1.026	-1.152	-	-	0.70	0.21
8	1.014	-1.763	-	-	-	-

ตารางที่ ข.9 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C ก่อนสั้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
10	1.013	-1.786	-	-	0.05	0.02
11	1.013	-1.794	-	-	0.26	0.10
12	1.013	-1.805	-	-	1.03	0.40
	รวม		3.88	1.53	3.8	1.380

ตารางที่ ข.10 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S โหลดเข้าบัส i		S โหลดเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	3.88	1.53	-3.88	-1.53	0.0000052	0
2	2	3	3.88	1.53	-3.86	-1.50	0.0171474	0.03
3	3	4	3.86	1.50	-3.82	-1.42	0.0408110	0.08
4	4	6	1.31	0.40	-1.31	-0.40	0.0001032	0
5	6	7	0.70	0.21	-0.70	-0.21	0.0000000	0
6	4	5	2.51	1.02	-2.50	-1	0.0096304	0.02
7	5	8	2.50	1	-2.49	-0.98	0.0111469	0.02
8	8	9	1.15	0.45	-1.15	-0.45	0.0001957	0
9	8	10	1.33	0.53	-1.33	-0.52	0.0004143	0
10	10	11	1.28	0.50	-1.28	-0.50	0.0001344	0
11	11	12	1.03	0.40	-1.03	-0.40	0.0001462	0
12	12	7	0	0	0	0	0.0000000	0
					รวม		0.0797347	0.15

ตารางที่ ข.11 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C ขณะเป็นวงรอบ

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVA)	P (MW)	Q (MVA)
1	1.050	0	3.86	1.50	-	-
2	1.050	-0.001	-	-	-	-
3	1.043	-0.334	-	-	-	-
4	1.027	-1.145	-	-	-	-
5	1.025	-1.23	-	-	-	-
6	1.026	-1.16	-	-	0.61	0.19
7	1.026	-1.16	-	-	0.70	0.21
8	1.023	-1.328	-	-	-	-
9	1.023	-1.341	-	-	1.15	0.45
10	1.023	-1.321	-	-	0.05	0.02
11	1.023	-1.319	-	-	0.26	0.10
12	1.023	-1.311	-	-	1.03	0.40
รวม			3.86	1.5	3.8	1.38

ตารางที่ ข.12 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C ขณะเป็นวงรอบ

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVA)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVA)	P (MW)	Q (MVA)		
1	1	2	3.86	1.50	-3.86	-1.50	0.0000051	0
2	2	3	3.86	1.50	-3.84	-1.47	0.0169307	0.03
3	3	4	3.84	1.47	-3.80	-1.39	0.0402952	0.08
4	4	6	3.06	1.10	-3.06	-1.09	0.0005809	0
5	6	7	2.45	0.91	-2.45	-0.91	0.0000001	0
6	4	5	0.75	0.29	-0.74	-0.29	0.0008434	0
7	5	8	0.74	0.29	-0.74	-0.29	0.0009762	0

ตารางที่ ข.12 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
8	8	9	1.15	0.45	-1.15	-0.45	0.0001922	0
9	8	10	-0.41	-0.16	0.41	0.16	0.0000386	0
10	10	11	-0.46	-0.18	0.46	0.18	0.0000171	0
11	11	12	-0.72	-0.28	0.72	0.28	0.0000703	0
12	12	7	-1.74	-0.69	1.75	0.69	0.0035339	0.01
รวม							0.0634837	0.12

ตารางที่ ข.13 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ C หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	3.86	1.50	-	-
2	1.050	-0.001	-	-	-	-
3	1.043	-0.334	-	-	-	-
4	1.027	-1.145	-	-	-	-
5	1.024	-1.277	-	-	-	-
6	1.026	-1.158	-	-	0.61	0.19
7	1.026	-1.158	-	-	0.70	0.21
8	1.021	-1.430	-	-	-	-
9	1.020	-1.442	-	-	1.15	0.45
10	1.024	-1.277	-	-	0.05	0.02
11	1.024	-1.277	-	-	0.26	0.10
12	1.024	-1.274	-	-	1.03	0.40
รวม			3.86	1.5	3.8	1.38

ตารางที่ ข.14 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ C หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	3.86	1.50	-3.86	-1.50	0.0000051	0
2	2	3	3.86	1.50	-3.84	-1.47	0.0169426	0.03
3	3	4	3.84	1.47	-3.8	-1.39	0.0403234	0.08
4	4	6	2.64	0.93	-2.64	-0.93	0.0004329	0
5	6	7	2.03	0.74	-2.03	-0.74	0.0000000	0
6	4	5	1.16	0.46	-1.16	-0.46	0.0020423	0
7	5	8	1.16	0.46	-1.15	-0.45	0.0023639	0
8	8	9	1.15	0.45	-1.15	-0.45	0.0001930	0
9	8	10	0	0	0	0	0.0000000	0
10	10	11	-0.05	-0.02	0.05	0.02	0.0000002	0
11	11	12	-0.31	-0.12	0.31	0.12	0.0000129	0
12	12	7	-1.33	-0.52	1.34	0.53	0.0020615	0
รวม							0.0643778	0.12

ข.4 ผลการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยโปรแกรม Matpower 3.2 ของระบบทดสอบ D

ตารางที่ ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	5.03	-0.02	-	-
2	1.047	-0.290	-	-	0.18	0.12
3	1.044	-0.605	-	-	0.24	0.16
4	1.042	-0.874	-	-	0.06	0.04
5	1.042	-0.981	-	-	0.04	0.03

ตารางที่ ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
6	1.041	-1.019	-	-	0.10	0.07
7	1.041	-1.066	-	-	0.03	0.02
8	1.040	-1.152	-	-	0.27	0.18
9	1.040	-1.165	-	-	0.02	0.02
10	1.040	-1.243	-	-	0.02	0.02
11	1.040	-1.268	-	-	0.03	0.02
12	1.039	-1.329	-	-	0.02	0.02
13	1.039	-1.366	-	-	0.02	0.01
14	1.039	-1.395	-	-	0.04	0.03
15	1.039	-1.447	-	-	0.04	0.03
16	1.039	-1.472	-	-	0.02	0.01
17	1.038	-1.534	-	-	0.01	0
18	1.038	-1.632	-	-	0.01	0.01
19	1.038	-1.635	-	-	0.02	0.02
20	1.038	-1.725	-	-	0.01	0.01
21	1.037	-1.773	-	-	0.03	0.02
22	1.037	-1.894	-	-	0.01	0
23	1.037	-1.931	-	-	0.01	0.01
24	1.037	-1.963	-	-	0.01	0
25	1.036	-2.034	-	-	0.01	0.01
26	1.036	-2.037	-	-	0.04	0.03
27	1.036	-2.045	-	-	1.47	1.01
28	1.036	-2.045	-	-	0	-0.60
29	1.036	-2.118	-	-	-	-

ตารางที่ ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
30	1.036	-2.129	-	-	0.04	0.03
31	1.037	-2.177	-	-	0.01	0.01
32	1.037	-2.196	-	-	0.01	0.01
33	1.037	-2.355	-	-	0.03	0.02
34	1.037	-2.366	-	-	0.19	0.13
35	1.037	-2.398	-	-	0.06	0.04
36	1.037	-2.411	-	-	0.03	0.02
37	1.037	-2.419	-	-	0.01	0.01
38	1.037	-2.426	-	-	0.02	0.02
39	1.038	-2.522	-	-	0.05	0.04
40	1.038	-2.545	-	-	0	-1.50
41	1.038	-2.572	-	-	0.01	0.01
42	1.038	-2.582	-	-	0.02	0.01
43	1.038	-2.596	-	-	0.01	0.01
44	1.038	-2.623	-	-	0.01	0.01
45	1.037	-2.661	-	-	0.09	0.06
46	1.037	-2.681	-	-	0.01	0.01
47	1.037	-2.691	-	-	0	0
48	1.037	-2.702	-	-	0.33	0.23
49	1.037	-2.709	-	-	0.02	0.02
50	1.037	-2.712	-	-	0.01	0.01
51	1.037	-2.73	-	-	0.01	0.01
52	1.037	-2.743	-	-	0.01	0.01
53	1.037	-2.852	-	-	0	0

ตารางที่ ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
54	1.037	-2.877	-	-	0.01	0.01
55	1.037	-2.886	-	-	0	-1.50
56	1.037	-2.89	-	-	0.05	0.04
57	1.037	-2.892	-	-	0.09	0.06
58	1.037	-2.896	-	-	0.02	0.02
59	1.037	-2.901	-	-	0.04	0.03
60	1.037	-2.906	-	-	0.05	0.04
61	1.036	-2.918	-	-	0.01	0.01
62	1.036	-2.919	-	-	0.02	0.02
63	1.036	-2.925	-	-	0.04	0.03
64	1.036	-2.928	-	-	0.01	0.01
65	1.036	-2.93	-	-	0.02	0.02
66	1.036	-2.938	-	-	0.03	0.02
67	1.036	-2.938	-	-	0.01	0
68	1.035	-2.939	-	-	-	-
69	1.035	-2.966	-	-	0.29	0.20
70	1.034	-2.977	-	-	0.25	0.17
71	1.022	-1.667	-	-	0.29	0.20
72	1.022	-1.649	-	-	0.71	-1.01
73	1.022	-1.598	-	-	0.62	0.13
74	1.023	-1.448	-	-	0.66	0.45
75	1.025	-1.258	-	-	0.41	0.28
76	1.028	-1.038	-	-	0.33	0.23
77	1.031	-0.845	-	-	0.68	0.47

ตารางที่ ข.15 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
78	1.034	-0.720	-	-	0.35	0.24
79	1.037	-0.560	-	-	0.10	0.07
80	1.05	0	35	1.18	-	-
81	1.035	-2.945	-	-	0.18	0.13
82	1.035	-2.946	-	-	0.03	0.02
83	0.976	-1.878	-	-	0.08	0.05
84	0.977	-1.875	-	-	0.40	0.28
85	0.978	-1.864	-	-	0.44	0.30
86	0.982	-1.806	-	-	0.47	0.33
87	0.986	-1.766	-	-	0.13	0.09
88	0.99	-1.716	-	-	0.33	0.23
89	0.999	-1.604	-	-	0.09	0.06
90	1.003	-1.560	-	-	0.49	-0.26
91	1.01	-1.404	-	-	0.08	0.05
92	1.016	-1.266	-	-	0.52	0.36
93	1.023	-1.003	-	-	0.02	0.01
94	1.029	-0.777	-	-	0.15	0.10
95	1.032	-0.657	-	-	0.45	0.31
96	1.036	-0.515	-	-	0.01	0.01
97	1.04	-0.352	-	-	0.02	0.01
98	1.045	-0.163	-	-	0.31	0.22
99	1.05	0	35	2.37	-	-
รวม			75.03	-3.53	13.08	3.03

ตารางที่ ข.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนค้นหาจุดเปิดวงจร

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	5.03	-0.02	-5.01	0.04	0.0133167	0.0253491
2	2	3	4.84	-0.17	-4.82	0.19	0.0137005	0.0260757
3	3	4	4.59	-0.35	-4.57	0.37	0.0109135	0.0207722
4	4	5	4.52	-0.41	-4.52	0.42	0.0042688	0.0081262
5	5	6	4.48	-0.45	-4.47	0.45	0.0014826	0.0028217
6	6	7	4.37	-0.52	-4.37	0.53	0.0017879	0.0034007
7	8	9	4.07	-0.74	-4.06	0.74	0.0004685	0.0008896
8	7	8	4.33	-0.55	-4.33	0.56	0.0032581	0.0062028
9	10	11	4.01	-0.78	-4.01	0.78	0.0008653	0.0016471
10	9	10	4.04	-0.76	-4.04	0.76	0.0027132	0.0051642
11	11	12	3.98	-0.80	-3.98	0.81	0.0021083	0.004012
12	12	13	3.96	-0.82	-3.95	0.82	0.0012738	0.0024237
13	13	14	3.94	-0.84	-3.94	0.84	0.0009787	0.0018644
14	15	16	3.85	-0.90	-3.85	0.9	0.0008438	0.0016064
15	14	15	3.89	-0.87	-3.89	0.87	0.0017287	0.0032909
16	16	17	3.83	-0.91	-3.83	0.92	0.0020515	0.0039057
17	17	18	3.83	-0.92	-3.82	0.93	0.0032253	0.0061388
18	18	19	3.81	-0.93	-3.81	0.94	0.0000929	0.0001757
19	19	20	3.79	-0.95	-3.78	0.96	0.0029344	0.0055859
20	20	21	3.77	-0.97	-3.77	0.97	0.0015652	0.0029800
21	21	22	3.73	-0.99	-3.73	1	0.0038736	0.0073714
22	22	23	3.72	-1.01	-3.72	1.01	0.0011940	0.0022719
23	23	24	3.72	-1.01	-3.71	1.01	0.0010222	0.0019464
24	24	25	3.71	-1.02	-3.71	1.02	0.0022569	0.0042978
25	25	26	3.70	-1.03	-3.70	1.03	0.0001057	0.0002003

ตารางที่ ข.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนการค้นหา (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
26	26	27	3.65	-1.06	-3.65	1.06	0.0003275	0.0004461
27	27	28	2.19	-2.07	-2.19	2.07	0.0000034	0.0000059
28	28	29	2.19	-1.47	-2.18	1.47	0.0015722	0.0029918
29	29	30	2.18	-1.47	-2.18	1.48	0.0002386	0.0004540
30	30	31	2.14	-1.51	-2.14	1.51	0.0010319	0.0019637
31	31	32	2.13	-1.51	-2.13	1.51	0.0003998	0.0007608
32	32	33	2.12	-1.52	-2.12	1.53	0.0034054	0.0064823
33	33	34	2.09	-1.55	-2.09	1.55	0.0002275	0.0004331
34	34	35	1.90	-1.68	-1.90	1.68	0.0006763	0.0012875
35	35	36	1.84	-1.72	-1.84	1.72	0.0002810	0.0005343
36	36	37	1.81	-1.74	-1.81	1.74	0.0001675	0.0003192
37	37	38	1.80	-1.75	-1.80	1.75	0.0001527	0.0002901
38	39	40	1.72	-1.81	-1.72	1.81	0.0004983	0.0009481
39	38	39	1.77	-1.77	-1.77	1.77	0.0020421	0.0038874
40	40	41	1.72	-0.31	-1.72	0.31	0.0003891	0.0007405
41	41	42	1.71	-0.32	-1.71	0.32	0.0001527	0.0002905
42	42	43	1.69	-0.33	-1.69	0.33	0.0002103	0.0004003
43	44	45	1.67	-0.34	-1.67	0.34	0.0005404	0.0010287
44	43	44	1.68	-0.33	-1.68	0.33	0.0003941	0.0007502
45	45	46	1.58	-0.4	-1.58	0.4	0.0002684	0.000511
46	46	47	1.57	-0.41	-1.57	0.41	0.0001369	0.0002608
47	48	49	1.24	-0.64	-1.24	0.64	0.0000847	0.0001612
48	47	48	1.57	-0.41	-1.57	0.41	0.0001528	0.0002909
49	49	50	1.22	-0.66	-1.22	0.66	0.0000252	0.0000478
50	50	51	1.20	-0.67	-1.20	0.67	0.0002041	0.0003886

ตารางที่ ข.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนการค้นหา (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
51	51	52	1.19	-0.68	-1.19	0.68	0.0001421	0.0002703
52	52	53	1.18	-0.69	-1.17	0.69	0.0012076	0.0022984
53	53	54	1.17	-0.69	-1.17	0.69	0.0002817	0.0005363
54	54	55	1.16	-0.70	-1.16	0.7	0.0000987	0.0001878
55	56	57	1.11	0.77	-1.11	-0.77	0.0000353	0.0000674
56	55	56	1.16	0.80	-1.16	-0.8	0.0000950	0.0001808
57	57	58	1.02	0.71	-1.02	-0.71	0.0000853	0.0001623
58	58	59	1	0.69	-1	-0.69	0.0001226	0.0002334
59	59	60	0.96	0.66	-0.96	-0.66	0.0000844	0.0001607
60	60	61	0.9	0.62	-0.9	-0.62	0.0002446	0.0004655
61	61	62	0.89	0.61	-0.89	-0.61	0.0000138	0.0000263
62	62	63	0.86	0.6	-0.86	-0.6	0.0001007	0.0001917
63	63	64	0.82	0.57	-0.82	-0.57	0.0000603	0.0001150
64	64	65	0.81	0.56	-0.81	-0.56	0.0000285	0.0000543
65	66	67	0.76	0.52	-0.76	-0.52	0.0000103	0.0000196
66	65	66	0.79	0.54	-0.79	-0.54	0.0001362	0.0002592
67	67	68	0.75	0.52	-0.75	-0.52	0.0000166	0.0000316
68	68	69	0.54	0.37	-0.54	-0.37	0.0003030	0.0005767
69	68	81	0.21	0.15	-0.21	-0.15	0.0000878	0.0000919
70	69	70	0.25	0.17	-0.25	-0.17	0.0000577	0.0001097
71	70	71	0	0	0	0	0	0
72	71	72	-0.29	-0.20	0.29	0.20	0.0001166	0.0002219
73	72	73	-1.01	0.81	1.01	-0.8	0.0006761	0.0009195
74	73	74	-1.63	0.68	1.63	-0.67	0.0028194	0.0038346

ตารางที่ ข.16 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ก่อนการค้นหา (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
75	74	75	-2.29	0.22	2.30	-0.21	0.0052667	0.0071634
76	75	76	-2.70	-0.07	2.71	0.08	0.0078345	0.0106552
77	76	77	-3.04	-0.31	3.05	0.32	0.0082160	0.0111747
78	77	78	-3.73	-0.79	3.73	0.8	0.0074271	0.0101019
79	78	79	-4.08	-1.04	4.09	1.05	0.0110270	0.0149989
80	79	80	-4.19	-1.12	4.23	1.18	0.0407043	0.0553627
81	81	82	0.03	0.02	-0.03	-0.02	0.0000020	0.0000021
82	82	83	0	0	0	0	0	0
83	83	84	-0.08	-0.05	0.08	0.05	0.0000162	0.0000169
84	84	85	-0.48	-0.33	0.48	0.33	0.0003746	0.0003920
85	85	86	-0.92	-0.64	0.93	0.64	0.0038999	0.0040811
86	86	87	-1.40	-0.97	1.40	0.97	0.0041230	0.0043147
87	87	88	-1.54	-1.06	1.54	1.07	0.0055596	0.0058181
88	88	89	-1.87	-1.3	1.89	1.31	0.0155769	0.0163009
89	89	90	-1.98	-1.38	1.99	1.39	0.0063665	0.0066625
90	90	91	-2.48	-1.12	2.49	1.14	0.0138176	0.0144597
91	91	92	-2.57	-1.19	2.58	1.20	0.0129493	0.0135509
92	92	93	-3.10	-1.56	3.11	1.59	0.0128345	0.0244286
93	93	94	-3.13	-1.6	3.15	1.62	0.0112616	0.0214340
94	94	95	-3.30	-1.73	3.30	1.74	0.0064132	0.0122062
95	95	96	-3.75	-2.05	3.76	2.07	0.0089151	0.0169698
96	96	97	-3.77	-2.07	3.78	2.09	0.0103490	0.0196977
97	97	98	-3.80	-2.11	3.81	2.13	0.0122264	0.0232698
98	98	99	-4.12	-2.34	4.14	2.37	0.0116632	0.0221997
รวม							0.3152612	0.5004719

ตารางที่ ข.17 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)
1	1.050	0	4.88	1.06	-	-
2	1.046	-0.250	-	-	0.18	0.12
3	1.042	-0.520	-	-	0.24	0.16
4	1.039	-0.750	-	-	0.06	0.04
5	1.038	-0.842	-	-	0.04	0.03
6	1.037	-0.874	-	-	0.10	0.07
7	1.037	-0.914	-	-	0.03	0.02
8	1.036	-0.988	-	-	0.27	0.18
9	1.036	-0.999	-	-	0.02	0.02
10	1.035	-1.065	-	-	0.02	0.02
11	1.035	-1.086	-	-	0.03	0.02
12	1.034	-1.138	-	-	0.02	0.02
13	1.034	-1.170	-	-	0.02	0.01
14	1.034	-1.194	-	-	0.04	0.03
15	1.033	-1.238	-	-	0.04	0.03
16	1.033	-1.259	-	-	0.02	0.01
17	1.032	-1.312	-	-	0.01	0
18	1.032	-1.395	-	-	0.01	0.01
19	1.032	-1.397	-	-	0.02	0.02
20	1.031	-1.473	-	-	0.01	0.01
21	1.030	-1.514	-	-	0.03	0.02
22	1.029	-1.616	-	-	0.01	0
23	1.029	-1.647	-	-	0.01	0.01
24	1.029	-1.674	-	-	0.01	0
25	1.028	-1.734	-	-	0.01	0.01

ตารางที่ ข.17 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
26	1.028	-1.737	-	-	0.04	0.03
27	1.028	-1.743	-	-	1.47	1.01
28	1.028	-1.743	-	-	0	-0.60
29	1.028	-1.800	-	-	-	-
30	1.028	-1.808	-	-	0.04	0.03
31	1.028	-1.846	-	-	0.01	0.01
32	1.027	-1.860	-	-	0.01	0.01
33	1.027	-1.983	-	-	0.03	0.02
34	1.027	-1.991	-	-	0.19	0.13
35	1.027	-2.015	-	-	0.06	0.04
36	1.027	-2.025	-	-	0.03	0.02
37	1.027	-2.031	-	-	0.01	0.01
38	1.027	-2.037	-	-	0.02	0.02
39	1.027	-2.109	-	-	0.05	0.04
40	1.027	-2.127	-	-	0	-1.5
41	1.026	-2.143	-	-	0.01	0.01
42	1.026	-2.150	-	-	0.02	0.01
43	1.026	-2.159	-	-	0.01	0.01
44	1.025	-2.176	-	-	0.01	0.01
45	1.025	-2.200	-	-	0.09	0.06
46	1.024	-2.212	-	-	0.01	0.01
47	1.024	-2.218	-	-	0	0
48	1.024	-2.225	-	-	0.33	0.23
49	1.024	-2.230	-	-	0.02	0.02
50	1.024	-2.231	-	-	0.01	0.01

ตารางที่ ข.17 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
51	1.024	-2.241	-	-	0.01	0.01
52	1.024	-2.248	-	-	0.01	0.01
53	1.022	-2.309	-	-	0	0
54	1.022	-2.323	-	-	0.01	0.01
55	1.022	-2.328	-	-	0	-1.50
56	1.022	-2.328	-	-	0.05	0.04
57	1.022	-2.328	-	-	0.09	0.06
58	1.021	-2.328	-	-	0.02	0.02
59	1.021	-2.327	-	-	0.04	0.03
60	1.021	-2.326	-	-	0.05	0.04
61	1.020	-2.323	-	-	0.01	0.01
62	1.020	-2.323	-	-	0.02	0.02
63	1.020	-2.321	-	-	0.04	0.03
64	1.019	-2.32	-	-	0.01	0.01
65	1.019	-2.319	-	-	0.02	0.02
66	1.019	-2.316	-	-	0.03	0.02
67	1.019	-2.316	-	-	0.01	0
68	1.018	-2.315	-	-	-	-
69	1.018	-2.287	-	-	0.29	0.20
70	1.018	-2.248	-	-	0.25	0.17
71	1.018	-2.174	-	-	0.29	0.20
72	1.019	-2.085	-	-	0.71	-1.01
73	1.019	-2.010	-	-	0.62	0.13
74	1.020	-1.807	-	-	0.66	0.45
75	1.022	-1.560	-	-	0.41	0.28

ตารางที่ ข.17 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
76	1.026	-1.277	-	-	0.33	0.23
77	1.029	-1.033	-	-	0.68	0.47
78	1.032	-0.879	-	-	0.35	0.24
79	1.036	-0.683	-	-	0.10	0.07
80	1.050	0	35	1.06	-	-
81	1.016	-2.288	-	-	0.18	0.13
82	1.014	-2.250	-	-	0.03	0.02
83	1.012	-2.224	-	-	0.08	0.05
84	1.010	-2.180	-	-	0.40	0.28
85	1.009	-2.145	-	-	0.44	0.30
86	1.010	-2.019	-	-	0.47	0.33
87	1.011	-1.948	-	-	0.13	0.09
88	1.013	-1.864	-	-	0.33	0.23
89	1.018	-1.686	-	-	0.09	0.06
90	1.020	-1.618	-	-	0.49	-0.26
91	1.024	-1.423	-	-	0.08	0.05
92	1.028	-1.251	-	-	0.52	0.36
93	1.032	-0.993	-	-	0.02	0.01
94	1.035	-0.771	-	-	0.15	0.1
95	1.037	-0.652	-	-	0.45	0.31
96	1.040	-0.512	-	-	0.01	0.01
97	1.043	-0.351	-	-	0.02	0.01
98	1.047	-0.162	-	-	0.31	0.22
99	1.050	0	35	1.36	-	-
รวม			74.88	3.47	13.08	3.03

ตารางที่ ข.18 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	4.88	1.06	-4.87	-1.03	0.0131596	0.0250502
2	2	3	4.69	0.91	-4.68	-0.88	0.0133985	0.0255009
3	3	4	4.44	0.72	-4.43	-0.7	0.0104978	0.0199809
4	4	5	4.38	0.66	-4.37	-0.66	0.0040879	0.0077820
5	5	6	4.33	0.63	-4.33	-0.63	0.0014151	0.0026932
6	6	7	4.23	0.55	-4.23	-0.55	0.0016906	0.0032157
7	8	9	3.92	0.34	-3.92	-0.34	0.0004291	0.0008149
8	7	8	4.19	0.53	-4.19	-0.52	0.0030709	0.0058464
9	10	11	3.87	0.3	-3.87	-0.3	0.0007878	0.0014996
10	9	10	3.9	0.32	-3.9	-0.32	0.0024779	0.0047163
11	11	12	3.84	0.28	-3.84	-0.27	0.0019125	0.0036395
12	12	13	3.81	0.26	-3.81	-0.25	0.0011518	0.0021915
13	13	14	3.8	0.24	-3.8	-0.24	0.0008831	0.0016823
14	15	16	3.71	0.18	-3.71	-0.18	0.0007526	0.0014329
15	14	15	3.75	0.21	-3.75	-0.21	0.0015505	0.0029517
16	16	17	3.69	0.17	-3.69	-0.16	0.0018254	0.0034752
17	17	18	3.69	0.16	-3.68	-0.16	0.0028677	0.0054581
18	18	19	3.67	0.15	-3.67	-0.15	0.0000824	0.0001559
19	19	20	3.65	0.13	-3.64	-0.12	0.0025942	0.0049383
20	20	21	3.63	0.11	-3.63	-0.11	0.0013809	0.002629
21	21	22	3.59	0.09	-3.59	-0.08	0.0033995	0.0064692
22	22	23	3.58	0.08	-3.58	-0.08	0.0010469	0.001992
23	23	24	3.58	0.07	-3.58	-0.07	0.0008952	0.0017046
24	24	25	3.57	0.06	-3.57	-0.06	0.0019747	0.0037604
25	25	26	3.56	0.06	-3.56	-0.06	0.0000923	0.0001751

ตารางที่ ข.18 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
26	26	27	3.52	0.03	-3.52	-0.02	0.0002841	0.000387
27	27	28	2.05	-0.99	-2.05	0.99	0.000002	0.0000034
28	28	29	2.05	-0.39	-2.05	0.39	0.0009988	0.0019007
29	29	30	2.05	-0.39	-2.05	0.39	0.0001516	0.0002884
30	30	31	2.00	-0.42	-2.00	0.42	0.0006415	0.0012207
31	31	32	1.99	-0.43	-1.99	0.43	0.0002475	0.000471
32	32	33	1.99	-0.43	-1.98	0.44	0.0021002	0.0039978
33	33	34	1.95	-0.46	-1.95	0.46	0.0001383	0.0002632
34	34	35	1.76	-0.59	-1.76	0.59	0.0003715	0.0007072
35	35	36	1.7	-0.63	-1.7	0.63	0.0001489	0.0002831
36	36	37	1.67	-0.65	-1.67	0.65	0.0000873	0.0001664
37	37	38	1.66	-0.66	-1.66	0.66	0.0000793	0.0001506
38	39	40	1.59	-0.71	-1.59	0.71	0.0002478	0.0004714
39	38	39	1.64	-0.68	-1.64	0.68	0.0010453	0.0019899
40	40	41	1.59	0.79	-1.59	-0.79	0.0004084	0.0007772
41	41	42	1.57	0.78	-1.57	-0.78	0.0001594	0.0003033
42	42	43	1.56	0.76	-1.56	-0.76	0.0002182	0.0004153
43	44	45	1.54	0.75	-1.54	-0.75	0.0005571	0.0010606
44	43	44	1.55	0.76	-1.55	-0.76	0.0004077	0.0007762
45	45	46	1.45	0.69	-1.45	-0.69	0.0002651	0.0005047
46	46	47	1.44	0.68	-1.44	-0.68	0.0001347	0.0002566
47	48	49	1.11	0.45	-1.11	-0.45	0.0000637	0.0001214
48	47	48	1.44	0.68	-1.44	-0.68	0.0001502	0.0002859
49	49	50	1.08	0.44	-1.08	-0.44	0.0000184	0.0000349
50	50	51	1.07	0.43	-1.07	-0.43	0.0001467	0.0002793

ตารางที่ ข.18 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
51	51	52	1.06	0.42	-1.06	-0.42	0.0001003	0.0001908
52	52	53	1.04	0.41	-1.04	-0.41	0.0008374	0.0015939
53	53	54	1.04	0.40	-1.04	-0.4	0.0001947	0.0003707
54	54	55	1.03	0.40	-1.03	-0.4	0.0000674	0.0001282
55	56	57	0.98	1.86	-0.98	-1.86	0.0000881	0.0001681
56	55	56	1.03	1.90	-1.03	-1.90	0.0002280	0.0004341
57	57	58	0.89	1.80	-0.89	-1.80	0.0002296	0.0004368
58	58	59	0.86	1.78	-0.86	-1.78	0.0003377	0.0006427
59	59	60	0.82	1.75	-0.82	-1.75	0.0002416	0.0004599
60	60	61	0.77	1.72	-0.77	-1.71	0.0007406	0.0014092
61	61	62	0.75	1.71	-0.75	-1.71	0.0000424	0.0000809
62	62	63	0.73	1.69	-0.73	-1.69	0.0003186	0.0006065
63	63	64	0.69	1.66	-0.69	-1.66	0.0002005	0.000382
64	64	65	0.68	1.65	-0.68	-1.65	0.0000964	0.0001837
65	66	67	0.62	1.61	-0.62	-1.61	0.0000377	0.0000716
66	65	66	0.65	1.63	-0.65	-1.63	0.0004766	0.0009071
67	67	68	0.62	1.61	-0.62	-1.61	0.0000609	0.0001161
68	68	69	-0.07	0.54	0.07	-0.54	0.0002142	0.0004077
69	68	81	0.69	1.07	-0.69	-1.07	0.0021973	0.0022993
70	69	70	-0.36	0.34	0.36	-0.34	0.0001590	0.0003026
71	70	71	-0.61	0.16	0.61	-0.16	0.0003938	0.0007496
72	71	72	-0.91	-0.04	0.91	0.04	0.0007617	0.0014497
73	72	73	-1.62	0.97	1.62	-0.97	0.0014588	0.0019842
74	73	74	-2.24	0.84	2.25	-0.83	0.0052315	0.0071153
75	74	75	-2.91	0.37	2.92	-0.36	0.0085987	0.0116952

ตารางที่ ข.18 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D ขณะเป็นวงรอบ (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
76	75	76	-3.32	0.08	3.33	-0.07	0.0119016	0.0161866
77	76	77	-3.67	-0.16	3.68	0.18	0.0118821	0.016161
78	77	78	-4.35	-0.64	4.36	0.66	0.0099525	0.0135369
79	78	79	-4.71	-0.90	4.73	0.92	0.0143438	0.0195104
80	79	80	-4.83	-0.99	4.88	1.06	0.0525513	0.0714761
81	81	82	0.50	0.94	-0.5	-0.94	0.0018342	0.0019195
82	82	83	0.47	0.92	-0.47	-0.92	0.0011464	0.0011997
83	83	84	0.39	0.87	-0.39	-0.86	0.0015186	0.0015892
84	84	85	-0.01	0.59	0.01	-0.59	0.0003507	0.000367
85	85	86	-0.45	0.28	0.45	-0.28	0.0008261	0.0008645
86	86	87	-0.93	-0.05	0.93	0.05	0.0011599	0.0012138
87	87	88	-1.06	-0.14	1.06	0.14	0.0017289	0.0018093
88	88	89	-1.39	-0.37	1.40	0.38	0.0059527	0.0062294
89	89	90	-1.49	-0.44	1.49	0.44	0.0025478	0.0026662
90	90	91	-1.98	-0.18	1.99	0.19	0.0071670	0.0075000
91	91	92	-2.07	-0.24	2.08	0.25	0.0068147	0.0071313
92	92	93	-2.59	-0.61	2.6	0.62	0.0073860	0.0140582
93	93	94	-2.62	-0.63	2.63	0.65	0.0065025	0.0123762
94	94	95	-2.78	-0.75	2.78	0.76	0.0037893	0.0072120
95	95	96	-3.23	-1.07	3.24	1.08	0.0055935	0.0106472
96	96	97	-3.25	-1.09	3.26	1.1	0.0065015	0.0123746
97	97	98	-3.27	-1.11	3.28	1.13	0.0076973	0.0146498
98	98	99	-3.59	-1.34	3.60	1.36	0.0076037	0.0144730
รวม							0.2825644	0.4462098

ตารางที่ ข.19 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
1	1.05	0	5.74	0.52	-	-
2	1.046	-0.315	-	-	0.18	0.12
3	1.042	-0.659	-	-	0.24	0.16
4	1.039	-0.954	-	-	0.06	0.04
5	1.038	-1.071	-	-	0.04	0.03
6	1.038	-1.113	-	-	0.10	0.07
7	1.037	-1.164	-	-	0.03	0.02
8	1.037	-1.259	-	-	0.27	0.18
9	1.036	-1.274	-	-	0.02	0.02
10	1.036	-1.360	-	-	0.02	0.02
11	1.035	-1.387	-	-	0.03	0.02
12	1.035	-1.455	-	-	0.02	0.02
13	1.035	-1.497	-	-	0.02	0.01
14	1.034	-1.529	-	-	0.04	0.03
15	1.034	-1.586	-	-	0.04	0.03
16	1.034	-1.614	-	-	0.02	0.01
17	1.033	-1.683	-	-	0.01	0
18	1.032	-1.792	-	-	0.01	0.01
19	1.032	-1.795	-	-	0.02	0.02
20	1.032	-1.895	-	-	0.01	0.01
21	1.031	-1.949	-	-	0.03	0.02
22	1.03	-2.084	-	-	0.01	0
23	1.03	-2.125	-	-	0.01	0.01
24	1.03	-2.161	-	-	0.01	0
25	1.029	-2.240	-	-	0.01	0.01

ตารางที่ ข.19 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
26	1.029	-2.243	-	-	0.04	0.03
27	1.029	-2.252	-	-	1.47	1.01
28	1.029	-2.252	-	-	0	-0.60
29	1.029	-2.337	-	-	-	-
30	1.029	-2.350	-	-	0.04	0.03
31	1.029	-2.406	-	-	0.01	0.01
32	1.029	-2.428	-	-	0.01	0.01
33	1.028	-2.613	-	-	0.03	0.02
34	1.028	-2.626	-	-	0.19	0.13
35	1.028	-2.663	-	-	0.06	0.04
36	1.028	-2.679	-	-	0.03	0.02
37	1.028	-2.688	-	-	0.01	0.01
38	1.028	-2.697	-	-	0.02	0.02
39	1.028	-2.810	-	-	0.05	0.04
40	1.028	-2.838	-	-	0	-1.5
41	1.028	-2.871	-	-	0.01	0.01
42	1.028	-2.884	-	-	0.02	0.01
43	1.027	-2.902	-	-	0.01	0.01
44	1.027	-2.936	-	-	0.01	0.01
45	1.027	-2.983	-	-	0.09	0.06
46	1.026	-3.008	-	-	0.01	0.01
47	1.026	-3.021	-	-	0	0
48	1.026	-3.035	-	-	0.33	0.23
49	1.026	-3.045	-	-	0.02	0.02
50	1.026	-3.048	-	-	0.01	0.01

ตารางที่ ข.19 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
51	1.026	-3.072	-	-	0.01	0.01
52	1.026	-3.088	-	-	0.01	0.01
53	1.025	-3.232	-	-	0	0
54	1.024	-3.265	-	-	0.01	0.01
55	1.024	-3.277	-	-	0	-1.5
56	1.024	-3.283	-	-	0.05	0.04
57	1.024	-3.286	-	-	0.09	0.06
58	1.024	-3.292	-	-	0.02	0.02
59	1.023	-3.302	-	-	0.04	0.03
60	1.023	-3.31	-	-	0.05	0.04
61	1.022	-3.332	-	-	0.01	0.01
62	1.022	-3.334	-	-	0.02	0.02
63	1.022	-3.344	-	-	0.04	0.03
64	1.022	-3.35	-	-	0.01	0.01
65	1.022	-3.353	-	-	0.02	0.02
66	1.021	-3.369	-	-	0.03	0.02
67	1.021	-3.37	-	-	0.01	0
68	1.021	-3.372	-	-	-	-
69	1.021	-3.387	-	-	0.29	0.20
70	1.017	-1.779	-	-	0.25	0.17
71	1.017	-1.762	-	-	0.29	0.20
72	1.018	-1.727	-	-	0.71	-1.01
73	1.018	-1.672	-	-	0.62	0.13
74	1.020	-1.512	-	-	0.66	0.45
75	1.022	-1.312	-	-	0.41	0.28

ตารางที่ ข.19 แรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

บัส	แรงดันไฟฟ้า		การจ่ายกำลังไฟฟ้า		โหลด	
	ขนาด (pu)	มุม (องศา)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
76	1.026	-1.079	-	-	0.33	0.23
77	1.029	-0.878	-	-	0.68	0.47
78	1.032	-0.748	-	-	0.35	0.24
79	1.036	-0.581	-	-	0.10	0.07
80	1.050	0	35	1.37	-	-
81	1.018	-3.404	-	-	0.18	0.13
82	1.016	-3.435	-	-	0.03	0.02
83	1.014	-3.455	-	-	0.08	0.05
84	1.011	-3.484	-	-	0.40	0.28
85	1.011	-3.493	-	-	0.44	0.30
86	1.011	-1.280	-	-	0.47	0.33
87	1.012	-1.267	-	-	0.13	0.09
88	1.014	-1.248	-	-	0.33	0.23
89	1.019	-1.194	-	-	0.09	0.06
90	1.020	-1.172	-	-	0.49	-0.26
91	1.024	-1.054	-	-	0.08	0.05
92	1.028	-0.949	-	-	0.52	0.36
93	1.032	-0.760	-	-	0.02	0.01
94	1.035	-0.596	-	-	0.15	0.10
95	1.037	-0.508	-	-	0.45	0.31
96	1.040	-0.399	-	-	0.01	0.01
97	1.043	-0.274	-	-	0.02	0.01
98	1.047	-0.128	-	-	0.31	0.22
99	1.050	0	35	1.61	-	-
	รวม		75.74	3.5	13.08	3.03

ตารางที่ ข.20 การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร

กึ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	5.74	0.52	-5.73	-0.49	0.0175211	0.0333526
2	2	3	5.55	0.37	-5.53	-0.33	0.0181195	0.0344863
3	3	4	5.29	0.17	-5.28	-0.14	0.0145227	0.0276417
4	4	5	5.22	0.10	-5.22	-0.09	0.0056880	0.0108278
5	5	6	5.18	0.07	-5.18	-0.06	0.0019773	0.0037631
6	6	7	5.07	-0.01	-5.07	0.02	0.0023897	0.0045455
7	8	9	4.77	-0.23	-4.76	0.23	0.0006292	0.0011948
8	7	8	5.03	-0.04	-5.03	0.05	0.0043578	0.0082963
9	10	11	4.71	-0.27	-4.71	0.27	0.0011627	0.0022133
10	9	10	4.74	-0.25	-4.74	0.26	0.0036450	0.0069377
11	11	12	4.68	-0.29	-4.68	0.30	0.0028338	0.0053926
12	12	13	4.65	-0.32	-4.65	0.32	0.0017124	0.0032583
13	13	14	4.64	-0.33	-4.63	0.33	0.0013159	0.0025067
14	15	16	4.55	-0.40	-4.55	0.40	0.001135	0.0021608
15	14	15	4.59	-0.36	-4.59	0.37	0.0023249	0.0044258
16	16	17	4.53	-0.41	-4.53	0.42	0.0027595	0.0052537
17	17	18	4.52	-0.42	-4.52	0.43	0.0043385	0.0082576
18	18	19	4.50	-0.44	-4.50	0.44	0.0001249	0.0002364
19	19	20	4.48	-0.45	-4.48	0.46	0.0039472	0.007514
20	20	21	4.46	-0.47	-4.46	0.47	0.0021055	0.0040085
21	21	22	4.43	-0.5	-4.42	0.51	0.0052102	0.0099149
22	22	23	4.41	-0.51	-4.41	0.51	0.0016060	0.0030557
23	23	24	4.41	-0.52	-4.40	0.52	0.0013748	0.0026179
24	24	25	4.40	-0.53	-4.40	0.53	0.0030354	0.0057803
25	25	26	4.39	-0.54	-4.39	0.54	0.0001421	0.0002694

ตารางที่ ข.20 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กึ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
26	26	27	4.34	-0.57	-4.34	0.57	0.0004403	0.0005997
27	27	28	2.88	-1.58	-2.88	1.58	0.0000041	0.0000071
28	28	29	2.88	-0.98	-2.87	0.99	0.0021195	0.0040333
29	29	30	2.87	-0.99	-2.87	0.99	0.0003217	0.0006121
30	30	31	2.83	-1.02	-2.83	1.02	0.0013822	0.0026304
31	31	32	2.82	-1.03	-2.82	1.03	0.0005349	0.0010178
32	32	33	2.81	-1.03	-2.81	1.04	0.0045506	0.0086622
33	33	34	2.78	-1.06	-2.78	1.06	0.0003027	0.0005761
34	34	35	2.59	-1.19	-2.59	1.19	0.0008692	0.0016547
35	35	36	2.52	-1.24	-2.52	1.24	0.0003563	0.0006775
36	36	37	2.49	-1.26	-2.49	1.26	0.0002110	0.0004022
37	37	38	2.49	-1.26	-2.49	1.26	0.0001920	0.0003649
38	39	40	2.41	-1.32	-2.41	1.32	0.0006156	0.0011714
39	38	39	2.46	-1.28	-2.46	1.29	0.0025537	0.0048614
40	40	41	2.41	0.18	-2.41	-0.18	0.0007564	0.0014396
41	41	42	2.39	0.17	-2.39	-0.17	0.0002973	0.0005657
42	42	43	2.38	0.16	-2.38	-0.15	0.0004102	0.0007808
43	44	45	2.36	0.14	-2.36	-0.14	0.0010559	0.0020101
44	43	44	2.37	0.15	-2.37	-0.15	0.0007693	0.0014645
45	45	46	2.27	0.08	-2.27	-0.08	0.0005288	0.0010069
46	46	47	2.26	0.07	-2.26	-0.07	0.0002699	0.0005142
47	48	49	1.93	-0.16	-1.93	0.16	0.0001657	0.0003153
48	47	48	2.26	0.07	-2.26	-0.07	0.0003014	0.0005737
49	49	50	1.90	-0.18	-1.9	0.18	0.0000492	0.0000931
50	50	51	1.89	-0.19	-1.89	0.19	0.0003967	0.0007555

ตารางที่ ข.20 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาคู่เปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
51	51	52	1.87	-0.2	-1.87	0.2	0.0002755	0.0005240
52	52	53	1.86	-0.21	-1.86	0.21	0.0023343	0.0044430
53	53	54	1.85	-0.21	-1.85	0.21	0.0005443	0.0010362
54	54	55	1.85	-0.22	-1.85	0.22	0.0001902	0.0003621
55	56	57	1.79	1.24	-1.79	-1.24	0.0000945	0.0001803
56	55	56	1.85	1.28	-1.84	-1.28	0.0002457	0.0004678
57	57	58	1.70	1.18	-1.7	-1.18	0.0002440	0.0004643
58	58	59	1.68	1.16	-1.68	-1.16	0.0003579	0.0006812
59	59	60	1.64	1.14	-1.64	-1.14	0.0002548	0.0004849
60	60	61	1.58	1.10	-1.58	-1.1	0.0007748	0.0014744
61	61	62	1.57	1.09	-1.57	-1.09	0.0000443	0.0000844
62	62	63	1.54	1.07	-1.54	-1.07	0.0003312	0.0006306
63	63	64	1.5	1.04	-1.5	-1.04	0.000207	0.0003944
64	64	65	1.49	1.03	-1.49	-1.03	0.0000993	0.0001891
65	66	67	1.44	0.99	-1.44	-0.99	0.0000384	0.0000729
66	65	66	1.47	1.02	-1.47	-1.01	0.0004882	0.0009292
67	67	68	1.43	0.99	-1.43	-0.99	0.0000619	0.0001181
68	68	69	0.29	0.20	-0.29	-0.20	0.0000896	0.0001705
69	68	81	1.14	0.79	-1.14	-0.79	0.0025968	0.0027173
70	69	70	0	0	0	0	0	0
71	70	71	-0.25	-0.17	0.25	0.17	0.0000900	0.0001713
72	71	72	-0.54	-0.37	0.54	0.38	0.0004029	0.0007669
73	72	73	-1.26	0.63	1.26	-0.63	0.0008111	0.0011033
74	73	74	-1.88	0.50	1.88	-0.50	0.0034545	0.0046984
75	74	75	-2.54	0.04	2.55	-0.03	0.0064673	0.0087963

ตารางที่ ข.20 การไหลของกำลังไฟฟ้าระบบทดสอบ D หลังค้นหาจุดเปิดวงจร (ต่อ)

กิ่งที่	กิ่งระหว่างบัส		S ไหลเข้าบัส i		S ไหลเข้าบัส j		P _L (MW)	Q _L (MVar)
	บัส i	บัส j	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)		
76	75	76	-2.95	-0.25	2.96	0.26	0.0094719	0.0128821
77	76	77	-3.30	-0.49	3.31	0.50	0.0097939	0.0133208
78	77	78	-3.98	-0.97	3.99	0.98	0.0086244	0.0117305
79	78	79	-4.34	-1.22	4.35	1.24	0.0126586	0.0172182
80	79	80	-4.45	-1.31	4.5	1.37	0.0465858	0.0633622
81	81	82	0.96	0.66	-0.95	-0.66	0.0021583	0.0022587
82	82	83	0.92	0.64	-0.92	-0.64	0.0013457	0.0014082
83	83	84	0.85	0.58	-0.84	-0.58	0.0017645	0.0018465
84	84	85	0.44	0.30	-0.44	-0.30	0.0002907	0.0003043
85	85	86	0	0	0	0	0	0
86	86	87	-0.47	-0.33	0.48	0.33	0.0004469	0.0004677
87	87	88	-0.61	-0.42	0.61	0.42	0.0008207	0.0008588
88	88	89	-0.94	-0.65	0.94	0.65	0.0037294	0.0039028
89	89	90	-1.04	-0.72	1.04	0.72	0.0016697	0.0017473
90	90	91	-1.53	-0.46	1.53	0.46	0.0045840	0.0047970
91	91	92	-1.61	-0.51	1.61	0.52	0.0044845	0.0046929
92	92	93	-2.13	-0.88	2.14	0.89	0.0055343	0.0105338
93	93	94	-2.16	-0.90	2.16	0.91	0.0048908	0.0093085
94	94	95	-2.31	-1.02	2.32	1.02	0.0029199	0.0055575
95	95	96	-2.77	-1.33	2.77	1.34	0.0045493	0.0086596
96	96	97	-2.78	-1.35	2.79	1.36	0.0052932	0.0100747
97	97	98	-2.81	-1.37	2.81	1.38	0.0062772	0.011947
98	98	99	-3.12	-1.60	3.13	1.61	0.0063615	0.0121086
รวม							0.2881879	0.4746504

ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

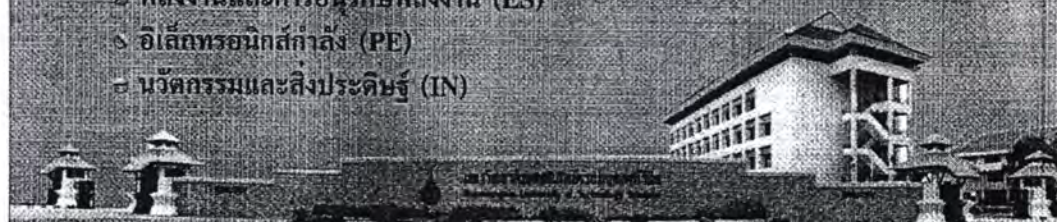
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference

นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding to the Energy Network of AEC

Volume I

- ๑ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ๒ พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- ๓ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ๔ นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มาริไทม์ ปาร์คแอนด์สปา รีสอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ที่มีแหล่งจ่ายไฟ 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ โดยใช้วิธีการฮิวริสติก

Distribution Network Reconfiguration for a Two-source 1 Loop Network by Heuristic Search

สรศักดิ์ พรหมสุวรรณ¹ และ คมสันต์ คาโรจน์²

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถ.ศกธมร์ค ค.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190 โทรศัพท์ 04-5353-330

¹ E-Mail: sanchai_promsuwong@yahoo.com ² E-Mail: daroj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ของระบบจำหน่ายที่มีสองแหล่งจ่ายแบบเรเดียล เพื่อให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าต่ำสุด โดยใช้ดัชนีชี้วัดหาความเหมาะสมจากการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค้นหาจุดติดตั้งอุปกรณ์ตัดคอนในระบบจำหน่าย โดยขั้นตอนดำเนินการที่นำเสนอเริ่มต้นจากการเปลี่ยนสถานะอุปกรณ์ตัดคอนในระบบจำหน่ายให้อยู่ในสถานะปิดวงจร แล้วใช้ดัชนีชี้วัดจุดสมดุลการไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อค้นหาจุดเปิดวงจรของระบบจำหน่าย แบบเรเดียลที่เหมาะสม วิธีที่นำเสนอได้ทดสอบกับระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 (กฟผ.2) โดยผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: การจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

Abstract

This paper proposed a network reconfiguration method to apply with a two-source one loop radial system for minimizing real power loss. The concept of an optimal index is adopted to obtain the optimal location of sectionalizer switch in a system. The solution is started by closing all switch to form a mesh network. The power flows solution is consequently performed to obtain an equilibrium point, which is an initial point to solve for the optimal switch location. The proposed method is tested with a radial system of PEA region 2 with a satisfied result.

Keywords: Radial Network Reconfiguration

1. บทนำ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจทำให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการจ่ายไฟฟ้าแบบเดิม เช่น สายไฟฟ้าไม่สามารถรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีค่ามาก

เกินเกณฑ์ รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบ ทำให้ต้องมีการวางแผนเพื่อปรับปรุงระบบให้มีความเหมาะสมกับสภาพการเปลี่ยนแปลงภายในรอบเวลาที่กำหนด การวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การปลด – สับ สวิตช์ที่มีอยู่แล้ว การติดตั้งสวิตช์ตัดคอนเพิ่มเติม การเพิ่มจำนวนสายจำหน่ายไฟฟ้า ไปจนถึงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย การจัดรูปแบบระบบจำหน่ายใหม่ เป็นวิธีการที่นิยมดำเนินการเนื่องจากมีต้นทุนค่าใช้จ่ายไม่สูงและมีผลตอบแทนที่คุ้มค่า โดยส่วนใหญ่มีเป้าหมายเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย แต่อาจเพิ่มวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น การจัดสมดุลโหลดของหม้อแปลงจำหน่าย การลดขนาดแรงดันตก เข้ามาร่วมด้วย เป็นต้น ผลการคำนวณที่ได้จะสามารถนำมากำหนดจุดเปิดวงจร โดยใช้สวิตช์ตัดคอนที่มีอยู่แล้ว หรือติดตั้งจุดเปิดสวิตช์ตัดคอนที่จุดใหม่ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละระบบ

ที่ผ่านมาได้มีการใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับจัดรูปแบบการจ่ายไฟเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่าย วิธีการใน [1] สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งด้านการวางแผนและการควบคุมการจ่ายไฟ ดำเนินการโดยเริ่มต้นคำนวณจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ตัดคอนสถานะเปิดวงจรให้เป็นสถานะปิดวงจร คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า แล้วกำหนดจุดเปิดวงจรที่กึ่งที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยที่สุดเป็นจุดที่เหมาะสม ในบางครั้งได้มีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟเป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ เช่น จาก [2] ได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้เหลือน้อยที่สุด ร่วมกับการจัดความสมดุลการจ่ายโหลดแต่ละหม้อแปลง การลดขนาดแรงดันตก การลดความถี่การเกิดไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ และการจัดสมดุลผู้ใช้ไฟรายสำคัญ ใน [3] ได้เสนอการจัดรูปแบบการจ่ายไฟแบบหลายวัตถุประสงค์โดยใช้วิธีการฮิวริสติกร่วมกับการใช้ Fuzzy ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดทุกๆ วัตถุประสงค์ นอกจากนั้นใน [4] ได้นำวิธีการฮิวริสติกที่นำความแตกต่างของแรงดันตกคร่อมระหว่างอุปกรณ์ตัดคอนสถานะเปิดวงจรมาใช้ในการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ ที่มีวัตถุประสงค์ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเหลือน้อยที่สุดโดยไม่ต้องใช้วิธีการค้นหาที่มีความซับซ้อน

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

กฟผ. 2 มีการงานหลักอย่างหนึ่ง คือ การดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ ให้ความเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ที่ผ่านมามีโปรแกรม PSS/Adept หรือ DigSILENT เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ การใช้ฟังก์ชันจากโปรแกรมในการคำนวณหาจุดเปิดสวิตช์อุปกรณ์ตัดคอนมีความไม่ยืดหยุ่น เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง มีเงื่อนไขในทางปฏิบัติที่มีรายละเอียดการปฏิบัติงานจริงอยู่มาก ทำให้ผลที่ได้จากโปรแกรมไม่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ เนื่องจากผู้วิเคราะห์ไม่อาจแทรกสวิตช์ตัดคอนเข้าไปในจุดที่เป็นค่าตอบของโปรแกรมได้

บทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีดำเนินการจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ โดยใช้วิธีวิวัฒนาการช่วยในการพิจารณาหาจุดเปิดวงจรที่มีความเหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จะได้รูปแบบการจ่ายไฟ กลุ่มระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ ที่มีปริมาณงานมากเป็นอันดับ 2 แต่มีความยากในการหาจุดเปิดวงจรมากกว่าและยังเป็นพื้นฐานของการคำนวณในรูปแบบอื่นมานำเสนอ โดยการใช้ดัชนีชี้วัดเพื่อกำหนดจุดเปิดวงจรของระบบจำหน่าย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหการจัดรูปแบบการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายจริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการ Newton-Raphson แบบกำหนดค่าให้โหลดที่ใช้คำนวณเป็นโหลดคงที่ โดยในบทความนี้จะมีการคิดแปลงจากโปรแกรม Matpower 3.2 ซึ่งเป็นโปรแกรม Open Source ที่ทำงานบนโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย กำลังไฟฟ้าที่ไหลในส่วนต่างๆ และแรงดันไฟฟ้า ณ ทุกบัส ดังสมการ (1) และ (2)

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i||V_k|(G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) \quad (1)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i||V_k|(G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) \quad (2)$$

เมื่อ P_i, Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

V_i, V_k คือ แรงดันไฟฟ้า

G_{ik}, B_{ik} คือ ค่าความนำไฟฟ้า, ค่า susceptance

ปกติการใช้โปรแกรม Matpower 3.2 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะใช้คำสั่ง Runpf ที่กำหนดให้มี slack บัส (บัสชนิดที่ 3) จำนวน 1 บัส แต่การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใหม่ของระบบจำหน่ายจริงส่วนมากต้องพิจารณาจัดรูปแบบของระบบที่มีสถานีไฟฟ้า 2 แห่งขึ้นไป ซึ่งไม่สามารถกำหนดเป็น slack บัส ทั้ง 2 บัสได้ จึงมีการประยุกต์การ

คำนวณโดยกำหนดบัสที่เป็นสถานีไฟฟ้าอื่นๆ เป็น Isolated บัส (บัสชนิดที่ 4) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือน slack บัส

2.2 ข้อจำกัดของวิธีการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ

เป็นเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาเพื่อทำให้รูปแบบการจ่ายไฟที่กำหนดสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยทั่วไปข้อจำกัดที่ต้องพิจารณา มีดังนี้ [5-6]

2.2.1 คุณภาพแรงดันไฟฟ้า เป็นเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ยอมรับได้ขณะจ่ายไฟฟ้าตามมาตรฐานการบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ซึ่งมีค่าแรงดันอยู่ระหว่าง 0.95 pu - 1.05 pu

2.2.2 ขนาคระแสไฟฟ้าที่โหลดสาย เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องไม่มีสายจำหน่ายเส้นใดเส้นหนึ่งรับภาระโหลดเกินพิกัด ซึ่งแบ่งได้ 2 กรณีดังนี้ สายไฟฟ้าขนาด 185 ตร.มม. สามารถรับภาระทางไฟฟ้าได้ 520 A เมื่อเป็นสายชนิดอลูมิเนียม และ 429 A เมื่อเป็นสาย Space Aerial Cable (SAC) พิกัดการรับโหลด (Loading Criteria) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดให้สามารถถ่ายเทโหลดไปวงจร หรือสถานีข้างเคียงได้ 50% ของพิกัดสายไฟฟ้าในสภาวะการจ่ายโหลดปกติ เมื่อนำพิกัดกระแสไฟฟ้า และแรงดัน ของสายไฟฟ้ามาคำนวณที่ PF เท่ากับ 0.90

2.2.3 พิกัดของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องทำให้หม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าจ่ายโหลด วงจรจะไม่เกิน 8 MW

2.2.4 ให้ทุกจุดในระบบจำหน่ายต้องได้รับไฟ เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้รูปแบบการจ่ายไฟที่ได้ต้องทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายมีไฟฟ้าใช้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวในระบบจำหน่ายต้องได้รับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2.2.5 โครงสร้างของระบบ ต้องยังคงเป็นแบบเรเดียล

2.3 จุดที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน

คือ บัสที่มีกระแสไฟฟ้าจากเส้นทางหลักไหลเข้ามากกว่า 1 ทิศทาง และไม่มีกระแสไหลออก บทความนี้ได้นำบัสที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน เป็นจุดเปิด สวิตช์กัก เริ่มต้น สำหรับการค้นหาจุดเปิดวงจรที่เหมาะสม

เมื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเป็นวงรอบ บัสที่กำลังไฟฟ้าไหลมาบรรจบกัน แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บัสที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน

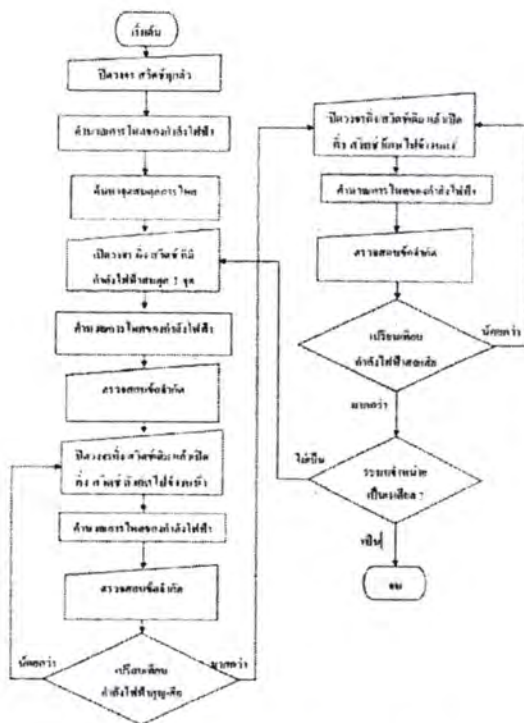
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

3. วิธีการหาค่าตอบ

ดำเนินการโดยเปิดวงจรของอุปกรณ์ตัดคอนทุกตัวเพื่อให้ระบบจำหน่ายอยู่ในสภาวะจ่ายโหลดแบบวงรอบ คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อค้นหาจุดเปิดวงจรเริ่มต้นจากจุดที่กำลังไฟฟ้ามาบรรจบกัน แล้วทดลองค้นหาจุดเปิดวงจรจุดถัดไป โดยการปิดและเปิดวงจรของกิ่งถัดไปจากจุดเริ่มต้น ทั้งทิศทางไปข้างหน้า และทิศทางย้อนไปข้างหลัง จนระบบจำหน่ายเป็นเรเดียล ขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Flow chart ขั้นตอนการค้นหาจุดเปิดวงจร

4. ระบบทดสอบ

จากการนำข้อมูลปริมาณงานในโครงการ การจัดรูปแบบการจ่ายไฟใน กฟผ.2 ที่ตั้งดำเนินการมาจำแนกลักษณะ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มระบบจำหน่ายได้ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย ไม่มีวงรอบ 23%
- กลุ่มที่ 2 ระบบจำหน่ายที่มี 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 20%
- กลุ่มที่ 3 ระบบจำหน่ายที่มี 1 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ 10%
- กลุ่มที่ 4 ระบบจำหน่ายที่มี 3 แหล่งจ่าย 0 วงรอบ 8%
- และกลุ่มอื่นๆ 39% ของปริมาณงานทั้งหมด

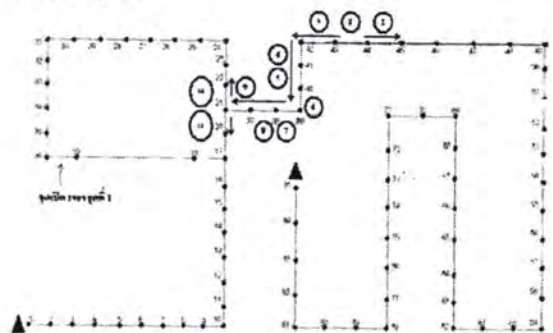
ใช้ระบบจำหน่ายในพื้นที่ กฟผ.2 ในสายป้อนที่มีจำนวน 85 บัส เป็นระบบทดสอบ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบทดสอบ 2 แหล่งจ่าย 1 วงรอบ จำนวน 85 บัส

5. ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 3 เป็นโครงสร้างระบบจำหน่ายจริงเพื่อให้ง่ายในการพิจารณา จึงแปลงระบบจำหน่ายทดสอบให้อยู่ในรูปอย่างง่าย และแสดงให้เห็นแนวทาง และจำนวนรอบในการค้นหาจุดเปิดสวิตช์ของระบบทดสอบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบทดสอบ และตัวอย่างการค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2

ต้องการเปิดวงจร 2 จุด ซึ่งเมื่อดำเนินการตามขั้นตอนดังรูปที่ 2 ได้ผลดังนี้

- จุดเปิดวงจรของวงรอบ เริ่มต้นหาจุดเปิดวงจรจากการเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 ค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหน้า และค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหลัง ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 1

รอบที่	กึ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_l (MW)	P_{S5} (MW)
	บัส	บัส					
1	19	36	0.15041	1.050	0.980	2.29	1.19
2	18	19	0.17701	1.050	0.954	2.29	1.22
3	35	36	0.15084	1.050	0.980	2.29	1.19

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

จากตารางที่ 1 เริ่มค้นหาจุดเปิดวงจรจากการเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 จากการค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหน้า และค้นหาจุดเปิดวงจรย้อนไปข้างหลังพบว่าจุดเปิดวงจรรอบที่ 1 ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเหลือน้อยที่สุด และจากการตรวจสอบข้อจำกัดด้านทุกข้อทั้งด้านแรงดัน และด้านการบริการะโหลคของสายไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้า กึ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 จึงเป็นจุดเปิดวงจรจุดแรก เมื่อเปิดวงจรจุดแรกแล้วระบบจำหน่ายยังเป็นเรเดียล จึงค้นหาจุดเปิดวงจรต่อ

• จุดเปิดวงจรเพื่อทำให้ระบบเป็นเรเดียล ค้นหาจุดเปิดวงจรโดยเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 19 กับบัสที่ 36 ไว้ แล้วค้นหาจุดเปิดวงจรจากกึ่งระหว่างบัส 43 กับ บัส 44 ไปข้างหน้า และไปข้างหลัง ไปจนถึงจุดที่การเปิดวงจรที่กึ่งระหว่างบัส 20 กับบัส 21 ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การค้นหาจุดเปิดวงจรจุดที่ 2

รอบ ที่	กึ่งที่เปิดวงจร		P_L (MW)	V_{max} (kV)	V_{min} (kV)	P_f (MW)	P_{fs} (MW)
	บัส	บัส					
1	43	44	0.17211	1.072	0.966	2.29	1.21
2	44	45	0.17421	1.076	0.964	2.35	1.16
3	42	43	0.17186	1.072	0.966	2.28	1.22
4	41	42	0.17072	1.068	0.968	2.24	1.26
5	40	41	0.17036	1.067	0.968	2.22	1.28
6	39	40	0.17024	1.067	0.968	2.22	1.28
7	38	39	0.16964	1.063	0.970	2.17	1.33
8	37	38	0.16952	1.062	0.970	2.16	1.34
9	21	37	0.16944	1.058	0.972	2.10	1.40
10	21	22	ไม่ดำเนินการเพราะค่าไฟ บัส 23 ถึง บัส 36 ไม่มีแรงดัน				
11	20	21	0.23514	1.074	0.966	1.72	1.84

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่ารอบที่ 2 ที่ค้นหาจุดเปิดวงจรไปข้างหน้า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดเปิดวงจรเริ่มต้น ค้นหาย้อนมาข้างหลังตั้งแต่รอบที่ 3 มาจนถึงรอบที่ 9 พบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเรื่อยๆ ถึงรอบที่ 10 พบว่าจุดเปิดวงจรดังกล่าวทำให้บัส 23 ถึง บัส 36 ไม่มีแรงดันไม่ผ่านข้อจำกัดของการจัดรูปแบบการจ่ายไฟ พอถึงรอบที่ 11 จุดเปิดในรอบนี้ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้น ทิศทางการค้นหาเป็นไปตามรูปที่ 4 ซึ่งใช้จำนวนรอบในการค้นหาจำนวน 11 รอบ

จุดเปิดวงจรระหว่างบัส 21 กับ 37 ในรอบที่ 9 จึงเป็นจุดเปิดวงจรที่เหมาะสมจุดที่ 2 และทำให้ระบบจำหน่ายเป็นเรเดียล จึงหยุดค้นหา

6. สรุป

จากผลการทดลองค้นหาจุดเปิดวงจรโดยใช้ระบบจำหน่ายของ กฟฉ.2 เป็นระบบทดสอบ จะเห็นว่าการทำงานระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้เป็นระบบจำหน่ายแบบวงรอบโดยการปิดวงจรอุปกรณ์ตัดคอนทุกตัว แล้วนำบัสที่มีกำลังไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้ามาบรรจบกัน มากำหนดจุดเปิดวงจรให้ระบบจำหน่ายเป็นเรเดียล สามารถนำไปใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาจุดเปิดวงจร ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเหลือน้อยที่สุดได้ วิธีการนี้ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานในโครงการสามารถเข้าใจขั้นตอนการวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยให้มีความยืดหยุ่นในการเลือกตำแหน่งจุดเปิดวงจร ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 ภาค 2 จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ระบบจำหน่ายตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Shirmohanunadi and H. W. Hong, "Reconfiguration Of Electric Distribution Networks For Resistive Line Losses Reduction", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989.
- [2] I. Roytelman, V. Melnik, S. S. H. Lee and R. L. Lugtu, "Multi-objective Feeder Reconfiguration by Distribution Management System", IEEE Transaction on Power System, Vol.11 No.2, May 1996.
- [3] D. Das, "A Fuzzy Multiobjective Approach for Network Reconfiguration of Distribution Systems", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 21, No. 1, January 2006.
- [4] R. Srinivasa Rao and S. V. L. Narasimham, "A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems" International Journal of Applied Science, Engineering and Technology 5:1 2009.
- [5] E. M. Carreno, R. Romero and A. P. Feltrin, "An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem", IEEE Transaction on Power System, Vol.23, N0.4, November 2008.
- [6] Y.-K. Wu, C.-Y. Lee, L.-C. Liu and S.-H. Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generator", IEEE Transaction on Power Delivery, March 10 2010.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

นายสรรค์ชัย พรหมสูงวงศ์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2538-2540 วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาไฟฟ้ากำลัง

พ.ศ.2540-2542 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2544-ปัจจุบัน

กองแผนงานและปฏิบัติการ ฝ่ายปฏิบัติการเครือข่าย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 จังหวัดอุบลราชธานี

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกวิศวกรรมและความปลอดภัย

กองแผนงานและปฏิบัติการ ฝ่ายปฏิบัติการเครือข่าย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาค 2 จังหวัดอุบลราชธานี

โทรศัพท์ (045) 242434-6 ต่อ 22211