

การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้า
แบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อแบบคู่สัญญา



นาย กานต์ วงษ์ปาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TRANSMISSION LOSS ALLOCATION FOR MIXED POOL AND BILATERAL MARKETS



Mr. Kanta Vongphan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการ
ซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลาง
และการซื้อแบบคู่สัญญา

โดย

นายกานต์ วงษ์ปาน

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

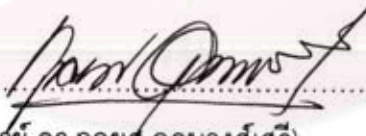
อาจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

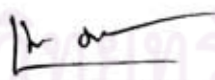
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนिरองวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. ณัฐภพ นิมปีดิวัน)

กานต์ วงษ์ปาน : การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อแบบคู่สัญญา.

(TRANSMISSION LOSS ALLOCATION FOR MIXED POOL AND BILATERAL MARKETS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, 89 หน้า.


ปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่ได้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากแบบเดิมที่มีลักษณะการซื้อขายไฟฟ้าแบบผูกขาดมาเป็นการซื้อขายแบบตลาดเสรี ซึ่งในโครงสร้างแบบใหม่นี้ได้มีการอนุญาตให้บริษัทเอกชนต่างๆเข้ามามีบทบาทในการซื้อขายไฟฟ้ามากขึ้น โดยทั่วไปแล้วการซื้อขายไฟฟ้าในโครงสร้างแบบใหม่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา และแบบผสม ซึ่งมีลักษณะที่เป็นไปทั้งแบบการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อแบบคู่สัญญา โดยทั่วไป เมื่อมีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบส่งไปยังโหลดจะส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้น มูลค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีค่ามากในแต่ละปี ดังนั้นการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงมีความสำคัญ โดยการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นต้องยุติธรรมและโปร่งใสกับทุกฝ่าย

ในอดีตได้มีงานวิจัยที่กล่าวถึงการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียอยู่หลายงานวิจัยซึ่งแต่ละงานวิจัยมีแนวคิดต่างๆกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วงานวิจัยต่างๆในอดีตจะนำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มีเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเพียงอย่างเดียว หรือ มีเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยมีพื้นฐานของการจัดสรรอยู่บนสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสียและใช้หลักการที่ว่า การซื้อขายไฟฟ้าใดที่มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมเพิ่มขึ้นมากจะต้องรับผิดชอบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาก ซึ่งทำให้การจัดสรรวิธีนี้ได้สะท้อนถึงโครงสร้างของระบบไฟฟ้า และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

วิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับระบบ 14 บัส และ ระบบ IEEE-RTS 79 ผลที่ได้รับเป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา.....2551.....

ลายมือชื่อนิสิตร..... กานต์ วงษ์ปาน.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5070539921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LOSS ALLOCATION / POOL MARKET / BILATERAL MARKET

KANTA VONGPHAN : TRANSMISSION LOSS ALLOCATION FOR MIXED
POOL AND BILATERAL MARKETS. ADVISOR : KULYOS
AUDOMVONGSEREE, 89 pp.

Nowadays, most power systems have been changed to an open market based structure. Under these new structures, there are three types of market models, a pool-based model, a bilateral-contract-based model and a hybrid model. When there is power transaction from generators to loads, it will cause power loss to the power system. This power loss costs a large amount of money per year. Thus, the fair and transparent loss allocation among participants has an important impact on the competitive environment.

In the past, there were several researchers proposing the loss allocation methods for a power system. However, these methods could generally be applicable for only either pool-based market or bilateral contract-based market.


This paper proposes a new transmission loss allocation method for a mixed Pool and Bilateral market. The proposed method is based on a derivation of an actual loss formula. It applies the general concept that the transaction causing a larger amount of loss must be responsible for a greater amount of power losses.


This proposed method has been tested with the 14-bus test system and IEEE-RTS 79 system. Satisfactory results have been obtained.

Department : ... Electrical Engineering

Field of Study : ... Electrical Engineering

Academic Year : 2008

Student's Signature : 

Advisor's Signature : 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.กฤษศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและ ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณา ตรวจสอบ แก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร. แนนบุญ หุนเจริญ และ อาจารย์ ดร.ณัฐภพ นิมปิตินันท์ ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้ คำแนะนำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ทำยนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์.....	2
1.3. ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	2
1.4. ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน.....	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	3
1.6. เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	5
2.1. การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation).....	5
2.1.1. แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	5
2.1.1.1. แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	5
2.1.1.2. แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า.....	5
2.1.1.3. แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า.....	6
2.1.2. สมการแสดงคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	7
2.1.3. การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน – ราฟสัน.....	8
3. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า.....	12
3.1. การแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า.....	12
3.1.1. ทำไมถึงมีการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง.....	12

บทที่	หน้า
3.1.2. โครงสร้างระบบไฟฟ้าแบบเก่า หรือ โครงสร้างการผลิต การส่ง และการ จัดจำหน่ายแบบผูกขาด.....	12
3.1.3. โครงสร้างระบบไฟฟ้าหลังถูกแปรรูป.....	13
3.1.4. รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้า (Market Model).....	14
3.1.5. องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าที่ถูกแปรรูป (Components of Restructured Systems).....	18
4. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย.....	20
4.1. การจัดสรรกำลังไฟฟ้าที่มีมาในอดีต.....	20
4.1.1. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบสัดส่วน (Pro Rata Procedures)	21
4.1.2. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบส่วนเพิ่ม (ITL).....	21
4.1.3. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบ Z-Bus (Z-Bus Loss Allocation)..	23
4.2. การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	24
4.2.1. เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Transaction Matrix)	24
4.2.2. สมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Formula).....	25
4.2.3. การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้า แบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อขายแบบคู่สัญญา (Transmission Loss Allocation for a Mixed Pool – Bilateral Market)...	27
4.3. การคิดราคาค่าไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า.....	33
4.3.1. ราคาไฟฟ้า ณ โหนด (Nodal Price หรือ Locational Marginal Price)....	34
4.3.2. การจัดสรรกำลังไฟฟ้าและการคำนวณค่า λ_{ref}	34
4.3.3. การคำนวณค่า γ_i^L	37
4.3.4. การคำนวณค่า γ_i^C	38
5. ผลการทดสอบ.....	42
5.1. ผลการทดสอบ.....	42
5.1.1. ระบบทดสอบ 14 บัส.....	42
5.1.2. ระบบทดสอบ RTS-79.....	44
5.1.2.1. กรณีที่ 1 จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	44
5.1.2.2. กรณีที่ 2 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 2..	61
5.1.2.3. กรณีที่ 3 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 5..	64

บทที่	หน้า
5.1.2.4. กรณีที่ 4 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 4..	67
5.1.2.5. กรณีที่ 5 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายบัส 7	70
5.1.2.6. กรณีที่ 6 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายบัส 18	73
6. สรุปผลการวิจัย.....	77
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก ข้อมูลระบบทดสอบ 14 บัส.....	81
ภาคผนวก ข ข้อมูลระบบ RTS-79.....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	89



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
5.1	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีต่างๆ	43
5.2	ผลการจัดสรรกำลังการผลิตของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง	46
5.3	ผลการจัดสรรความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆของการซื้อขายไฟฟ้าผ่าน ตลาดกลาง.....	46
5.4	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางในแต่ละ รอบการคำนวณ.....	50
5.5	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาในแต่ละ รอบการคำนวณ.....	52
5.6	กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางใน แต่ละรอบการคำนวณ.....	53
5.7	กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมในแต่ละรอบการคำนวณ.....	54
5.8	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง	55
5.9	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา	55
5.10	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	56
5.11	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางของ โหลด.....	56
5.12	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายผ่านตลาดกลาง....	57
5.13	กำลังไฟฟ้าขาออกรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	57
5.14	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g_i}}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{d_i}}$ ของทุกๆบัส.....	58
5.15	ราคา ณ โหนดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	59
5.16	ราคา ณ โหนดสำหรับโหลด	60
5.17	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยน ปริมาณการซื้อขายที่ 2.....	61
5.18	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อ เปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2.....	62

ตารางที่	หน้า
5.19	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2 62
5.20	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2 63
5.21	ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2 63
5.22	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 64
5.23	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 65
5.24	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 66
5.25	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 66
5.26	ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 66
5.27	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 67
5.28	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 68
5.29	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 69
5.30	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 69
5.31	ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 69
5.32	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7 71
5.33	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7 71
5.34	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7 72
5.35	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7 72

ตารางที่		หน้า
5.36	ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7.....	72
5.37	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเพิ่ม โหลดที่บัส18.....	74
5.38	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่ม โหลดที่บัส 18.....	74
5.39	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18.....	75
5.40	ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18.....	75
5.41	ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18.....	75
ก.1	ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 14 บัส.....	81
ก.2	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส.....	82
ก.3	ข้อมูลระบบสายส่งของระบบทดสอบ 14 บัส.....	82
ข.1	ข้อมูลบัสของระบบ RTS-79.....	84
ข.2	ข้อมูล Demand curve ของระบบ RTS-79.....	85
ข.3	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RTS-79.....	86
ข.4	ข้อมูล Cost curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RTS-79.....	86
ข.5	ข้อมูลระบบส่งของระบบ RTS-79.....	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	5
2.2	แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนแบบ off – nominal.....	6
2.3	วงจรสมมูลแบบ π	6
2.4	แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า	6
2.5	บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	8
3.1	แผนภาพแสดงระบบไฟฟ้ากำลัง	13
3.2	แผนภาพอย่างง่ายแสดงระบบไฟฟ้ากำลัง	13
3.3	แผนภาพแสดงระบบไฟฟ้ากำลังหลังถูกแปรรูป.....	14
3.4	ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.....	16
3.5	ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา.....	17
3.6	ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม	17
4.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย	33
4.2	ตัวอย่างกราฟเสนอราคาขายไฟฟ้า	35
4.3	ตัวอย่างกราฟเสนอราคาซื้อไฟฟ้า	35
4.4	ตัวอย่างกราฟเสนอราคาขายไฟฟ้ารวมและกราฟเสนอราคาซื้อไฟฟ้ารวม.....	36
4.5	ขั้นตอนการคำนวณราคา ณ โหนด	41
4.6	ขั้นตอนการคำนวณในวิทยานิพนธ์.....	41
5.1	ระบบทดสอบ 14 บัส	42
5.2	ระบบทดสอบ RTS-79	45
5.3	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 2, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม ของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 2.....	64
5.4	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 5, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม ของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 5.....	67
5.5	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 4, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม ของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 4.....	70

ภาพที่		หน้า
5.6	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของของบัส 7, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 7.....	73
5.7	ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของของบัส 18, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 18.....	76



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ทั่วโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากเดิมที่มีลักษณะการซื้อขายไฟฟ้าแบบผูกขาด (Monopoly) [1,2,4] มาเป็นการซื้อขายแบบเสรี (Open Market System) [3] ซึ่งในโครงสร้างแบบใหม่นี้ได้มีการอนุญาตให้บริษัทเอกชนต่างๆเข้ามามีบทบาทในการซื้อขายไฟฟ้ามากขึ้น โดยทั่วไปแล้วการซื้อขายไฟฟ้าในโครงสร้างแบบใหม่นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool Model) การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Contracts Model) และ แบบผสม (Hybrid Model) ซึ่งมีลักษณะที่เป็นไปทั้งแบบการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อแบบคู่สัญญา โดยทั่วไป เมื่อมีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบส่งไปยังโหลดจะส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้นซึ่งโดยปกติแล้วกำลังไฟฟ้าสูญเสียเหล่านี้จะมีค่าประมาณ 5 – 10% ของปริมาณความต้องการไฟฟ้าทั้งหมด (Total Demand) มูลค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีค่าหลายล้านบาทต่อปี ดังนั้นการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงมีความสำคัญโดยการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นต้องยุติธรรมและโปร่งใสกับทุกฝ่าย

ในอดีตได้มีงานวิจัยที่กล่าวถึงการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียอยู่หลายงานวิจัยซึ่งแต่ละงานวิจัยมีแนวคิดต่างๆกันไปซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น วิธี Pro rata [5,6], วิธี Incremental Transmission Loss [6,7], วิธี Proportional Sharing [8], วิธีสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Formula) และ วิธี Z-bus [6] เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดคร่าวๆดังต่อไปนี้

วิธี Pro rata เป็นหนึ่งในวิธีที่ง่าย การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตที่แต่ละบัสหรือความต้องการกำลังไฟฟ้าที่แต่ละบัส (Load) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งของแต่ละบัสในระบบ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโหลดที่อยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางโหลดได้รับประโยชน์มากกว่าปกติ

วิธี Incremental Transmission Loss เป็นการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยขึ้นกับสัมประสิทธิ์ Incremental Transmission Loss (ITL) ซึ่งมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (ก) ITL สามารถมีค่าได้ทั้งเป็นบวกและลบ (ข) การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้นอยู่กับการเลือกบัสอ้างอิง (slack bus) วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือ การเลือกบัสอ้างอิงอาจทำให้ผู้เกี่ยวข้องของแต่ละฝ่ายได้รับความไม่เท่าเทียมกัน

วิธี Proportional Sharing เป็นวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยมีการตั้งสมมติฐาน (Proportional Sharing Principle) โดยสมมติว่ากำลังที่ไหลเข้าที่บัสหนึ่งๆจะถูกแบ่งออกเป็น

สัดส่วนไปยังกำลังขาออก และในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นจะต้องมีการกำหนดสัดส่วนระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลดเองว่าจะแบ่งกันที่เท่าไร (โดยปกติจะแบ่งเท่ากันคือ 50%) วิธีการนี้มีข้อเสียคือ สมมติฐานดังกล่าวอาจไม่เป็นจริงในทางปฏิบัติ

วิธี Z-bus เป็นวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้ขนาดของกระแสที่ฉีดเข้าที่แต่ละบัสเป็นเกณฑ์ในการจัดสรรซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างของระบบไฟฟ้าผ่านทาง Z-bus และง่ายในการทำ ความเข้าใจ แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ โหลดส่วนใหญ่ในระบบไม่ได้มีค่ากระแสโหลดที่คงที่ แต่จะมี กำลังไฟฟ้าโหลดคงที่แทน ทำให้ผลการจัดสรรมีความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไปแล้ว งานวิจัยต่างๆส่วนใหญ่ที่กล่าวมาข้างต้นจะนำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มีเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเพียงอย่างเดียว หรือ มีเฉพาะการซื้อ ขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการจัดสรร กำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาด กลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยมีพื้นฐานของการจัดสรรอยู่บนสมการกำลังไฟฟ้า สูญเสียและใช้หลักการที่ว่า การซื้อขายไฟฟ้าใดที่มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมเพิ่มขึ้นมาก จะต้องรับผิดชอบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาก ซึ่งทำให้การจัดสรรวิธีนี้ได้สะท้อนถึงโครงสร้างของ ระบบไฟฟ้า และง่ายต่อการทำความเข้าใจ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้แสดงการคำนวณราคา ณ บัส ซึ่งเป็นมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างเป็นธรรมในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อ ขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อขายแบบคู่สัญญา
2. เพื่อนำวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวไปใช้ช่วยในการคิดมูลค่าพลังงานไฟฟ้าใน ระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อขายแบบ คู่สัญญา

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาเฉพาะพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค
2. ไม่พิจารณาฮาร์โมนิกส์ในระบบ
3. พิจารณาระบบไฟฟ้าเฉพาะในสถานะอยู่ตัว (Steady-State)
4. ศึกษาเฉพาะการทำงานในสถานะคงตัวของระบบ 3 เฟสสมดุลเท่านั้น
5. ในการคิดราคาค่าไฟฟ้าสำหรับตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าจะไม่คิดผลของการส่ง กำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่ง

6. พิจารณาเส้นอุปสงค์และอุปทานของพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Demand/Supply Curve)

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังก่อนและหลังการแปรรูป
2. ศึกษาวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เคยมีมาในอดีต
3. พัฒนาวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ใช้ในงานวิจัย
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น
5. ทดสอบผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ให้ในงานวิจัย
6. ศึกษาวิธีการคิดราคา ณ โหนด ที่เคยมีมาในอดีต
7. พัฒนาวิธีการคิดราคา ณ โหนด โดยใช้พื้นฐานจากวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่นำเสนอ
8. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคิดราคา ณ โหนดจากวิธีการที่นำเสนอ
9. ทดสอบผลการคิดราคา ณ โหนดจากวิธีที่นำเสนอ
10. วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำที่ได้จากโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างเป็นธรรมที่ใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา
2. โปรแกรมทดสอบการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่นำเสนอ

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอในที่นี้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation)

บทที่ 3 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีของระบบไฟฟ้ากำลังก่อนการแปรรูป และระบบไฟฟ้ากำลังหลังการแปรรูป ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร มีรูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าต่างกันอย่างไร และมีองค์ประกอบที่เปลี่ยนไปอย่างไร

บทที่ 4 จะกล่าวถึงหลักการการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีในอดีต และหลักการการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีที่นำเสนอ

บทที่ 5 จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีมาในอดีตกับวิธีการจัลดสรรที่นำเสนอ รวมทั้งมีการตรวจสอบผลการจัลดสรรที่ได้จากวิธีที่นำเสนอว่ามีความถูกต้องเป็นไปได้อย่างน้อยเพียงใด

บทที่ 6 จะสรุปผลที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

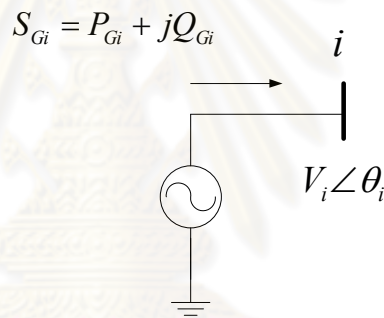
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

2.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งเป็นพื้นฐานในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งประกอบไปด้วย แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง สมการแสดงคุณลักษณะ และวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

2.1.1 แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1.1.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

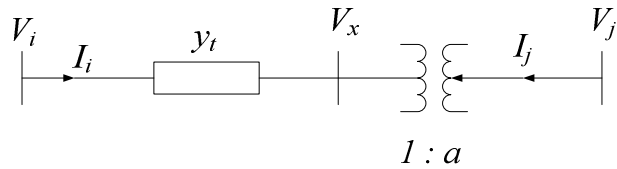


รูปที่ 2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เราสามารถแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตเท่ากับ $S_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi}$ ได้ด้วยแหล่งกำเนิดที่จ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดคงที่ด้วยขนาดแรงดันคงที่ แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างี้ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

2.1.1.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า

เราสามารถแทนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดแบบปกติ (nominal turn-ratio) ด้วย แอดมิตแตนซ์แบบอนุกรม (series admittance; y_i) และสามารถแทนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดแบบไม่ปกติ (Off-nominal turn ratio) ได้โดยการพิจารณาเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าเชิงอุดมคติที่มีอัตราส่วนของแท็บเป็น $1:a$ ต่ออนุกรมกับแอดมิตแตนซ์ $y_i = g + jb$ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

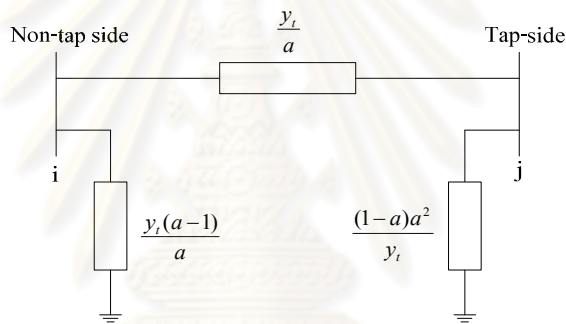


รูปที่ 2.2 แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนแบบ off – nominal

สมการบัสแอดมิตแตนซ์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้างดงกล่าวแสดงด้ดงสมการ (2.1)

$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_t & -\frac{y_t}{a} \\ -\frac{y_t}{a^*} & \frac{y_t}{|a|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

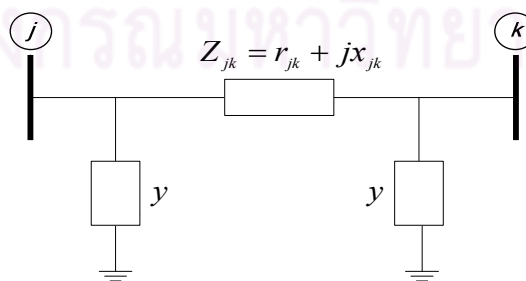
ในกรณีที่ a เป็นจำนวนจริง วงจรสมมูลแบบ π ของหม้อแปลงแบบ off-nominal แสดงด้ดงรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลแบบ π

2.1.1.3 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าสามารถแทนด้ดงด้วยแบบจำลองสมมูลแบบ π ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เท่ากับ $z_{jk} = r_{jk} + jx_{jk}$ และค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt Admittance) เท่ากับ $y = g + jb$ ดงรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า

2.1.2 สมการแสดงคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยทั่วไป ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังและกระแสที่ฉีดเข้าสู่ที่ตำแหน่งนั้นๆสามารถถูกอธิบายด้วยสมการปม (Node Equation) ผ่านเมทริกซ์บัสแอดมิแตนซ์ (bus admittance matrix; Y_{bus})

การคำนวณหา Y_{bus} ทำได้โดยอาศัยค่าประจำตัวของอุปกรณ์ หรือส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งในทางวงจรไฟฟ้านั้นเราจะพิจารณาเป็นกิ่ง (Branch) ของวงจร ทั้งนี้ค่าประจำตัวเหล่านี้จะประกอบด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัว (primitive impedance, z) หรือแอดมิแตนซ์ประจำตัว (primitive admittance, y) ของสายส่งหรือหม้อแปลงที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ

หลักการเบื้องต้นในการสร้าง Y_{bus} จากค่าประจำตัวของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบแต่ละส่วน จะอาศัยสมมติฐานว่าส่วนประกอบต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังไม่มีความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance) ระหว่างกัน ซึ่งทำให้เราสามารถสร้าง Y_{bus} ได้โดยอาศัยวิธีการตรวจพิจารณา (Inspection) ซึ่งมีขั้นตอนในการพิจารณา 3 ขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 Y_{bus} เป็นเมทริกซ์สมมาตร
- ขั้นที่ 2 Y_{ii} (self-admittance) คือ ค่าในแนวทแยงมุมของเมทริกซ์ มีค่าเท่ากับผลรวมทั้งหมดของ primitive admittance ของส่วนประกอบที่ต่ออยู่กับบัส i ทั้งหมด

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (2.2)$$

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (2.3)$$

โดย z_{ij} คือค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างโนด i และ j

- ขั้นที่ 3 Y_{ij} (mutual admittance) คือ ค่าที่อยู่นอกแนวทแยงมุมของเมทริกซ์มีค่าเท่ากับค่าติดลบของ primitive admittance ของส่วนประกอบทั้งหมดที่ต่ออยู่ระหว่างบัส i และ j ถ้ามีส่วนประกอบทางไฟฟ้ามากกว่าหนึ่งส่วนประกอบที่ต่อขนานอยู่ระหว่าง 2 บัสต้องจัดการรวมให้เรียบร้อยก่อนจะนำมาใส่ใน Y_{bus}

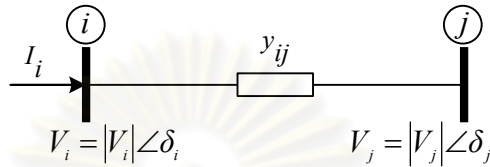
$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.4)$$

จากการพิจารณาแบบ Inspection ของระบบ n บัส จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันประจำบัส (Bus-Voltage equations) และกระแสที่ฉีดเข้าสู่บัส (Bus Injected Current) ดังสมการ (2.5)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

2.1.3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน – ราวสัน

พิจารณาตำแหน่งหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.5 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

จากรูปที่ 2.5 เราสามารถเขียนกระแสที่ฉีดเข้าบัสที่ i ในรูปของเมทริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์ได้ดังนี้

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.6)$$

ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Power flow equation) สุทธิที่ไหลเข้าบัสที่ i คือ

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.7)$$

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \left(\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \right) \quad (2.8)$$

เมื่อแยกพิจารณาส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$P_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$Q_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.10)$$

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่คำนวณได้ตามสมการ (2.9) และ (2.10) จะเท่ากับกำลังไฟฟ้ารวมที่ได้รับการจัดสรรใช้ที่แต่ละบัส นั่นคือ

$$P_{i,calc}(|V|, \delta) - P_{i,sch} = 0 \quad (2.11)$$

$$Q_{i,calc}(|V|, \delta) - Q_{i,sch} = 0 \quad (2.12)$$

จาก (2.11) และ (2.12) จะพบว่า ในการแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับบัสใดๆ โดยทั่วไปเราจะสนใจตัวแปรอยู่ 4 ตัว คือ ขนาดของแรงดันที่บัส ($|V|$) มุมเฟสของแรงดันที่บัส (δ) กำลังไฟฟ้าจริง (P) และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) อย่างไรก็ตาม ที่แต่ละบัส เราจะมีสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 4 นี้อยู่เพียง 2 สมการเท่านั้น ดังนั้นเราจะต้องกำหนดค่าของตัวแปร 2 ตัวเพื่อที่จะคำนวณหาอีก 2 ตัวแปรที่เหลือได้ จากตัวแปรทั้ง 4 ดังกล่าวข้างต้น เราสามารถจำแนกประเภทของบัสได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. *Slack bus or Reference bus* เป็นบัสที่มีขนาดของแรงดัน และมุมของแรงดันที่บัสจะมีค่าคงที่
2. *Load bus* เป็นบัสที่มีกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะมีค่าคงที่
3. *Voltage-controlled bus* เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่โดยกำลังจริงและขนาดของแรงดันที่บัสจะมีค่าคงที่

เราสามารถหาผลเฉลยของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้านี้ด้วยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติการลู่เข้าหาคำตอบที่รวดเร็วและจำนวนรอบของการทำซ้ำไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการจัดรูปแบบปัญหาดังสมการที่ (2.13)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta V_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

จากเมตริกซ์ข้างบนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปย่อ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

เราเรียก เมตริกซ์ $J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ ว่า เมตริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix)

สมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียนคืออนุพันธ์ย่อยของสมการที่ (2.11) และ (2.12) โดยพิจารณาได้ดังนี้

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_1

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_2

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.18)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_3

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.20)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_4

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.22)$$

โดยที่

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_{i,calc}^{(k)} \quad (2.23)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_{i,calc}^{(k)} \quad (2.24)$$

โดยค่าแรงดันบั้สที่ประมาณขึ้นใหม่จากวิธีนิวตัน-ราฟสันคือ

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.25)$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.26)$$

กระบวนการจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon_1, |\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon_2$



คุนยวิทยทรพยากร
จุพาลงกรณมหาวิทยาฬย

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า

3.1 การแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า (Electric Power System Restructuring and Deregulation)

3.1.1 ทำไมถึงมีการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง

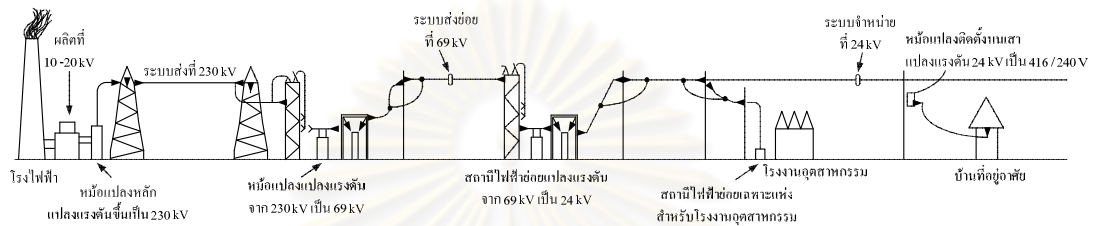
ปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังทั่วโลกบางส่วนได้ถูกแปรรูปจากระบบควบคุมที่ควบคุมโดยรัฐไปสู่การซื้อขายไฟฟ้าแบบตลาดเสรี โดยการแปรรูปเหล่านี้มีเหตุผลที่ต่างกันออกไปในแต่ละประเทศ ในหมู่ประเทศที่กำลังพัฒนา เหตุผลหลักในการแปรรูปก็คือ ความต้องการเงินลงทุนเพื่อรองรับปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการที่ไม่มีระบบจัดการที่ดี รวมทั้งนโยบายการจัดเก็บภาษีที่ไม่สมเหตุผลส่งผลให้ไม่มีเงินทุนสำรองที่จะนำไปลงทุนขยายระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ สำหรับในหมู่ประเทศที่พัฒนาแล้วเหตุผลที่ทำให้มีการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้านั้นคือ การที่ความต้องการที่จะให้เกิดการแข่งขันซึ่งนำไปสู่การซื้อขายไฟฟ้าในราคาที่ถูกกลง และมีทางเลือกในการซื้อขายไฟฟ้ามากขึ้น

3.1.2 โครงสร้างระบบไฟฟ้าแบบเก่า หรือ โครงสร้างการผลิต การส่ง และการจัดจำหน่ายแบบผูกขาด

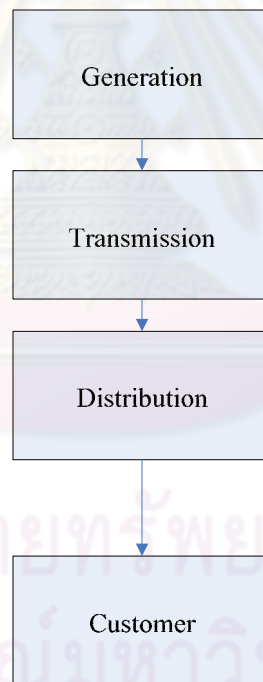
การจัดหาไฟฟ้าให้แก่ประชาชนและสถานประกอบการทั่วไป เริ่มต้นตั้งแต่โรงไฟฟ้าซึ่งมักมีสถานที่ตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชนเพื่อทำการผลิตไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการจัดส่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงจนกระทั่งเข้าใกล้ศูนย์กลางโหลดหรือบริเวณที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง จากนั้นจึงทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงมา และจัดจำหน่ายผ่านระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำให้แก่ผู้ใช้ต่อไป หากพิจารณากิจกรรมการจัดหาไฟฟ้าให้แก่ผู้บริโภคในลักษณะดังกล่าว เราสามารถแบ่งโครงสร้างของกิจการไฟฟ้าออกเป็น 3 ระบบหลักคือ ระบบผลิต (Generation) ระบบส่ง (Transmission) และ ระบบจำหน่าย (Distribution) ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.1 หรือสามารถแสดงโครงสร้างอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 3.2

โครงสร้างระบบไฟฟ้าแบบเก่านั้น จะมีหน่วยงานที่ดูแล 3 ระบบหลักเพียงไม่มีหน่วยงานเท่านั้น ยกตัวอย่าง ประเทศไทยระบบผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่และระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้าอยู่ในความดูแลของของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เท่านั้น โดย กฟผ.ทำการผลิตและส่งไฟฟ้าเกือบทั้งหมดเพื่อขายให้แก่ กฟน. และ กฟภ. และถูกค้าตรง เพื่อจัดจำหน่าย

ให้แก่ผู้ใช้ต่อไป จากโครงสร้างลักษณะดังกล่าว จึงสามารถกล่าวได้ว่ากิจการไฟฟ้าของประเทศไทย เกือบทั้งหมดอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบและการให้บริการของ 3 หน่วยงานหลัก คือ กฟผ. กฟน. และ กฟภ. ซึ่งมีผลทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกือบทั้งหมดของประเทศยังต้องอาศัยการบริการจาก 3 หน่วยงานหลักนี้เท่านั้น โดยไม่เปิดโอกาสให้มีการแข่งขันในการให้บริการในการจัดจำหน่ายไฟฟ้า แต่อย่างใด ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าระบบการจัดการและการให้บริการด้านการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบนี้เป็นไปในลักษณะการดำเนินกิจการแบบผูกขาด (Monopoly)



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงระบบไฟฟ้ากำลัง

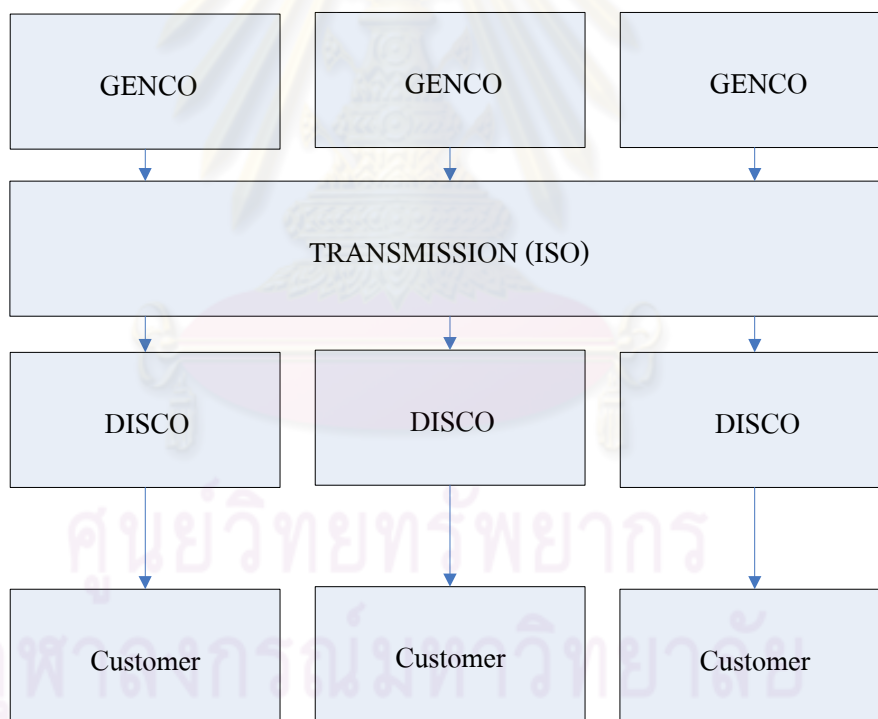


รูปที่ 3.2 แผนภาพอย่างง่ายแสดงระบบไฟฟ้ากำลัง

3.1.3 โครงสร้างระบบไฟฟ้าหลังถูกแปรรูป

การแปรรูประบบไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลง 3 ระบบหลัก ซึ่งคือ ระบบผลิต (Generation) ระบบส่ง (Transmission) และ ระบบจำหน่าย (Distribution) ให้ไปอยู่ใน การดูแลรับผิดชอบของบริษัทหรือหน่วยงานเอกชน คือ ระบบผลิต (Generation System) ไปอยู่ใน

ความดูแลของบริษัทผลิตไฟฟ้า (GENCOs) ระบบส่ง (Transmission System) ไปอยู่ในความดูแลของบริษัทระบบส่งไฟฟ้า (TRANSCO) และ ระบบจำหน่าย (Distribution System) ไปอยู่ในความดูแลของบริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DISCOs) ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้จะมีศูนย์ควบคุมอิสระ (Independent System Operator: ISO) ทำหน้าที่สั่งการปฏิบัติงานและควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น การดูแลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมีค่าเท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการในช่วงเวลาหนึ่งๆ การดูแลให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ (Reliability) และมีความมั่นคง (Security) จุดประสงค์หลักของศูนย์ควบคุมอิสระ คือ การควบคุมให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมีค่าเท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ในเวลาเดียวกัน ศูนย์ควบคุมอิสระจะควบคุมการผลิตเพื่อที่จะทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้ มีการใช้ระบบส่งอย่างมีประสิทธิภาพ และ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ (Stability) ในทางกลับกันจุดประสงค์หลักของบริษัทผลิตไฟฟ้า บริษัทระบบส่งไฟฟ้า และบริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ การทำให้มีรายได้จากการทำธุรกิจมากที่สุด รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังหลังถูกแปรรูป



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงระบบไฟฟ้ากำลังหลังถูกแปรรูป

3.1.4 รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้า (Market Model)

ระบบไฟฟ้ากำลังหลังถูกแปรรูปแล้วจะมีรูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าหลัก 3 รูปแบบ คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้า (Pool Model) การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral-Contract Model) และ แบบผสม (Hybrid Model)

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Power Pool) เป็นที่รวมของผู้ซื้อ ผู้ขาย และข้อมูลที่สำคัญต่างๆ เกี่ยวกับระบบ ดังนั้น การจัดตั้งตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าจึงเป็นการเสริมสร้างให้เกิดการแข่งขันที่สมบูรณ์มากขึ้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อขาย โดยเฉพาะในกรณีที่มีผู้ซื้อและผู้ขายจำนวนมาก ราย จึงมักจะมี “ตัวกลาง” ในการซื้อขาย โดยที่ผู้ซื้อและผู้ขายไม่มีความจำเป็นต้องติดต่อกันโดยตรง ผู้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางจะได้รับค่าตอบแทนจากผู้ซื้อและ/หรือผู้ขายตามปริมาณการซื้อขายที่ตกลงกันไว้หรือที่เกิดขึ้นจริงแล้วแต่กรณี ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าไม่ต่างจากตลาดกลางการซื้อขายสิ่งอื่นๆ มากนัก แต่ต่างกันที่ สินค้าที่นำมาซื้อขายคือไฟฟ้าในแต่ละช่วงของวัน ซึ่งการส่งมอบไฟฟ้าจะยุ่งยากกว่าสินค้าอื่น เนื่องจากไฟฟ้านั้นไม่สามารถหรือไม่มีความคุ้มค่าในการกักเก็บ ดังนั้น ตลาดกลางขายส่งไฟฟ้าจำเป็นต้องมีหน่วยงานต่างๆ เป็นตัวกลางในการดำเนินงานทางการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพและควบคุมระบบให้มีความมั่นคง อันได้แก่ ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator : ISO) เป็นต้น

ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะเป็นศูนย์กลางการดำเนินงานและการกำหนดราคาซื้อ - ขายไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า โดยการให้ผู้ซื้อและผู้ขายทำการประมูล (Bids) ราคาและปริมาณที่ต้องการทำการซื้อขายกัน ซึ่งถ้าผู้ขายส่งราคาประมูลที่สูงเกินไป ก็อาจจะทำให้ผู้ขายรายนั้นๆ ไม่ได้รับอนุญาตให้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในทางกลับกันถ้าผู้ซื้อส่งราคาประมูลที่ต่ำจนเกินไป ผู้ซื้อรายนั้นๆ ก็อาจจะไม่ได้รับอนุญาตให้รับพลังงานไฟฟ้าไปได้นอกจากนั้นศูนย์ควบคุมระบบอิสระควรจะดำเนินการอย่างอิสระ บริหารงานโดยคณะกรรมการบริหารของตน และไม่ควรมีความเกี่ยวพันใดๆ กับหน่วยงานอื่นๆ ในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า โดยหน้าที่แล้วศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะดำเนินงานด้านเทคนิคต่างๆ เช่น สั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้า สั่งการดำเนินการของระบบส่งไฟฟ้า และดำเนินการทางด้านตลาดไม่ว่าจะเป็นการกำหนดราคาค่าไฟฟ้า (Market Clearing Price) การวัดปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง รวมไปถึงการชำระเงินหรือการจัดการด้านการเงิน

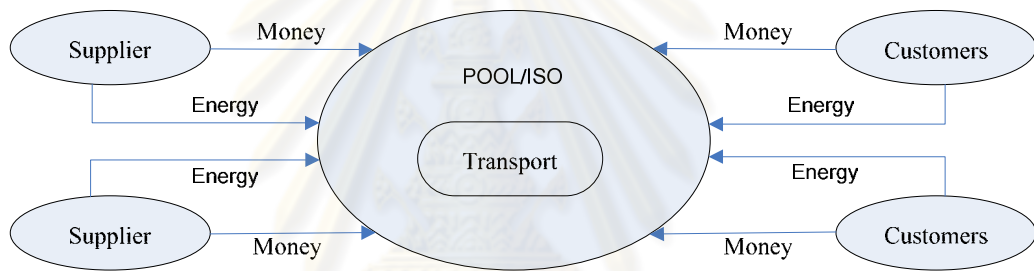
ดังนั้นจะพบว่าตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้านั้นสำคัญ ซึ่งมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. เป็นศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตกับผู้ค้าปลีก
2. เป็นกลไกในการบริหารงานของระบบไฟฟ้า เช่น การสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเพื่อให้มีการสั่งเดินเครื่องจากโรงไฟฟ้าที่เสนอราคาต่ำสุดก่อน

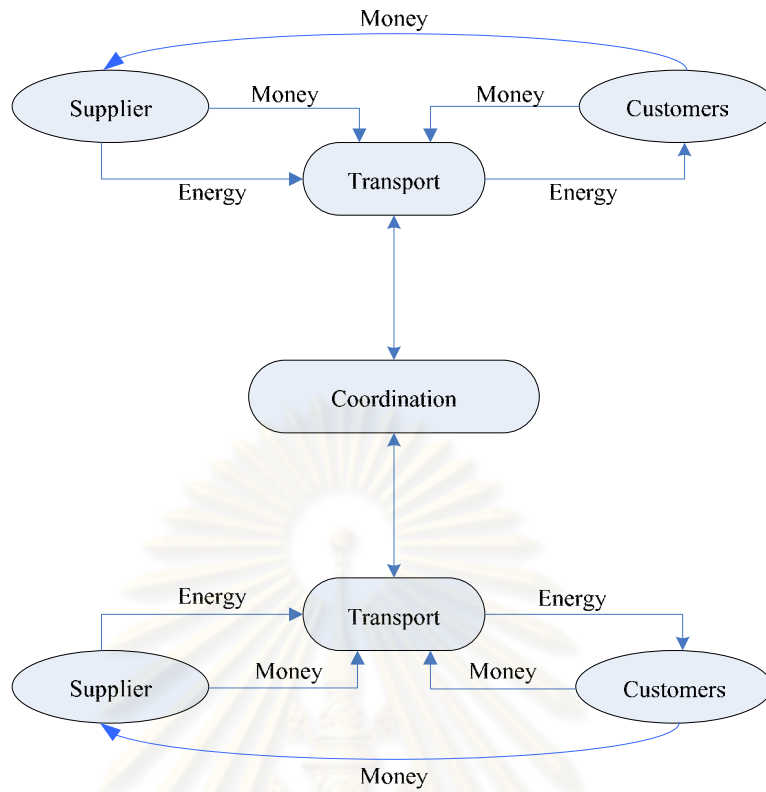
สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral-Contract Model) จะเป็นการซื้อขายกันโดยตรงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายโดยปราศจากการแทรกแซงของศูนย์ควบคุมระบบอิสระ แต่ต้องแจ้งปริมาณไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาซื้อขายกันไว้ เพื่อจะได้หักปริมาณไฟฟ้าเหล่านี้ออกจากปริมาณไฟฟ้า ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าจะต้องทำการพิจารณา วิธีนี้ทำให้การจ่ายไฟฟ้าภายใต้สัญญาของทั้งสองฝ่ายสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องผ่านตลาดกลาง ส่วนกฎเกณฑ์และระเบียบปฏิบัติของการซื้อ

ขายในตลาดจะต้องมีผลบังคับใช้ต่อผู้ประกอบการในตลาดทุกราย กล่าวคือ ผู้ประกอบการในตลาด
ทุกรายต้องปฏิบัติตามกฎของตลาดไม่ว่าจะเป็นการเสนอราคาประมูล การให้ข้อมูลของแผนการ
ผลิต การตอบสนองต่อการสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเมื่อได้รับคำสั่งจาก ISO

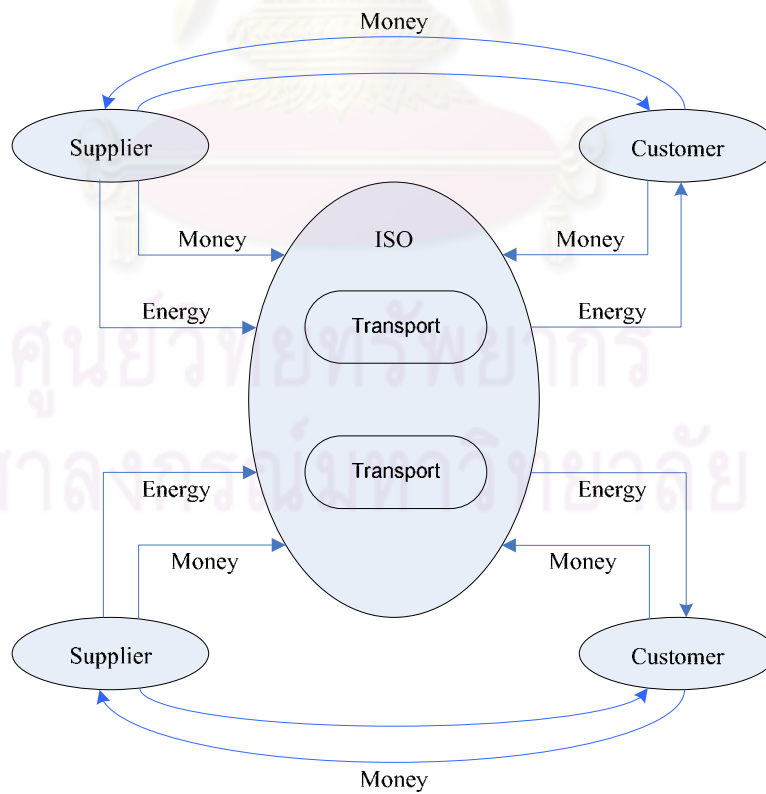
ในทางปฏิบัติการซื้อขายไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นไปในลักษณะของทั้งการซื้อขายไฟฟ้าผ่าน
ตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้า (Pool Model) และการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral-Contract
Model) นั่นคือเป็นไปในลักษณะแบบผสม (Hybrid Model) ซึ่งการซื้อขายแบบผสมจะต่างจาก
Pool Model คือ ผู้ซื้อไฟฟ้าจะสามารถไปทำสัญญาซื้อขายแบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา กับ
ผู้ขายที่อยู่ในตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าได้ ซึ่งการซื้อขายแบบผสมนี้จะมีข้อได้เปรียบกว่าแบบ
Pool Model อย่างเดียวคือ ผู้ซื้อจะสามารถเลือกซื้อไฟฟ้าได้ทั้งแบบผ่านตลาดกลางและคู่สัญญา
รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ เป็นดังรูปที่ 3.4-3.6



รูปที่ 3.4 ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง



รูปที่ 3.5 ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา



รูปที่ 3.6 ลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม

3.1.5 องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าที่ถูกแปรรูป (Components of Restructured Systems)

ระบบไฟฟ้าที่ถูกแปรรูปจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้ เช่น บริษัทผลิตไฟฟ้า (GENCOs), บริษัทระบบส่งหรือเจ้าของระบบส่งไฟฟ้า (TRANSCOs), บริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DISCOs), ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator: ISO) และ ตลาดซื้อขายไฟฟ้า (Power Exchange; PX) เป็นต้น

บริษัทผลิตไฟฟ้า (GENCOs)

บริษัทผลิตไฟฟ้า คือ บริษัทที่เป็นเจ้าของและผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่องหรือมากกว่า โดยบริษัทผลิตไฟฟ้าจะมีการแข่งขันเพื่อที่จะประมูลเสนอราคาพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ตลาดกลางฯ บริษัทผลิตไฟฟ้าเหล่านี้ อาจจะเป็น ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer: IPP) หรือ ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) ก็ได้

บริษัทระบบส่งไฟฟ้า (TRANSCOs)

บริษัทระบบส่งไฟฟ้า เป็นหน่วยงานที่เป็นเจ้าของทรัพย์สินเครือข่ายระบบส่งกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นผู้ให้บริการสายส่งและทำหน้าที่ดูแลและบำรุงรักษาระบบสายส่งไฟฟ้าภายใต้สัญญาที่ทำกับศูนย์ควบคุมอิสระ ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจาก บริษัทผลิตไฟฟ้า (GENCOs) ไปสู่บริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DISCOs) เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้ระดับแรงดันสูง แต่ไม่ได้เป็นผู้ส่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าหรือควบคุมการดำเนินงานในระบบไฟฟ้า และบริษัทระบบส่งไฟฟ้าจะต้องไม่มีความเกี่ยวข้องกับหน่วยงานอื่น โดยเฉพาะหน่วยงานที่ไม่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลโดยองค์กรกำกับดูแล และควรจะเป็นคนละองค์กรกับศูนย์ควบคุมระบบ (System Operator)

บริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DISCOs)

บริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ บริษัทหรือองค์กรที่ทำหน้าที่ในการให้บริการการจัดส่งกระแสไฟฟ้าผ่านสายจำหน่ายไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator: ISO)

ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ คือ ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นอิสระจากการควบคุมของบุคคล/กลุ่มบุคคลผู้มีส่วนร่วมในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า หรือกิจการไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการส่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้า และควบคุมการดำเนินงานของระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือ

ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระหรือผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (Independent Power Producer: IPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระหรือผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ที่มีกำลังการผลิตเป็นปริมาณมาก ซึ่งผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ (ไม่รวมนิวเคลียร์) เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และออร์มิลชั่น

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP)

คือ โครงการผลิตไฟฟ้าเอกชนซึ่งผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) หรือใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชยะ ก๊าซชีวภาพ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเชื้อเพลิง

Power Exchange (PX)

เป็นหน่วยงานที่ดูแลให้ปริมาณไฟฟ้าที่เสนอซื้อเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่เสนอขายซึ่งจะต้องขึ้นอยู่กับราคาของผู้ซื้อและผู้ขายเสนอประมาณมา ในบางประเทศ Power Exchange (PX) อาจรวมอยู่กับ ISO ก็ได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ระบบไฟฟ้ากำลังภายหลังถูกแปรรูปส่วนใหญ่ การซื้อขายไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นไปในลักษณะของทั้งการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้า (Pool Model) และ การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral-Contract Model) นั่นคือเป็นไปในลักษณะแบบผสม (Hybrid Model) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความยุติธรรมกับทุกฝ่ายที่ทำการซื้อขายไฟฟ้ากัน การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างเป็นทางการจึงมีความสำคัญ ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันส่วนใหญ่จะนำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการซื้อขายไฟฟ้าเพียงแบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่าง การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง และการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยวิธีการจัดสรรที่นำเสนอมีพื้นฐานมาจากสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และหลังจากนั้นได้นำเสนอวิธีการคิดราคาค่าไฟฟ้าในตลาดกลาง และทำการเปรียบเทียบการคิดราคาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของวิธีดังกล่าวเทียบกับวิธีการที่นำเสนอ

4.1 การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีมาในอดีต

ในอดีตได้มีการนำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียหลายวิธี ในวิทยานิพนธ์นี้จะขอ ยกตัวอย่างเพียงบางวิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบแบ่งสัดส่วน (Pro Rata Procedures) การจัดสรรโดยวิธีดังกล่าว จะทำการแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดตามสัดส่วน (โดยทั่วไปจะแบ่งที่ 50%) จากนั้น จะทำการแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แบ่งมาแล้วด้วยหลักการคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (โหลด) จะได้รับกำลังไฟฟ้าสูญเสียตามสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่จ่าย (รับ)

2. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบส่วนเพิ่ม (Marginal Procedures) การจัดสรรโดยวิธีดังกล่าว กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะถูกจัดสรรไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโหลดตามค่าสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ Incremental Transmission Loss (ITL) หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าเนื่องมาจากผลที่ได้จากตอนแรกมักจะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง

3. วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบ Z-Bus (Z-Bus Loss Allocation) เป็นวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้ขนาดของกระแสที่ฉีดเข้าที่แต่ละบัสเป็นเกณฑ์ในการจัดสรร โดยจะสะท้อนถึงโครงสร้างของระบบไฟฟ้าผ่านทาง Z-bus

สำหรับรายละเอียดของวิธีดังกล่าวข้างต้นมีดังต่อไปนี้

4.1.1 วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบสัดส่วน (Pro Rata Procedures)

วิธี Pro Rata โดยทั่วไปแล้วจะจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น 50% ไปให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอีก 50% ไปให้กับโหลดจะได้ว่า

$$L_{Gi} = \frac{P_L}{2} \cdot \frac{P_{Gi}}{P_G} \quad (4.1)$$

$$L_{Dj} = \frac{P_L}{2} \cdot \frac{P_{Dj}}{P_D} \quad (4.2)$$

โดยที่

- P_L คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบ
- P_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
- P_{Dj} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดที่บัส j
- P_G คือ กำลังไฟฟ้าจริงขาออกทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- P_D คือ กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดของโหลด
- L_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่จัดสรรไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
- L_{Dj} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่จัดสรรไปให้โหลดที่บัส j

เราสามารถหาตัวประกอบการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (K_G) และตัวประกอบการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของโหลด (K_D) จากสมการ (4.1) และ (4.2) ได้ดัง

$$L_{Gi} = \frac{P_L}{2} \cdot \frac{P_{Gi}}{P_G} = K_G P_{Gi} \quad (4.3)$$

$$L_{Dj} = \frac{P_L}{2} \cdot \frac{P_{Dj}}{P_D} = K_D P_{Dj} \quad (4.4)$$

จากสมการ (4.3) และ (4.4) ค่า (K_G) และ (K_D) จะมีค่าเท่ากันหมดที่ทุกๆบัส และผลการจัดสรรกำลังสูญเสียด้วยวิธีดังกล่าวจะมีค่าเป็นบวก

4.1.2 วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบส่วนเพิ่ม (ITL)

วิธีการจัดสรรแบบนี้จะใช้สัมประสิทธิ์ Incremental Transmission Loss (ITL) ในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด ค่า ITL จะแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัสนั้นๆ ดังสมการ (4.5)

$$K_i = \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \quad (4.5)$$

โดยที่

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าที่บัส i

K_i คือ ค่า ITL ที่บัส i ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ที่ slack bus

เริ่มจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i และโหลด j ดังสมการ (4.6) และ (4.7)

$$L_{Gi} = P_{Gi} \cdot \frac{\partial P_L}{\partial P_{Gi}} = P_{Gi} K_i \quad (4.6)$$

$$L_{Dj} = P_{Dj} \cdot \frac{\partial P_L}{\partial P_{Dj}} = -P_{Dj} K_j \quad (4.7)$$

เนื่องจากผลของความไม่เป็นเชิงเส้น ผลรวมของการจัดกำลังไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าว (P'_L) จะมีค่าไม่เท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบ (P_L) ดังสมการที่ (4.8) และ (4.9)

$$P_L \neq \sum_{i=1}^{N_G} L_{Gi} + \sum_{j=1}^{N_D} L_{Dj} \quad (4.8)$$

$$P'_L = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K_i - \sum_{j=1}^{N_D} P_{Dj} K_j \quad (4.9)$$

ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าเพื่อจะได้จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียค่าจริงดังสมการ (4.10)

$$P_L = P'_L \cdot \frac{P_L}{P'_L} = \left(\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K_i - \sum_{j=1}^{N_D} P_{Dj} K_j \right) \cdot \frac{P_L}{P'_L} = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K'_i - \sum_{j=1}^{N_D} P_{Dj} K'_j \quad (4.10)$$

ดังนั้น จะได้ว่า เราสามารถจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดได้ ดังสมการ (4.11) และ (4.12)

$$L'_{Gi} = P_{Gi} K'_i \quad (4.11)$$

$$L'_{Dj} = P_{Dj} K'_j \quad (4.12)$$

4.1.3 วิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบ Z-Bus (Z-Bus Loss Allocation)

เริ่มจากสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

$$P_L = \Re \left\{ \sum_{k=1}^{nbus} V_k I_k^* \right\} \quad (4.13)$$

โดยที่

- P_L คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบ
 V_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของแรงดันที่บัส
 I_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของกระแสที่ฉีดเข้าบัส
 $nbus$ คือ จำนวนบัสของระบบ

สมการที่(4.13)สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Z-bus (Impedance matrix) ดังสมการ

$$P_L = \Re \left\{ \sum_{k=1}^{nbus} I_k^* \left(\sum_{j=1}^{nbus} Z_{kj} I_j \right) \right\} \quad (4.14)$$

จาก $Z = R + jX$ แทนลงในสมการ(4.14)จะได้ดังสมการ(4.15)

$$P_L = \Re \left\{ \sum_{k=1}^{nbus} I_k^* \left(\sum_{j=1}^{nbus} R_{kj} I_j \right) \right\} + \Re \left\{ \sum_{k=1}^{nbus} I_k^* \left(\sum_{j=1}^{nbus} jX_{kj} I_j \right) \right\} \quad (4.15)$$

จากสมการ (4.15) พจน์ที่ 2 มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสมการที่ (4.15) จึงเขียนได้เป็น

$$P_L = \Re \left\{ \sum_{k=1}^{nbus} I_k^* \left(\sum_{j=1}^{nbus} R_{kj} I_j \right) \right\} \quad (4.16)$$

จากสมการที่ (4.16) เราจะสามารถจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับบัส k ได้ดังสมการที่

(4.17)
$$L_k = \Re \left\{ I_k^* \left(\sum_{j=1}^{nbus} R_{kj} I_j \right) \right\} \quad (4.17)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (4.17) จะพบว่า L_k ขึ้นอยู่กับกระแสที่ฉีดเข้าที่แต่ละบัส และการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีดังกล่าวไม่ได้มีการตั้งข้อสมมติฐานใดๆในการหาค่า L_k

4.2 การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีที่นำเสนอ

4.2.1 เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Transaction Matrix)

สำหรับระบบที่มี n บัส และ m การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา เราจะนิยามเวกเตอร์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา T โดยเวกเตอร์ T มีขนาดเท่ากับ $m \times 1$ ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา สมาชิกตัวที่ j ของเวกเตอร์นี้แสดงถึงปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ j

ในขั้นตอนต่อไป เราจะนิยามเมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา M ให้เป็นเมตริกซ์ที่มีขนาด $m \times n$ ซึ่งจะแสดงถึงตำแหน่งบัสที่มีการซื้อขายไฟฟ้ากัน สมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ M หรือ m_{ij} มีนิยามดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} m_{ij} &= 1 && \text{เมื่อ การซื้อขายที่ } i \text{ ถูกส่งมาจากบัส } j \\ m_{ij} &= -1 && \text{เมื่อ การซื้อขายที่ } i \text{ ถูกส่งไปที่บัส } j \\ m_{ij} &= 0 && \text{เมื่อ การซื้อขายเกิดขึ้นที่บัสเดียวกันหรือในกรณีอื่นๆ} \end{aligned} \quad (4.18)$$

เมตริกซ์ M นี้ใช้เพื่อที่เปลี่ยนข้อมูลปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าของเวกเตอร์ T ให้อยู่ในรูปกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส j (P_j) สามารถคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแต่ละการซื้อขขายที่เกี่ยวข้องกับบัส j ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัสสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ T และเมตริกซ์ M ได้ดังสมการที่ (4.19)

$$P_{bus} = M^T T \quad (4.19)$$

จากสมการที่ (4.19) จะเห็นว่าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาจะถูกเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าที่แต่ละบัสผ่านเมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

4.2.2 สมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Formula)

การหาสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นสามารถทำได้หลายวิธี มีวิธีหนึ่งที่ถูกพัฒนาโดย Kron และนำมาปรับใช้โดย Kirchmayer ซึ่งเรียกว่า วิธีการหาลำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบสัมประสิทธิ์ B (B-coefficient method) หรือ สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss coefficient method) โดยจะนิยามให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบอยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการจัดสรรกำลังการผลิต

ในงานวิจัยนี้จะนิยามสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับวิธีการหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบสัมประสิทธิ์ B (B-coefficient method) แต่กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะถูก กำหนดให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่แต่ละบัสแทนที่จะเป็นกำลังไฟฟ้าขาออกจากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า และสำหรับกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดจะอยู่ในรูป ของเวกเตอร์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา T

ในขั้นแรกจะเริ่มต้นจากสมการกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ฉีดเข้าที่บัส i โดย

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (4.20)$$

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ทุกบัสจะมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n V_i I_i^* = V_{bus}^T I_{bus}^* \quad (4.21)$$

โดยที่

- P_L คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบ
- Q_L คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูญเสียของระบบ
- V_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของแรงดันที่บัส
- I_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของกระแสที่ฉีดเข้าบัส

จากสมการปม แรงดันที่บัสสามารถเขียนในรูปของกระแสที่ฉีดเข้าบัสดังนี้

$$V_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (4.22)$$

โดยที่

- Z_{bus} คือ บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

แทนค่า V_{bus} จาก (4.22) ลงใน (4.21) จะได้ว่า

$$P_L + jQ_L = I_{bus}^T Z_{bus} I_{bus}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Z_{ij} I_i I_j^* \quad (4.23)$$

เนื่องจาก Z_{bus} เป็นเมตริกซ์สมมาตร ดังนั้น (4.23) สามารถถูกเขียนใหม่ได้เป็น

$$P_L + jQ_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Z_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (4.24)$$

จาก (4.24) ค่าในวงเล็บจะเป็นจำนวนจริงเสมอ ดังนั้นเมื่อแยกส่วนจริงและส่วนจินตภาพของ (4.24) จะได้ว่า

$$P_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (4.25)$$

$$Q_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (4.26)$$

โดยที่

R_{ij} คือ ส่วนจริงของ Z_{ij}

X_{ij} คือ ส่วนจินตภาพของ Z_{ij}

และเนื่องจาก R_{ij} เป็นเมตริกซ์สมมาตร ดังนั้น (4.25) สามารถเขียนได้เป็น

$$P_L = I_{bus}^T R_{bus} I_{bus} \quad (4.27)$$

จาก (4.20) กระแสที่ฉีดเข้าที่บัสใดๆสามารถเขียนได้เป็น

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{(P_i - jQ_i)}{V_i^*} = \frac{(1 - jQ_i / P_i)}{V_i^*} P_i = \phi_i P_i \quad (4.28)$$

ค่าของ P_i และ Q_i สามารถหาได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow Analysis) ดังนั้นเราจะสามารถเขียนกระแสที่ฉีดเข้าสู่บัสใดๆในรูปของกำลังจริงที่ฉีดเข้าสู่บัสใดๆได้ ดังนี้

$$I_{bus} = \psi P_{bus} \quad (4.29)$$

โดยที่

ψ คือ เมตริกซ์เส้นทแยงมุมหลักโดยสมาชิกแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ ϕ_i

P_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส

เมื่อแทนค่ากระแสที่ฉีดเข้าสู่บัส (4.29) ใน (4.27) จะได้ดัง (4.30) และเนื่องจากค่าที่ได้จาก (4.28) เป็นจำนวนเชิงซ้อนแต่กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียเป็นค่าที่ได้จากส่วนจริง ดังนั้นจึงสามารถเขียน (4.30) ดังสมการ (4.31) ซึ่งจะพบว่าเราได้นิยามกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัสนั่นเอง

$$P_L = P_{bus}^T (\psi^T R_{bus} \psi^*) P_{bus} \quad (4.30)$$

$$P_L = P_{bus}^T \operatorname{Re}\{\psi^T R_{bus} \psi^*\} P_{bus} = P_{bus}^T B P_{bus} \quad (4.31)$$

4.2.3 การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่าง การซื้อขายผ่านตลาดกลางและการซื้อขายแบบคู่สัญญา (Transmission Loss Allocation for a Mixed Pool – Bilateral Market)

กำหนดให้ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่ระบบจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและแบบคู่สัญญา นั้นคือ

$$P_{bus} = P_P + P_B \quad (4.32)$$

โดยที่

- P_P คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่ระบบของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง
- P_B คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่ระบบของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

นำ (4.32) แทนลงใน (4.31) จะได้ว่า

$$P_L = (P_P + P_B)^T B (P_P + P_B) \quad (4.33)$$

เนื่องจาก $P_P^T B^T P_B = P_P^T B P_B$ เมื่อกระจายเทอมใน (4.33) จะได้ว่า

$$P_L = P_P^T B P_P + 2P_P^T B P_B + P_B^T B P_B \quad (4.34)$$

จะพบว่า กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. $P_P^T B P_P$ เป็นกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่มาจาก การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางอย่างเพียงเดียว
2. $2P_P^T B P_B$ เป็นกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าทั้งในตลาดกลางและแบบคู่สัญญา

3. $P_B^T B P_B$ เป็นกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่มาจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

แทนค่า P_B จาก (4.19) ลงใน (4.34) จะได้

$$P_L = P_p^T B P_p + 2P_p^T (B M^T) T + T^T (M B M^T) T \quad (4.35)$$

$$P_L = P_p^T B P_p + 2P_p^T C T + T^T H T \quad (4.36)$$

ในงานวิจัยนี้เราจะเรียกเมตริกซ์ B ว่าเมตริกซ์การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในตลาดกลาง เมตริกซ์ C ว่าเมตริกซ์การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากตลาดกลางและแบบคู่สัญญา ส่วนเมตริกซ์ H เรียกว่าเมตริกซ์การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบคู่สัญญา และจาก (4.36) เราสามารถแยกพิจารณาการคำนวณสำหรับแต่ละพจน์ได้ดังนี้

$$P_p^T B P_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_{ij} P_{Pi} P_{Pj} = \sum_{i=1}^n B_{ii} P_{Pi}^2 + 2 \sum_{i \neq j} B_{ij} P_{Pi} P_{Pj} \quad (4.37)$$

$$2P_p^T C T = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} P_{Pi} T_j \quad (4.38)$$

$$T^T H T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m H_{ij} T_i T_j = \sum_{i=1}^m H_{ii} T_i^2 + 2 \sum_{i \neq j} H_{ij} T_i T_j \quad (4.39)$$

จาก (4.37) - (4.39) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจะประกอบด้วยส่วนที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าแต่ละบัสเอง ($\sum B_{ii} P_{Pi}^2$) หรือเกิดจากสัญญาซื้อขายแบบคู่สัญญาแต่ละสัญญาเอง ($\sum B_{ii} T_i^2$) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการมีอยู่ของกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสหรือระหว่างสัญญาซื้อขายไฟฟ้า เช่น $\sum B_{ij} P_{Pi} P_{Pj}$, $\sum B_{ij} P_{Pi} T_j$ และ $\sum B_{ij} T_i T_j$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราจะอาศัยหลักการที่ว่า การซื้อขายกำลังไฟฟ้าใดมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมเพิ่มมากขึ้น ก็ควรที่จะต้องรับผิดชอบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากด้วย ดังนั้นเราจะทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับแต่ละสัญญาซื้อขายในตลาด โดยแบ่งตามสัดส่วนของการทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย โดยการอาศัยหลักการดังกล่าว กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ถูกจัดสรรให้ผู้เกี่ยวข้องแต่ละราย สามารถเขียนได้ดังนี้

จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับแต่ละสัญญาซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
L_{Pk} = & B_{kk} P_{Pk}^2 + 2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n B_{kj} P_{Pk} P_{Pj} \times \frac{\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right|}{\left(\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right| + \left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pj}} \cdot P_{Pj} \right| \right)} \\
& + 2 \sum_{j=1}^m C_{kj} P_{Pk} T_j \times \frac{\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right|}{\left(\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right| + \left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_j} \cdot T_j \right| \right)}
\end{aligned} \tag{4.40}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (4.40) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่จะถูกจัดสรรไปให้ที่บัส k ของการซื้อขายผ่านตลาดกลางประกอบไปด้วย 3 พจน์ พจน์แรกคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากบัส k เพียงอย่างเดียวจึงไม่ต้องทำการแบ่งแต่อย่างใด สำหรับพจน์ที่ 2 คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการมีอยู่ของบัส k และบัส j ใดๆ ดังนั้นการที่เราจะแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับบัส k เราจึงจะใช้ค่า $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส k และ $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pj}} \cdot P_{Pj} \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส j ใดๆ สำหรับพจน์ที่ 3 คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการมีอยู่ของบัส k และการซื้อขายที่ j ใดๆ ดังนั้นการที่เราจะแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับบัส k เราจึงจะใช้ค่า $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} \cdot P_{Pk} \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส k และ $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_j} \cdot T_j \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขายที่ j ใดๆ จึงได้สมการการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้ที่บัส k เป็นดัง (4.40)

สำหรับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับแต่ละการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา เราสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
L_{Bk} = & H_{kk} T_k^2 + 2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m H_{kj} T_k T_j \times \frac{\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right|}{\left(\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right| + \left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_j} \cdot T_j \right| \right)} \\
& + 2 \sum_{j=1}^n C_{jk} P_{Pj} T_k \times \frac{\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right|}{\left(\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pj}} \cdot P_{Pj} \right| + \left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right| \right)}
\end{aligned} \tag{4.41}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (4.41) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่จะถูกจัดสรรไปให้ที่การซื้อขายที่ k ของการซื้อขายแบบคู่สัญญาประกอบไปด้วย 3 พจน์ พจน์แรกคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการ

ซื้อขาย k เพียงอย่างเดียวจึงไม่ต้องทำการแบ่งแต่อย่างใด สำหรับพจน์ที่ 2 คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการมีอยู่ของการซื้อขาย k และการซื้อขาย j ใดๆ ดังนั้นการที่เราจะแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับการซื้อขาย k เราจึงจะใช้ค่า $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขาย k และ $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_j} \cdot T_j \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขาย j ใดๆ สำหรับพจน์ที่ 3 คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการมีอยู่ของการซื้อขาย k และบัส j ใดๆ ดังนั้นการที่เราจะแบ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับการซื้อขาย k เราจึงจะใช้ค่า $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} \cdot T_k \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขาย k และ $\left| \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pj}} \cdot P_{Pj} \right|$ เป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส j ใดๆ จึงได้สมการการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้การซื้อขาย k เป็นดัง (4.41)

สำหรับการคำนวณค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k}$ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (4.42) และ (4.43)

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Pk}} = 2 \sum_{j=1}^n B_{kj} (Pg_j - Pd_j) - 2B_{sk} Pp_{loss} + \sum_{i=1}^m C_{ki} T_k + a \quad (4.42)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_k} = 2 \sum_{j=1}^m H_{kj} T_j + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq s}}^n C_{ik} (Pg_i - Pd_i) + C_{sk} (Pg_s - Pd_s - Pp_{loss}) \quad (4.43)$$

โดยที่

$$a = -2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq s}}^n B_{sj} (Pg_j - Pd_j) - 2B_{ss} (Pg_s - Pd_s - Pp_{loss}) - \sum_{j=1}^m C_{sj} T_j$$

Pp_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของที่เกิดขึ้นภายในตลาดกลางฯ

Pg คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Pd คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการที่แต่ละบัส

s คือ slack bus

ตามปกติเมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิตมาเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสียเหล่านี้จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นไปอีก (ΔP_{loss}) ดังนั้นเราจึงต้องทำการการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มเติมอีกดังนี้

$$P_L^k = L_k + \left(L_k / \sum_{j=1}^{n+m} L_j \right) \Delta P_{Loss} \quad (4.44)$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบสามารถคำนวณได้จากผลรวมของแต่ละกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ถูกจัดสรรไป ดัง (4.45)

$$P_L^{system} = \sum_{k=1}^{m+n} P_L^k \quad (4.45)$$

ในงานวิจัยนี้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นมาจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าจะเป็นผู้ที่ต้องรับผิดชอบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนนี้เอง แต่สำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง จะกำหนดให้ผู้ควบคุมดูแลตลาดเป็นผู้จัดหากำลังไฟฟ้ามาชดเชย

หลังจากที่ทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเรียบร้อยแล้ว สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง เราสามารถจัดสรรผลการจัดสรรเหล่านี้ไปให้ผู้ขายไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) และ ผู้ซื้อไฟฟ้า โดยการแก้สมการ (4.46) และ (4.47)

$$\frac{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}}{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Di}} \cdot P_{Di}} = \frac{P_{Li}^G}{P_{Li}^D} \quad (4.46)$$

$$P_{Li}^G + P_{Li}^D = P_{Li} \quad (4.47)$$

โดยที่

P_{Li}^G คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตลาดกลางที่ถูกจัดสรรไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

P_{Li}^D คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตลาดกลางที่ถูกจัดสรรไปให้โหลดที่บัส i

P_{Li} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ถูกจัดสรรไปที่บัส i

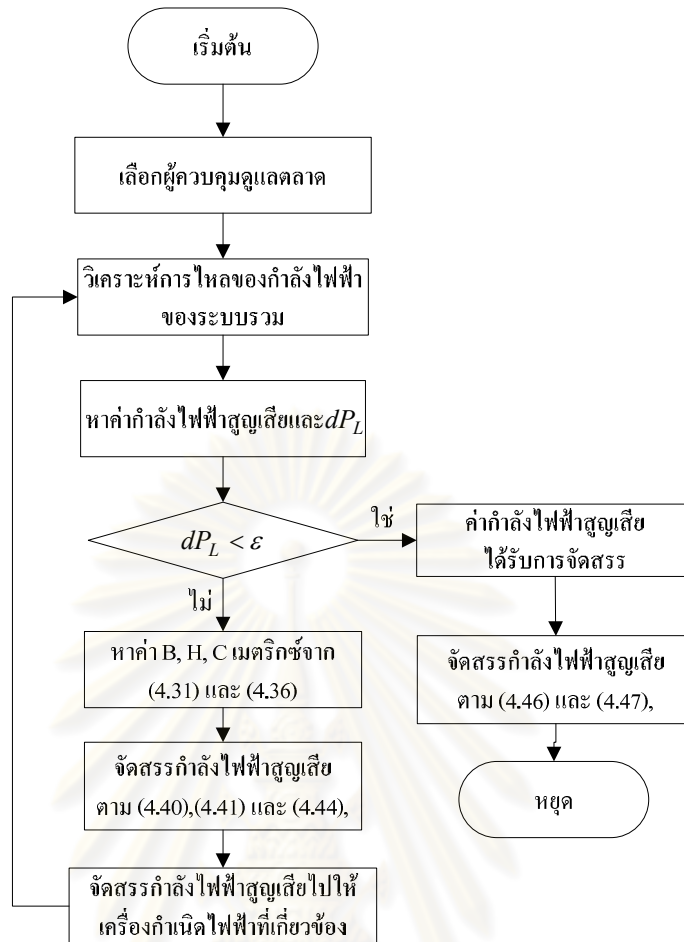
ค่า P_{Li} จากสมการ (4.47) จะมีเครื่องหมายตามค่าของ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{GD}} \cdot P_{Di}$

ยกตัวอย่างเช่น ถ้า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}$ มีค่าเป็น 2 ส่วน $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{GD}} \cdot P_{Di}$ มีค่าเป็น -1 แล้ว P_{Li} จะมีเครื่องหมายเป็นบวก ถ้า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}$ มีค่าเป็น -2 ส่วน $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{GD}} \cdot P_{Di}$ มีค่าเป็น 1 แล้ว P_{Li} จะมีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้ผู้ขายไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) และ ผู้ซื้อไฟฟ้า จึงใช้

$$\frac{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}}{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Di}} \cdot P_{Di}} \text{ เป็นตัวช่วยในการจัดสรรแทนที่จะใช้ } \left| \frac{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} \cdot P_{Gi}}{\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Di}} \cdot P_{Di}} \right|$$

สำหรับขั้นตอนการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นดังนี้ และแสดงดังรูปที่ 4.1

- 1). ในขั้นแรกให้ทำการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด
- 2). ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบรวมที่มีทั้งการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง และการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา เราจะทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
- 3). คำนวณค่าเมตริกซ์ B, H, C ตาม (4.31) และ (4.36) จากนั้นทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียตาม (4.40), (4.41) และ (4.44)
- 4). จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางให้จัดสรรไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด ส่วนการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาให้จัดสรรไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง และทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าเปลี่ยนไปเล็กน้อย dP_L
- 5). ถ้าค่า dP_L ยังมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 - 4 อีกครั้ง แต่ถ้า dP_L น้อยกว่าค่าที่กำหนดแล้วให้หยุดทำการคำนวณ
- 6). จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้าตามสมการ (4.46) และ (4.47)



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

4.3 การคิดราคาค่าไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าที่ซื้อขายในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า คือ ราคาค่าไฟฟ้าที่สะท้อนคุณค่าของพลังงานไฟฟ้าต่างๆ ในขั้นต้น บริษัทผลิตไฟฟ้าจะเสนอราคาประมูลพลังงานไฟฟ้าที่ตนต้องการรวมทั้งปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ตนสามารถผลิตได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ในขณะที่เดียวกันผู้ซื้อไฟฟ้าในตลาดก็จะเสนอราคาประมูลพลังงานไฟฟ้าที่ตนต้องการรวมทั้งปริมาณไฟฟ้าที่ตนรับซื้อได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ จากนั้น ศูนย์ควบคุมอิสระจะคัดเลือกผู้เกี่ยวข้องคือผู้ซื้อและผู้ขายตามลำดับราคาเสนอ (Merit Order) จนกระทั่งได้ปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับความต้องการไฟฟ้าในขณะนั้น และทุกๆ สมาชิกในตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าจะได้รับและ/หรือจ่ายเงินตามราคากลางรวมกับตัวปรับราคาไฟฟ้าประจำโนด (Locational Marginal Price หรือ Nodal Price) ดังแสดงในสมการที่ (4.48)

4.3.1 ราคาไฟฟ้า ณ โหนด (Nodal Price หรือ Locational Marginal Price)

โดยทั่วไปราคาไฟฟ้า ณ โหนดจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังสมการที่ (4.31)

$$\lambda_i = \lambda_{ref} + \gamma_i^L + \gamma_i^C \quad (4.48)$$

โดยที่

1. λ_i คือ ราคาไฟฟ้า ณ โหนด i
2. λ_{ref} คือ ราคาพลังงาน ณ โหนดอ้างอิง หรือ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของพลังงานไฟฟ้า
3. γ_i^L คือ องค์ประกอบต้นทุนหน่วยสุดท้ายของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในราคาไฟฟ้า ณ โหนด i
4. γ_i^C คือ องค์ประกอบต้นทุนเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าติดขัดในราคาไฟฟ้า ณ โหนด i

4.3.2 การจัดสรรกำลังไฟฟ้าและการคำนวณค่า λ_{ref}

การคำนวณในส่วนนี้จะรับข้อมูลขาเข้าซึ่งประกอบด้วย เส้นอุปทาน (Supply curve) ซึ่งเสนอราคาขายไฟฟ้าจากบริษัทผลิตไฟฟ้าต่างๆ และ เส้นอุปสงค์ (Demand curve) ซึ่งเสนอราคาซื้อไฟฟ้าจากผู้ซื้อไฟฟ้ารายต่างๆ จากนั้นจะทำการสร้างเส้นอุปสงค์และอุปทานรวมรวม เพื่อทำการหาจุดตัดที่กำหนดเป็นจุดตกลงซื้อขายของตลาดซึ่งจะทำให้รู้ปริมาณและราคาของกำลังไฟฟ้าที่จะทำการซื้อขายกัน

สำหรับฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) จากบริษัทผลิตไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้มีลักษณะเป็นแบบสมการกำลังสองดังสมการที่ (4.49)

$$f(Q) = c_0 + c_1Q + c_2Q^2 \quad (4.49)$$

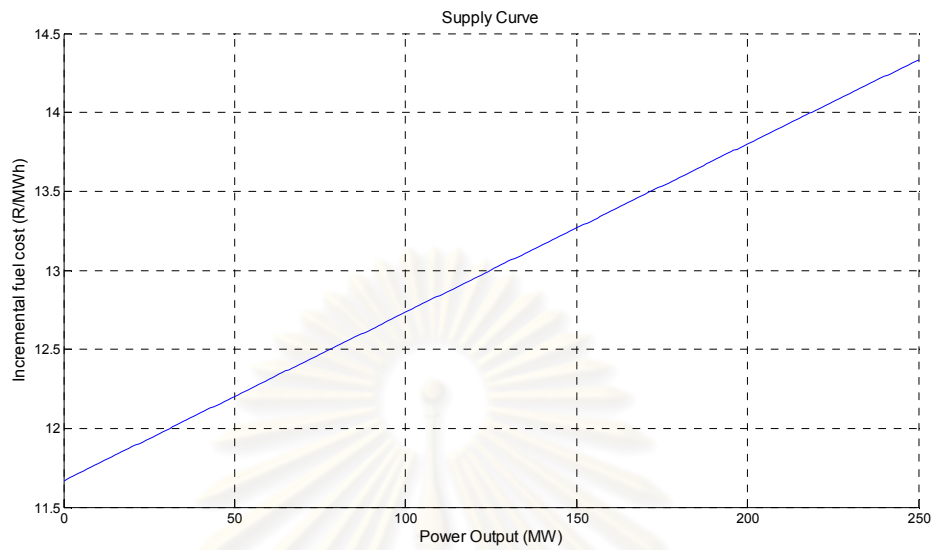
เนื่องจากการซื้อขายไฟฟ้าบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการให้ได้กำไรสูงสุด ดังนั้น

$$\text{Max } (PQ - f(Q)) \quad (4.50)$$

$$\therefore \frac{\partial}{\partial Q} (PQ - f(Q)) = P - (c_1 + 2c_2Q) = 0 \quad (4.51)$$

จากสมการที่ (4.51) เราจะสามารถหาเส้นอุปทานสำหรับเสนอราคาขายไฟฟ้าของแต่ละบริษัทได้ดังสมการที่ (4.52) และมีลักษณะดังรูปที่ 4.2

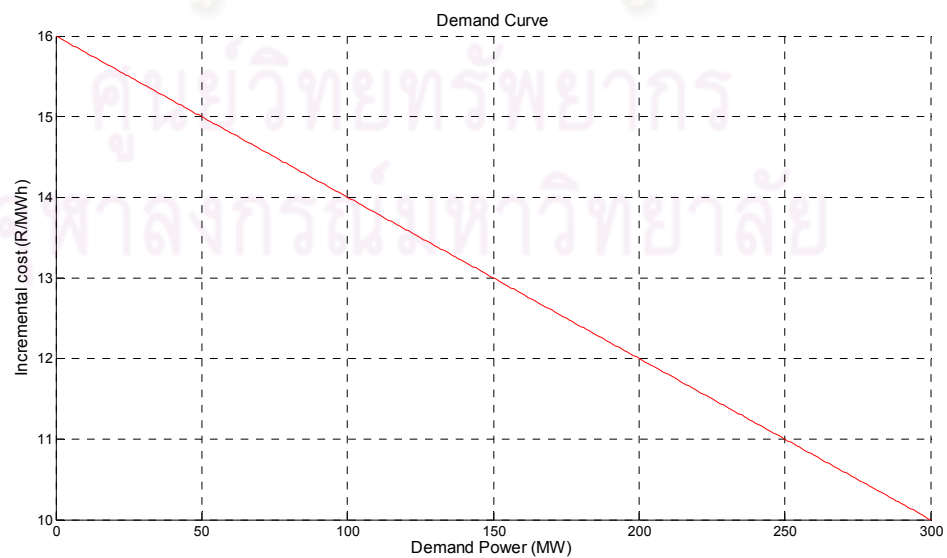
$$F_G(Q) = P = c_1 + 2c_2Q \quad (4.52)$$



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างกราฟเสนอราคาขายไฟฟ้า

ส่วนเส้นอุปสงค์สำหรับเสนอการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ซื้อไฟฟ้าต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้เป็นสมการเชิงเส้นดังสมการที่ (4.53) และมีลักษณะดังรูปที่ 4.3

$$F_D(Q) = P = a - bQ \quad (4.53)$$



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟเสนอการรับซื้อไฟฟ้า

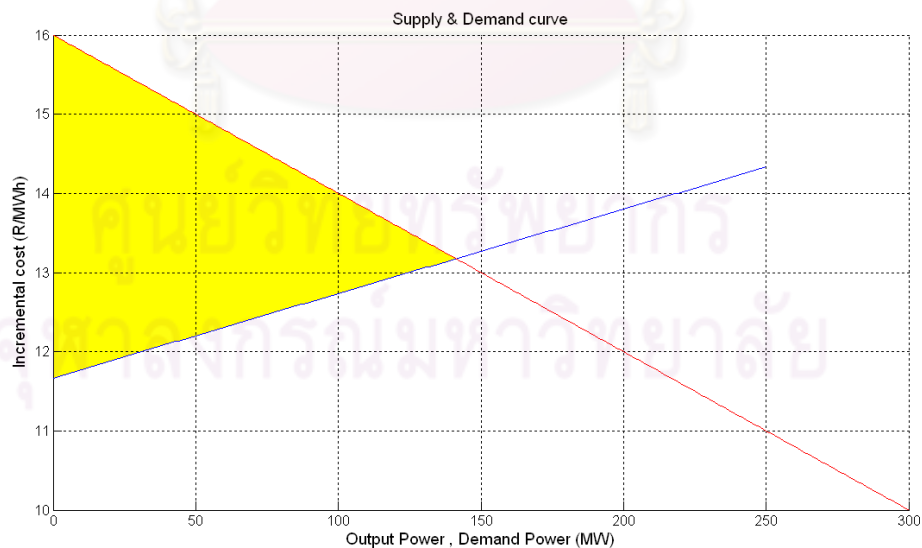
โดยที่

- Q คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เสนอขาย (MW)
 $f(Q)$ คือ ราคาของกำลังไฟฟ้าที่เสนอขาย (฿ / h)
 P คือ ราคาของกำลังไฟฟ้าต่อหน่วย (฿ / MWh)
 c_0, c_1, c_2 คือ ค่าคงที่เป็นค่าเฉพาะของแต่ละบริษัทผลิตไฟฟ้า
 a, b คือ ค่าคงที่เป็นค่าเฉพาะของแต่ละผู้ซื้อไฟฟ้า

หลังจากที่ได้เส้นอุปสงค์และอุปทานของผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าแต่ละรายแล้ว จะทำให้เราได้เส้นอุปสงค์และอุปทานรวมรวมของตลาดดังแสดงในรูปที่ 4.4

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.4 จุดตัดของกราฟจะเป็นราคากลางของตลาดหรือ λ_{ref} ของระบบนั่นเอง ในการหาจุดตัดนี้เราสามารถหาได้จากการหาพื้นที่แรเงาที่มากที่สุดที่จะเป็นไปได้ (Maximum Social Welfare) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (4.54) โดยอาศัยวิธีการโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic Programming)

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_{i=1}^{nd} \left(\int_0^{Pd_i} F_{D_i}(Q) dQ \right) - \sum_{i=1}^{ng} \left(\int_0^{Pg_i} F_{G_i}(Q) dQ \right) \\ \text{subject to } & \sum_{i=1}^{ng} Pg_i - \sum_{i=1}^{nd} Pd_i = 0 \end{aligned} \quad (4.54)$$



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟเสนอราคาขายไฟฟ้ารวมและกราฟเสนอราคาซื้อไฟฟ้ารวม

จากสมการที่ (4.54) พิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์จะได้ว่า

$$\int_0^{Pd_i} F_{D_i}(Q)dQ = aPd_i - \frac{b}{2}Pd_i^2 \quad (4.55)$$

$$\int_0^{Pg_i} F_{G_i}(Q)dQ = c_1Pg_i + c_2Pg_i^2 \quad (4.56)$$

โดยที่

ng คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับคัดเลือกให้จ่ายไฟฟ้า

nd คือ จำนวนผู้ซื้อไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้า

Pg_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

Pd_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อไฟฟ้าที่ i ได้รับ

เราสามารถหา λ_{ref} ได้จาก ตัวคุณลักษณะที่ได้จากปัญหาขีดสุดของสมการที่ (4.54) แต่ในกรณีที่กราฟเสนอราคาขายไฟฟ้ารวมและกราฟเสนอราคาซื้อไฟฟ้ารวมไม่ตัดกัน โดยที่กราฟเสนอราคาซื้อไฟฟ้ารวมอยู่เหนือกราฟเสนอราคาขายไฟฟ้ารวม ค่า λ_{ref} จะกำหนดให้เป็นราคาสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.3.3 การคำนวณค่า γ_i^L

γ_i^L ในสมการที่ (4.31) นี้เป็นค่าที่สะท้อนถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อเพิ่มปริมาณไฟฟ้าที่ไหลเข้า ณ โหนด i โดยถ้าค่า γ_i^L นี้มีเครื่องหมายเป็นลบ จะแสดงว่าการเพิ่มปริมาณไฟฟ้าที่ไหลเข้า ณ โหนด i ทำให้กำลังสูญเสียในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เราต้องปรับลดราคาพลังงานไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้นลง (Penalization) แต่หากค่า γ_i^L นี้มีเครื่องหมายเป็นบวกแสดงว่า การเพิ่มปริมาณไฟฟ้าที่ไหลเข้า ณ โหนด i ทำให้กำลังสูญเสียในระบบมีค่าลดลง ซึ่งเราควรจะปรับเพิ่มราคาตำแหน่งดังกล่าวเพื่อเพิ่มแรงจูงใจ

γ_i^L สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4.57)

$$\gamma_i^L = -\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} \lambda_{ref} \quad (4.57)$$

โดยที่

P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบ

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าที่บัส i

สำหรับบัสที่มีทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้าในการคำนวณค่า γ_i^L จะต่างกันแยกเป็นดังสมการ (4.58) และ (4.59)

$$\gamma_{iG}^L = -\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i} \lambda_{ref} \quad (4.58)$$

$$\gamma_{iD}^L = \frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i} \lambda_{ref} \quad (4.59)$$

พิจารณาสมการที่ (4.31), (4.41) และ (4.42) จะได้ว่า หากทำการเพิ่มกำลังการผลิตหรือการเพิ่มความต้องการไฟฟ้าที่บัสใดๆ แล้วมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วพจน์ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i}$ จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งส่งผลให้ราคาไฟฟ้า ณ โหนด i มีค่าลดลง หรือกล่าวคือ การซื้อขายไฟฟ้าที่บัสใดๆ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่ามากขึ้น ราคาซื้อขายที่บัสนั้นๆ จะลดลง ในทางกลับกัน การซื้อขายไฟฟ้าที่บัสใดๆ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าลดลง ราคาซื้อขายที่บัสนั้นๆ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

จากสมการที่ (4.36) ซึ่งแสดงกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่แต่ละบัสของตลาดกลางและปริมาณไฟฟ้าที่ทำการซื้อขายกันของสัญญาซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลาง ทำให้เราสามารถหาค่าของ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i}$ ได้ดังสมการที่ (4.60) และ (4.61)

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i} = 2 \sum_{j=1}^n B_{ij} (Pg_j - Pd_j) - 2B_{si} Pp_{loss} + \sum_{k=1}^m C_{ik} T_k + a \quad (4.60)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i} = -2 \sum_{j=1}^n B_{ij} (Pg_j - Pd_j) + 2B_{si} Pp_{loss} - \sum_{k=1}^m C_{ik} T_k - a \quad (4.61)$$

โดยที่

$$a = -2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq s}}^n B_{sj} (Pg_j - Pd_j) - 2B_{ss} (Pg_s - Pd_s - Pp_{loss}) - \sum_{j=1}^m C_{sj} T_j$$

Pp_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของที่เกิดขึ้นภายในตลาดกลาง

Pg คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Pd คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการที่แต่ละบัส

s คือ slack bus

4.3.4 การคำนวณค่า γ_i^C

ค่า γ_i^C ตามสมการที่ (4.48) เป็นค่าที่สะท้อนถึงต้นทุนเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าที่เกินขีดจำกัดของสายส่งโดยมีหลักการคำนวณอย่างง่ายคือ จากค่าการจัดสรรกำลังไฟฟ้าซึ่งพิจารณาว่า

สายส่งไม่มีข้อจำกัดทางการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า เราจะทำการตรวจสอบว่าเกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่งบ้างหรือไม่ ซึ่งถ้าไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่งเส้นใดเลย ค่า γ_i^C สำหรับทุกๆ โหนดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และค่าการจัดสรรจะมีค่าคงเดิม อย่างไรก็ตาม หากมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่งเส้นใดก็ตาม เราจะทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าใหม่ (Redispatch) เพื่อให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดการละเมิดขีดจำกัดของสายส่ง ซึ่งต้นทุนเนื่องจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าใหม่นี้จะถูกกระจายให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในตลาดผ่านทางค่า γ_i^C ต่อไป

ในการคิดค่า γ_i^C จะใช้หลักการที่ว่า ผู้มีส่วนร่วมในตลาดที่มีส่วนก่อให้เกิดปัญหาการส่งผ่านไฟฟ้าติดขัด จะต้องจ่ายเงินสำหรับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และในทางกลับกันสำหรับผู้มีส่วนร่วมในตลาดที่มีส่วนแก้ไขปัญหาการส่งผ่านไฟฟ้าจะได้รับผลตอบแทนในการลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่ง

เนื่องจากเมื่อเกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่งแล้ว ศูนย์ควบคุมอิสระจะจัดสรรกำลังไฟฟ้าใหม่ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนต่อระบบอีก 2 ส่วน ดังนี้

1. ค่าชดเชยให้กับผู้ผลิตที่ถูกสั่งให้ลดกำลังการผลิตลง (Constrained Down Payment; CDP)
2. ค่าไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมอิสระสั่งให้ผลิตเพิ่มเติม

ค่าชดเชยให้กับผู้ผลิตที่ถูกสั่งให้ลดกำลังการผลิตลง (CDP)

ค่า CDP เป็นเงินชดเชยที่จ่ายให้บริษัทผลิตไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมอิสระสั่งให้ลดกำลังการผลิตของตนลง เนื่องจากผลของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าติดขัด ซึ่งค่า CDP นี้จะคำนวณจากผลคูณของปริมาณไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้ลด และผลต่างระหว่างราคา ณ โหนด และราคาไฟฟ้าที่เสนอขายซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้ลดกำลังการผลิต

ค่าไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมอิสระสั่งให้ผลิตเพิ่มเติม

เงินจำนวนนี้จะจ่ายให้แก่บริษัทผลิตไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมระบบอิสระสั่งให้ผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อใช้แก้ปัญหาการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่ง เงินจำนวนนี้จะคำนวณจากผลคูณของปริมาณไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้ผลิตเพิ่ม และราคาไฟฟ้าเสนอขายที่สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับการสั่งผลิตเพิ่ม

สำหรับการคำนวณ γ_i^C สามารถคำนวณได้ดังสมการ (4.62)

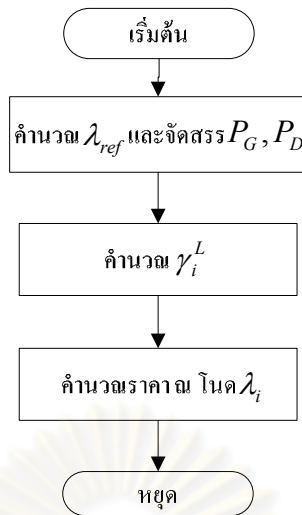
$$\gamma_i^C = -(\sum_{k \in K} GF_{ik} \mu_k) \quad (4.62)$$

โดยที่

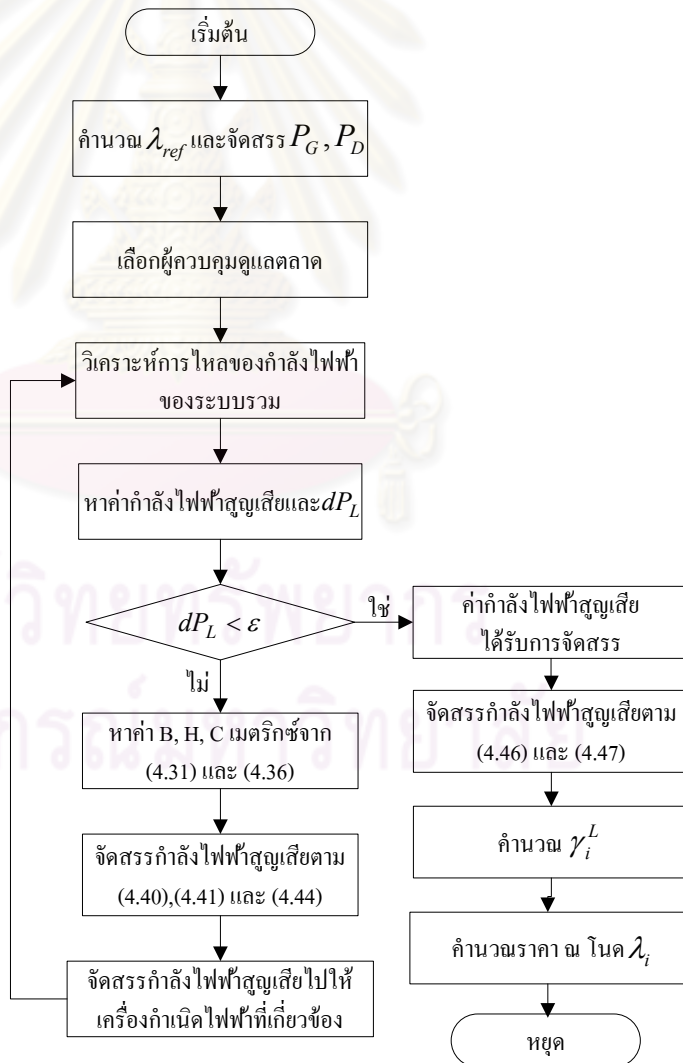
- GF_{ik} คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่ k อันเนื่องจากการเพิ่มกำลังไฟฟ้า โหลดเข้าบัสที่ i เทียบกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่โหลดเข้า
- μ_k คือ ต้นทุนของระบบที่สามารถลดลงได้หากยินยอมที่จะลดหย่อนเงื่อนไขขีดจำกัดสายส่งเส้นที่ k
- K คือ เซตของสายส่งที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินค่าขีดจำกัด

เนื่องจากขอบเขตของวิทยานิพนธ์จำกัดเฉพาะการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่านั้น ดังนั้นจะละเลยผลของ γ_i^C หรือสมมติให้ระบบไม่เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของสายส่ง นั่นคือจะกำหนดให้ γ_i^C มีค่าเป็นศูนย์ที่ทุกบัส ดังนั้นเราสามารถสรุปขั้นตอนการคิดราคา ณ โหนดได้ดังรูปที่ 4.5 สำหรับขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่า λ_{ref} จากสมการ และจัดสรรกำลังการผลิตและโหลดของตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าตามสมการ (4.57)
2. เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด
3. ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบรวมทั้งมีการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา เราจะทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ
4. คำนวณค่าเมตริกซ์ B, H, C ตาม (4.31) และ (4.36) จากนั้นทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียตาม (4.40), (4.41) และ (4.44)
5. จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางให้จัดสรรไปให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด ส่วนการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาให้จัดสรรไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง และทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าเปลี่ยนไปเล็กน้อย dP_L
6. ถ้าค่า dP_L ยังมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 – 5 อีกครั้ง แต่ถ้า dP_L น้อยกว่าค่าที่กำหนดแล้วให้หยุดทำการคำนวณ เมื่อจบขั้นตอนนี้เราจะได้รับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นที่เรียบร้อยแล้ว
7. จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้าตามสมการ (4.46) และ (4.47)
8. คำนวณค่า γ_i^L ตามสมการ (4.58) - (4.61)
9. คำนวณราคา ณ โหนด ตามสมการ (4.48)



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการคำนวณราคา ณ โหนด



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการคำนวณในวิทยานิพนธ์

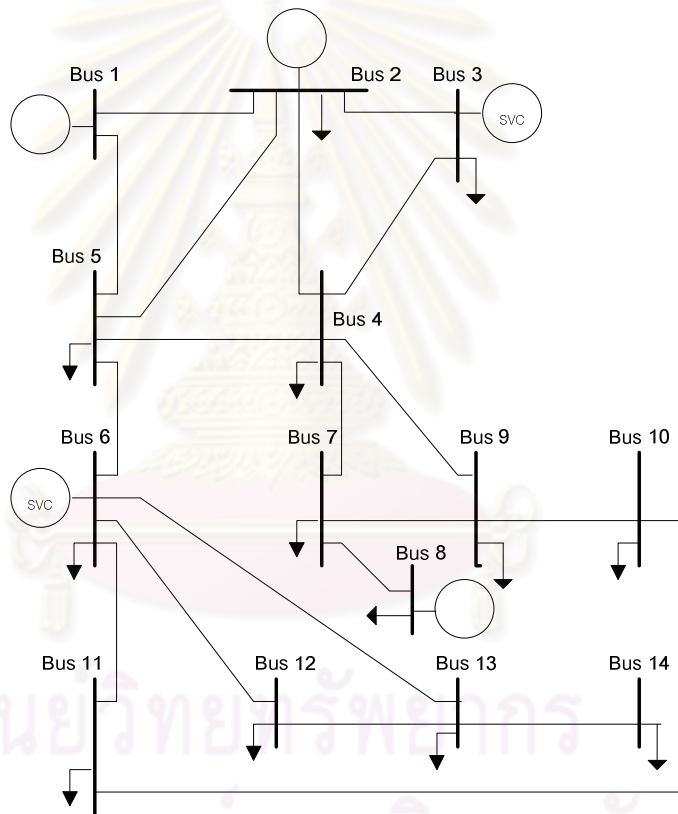
บทที่ 5

ผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบ

5.1.1 ระบบทดสอบ 14 บัส

ระบบทดสอบ 14 บัส มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 5.1 และกำหนดให้บัส 2 เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด ในตัวอย่างนี้จะกำหนดให้มีเฉพาะการซื้อขายผ่านตลาดกลางเท่านั้น สำหรับรายละเอียดข้อมูลของระบบแสดงอยู่ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 5.1 ระบบทดสอบ 14 บัส

ระบบทดสอบนี้จะใช้เพื่อทดสอบผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีที่นำเสนอกับวิธีที่มีมาในอดีต ส่วนกำลังการผลิตและโหลดเป็นการกำหนดขึ้นเองไม่ได้ผ่านการจัดสรรกำลังการผลิตและโหลดแต่อย่างใด ซึ่งผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ผลการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีต่างๆ

บัส	Pgen(MW)	Pdemand(MW)	ProRata	Zbus	ITL	วิธีที่นำเสนอ
1	125.3	0.0	1.4552	2.3203	1.8116	2.4269
2	40.0	21.7	0.7226	0.0822	0.0000	0.0393
3	0.0	94.2	1.1202	2.4718	2.8772	2.3886
4	0.0	47.8	0.5684	0.2503	0.4459	0.2071
5	0.0	7.6	0.0904	0.0199	0.051	0.0142
6	0.0	11.2	0.1332	0.4565	0.5025	0.468
7	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	100.0	0.1	1.1626	-0.1836	-0.5898	-0.2106
9	0.0	29.5	0.3508	0.0606	0.1816	0.1166
10	0.0	9.0	0.107	0.0587	0.096	0.0734
11	0.0	3.5	0.0416	0.0257	0.0402	0.0186
12	0.0	6.1	0.0725	0.0928	0.1185	0.0715
13	0.0	13.5	0.1605	0.2166	0.2738	0.2318
14	0.0	14.9	0.1772	0.2904	0.3536	0.3169
รวม			6.1622	6.1622	6.1622	6.1622

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าผลการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธี Pro Rata มีผลการจัลดสรรที่ไม่สอดคล้องกับวิธีอื่นๆและมีผลการจัลดสรรเป็นบวกทั้งหมด และเนื่องด้วยวิธีการจัลดสรรแบบ Pro Rata ไม่ได้คำนึงถึงโครงสร้างของระบบทำให้วิธีการจัลดสรรนี้ไม่เหมาะสม สำหรับวิธีการจัลดสรรแบบ ITL จะเห็นว่าผลการจัลดสรรที่บัส 2 เป็นศูนย์เนื่องจากนิยามของค่าสัมประสิทธิ์ ITL ซึ่งไม่สามารถหาค่าได้ที่บัสอ้างอิงจึงอาจทำให้ผลการจัลดสรรไม่เป็นธรรม สำหรับผลการจัลดสรรโดยวิธี Z-bus นั้นจะมีผลที่ใกล้เคียงกับวิธีที่นำเสนอมากที่สุด แต่เนื่องมาจากการจัลดสรรด้วยวิธีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับภาระที่ฉีดเข้าสู่แต่ละบัส แต่ในความเป็นจริงโหลดส่วนใหญ่่นั้นเป็นโหลดแบบกำลังคงที่ จึงทำให้วิธีการจัลดสรรแบบนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ สำหรับวิธีที่นำเสนอเนื่องจากได้ทำการจัลดสรรตามผลสัดส่วนของผลของการทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ และมีพื้นฐานจากสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย จึงน่าจะเป็นวิธีที่ให้ผลการจัลดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เหมาะสมที่สุด

5.1.2 ระบบทดสอบ RTS-79

ระบบทดสอบ RTS-79 มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 5.2 กำหนดให้มีสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ดังต่อไปนี้ และกำหนดให้บัส 2 เป็นผู้ควบคุมดูแลตลาด

5.1.2.1 กรณีที่ 1 จัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยวิธีที่นำเสนอ

T1: จากบัส 7 ไปยังบัส 9 ปริมาณ 80 MW

T2: จากบัส 1 ไปยังบัส 3 ปริมาณ 100 MW

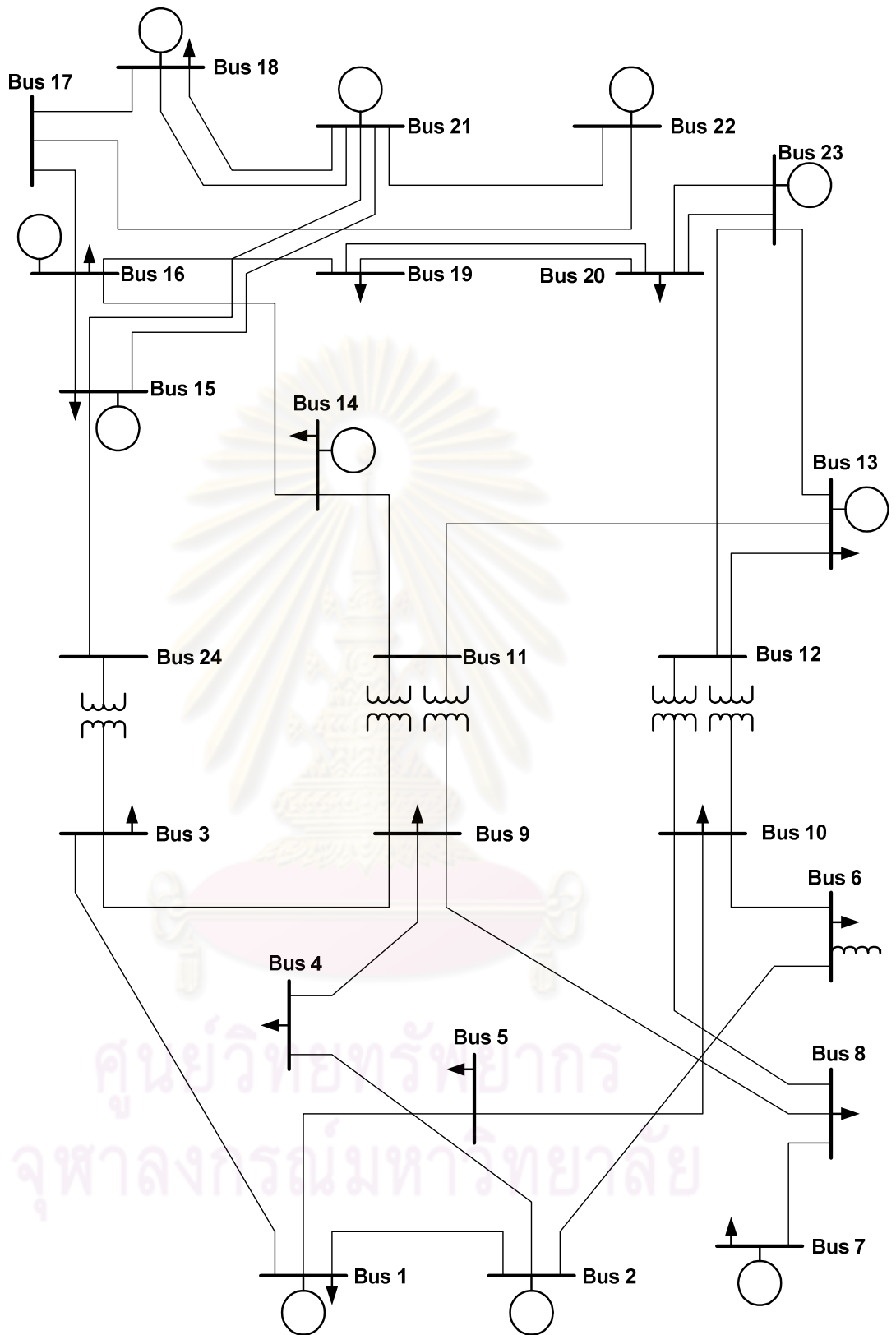
T3: จากบัส 14 ไปยังบัส 16 ปริมาณ 100 MW

T4: จากบัส 13 ไปยังบัส 11 ปริมาณ 80 MW

T5: จากบัส 13 ไปยังบัส 13 ปริมาณ 50 MW

สำหรับรายละเอียดข้อมูลของระบบ เส้นอุปสงค์ และเส้นอุปทานของผู้ซื้อและผู้ขายในตลาดกลางแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ระบบทดสอบ RTS-79

จากข้อมูลดังกล่าว ผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเป็นดังตารางที่ 5.2 และ ตารางที่ 5.3 ตามลำดับ และได้ค่า λ_{ref} เท่ากับ 12.5259

ตารางที่ 5.2 ผลการจัดสรรกำลังการผลิตของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
1	0.0000
2	0.0000
7	0.0000
13	0.0000
14	0.0000
15	155.1750
16	155.0000
18	400.0000
21	400.0000
22	29.0856
23	660.0000

ตารางที่ 5.3 ผลการจัดสรรความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส	ความต้องการกำลังไฟฟ้า (MW)
1	173.7073
3	61.8536
4	49.1382
5	200.0000
6	27.8909
7	36.8536
8	115.8049
9	210.5441
10	141.2358

ตารางที่ 5.3 ผลการจัดสรรความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสต่างๆของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (ต่อ)

ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส	ความต้องการกำลังไฟฟ้า (MW)
13	65.1091
14	124.5691
15	121.0592
16	111.8536
18	93.8958
19	117.7117
20	148.0335

จากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเราสามารถหาเมตริกซ์ M และเวกเตอร์ T ได้ดังต่อไปนี้

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 0.8 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

จากนั้นเราสามารถคำนวณค่าเมตริกซ์ B , H และ C ในการคำนวณรอบแรกได้ดังต่อไปนี้

$$H = \begin{bmatrix} 0.0665 & 0.0023 & -0.0015 & 0.0002 & 0.0000 \\ 0.0023 & 0.0319 & 0.0028 & 0.0082 & 0.0000 \\ -0.0015 & 0.0028 & 0.0190 & 0.0047 & 0.0000 \\ 0.0002 & 0.0082 & 0.0047 & 0.2000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

B =



0.0199	0.0096	-0.0003	0.0028	0.0044	0.0001	-0.0004	-0.0013	-0.0013	-0.0012	-0.0019	0.0000	0.0060	-0.0006	-0.0042	-0.0033	0.0000	-0.0034	-0.0028	-0.0028	-0.0033	-0.0040	-0.0026	0.0000
0.0096	0.0109	-0.0006	0.0044	0.0044	0.0007	-0.0018	-0.0017	-0.0013	-0.0015	-0.0015	0.0000	-0.0058	-0.0033	0.0001	-0.0019	0.0000	-0.0023	-0.0025	-0.0022	-0.0025	-0.0016	-0.0022	0.0000
-0.0003	-0.0006	0.0113	-0.0004	-0.0011	-0.0026	-0.0013	-0.0012	0.0001	-0.0018	-0.0001	0.0000	-0.0004	0.0013	-0.0005	0.0014	0.0000	0.0018	0.0013	0.0007	0.0020	0.0009	0.0005	0.0000
0.0028	0.0044	-0.0004	0.0193	0.0015	-0.0006	-0.0001	-0.0001	0.0015	-0.0009	0.0000	0.0000	-0.0015	-0.0014	0.0008	-0.0008	0.0000	-0.0012	-0.0012	-0.0009	-0.0013	-0.0006	-0.0008	0.0000
0.0044	0.0044	-0.0011	0.0015	0.0140	0.0006	-0.0007	-0.0007	-0.0009	0.0002	-0.0006	0.0000	-0.0035	-0.0023	0.0005	-0.0014	0.0000	-0.0018	-0.0018	-0.0015	-0.0020	-0.0011	-0.0014	0.0000
0.0001	0.0007	-0.0026	-0.0006	0.0006	0.0215	-0.0010	-0.0007	-0.0013	0.0009	-0.0005	0.0000	-0.0090	-0.0044	0.0047	-0.0004	0.0000	-0.0012	-0.0019	-0.0013	-0.0016	0.0008	-0.0013	0.0000
-0.0004	-0.0018	-0.0013	-0.0001	-0.0007	-0.0010	0.0657	0.0281	0.0016	0.0008	0.0005	0.0000	0.0034	-0.0006	0.0020	-0.0002	0.0000	-0.0007	-0.0007	-0.0004	-0.0009	0.0003	-0.0003	0.0000
-0.0013	-0.0017	-0.0012	-0.0001	-0.0007	-0.0007	0.0281	0.0247	0.0016	0.0007	0.0006	0.0000	0.0021	-0.0004	0.0007	-0.0006	0.0000	-0.0010	-0.0008	-0.0005	-0.0011	-0.0005	-0.0003	0.0000
-0.0013	-0.0013	0.0001	0.0015	-0.0009	-0.0013	0.0016	0.0016	0.0040	-0.0001	0.0015	0.0000	0.0041	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0001	0.0003	-0.0003	-0.0003	0.0005	0.0000
-0.0012	-0.0015	-0.0018	-0.0009	0.0002	0.0009	0.0008	0.0007	-0.0001	0.0022	0.0005	0.0000	0.0012	-0.0008	0.0006	-0.0008	0.0000	-0.0013	-0.0010	-0.0007	-0.0014	-0.0007	-0.0005	0.0000
-0.0019	-0.0015	-0.0001	0.0000	-0.0006	-0.0005	0.0005	0.0006	0.0015	0.0005	0.0021	0.0000	0.0015	0.0011	-0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0004	0.0000	0.0001	-0.0005	-0.0005	0.0002	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0060	-0.0058	-0.0004	-0.0015	-0.0035	-0.0090	0.0034	0.0021	0.0041	0.0012	0.0015	0.0000	0.2009	0.0060	0.0036	0.0001	0.0000	0.0003	0.0007	0.0007	-0.0001	0.0029	0.0014	0.0000
-0.0006	-0.0033	0.0013	-0.0014	-0.0023	-0.0044	-0.0006	-0.0004	0.0011	-0.0008	0.0011	0.0000	0.0060	0.0165	-0.0035	0.0005	0.0000	0.0008	0.0015	0.0009	0.0011	-0.0004	0.0008	0.0000
-0.0042	0.0001	-0.0005	0.0008	0.0005	0.0047	0.0020	0.0007	0.0000	0.0006	-0.0001	0.0000	0.0036	-0.0035	0.0161	0.0038	0.0000	0.0030	0.0007	0.0007	0.0026	0.0056	0.0004	0.0000
-0.0033	-0.0019	0.0014	-0.0008	-0.0014	-0.0004	-0.0002	-0.0006	0.0000	-0.0008	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0005	0.0038	0.0035	0.0000	0.0028	0.0022	0.0015	0.0028	0.0028	0.0011	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.0034	-0.0023	0.0018	-0.0012	-0.0018	-0.0012	-0.0007	-0.0010	-0.0003	-0.0013	-0.0004	0.0000	0.0003	0.0008	0.0030	0.0028	0.0000	0.0051	0.0019	0.0011	0.0044	0.0039	0.0008	0.0000
-0.0028	-0.0025	0.0013	-0.0012	-0.0018	-0.0019	-0.0007	-0.0008	0.0001	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0007	0.0015	0.0007	0.0022	0.0000	0.0019	0.0043	0.0029	0.0019	0.0013	0.0024	0.0000
-0.0028	-0.0022	0.0007	-0.0009	-0.0015	-0.0013	-0.0004	-0.0005	0.0003	-0.0007	0.0001	0.0000	0.0007	0.0009	0.0007	0.0015	0.0000	0.0011	0.0029	0.0040	0.0011	0.0008	0.0033	0.0000
-0.0033	-0.0025	0.0020	-0.0013	-0.0020	-0.0016	-0.0009	-0.0011	-0.0003	-0.0014	-0.0005	0.0000	-0.0001	0.0011	0.0026	0.0028	0.0000	0.0044	0.0019	0.0011	0.0051	0.0038	0.0008	0.0000
-0.0040	-0.0016	0.0009	-0.0006	-0.0011	0.0008	0.0003	-0.0005	-0.0003	-0.0007	-0.0005	0.0000	0.0029	-0.0004	0.0056	0.0028	0.0000	0.0039	0.0013	0.0008	0.0038	0.0104	0.0005	0.0000
-0.0026	-0.0022	0.0005	-0.0008	-0.0014	-0.0013	-0.0003	-0.0003	0.0005	-0.0005	0.0002	0.0000	0.0014	0.0008	0.0004	0.0011	0.0000	0.0008	0.0024	0.0033	0.0008	0.0005	0.0039	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C =

0.0009	0.0203	0.0027	0.0078	0.0000
-0.0004	0.0102	-0.0014	-0.0042	0.0000
-0.0014	-0.0116	-0.0001	-0.0004	0.0000
-0.0016	0.0031	-0.0007	-0.0015	0.0000
0.0001	0.0055	-0.0010	-0.0029	0.0000
0.0002	0.0026	-0.0040	-0.0085	0.0000
0.0641	0.0009	-0.0004	0.0029	0.0000
0.0265	-0.0001	0.0002	0.0015	0.0000
-0.0024	-0.0014	0.0011	0.0027	0.0000
0.0009	0.0006	0.0001	0.0007	0.0000
-0.0009	-0.0018	0.0012	-0.0006	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.0007	0.0064	0.0059	0.1994	0.0000
-0.0017	-0.0019	0.0160	0.0049	0.0000
0.0020	-0.0037	-0.0074	0.0037	0.0000
-0.0002	-0.0047	-0.0030	0.0002	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.0004	-0.0052	-0.0020	0.0007	0.0000
-0.0009	-0.0041	-0.0006	0.0007	0.0000
-0.0007	-0.0035	-0.0006	0.0006	0.0000
-0.0005	-0.0054	-0.0017	0.0004	0.0000
0.0006	-0.0049	-0.0032	0.0034	0.0000
-0.0008	-0.0032	-0.0003	0.0012	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับทั้งการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาซึ่งจะเป็นการคำนวณแบบวนซ้ำ

ตารางที่ 5.4 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางในแต่ละรอบ
การคำนวณ (ต่อ)

บัส / รอบที่	6	7	8	9	10
1	4.4963	4.4964	4.4964	4.4964	4.4964
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4054	0.4054	0.4054	0.4054	0.4054
4	0.6494	0.6494	0.6494	0.6494	0.6494
5	6.0372	6.0372	6.0372	6.0372	6.0372
6	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372
7	-1.4370	-1.4366	-1.4367	-1.4367	-1.4367
8	0.0334	0.0337	0.0336	0.0336	0.0336
9	2.6211	2.6211	2.6211	2.6211	2.6211
10	0.0355	0.0355	0.0355	0.0355	0.0355
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.0260	-3.0267	-3.0266	-3.0266	-3.0266
14	-1.1491	-1.1491	-1.1491	-1.1491	-1.1491
15	0.2544	0.2544	0.2544	0.2544	0.2544
16	0.3929	0.3929	0.3929	0.3929	0.3929
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.1625	13.1625	13.1625	13.1625	13.1625
19	-1.3541	-1.3541	-1.3541	-1.3541	-1.3541
20	-1.5450	-1.5450	-1.5450	-1.5450	-1.5450
21	19.4497	19.4496	19.4496	19.4496	19.4496
22	0.4165	0.4165	0.4165	0.4165	0.4165
23	16.9584	16.9584	16.9584	16.9584	16.9584
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละรอบการคำนวณ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบ
คู่สัญญาเป็นดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาในแต่ละรอบการ
คำนวณ

การซื้อขายที่ / รอบที่	0	1	2	3	4	5
1	3.7496	2.9890	3.2673	3.1803	3.2069	3.1988
2	0.0725	-2.4692	-2.3906	-2.4061	-2.4026	-2.4034
3	-1.9946	0.1921	0.2039	0.2170	0.2143	0.2150
4	0.1228	4.5467	3.3882	3.6557	3.5919	3.6069
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาในแต่ละรอบการ
คำนวณ (ต่อ)

การซื้อขายที่ / รอบที่	6	7	8	9	10
1	3.2013	3.2005	3.2007	3.2007	3.2007
2	-2.4032	-2.4032	-2.4032	-2.4032	-2.4032
3	0.2148	0.2149	0.2149	0.2149	0.2149
4	3.6033	3.6042	3.6040	3.6040	3.6040
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและกำลังขา
ออกรวมในแต่ละรอบการคำนวณเป็นดังตารางที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางในแต่ละรอบการคำนวณ

บัส / รอบที่	0	1	2	3	4	5
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	58.8852	55.4868	56.7423	56.4942	56.5476	56.5369
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750
16	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000
18	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
21	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
22	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856
23	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000

ตารางที่ 5.6 กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางในแต่ละรอบการคำนวณ (ต่อ)

บัส / รอบที่	6	7	8	9	10
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	56.5388	56.5386	56.5386	56.5386	56.5386
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750
16	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000
18	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
21	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
22	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856
23	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000

ตารางที่ 5.7 กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมในแต่ละรอบการคำนวณ

บัส / รอบที่	0	1	2	3	4	5
1	100.0725	97.5308	97.6094	97.5939	97.5974	97.5966
2	58.8852	55.4868	56.7423	56.4942	56.5476	56.5369
7	83.7496	82.9890	83.2673	83.1803	83.2069	83.1988
13	130.1228	134.5467	133.3882	133.6557	133.5919	133.6069
14	98.0054	100.1921	100.2039	100.2170	100.2143	100.2150
15	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750
16	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000
18	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
21	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
22	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856
23	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000

ตารางที่ 5.7 กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมในแต่ละรอบการคำนวณ (ต่อ)

บัส / รอบที่	6	7	8	9	10
1	97.5968	97.5968	97.5968	97.5968	97.5968
2	56.5388	56.5386	56.5386	56.5386	56.5386
7	83.2013	83.2005	83.2007	83.2007	83.2007
13	133.6033	133.6042	133.6040	133.6040	133.6040
14	100.2148	100.2149	100.2149	100.2149	100.2149
15	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750	155.1750
16	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000	155.0000
18	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
21	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000	400.0000
22	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856	29.0856
23	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000	660.0000

ดังนั้น เราสามารถสรุป ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางเป็นดังตารางที่ 5.8 และ ตารางที่ 5.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.8 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)
1	4.4964	9	2.6211	17	0.0000
2	0.0000	10	0.0355	18	13.1625
3	0.4054	11	0.0000	19	-1.3541
4	0.6494	12	0.0000	20	-1.5450
5	6.0372	13	-3.0266	21	19.4496
6	0.1372	14	-1.1491	22	0.4165
7	-1.4367	15	0.2544	23	16.9584
8	0.0336	16	0.3929	24	0.0000

ตารางที่ 5.9 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	1	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ได้รับการจัดสรร (MW)	3.2007	-2.4032	0.2149	2.0639	0.0000

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นว่าที่บัส 2, 11, 12, 17 และ 24 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียจะมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากไม่มีการซื้อขายไฟฟ้าที่บัสดังกล่าว สำหรับที่บัส 7, 13, 14, 19 และ 20 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียมีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าการซื้อขายไฟฟ้าที่บัสนั้นมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าลดลง และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในตลาดกลางผู้ควบคุมตลาด (บัส 2) เป็นผู้จ่ายกำลังไฟฟ้ามาชดเชย และเราสามารถจะจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียไปให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดได้ดังตารางที่ 5.10 และ 5.11

ตารางที่ 5.10 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)
1	0.0000	9	0.0000	17	0.0000
2	0.0000	10	0.0000	18	17.2000
3	0.0000	11	0.0000	19	0.0000
4	0.0000	12	0.0000	20	0.0000
5	0.0000	13	0.0000	21	19.4496
6	0.0000	14	0.0000	22	0.4165
7	0.0000	15	1.1573	23	16.9584
8	0.0000	16	1.4115	24	0.0000

ตารางที่ 5.11 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางของโหลด

บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)	บัส	P_{loss} (MW)
1	4.4964	9	2.6211	17	0.0000
2	0.0000	10	0.0355	18	-4.0375
3	0.4054	11	0.0000	19	-1.3541
4	0.6494	12	0.0000	20	-1.5450
5	6.0372	13	-3.0266	21	0.0000
6	0.1372	14	-1.1491	22	0.0000
7	-1.4367	15	-0.9029	23	0.0000
8	0.0336	16	-1.0186	24	0.0000

จากตารางที่ 5.9 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ 5 มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจาก เป็นการซื้อขายที่เกิดขึ้นที่บัสเดียวกัน ส่วนสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ 5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าเป็นลบเนื่องมาจากการซื้อขายดังกล่าวมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าลดลง สำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำสัญญาจะเป็นผู้จ่ายกำลังไฟฟ้ามาชดเชย

สำหรับกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมมีค่าเท่ากับ 61.1549 MW ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากตลาดกลางและจากสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ส่วนกำลังไฟฟ้าขาออกเฉพาะการซื้อขายผ่านตลาดกลางและกำลังไฟฟ้าขาออกรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยรวมผลของการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียแล้วเป็นดังตารางที่ 5.12 และ 5.13

ตารางที่ 5.12 กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะการซื้อขายผ่านตลาดกลาง

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
1	0.0000
2	56.5386
7	0.0000
13	0.0000
14	0.0000
15	155.1750
16	155.0000
18	400.0000
21	400.0000
22	29.0856
23	660.0000

ตารางที่ 5.13 กำลังไฟฟ้าขาออกรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
1	97.5968
2	56.5386
7	83.2007
13	133.6040
14	100.2149
15	155.1750
16	155.0000
18	400.0000
21	400.0000
22	29.0856

ตารางที่ 5.13 กำลังไฟฟ้าขาออกรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
23	660

นอกจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในตลาดกลางแล้ว ผลดังกล่าวยังสามารถใช้ในการคำนวณราคาพลังงานไฟฟ้าประจำโหนดได้อีกด้วย ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g_i}}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{d_i}}$ แสดงดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g_i}}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{d_i}}$ ของทุกๆบัส

บัส	$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g_i}}$	$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{d_i}}$
1	-0.0314	0.0314
2	0.0000	0.0000
3	0.0820	-0.0820
4	0.0180	-0.0180
5	-0.0175	0.0175
6	0.0530	-0.0530
7	0.0548	-0.0548
8	0.0283	-0.0283
9	0.0572	-0.0572
10	0.0590	-0.0590
11	0.0665	-0.0665
12	0.0779	-0.0779
13	0.1218	-0.1218
14	0.0943	-0.0943
15	0.1318	-0.1318
16	0.1349	-0.1349
17	0.0779	-0.0779
18	0.1665	-0.1665
19	0.1316	-0.1316

ตารางที่ 5.14 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i}$ และ $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i}$ ของทุกๆบัส (ต่อ)

บัส	$\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pg_i}$	$\frac{\partial P_{loss}}{\partial Pd_i}$
20	0.1301	-0.1301
21	0.1684	-0.1684
22	0.1557	-0.1557
23	0.1345	-0.1345
24	0.0779	-0.0779

สำหรับผลการคำนวณราคา ณ โหนด สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นดังตารางที่ 5.15 และตารางที่ 5.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.15 ราคา ณ โหนดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	λ_{ref}	γ^L	λ	ราคาค่าไฟฟ้า
1	12.5259	0.3934	12.9193	0.0000
2	12.5259	0	12.5259	0.0000
7	12.5259	-0.6867	11.8392	0.0000
13	12.5259	-1.5253	11.0006	0.0000
14	12.5259	-1.1816	11.3443	0.0000
15	12.5259	-1.6511	10.8748	1,687.4971
16	12.5259	-1.69	10.8359	1,679.5645
18	12.5259	-2.086	10.4399	4,175.9600
21	12.5259	-2.1091	10.4168	4,166.7200
22	12.5259	-1.9509	10.575	307.5802
23	12.5259	-1.6844	10.8415	7,155.3900
รวม				19,172.7118

ตารางที่ 5.16 ราคา ณ โหนดสำหรับโหลด

ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส	λ_{ref}	γ^L	λ	ราคาค่าไฟฟ้า
1	12.5259	0.3934	12.9193	2,244.1767
3	12.5259	-1.0266	11.4993	711.2731
4	12.5259	-0.225	12.3009	604.4441
5	12.5259	0.219	12.7449	2,548.9800
6	12.5259	-0.6642	11.8617	330.8335
7	12.5259	-0.6867	11.8392	436.3171
8	12.5259	-0.3541	12.1718	1,409.5541
9	12.5259	-0.716	11.8099	2,486.5048
10	12.5259	-0.7392	11.7867	1,664.7040
13	12.5259	-1.5253	11.0006	716.2392
14	12.5259	-1.1816	11.3443	1,413.1492
15	12.5259	-1.6511	10.8748	1,316.4946
16	12.5259	-1.69	10.8359	1,212.0344
18	12.5259	-2.086	10.4399	980.2628
19	12.5259	-1.6479	10.878	1,280.4679
20	12.5259	-1.6302	10.8957	1,612.9286
รวม				20,968.3640

จากผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง มีค่าเท่ากับ 56.5386 MW และจะสมมติให้มีการคิดค่าราคากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ราคากลาง คือ 12.5259 บาท ดังนั้น ราคาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่จะต้องจ่ายจากวิธีที่นำเสนอมีค่าเท่ากับ 708.1968 บาท ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ตลาดกลางเรียกเก็บเมื่อคิดจากราคา ณ โหนด จากตาราง 5.15 และ 5.16 มีค่าเท่ากับ 1,795.6522 บาท จะเห็นว่ามูลค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่คิดจากราคา ณ โหนด มีค่ามากกว่ามูลค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่คิดจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีที่นำเสนอมาก

5.1.2.2 กรณีที่ 2 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 2

ในการทดลองนี้ จะทำการเปลี่ยนการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 2 เป็น 80, 90, 100, 110, 120 MW ตามลำดับ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาอื่นๆยังคงกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้

สำหรับผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางยังคงเป็นดังตารางที่ 5.2 และ ตารางที่ 5.3 ตามลำดับ

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาและการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 2 เป็นดังตารางที่ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.17 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2

การซื้อขายที่ / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
1	3.2079	3.2031	3.2007	3.2013	3.2058
2	-1.9748	-2.1909	-2.4032	-2.6303	-2.9073
3	0.3013	0.2599	0.2149	0.1666	0.1159
4	3.7744	3.691	3.604	3.5135	3.4195
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.18 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2

บัส / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
1	4.4979	4.4799	4.4964	4.5635	4.7119
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.3764	0.3923	0.4054	0.4152	0.4211
4	0.6705	0.6601	0.6494	0.6383	0.6272
5	6.1303	6.0894	6.0372	5.9724	5.8937
6	0.1436	0.1405	0.1372	0.1338	0.1304
7	-1.4772	-1.4571	-1.4367	-1.4161	-1.3956
8	0.0092	0.0216	0.0336	0.0448	0.0545

ตารางที่ 5.18 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2 (ต่อ)

บัส / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
9	2.5223	2.5708	2.6211	2.674	2.7304
10	0.015	0.024	0.0355	0.0501	0.0686
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.2168	-3.1244	-3.0266	-2.9228	-2.8124
14	-1.3078	-1.2307	-1.1491	-1.0623	-0.97
15	0.2446	0.2496	0.2544	0.2588	0.2623
16	0.4073	0.4002	0.3929	0.3852	0.377
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.4951	13.3265	13.1625	13.0033	12.8501
19	-1.447	-1.4004	-1.3541	-1.3077	-1.2608
20	-1.6469	-1.5957	-1.545	-1.4943	-1.4434
21	19.9526	19.6985	19.4496	19.2066	18.9707
22	0.4216	0.4191	0.4165	0.4136	0.4102
23	17.5362	17.2457	16.9584	16.6741	16.3935
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ ที่ปริมาณการซื้อขายแบบคู่สัญญาที่ 2 ที่ค่าต่างๆเป็นดังตารางที่ 5.19 และ 5.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.19 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2

ปริมาณการซื้อขายที่ 2 (MW)	80	90	100	110	120
ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (MW)	62.6356	61.8730	61.1549	60.4815	59.8534

ตารางที่ 5.20 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2

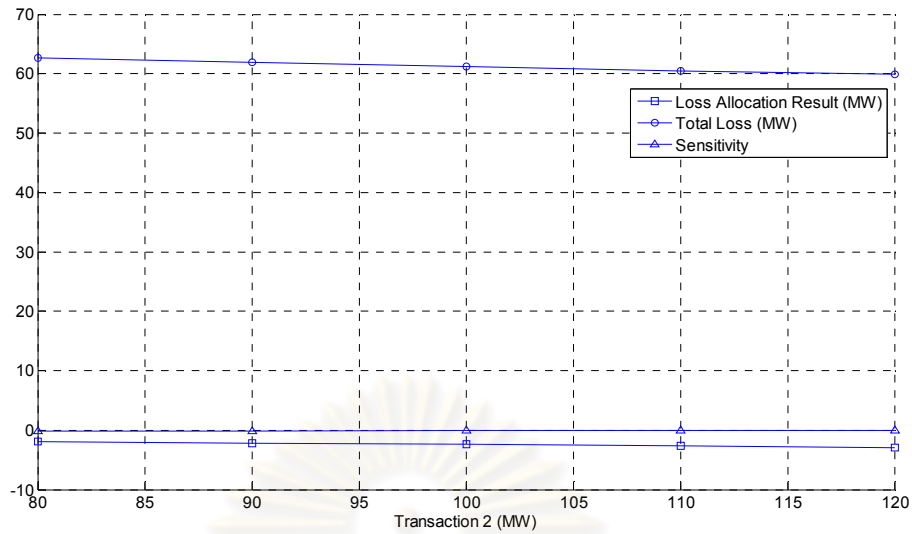
ปริมาณการซื้อขายที่ 2 (MW)	80	90	100	110	120
$\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$	-0.1131	-0.1102	-0.1077	-0.1058	-0.1047

ตาราง 5.21 ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 2

ปริมาณการซื้อขายที่ 2 (MW)	80	90	100	110	120
ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (MW)	47.5837	47.3656	47.1472	46.9286	46.7147

จากตารางที่ 5.17 จะพบว่า ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 2 มีเครื่องหมายเป็นลบทั้ง 5 กรณีและมีค่าเป็นลบมากขึ้น ประกอบกับค่าจากตารางที่ 5.20 คือ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ มีเครื่องหมายเป็นลบในทุกกรณี หมายความว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.21 จะเห็นว่าผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีขนาดลดลงจึงมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการซื้อขายที่ 2 เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับผลจากตารางที่ 5.19 จึงกล่าวได้ว่าการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 2 ยังมีปริมาณมากจะทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบลดลง การซื้อขายที่ 2 จึงได้รับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นลบที่มีขนาดมากขึ้น สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 2, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 2 เป็นดังรูปที่ 5.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 2, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ

และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_2}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 2

5.1.2.3 กรณีที่ 3 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 5

ในการทดลองนี้ จะทำการเปลี่ยนการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 5 เป็น 60, 70, 80, 90, 100 MW ตามลำดับ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาอื่นๆยังคงกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้

สำหรับผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางยังคงเป็นดังตารางที่ 5.2 และ ตารางที่ 5.3 ตามลำดับ

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาและการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 5 เป็นดังตารางที่ 5.22 และ 5.23 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.22 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5

การซื้อขายที่ / ปริมาณ (MW)	60	70	80	90	100
1	3.2007	3.2007	3.2007	3.2007	3.2007
2	-2.4032	-2.4032	-2.4032	-2.4032	-2.4032
3	0.2149	0.2149	0.2149	0.2149	0.2149
4	3.604	3.604	3.604	3.604	3.604
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.23 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5

บัส / ปริมาณ (MW)	60	70	80	90	100
1	4.4964	4.4964	4.4964	4.4964	4.4964
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4054	0.4054	0.4054	0.4054	0.4054
4	0.6494	0.6494	0.6494	0.6494	0.6494
5	6.0372	6.0372	6.0372	6.0372	6.0372
6	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372	0.1372
7	-1.4367	-1.4367	-1.4367	-1.4367	-1.4367
8	0.0336	0.0336	0.0336	0.0336	0.0336
9	2.6211	2.6211	2.6211	2.6211	2.6211

ตารางที่ 5.23 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5 (ต่อ)

บัส / ปริมาณ (MW)	60	70	80	90	100
10	0.0355	0.0355	0.0355	0.0355	0.0355
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.0266	-3.0266	-3.0266	-3.0266	-3.0266
14	-1.1491	-1.1491	-1.1491	-1.1491	-1.1491
15	0.2544	0.2544	0.2544	0.2544	0.2544
16	0.3929	0.3929	0.3929	0.3929	0.3929
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.1625	13.1625	13.1625	13.1625	13.1625
19	-1.3541	-1.3541	-1.3541	-1.3541	-1.3541
20	-1.5450	-1.5450	-1.5450	-1.5450	-1.5450
21	19.4496	19.4496	19.4496	19.4496	19.4496
22	0.4165	0.4165	0.4165	0.4165	0.4165
23	16.9584	16.9584	16.9584	16.9584	16.9584
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ ที่ปริมาณการซื้อขายแบบ
คู่สัญญาที่ 5 ที่ค่าต่างๆเป็นดังตารางที่ 5.24 และ 5.25 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.24 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5

ปริมาณการซื้อขายที่ 5 (MW)	60	70	80	90	100
ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (MW)	61.1549	61.1549	61.1549	61.1549	61.1549

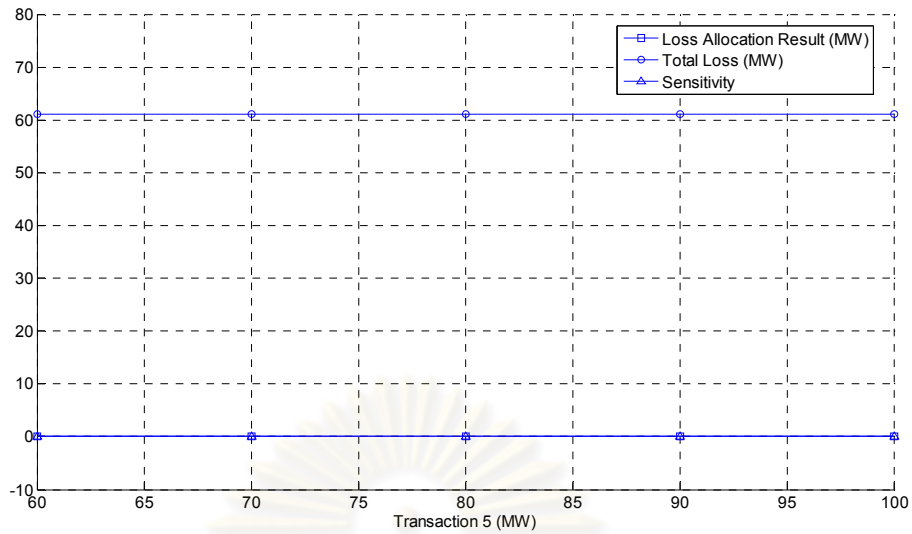
ตารางที่ 5.25 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5

ปริมาณการซื้อขายที่ 5 (MW)	60	70	80	90	100
$\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตาราง 5.26 ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 5

ปริมาณการซื้อขายที่ 5 (MW)	60	70	80	90	100
ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหล ในสายส่งแต่ละเส้น (MW)	47.1472	47.1472	47.1472	47.1472	47.1472

จากตารางที่ 5.22 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 5 มี
ค่าเป็น 0 ทุกกรณี ประกอบกับค่าจากตารางที่ 5.25 คือ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ มีเครื่องหมายเป็น 0 ในทุกกรณี
หมายความว่าไม่ว่าปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 5 จะมีค่าเป็นเท่าใดก็ตามค่า
กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.26 จะ
เห็นว่าผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงมีผลทำให้
กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณการซื้อขายที่ 5 เพิ่มขึ้น ซึ่ง
ตรงกับผลจากตารางที่ 5.24 สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 5,
กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 5 เป็นดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายที่ 5, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ

และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_5}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 5

5.1.2.4 กรณีที่ 4 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่ 4

ในการทดลองนี้ จะทำการเปลี่ยนการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 4 เป็น 80, 90, 100, 110, 120 MW ตามลำดับ สำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาอื่น ๆ ยังคงกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้

สำหรับผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางยังคงเป็นดังตารางที่ 5.2 และ ตารางที่ 5.3 ตามลำดับ

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาและการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 4 เป็นดังตารางที่ 5.27 และ 5.28 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.27 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อที่ 4

การซื้อขายที่ / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
1	3.2007	3.2207	3.2435	3.2680	3.2935
2	-2.4032	-2.4502	-2.4751	-2.4924	-2.5061
3	0.2149	0.1851	0.1566	0.1298	0.1046
4	3.6040	2.4888	1.9901	1.7422	1.6190
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.28 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4

บัส / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
1	4.4964	4.5615	4.5998	4.6293	4.6544
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4054	0.4050	0.4048	0.4048	0.4049
4	0.6494	0.6522	0.6535	0.6541	0.6545
5	6.0372	6.0176	6.0065	5.9987	5.9926
6	0.1372	0.1327	0.1298	0.1273	0.1251
7	-1.4367	-1.4499	-1.4621	-1.4743	-1.4868
8	0.0336	0.0302	0.0264	0.0218	0.0163
9	2.6211	2.6389	2.6589	2.6779	2.6957
10	0.0355	0.0443	0.0529	0.0608	0.0680
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.0266	-1.8396	-1.2867	-0.9827	-0.7966
14	-1.1491	-1.1196	-1.0889	-1.0596	-1.0318
15	0.2544	0.2511	0.2489	0.2471	0.2456
16	0.3929	0.3943	0.3945	0.3943	0.3939
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.1625	13.1420	13.1338	13.1303	13.1288

ตารางที่ 5.28 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4 (ต่อ)

บัส / ปริมาณ (MW)	80	90	100	110	120
19	-1.3541	-1.3639	-1.3719	-1.3790	-1.3856
20	-1.5450	-1.5634	-1.5799	-1.5953	-1.6100
21	19.4496	19.4165	19.4046	19.4006	19.4001
22	0.4165	0.4145	0.4129	0.4115	0.4102
23	16.9584	17.0323	17.1212	17.2159	17.3129
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ ที่ปริมาณการซื้อขายแบบ
คู่สัญญาที่ 4 ที่ค่าต่างๆเป็นดังตารางที่ 5.29 และ 5.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.29 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4

ปริมาณการซื้อขายที่ 4 (MW)	80	90	100	110	120
ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (MW)	61.1549	61.2412	61.3745	61.5313	61.7033

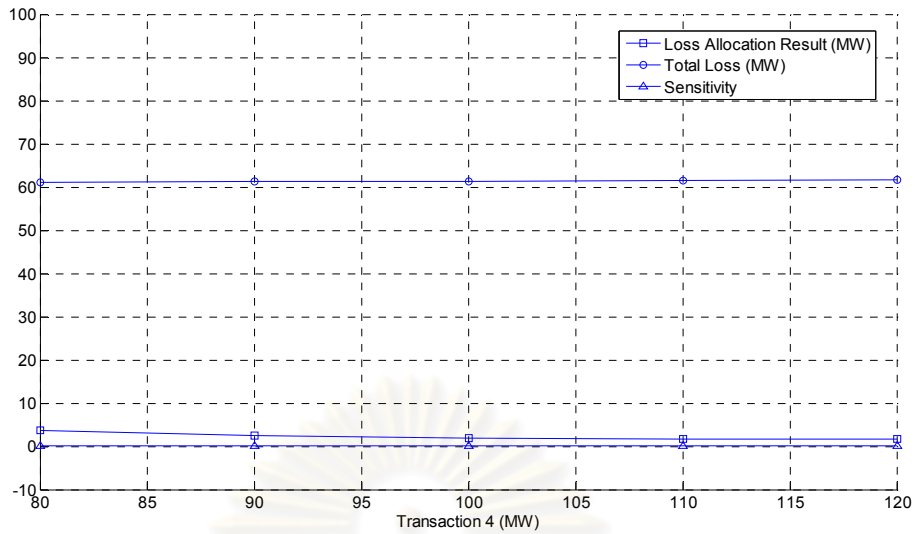
ตารางที่ 5.30 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ เมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4

ปริมาณการซื้อขายที่ 4 (MW)	80	90	100	110	120
$\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$	0.0531	0.045	0.0392	0.0356	0.0333

ตาราง 5.31 ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายที่ 4

ปริมาณการซื้อขายที่ 4 (MW)	80	90	100	110	120
ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหล ในสายส่งแต่ละเส้น (MW)	47.1472	47.2051	47.2759	47.3514	47.4301

จากตารางที่ 5.27 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 4 มี
เครื่องหมายเป็นบวกทุกกรณีและมีค่าเป็นบวกลดลงเรื่อยๆ ประกอบกับค่าจากตารางที่ 5.30 คือ
ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ มีเครื่องหมายเป็นบวกในทุกกรณี หมายความว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการซื้อไฟฟ้าแบบ
คู่สัญญาที่ 4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจะเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.31
จะเห็นว่าผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีค่าเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้กำลังไฟฟ้า
สูญเสียรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการซื้อขายที่ 4 เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับผลจากตารางที่
5.29 จึงกล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ 4 จะมีผลต่อกำลังไฟฟ้าจริง
สูญเสียรวมลดลง แต่กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่เกิดขึ้นจากตลาดกลางมีค่าเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้
กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อ
ไฟฟ้าที่ 4, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 4 เป็นดัง
รูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าที่ 4, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของ

ระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial T_4}$ เทียบกับปริมาณการซื้อขายที่ 4

5.1.2.5 กรณีที่ 5 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่บัส 7

ในการทดลองนี้ จะทำการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 7 ขึ้น 5, 10, 15 MW ตามลำดับ โดยการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสนี้ไม่ได้ทำการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าใหม่ นั่นคือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะถูกจ่ายโดยผู้ดูแลตลาดกลาง (บัส 2) ดังนั้นผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้ายังคงเป็นดังตารางที่ 5.2 และ 5.3

สำหรับการซื้อขายแบบคู่สัญญาจะกำหนดให้มีค่าเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาและการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเป็นเมื่อทำการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 7 เป็นดังตารางที่ 5.32 และ 5.33 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.32 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7

การซื้อขายที่ / เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
1	3.2007	3.4529	3.9104	4.6076
2	-2.4032	-2.4152	-2.4189	-2.4157
3	0.2149	0.2043	0.1897	0.1717
4	3.604	3.6058	3.6069	3.6084
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.33 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7

บัส / เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
1	4.4964	4.4612	4.4164	4.3616
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4054	0.396	0.3874	0.3792
4	0.6494	0.6487	0.6491	0.6493
5	6.0372	6.0072	5.9779	5.9495
6	0.1372	0.1383	0.1392	0.14
7	-1.4367	-1.6555	-2.0044	-2.5306
8	0.0336	0.0966	0.096	0.0445
9	2.6211	2.6261	2.6356	2.6489
10	0.0355	0.0416	0.0474	0.0533
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.0266	-3.0268	-3.0238	-3.0185
14	-1.1491	-1.1553	-1.1574	-1.1564
15	0.2544	0.2606	0.2678	0.2759
16	0.3929	0.4005	0.4074	0.414
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.1625	13.1486	13.1353	13.1227
19	-1.3541	-1.3669	-1.3777	-1.387
20	-1.545	-1.5556	-1.5642	-1.5713

ตารางที่ 5.33 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7 (ต่อ)

บัส / เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
21	19.4496	19.4201	19.3926	19.3676
22	0.4165	0.4230	0.4295	0.4363
23	16.9584	16.9131	16.8691	16.8272
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ ที่ปริมาณการซื้อขายแบบคู่สัญญาที่ 4 ที่ค่าต่างๆเป็นดังตารางที่ 5.34 และ 5.35 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.34 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7

เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (MW)	61.1549	61.0694	61.0114	60.9783

ตารางที่ 5.35 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7

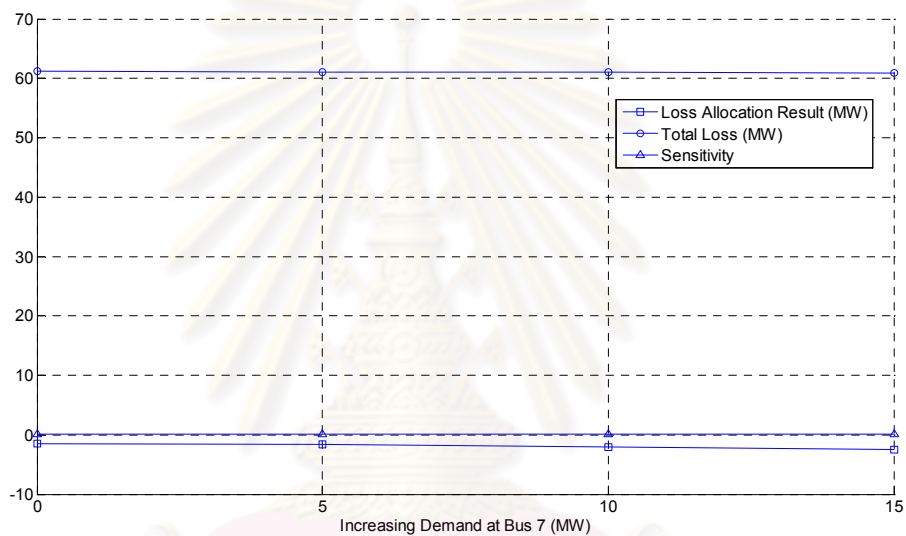
เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$	-0.0548	-0.0545	-0.0544	-0.0542

ตาราง 5.36 ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 7

เพิ่มโหลดที่บัส 7(MW)	0	5	10	15
ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (MW)	47.1472	47.1255	47.104	47.0841

จากตารางที่ 5.33 จะพบว่า หลังจากที่ทำการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าขึ้นที่บัส 7 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่บัส 7 ที่ได้มีเครื่องหมายเป็นลบ และมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 7 มากขึ้น และจากตารางที่ 5.35 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ มีเครื่องหมายเป็นลบในทุกกรณีซึ่งมีความหมายว่าเมื่อมีการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสนี้จะส่งผลให้ค่า

กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงและเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.36 จะเห็นว่า ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงเมื่อโหลดที่บัส 7 เพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวตรงกับตารางที่ 5.34 ที่ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบลดลงเมื่อเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 7 ขึ้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 7 มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียมีค่าลดลง ที่บัสนี้จึงได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นลบที่มีขนาดมากขึ้น สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัส 7, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 7 เป็นดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัส 7, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ

ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_7}$ เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 7

5.1.2.6 กรณีที่ 6 ทดสอบผลการจัดสรรโดยเพิ่มปริมาณการซื้อขายที่บัส 18

ในการทดลองนี้ จะทำการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 18 ขึ้น 5, 10, 15 MW ตามลำดับ โดยการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสนี้ไม่ได้ทำการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าใหม่ นั่นคือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะถูกจ่ายโดยผู้ดูแลตลาดกลาง (บัส 2) ดังนั้นผลการจัดสรรกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้ายังคงเป็นดังตารางที่ 5.2 และ 5.3

สำหรับการซื้อขายแบบคู่สัญญาจะกำหนดให้มีค่าเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ได้

ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาและการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเป็นเมื่อทำการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 18 เป็นดังตารางที่ 5.37 และ 5.38 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.37 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18

การซื้อขายที่ / เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
1	3.2007	3.1636	3.1270	3.0910
2	-2.4032	-2.4189	-2.4300	-2.4375
3	0.2149	0.2110	0.2058	0.1993
4	3.6040	3.5733	3.5400	3.5048
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 5.38 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18

บัส / เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
1	4.4964	4.4955	4.4901	4.4808
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4054	0.4049	0.4045	0.4041
4	0.6494	0.6524	0.6547	0.6563
5	6.0372	6.0157	5.9941	5.9727
6	0.1372	0.1369	0.1364	0.1357
7	-1.4367	-1.424	-1.4105	-1.3964
8	0.0336	0.0368	0.0401	0.0435
9	2.6211	2.5977	2.5763	2.5565
10	0.0355	0.0301	0.0250	0.0202
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	-3.0266	-3.0079	-2.9862	-2.9619
14	-1.1491	-1.1494	-1.1471	-1.1426
15	0.2544	0.2602	0.2659	0.2716
16	0.3929	0.3983	0.4032	0.4074

ตารางที่ 5.38 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18 (ต่อ)

บัส / เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	13.1625	12.7862	12.4153	12.0498
19	-1.3541	-1.3537	-1.3521	-1.3496
20	-1.5450	-1.5457	-1.5451	-1.5435
21	19.4496	19.3062	19.1625	19.0186
22	0.4165	0.4198	0.4228	0.4255
23	16.9584	16.8581	16.7569	16.6552
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบ และ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ ที่ปริมาณการซื้อขายแบบคู่สัญญาที่ 4 ที่ค่าต่างๆเป็นดังตารางที่ 5.39 และ 5.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.39 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียของระบบเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18

เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (MW)	61.1549	60.4472	59.7493	59.0612

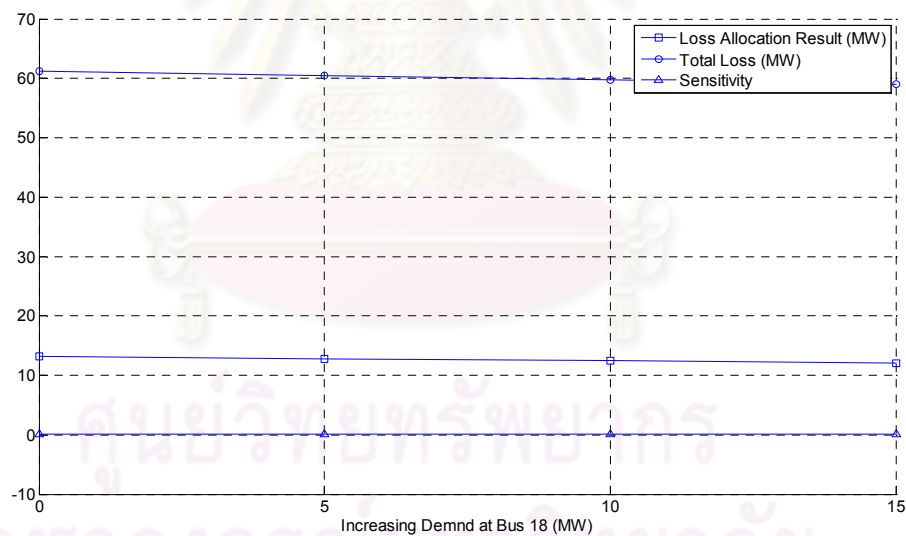
ตารางที่ 5.40 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ เมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18

เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$	-0.1665	-0.1666	-0.1665	-0.1663

ตาราง 5.41 ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเพิ่มโหลดที่บัส 18

เพิ่มโหลดที่บัส 18 (MW)	0	5	10	15
ผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (MW)	47.1472	46.8732	46.5994	46.3251

จากตารางที่ 5.38 จะพบว่า หลังจากที่ทำกรเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าขึ้นที่บัส 18 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่บัส 18 ที่ได้มีเครื่องหมายเป็นบวก และมีขนาดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 18 มากขึ้น และจากตารางที่ 5.40 ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ มีเครื่องหมายเป็นลบในทุกกรณีซึ่งมีความหมายว่าเมื่อมีการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัสนี้จะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงและเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.41 จะเห็นว่าผลรวมขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบมีค่าลดลงเมื่อโหลดที่บัส 18 เพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวตรงกับตารางที่ 5.39 ที่ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียรวมของระบบลดลงเมื่อเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 18 ขึ้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเพิ่มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส 18 มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียมีค่าลดลง ที่บัสนี้จึงได้รับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เป็นบวกที่มีขนาดลดลง สำหรับผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัส 18, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ เทียบกับความ ต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 18 เป็นดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัส 18, กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและ

ค่า $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{18}}$ เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นที่บัส 18

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

โดยทั่วไป เมื่อมีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบส่งไปยังโหลดจะส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วมูลค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีค่าหลายล้านบาทต่อปี ดังนั้นการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงมีความสำคัญโดยการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้านั้นต้องยุติธรรมและโปร่งใสกับทุกฝ่าย เนื่องจากปัจจุบันระบบไฟฟ้าทั่วโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากแบบเดิมที่มีลักษณะการซื้อขายไฟฟ้าแบบผูกขาดมาเป็นการซื้อขายแบบตลาดเสรี โดยทั่วไปแล้วการซื้อขายไฟฟ้าในโครงสร้างแบบใหม่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool Model) การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Contracts Model) และ แบบผสม (Hybrid Model) ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์มีความสมบูรณ์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นที่การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับโครงสร้างการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมเป็นหลัก

ในอดีตได้มีงานวิจัยที่กล่าวถึงการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียอยู่หลายงานวิจัยซึ่งแต่ละงานวิจัยมีแนวคิดต่างกันไป ซึ่งบางงานวิจัยใช้วิธีที่ง่ายแต่ไม่ได้คำนึงถึงโครงสร้างของระบบ บางงานวิจัยได้มีการตั้งสมมติฐานขึ้นมาเพื่อใช้ในการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสีย บางงานวิจัยได้ใช้วิธีการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยมีพื้นฐานมาจากสมการไฟฟ้ากำลังเหมือนกับวิธีที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้แต่ผลการลดการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ฉีดเข้าสู่บัสใดๆ ซึ่งอาจทำให้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงทำให้ผลการลดการสูญเสียแบบนั้นๆอาจจะไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ และโดยส่วนใหญ่จะเป็นการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าเพียงแบบเดียว

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยมีพื้นฐานของการลดการสูญเสียบนสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสียและใช้หลักการที่ว่า การซื้อขายไฟฟ้าใดที่มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมเพิ่มมากขึ้นจะต้องรับผิดชอบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียมาก ซึ่งทำให้การลดการสูญเสียที่สะท้อนถึงโครงสร้างของระบบไฟฟ้า และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

จากผลการทดสอบซึ่งเป็นกรณีศึกษาต่างๆ จะพบว่าผลการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีที่นำเสนอให้ต่างๆที่มีความสอดคล้องกัน เราจึงอาจจะกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลการลดการสูญเสียที่เหมาะสมที่สุด

รายการอ้างอิง

- [1] บัณฑิต เอื้ออาภรณ์. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเบื้องต้น, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [2] Hadi Saadat. Power system Analysis. Singapore: McGraw-Hill, 2004.
- [3] Pathom Attaviryanupap. The Applications of Evolutionary Programming-based Optimization Method to Power System Generation before and after Deregulation. Systems and Information Engineering Graduate School of Engineering, Hokkaido University.
- [4] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. Power Generation, operation and control. New York: McGraw-Hill, 1996
- [5] J. J. Gonzalez and P. Basagoiti. Spanish power exchange market and information system. Design concepts, and operating experience. Proceeding of the 1999 IEEE Power Industry Computer Applications Conference. pp. 245–252, Santa Clara, USA, May 1999.
- [6] A. J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Alguacil and A. L. Guijaro. Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 17, no. 3, pp. 571-576, Aug. 2002.
- [7] Antonio J. Conejo , Francisco D. Galiana and Ivana Kockar. Incremental Transmission Loss Allocation Under Pool Dispatch. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 17, no. 1, pp. 26-33, Feb. 2002.
- [8] D. Kirschen, R. Allan, and G. Strbac. Contributions of individual generators to loads and flows. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 12, no. 1, pp. 52-60, Feb. 1997.
- [9] Antonio J. Conejo , Francisco D. Galiana and Ivana Kockar. Z – Bus Loss Allocation. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 16, no. 1, pp. 105-110, Feb. 2001.
- [10] Audomvongserree K and Yokoyama A. Transmission Loss Allocation for a Multiple-Transaction Market in the Deregulated Environment. IEE Japan, Vol. PE-04; No.114.116.118-125.127-128; pp.39-44 2004.
- [11] Daroj, K.and Eua-Arporn, B. Real Power Loss Allocation for Transactions in Bilateral

- Markets. Power System Technology, 2006. PowerCon 2006. International Conference, pp. 1-8, Oct. 2006.
- [12] Judith B. Cardell. Marginal Loss Pricing for Hours With Transmission Congestion. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 22, no. 4, pp. 1466-1474, Nov. 2007.
- [13] Tina Orfanogianni and George Gross. A General Formulation for LMP Evaluation. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 22, no. 3, pp. 1163-1173, Aug. 2007.
- [14] Xu Cheng and Thomas J. Overbye. An Energy Reference Bus Independent LMP Decomposition Algorithm. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 21, no. 3, pp. 1041-1049, Aug. 2006.
- [15] Seon Gu Kim. Locational Impacts of Slack Bus on Locational Marginal Price. The 8th International Power Engineering Conference (IPEC 2007), pp.677-681, 2007.
- [16] Luonan Chen, Hideki Suzuki, Tsunehisa Wachi and Yukihiro Shimura. Component of Nodal Prices for Electric Power Systems. IEEE Trans. On Power Systems, vol. 17, no. 1, pp. 41-49, Feb. 2002.
- [17] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. การปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าและการจัดตั้งตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า. พฤศจิกายน 2543.
- [18] ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง Power Pool Simulation, 2001.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลระบบทดสอบ 14 บัส

ระบบทดสอบ 14 บัส ประกอบไปด้วย บัส 14 บัส มีค่า BaseMVA = 100 MVA มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ประกอบไปด้วยสายส่ง 19 เส้น ซึ่งรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

ตาราง ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 14 บัส

Bus	Type	Pd	Qd	Gs	Bs	Area	V	Theta	BaseKV	Zone	Vmax	Vmin
1	2	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
2	3	21.7	12.7	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
3	2	94.2	19	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
4	1	47.8	3.9	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
5	1	7.6	1.8	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
6	2	11.2	7.5	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
7	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
8	2	0.1	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
9	1	29.5	16.6	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
10	1	9	5.8	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
11	1	3.5	1.8	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
12	1	6.1	1.6	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
13	1	13.5	5.8	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
14	1	14.9	5	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95

ตาราง ก.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vsp	Base	Status	Pmax	Pmin
1	125.3	0	150	-150	1.06	100	1	200	50
2	40	0	150	-150	1.045	100	1	200	50
3	0	0	150	-150	1.01	100	1	200	50
6	0	0	150	-150	1.07	100	1	200	50
8	100	0	150	-150	1.09	100	1	200	50

ตาราง ก.3 ข้อมูลระบบสายส่งของระบบทดสอบ 14 บัส

From Bus	To Bus	R	X	B	Rate A	Rate B	Rate C	Ratio	Angle	Status
1	5	0.054	0.223	0.0528	40	40	250	0	0	1
2	3	0.047	0.198	0.0438	80	80	150	0	0	1
2	4	0.0581	0.1763	0.0374	60	60	150	0	0	1
2	5	0.057	0.1739	0.034	100	100	150	0	0	1
3	4	0.067	0.171	0.0346	50	50	150	0	0	1
4	5	0.0134	0.0421	0.0128	50	50	150	0	0	1
4	7	0.0001	0.2091	0	50	50	150	0	0	1
4	9	0.0001	0.5562	0	50	50	150	0	0	1
5	6	0.0001	0.252	0	50	50	150	0	0	1
6	11	0.095	0.1989	0	50	50	150	0	0	1
6	12	0.1229	0.2558	0	50	50	150	0	0	1
6	13	0.0662	0.1303	0	50	50	150	0	0	1
7	8	0.0001	0.1762	0	50	50	150	0	0	1
7	9	0.0001	0.11	0	50	50	150	0	0	1
9	10	0.0318	0.0845	0	50	50	150	0	0	1
9	14	0.1271	0.2704	0	50	50	150	0	0	1
10	11	0.082	0.1921	0	50	50	150	0	0	1

ตาราง ก.3 ข้อมูลระบบสายส่งของระบบทดสอบ 14 บัส (ต่อ)

From Bus	To Bus	R	X	B	Rate A	Rate B	Rate C	Ratio	Angle	Status
12	13	0.2209	0.1999	0	50	50	150	0	0	1
13	14	0.1709	0.348	0	50	50	150	0	0	1



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลระบบ RTS-79

ระบบ RTS-79 ประกอบไปด้วย บัส 24 บัส มีค่า BaseMVA = 100 MVA มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11 เครื่อง ประกอบไปด้วยสายส่ง 38 เส้น ซึ่งรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

ตาราง ข.1 ข้อมูลบัสของระบบ RTS-79

Bus	Type	Pd	Qd	Gs	Bs	Area	V	Theta	BaseKV	Zone	Vmax	Vmin
1	2	108	22	0	0	1	1.04	0	138	1	1.05	0.95
2	2	97	20	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
3	1	180	37	0	0	1	1.02	0	138	1	1.05	0.95
4	1	74	15	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
5	1	71	14	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
6	1	136	28	0	-100	1	1	0	138	1	1.05	0.95
7	2	125	25	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
8	1	171	35	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
9	1	175	36	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
10	1	195	40	0	0	1	1	0	138	1	1.05	0.95
11	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
12	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
13	2	265	54	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
14	2	194	39	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
15	2	317	64	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
16	3	100	20	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
17	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
18	2	333	68	0	0	1	1	0	230	1	1.051	0.95
19	1	181	37	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
20	1	128	26	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95
21	2	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.051	0.95
22	2	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.051	0.95

ตาราง ข.1 ข้อมูลบัสของระบบ RTS-79 (ต่อ)

Bus	Type	Pd	Qd	Gs	Bs	Area	V	Theta	BaseKV	Zone	Vmax	Vmin
23	2	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.051	0.95
24	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.05	0.95

ตาราง ข.2 ข้อมูล Demand curve ของระบบ RTS-79

$$F_D(Q) = P = a - bQ$$

Bus	a	b	Pmax	Pmin
1	16	0.02	300	5
3	15	0.04	200	5
4	14	0.03	200	50
5	22	0.015	200	5
6	13	0.017	200	5
7	14	0.04	200	10
8	16	0.03	200	10
9	18	0.026	400	10
10	21	0.06	200	10
13	15	0.038	300	10
14	20	0.06	300	10
15	21	0.07	200	10
16	17	0.04	400	10
18	16	0.037	300	9
19	19	0.055	300	10
20	22	0.064	400	10

ตาราง ข.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RTS-79

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vsp	Base	Status	Pmax	Pmin
1	162	0	80	-50	1.035	100	1	192	5
2	162	0	80	-50	1.035	100	1	192	5
7	166.8	0	180	0	1.025	100	1	300	20
13	354.3	0	240	0	1.02	100	1	591	50
14	0	13.7	200	-50	0.98	100	1	200	50
15	175.5	0	110	-50	1.014	100	1	215	3
16	155	0	80	-50	1.017	100	1	155	40
18	400	0	200	-50	1.05	100	1	400	80
21	400	0	200	-50	1.05	100	1	400	80
22	300	0	96	-60	1.05	100	1	300	10
23	660	0	310	-125	1.05	100	1	660	40

ตารางข.4 ข้อมูล Cost curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RTS-79

$$f(Q) = c_0 + c_1Q + c_2Q^2$$

c2	c1	c0
0.021967	15.25849	-1206.56
0.021967	15.25849	-1206.56
0.007467	19.7128	862.4946
0.0027	20.2909	1135.775
0.0081	20.2909	378.5918
0.00637	10.54902	373.8987
0.0067	10.2202	207.1786
0.0006	5.4	281.9025
0.0006	5.4	281.9025
0.062504	8.8899	154.2648
0.001637	10.16005	764.4691

ตาราง ข.5 ข้อมูลระบบส่งของระบบ RTS-79

From Bus	To Bus	R	X	B	Rate A	Rate B	Rate C	Ratio	Angle	Status
1	2	0.0026	0.0139	0.4611	175	200	193	0	0	1
1	3	0.0546	0.2112	0.0572	175	220	208	0	0	1
1	5	0.0218	0.0845	0.0229	175	220	208	0	0	1
2	4	0.0328	0.1267	0.0343	175	220	208	0	0	1
2	6	0.0497	0.192	0.052	175	220	208	0	0	1
3	9	0.0308	0.119	0.0322	175	220	208	0	0	1
3	24	0.0023	0.0839	0	400	600	510	1.015	0	1
4	9	0.0268	0.1037	0.0281	175	220	208	0	0	1
5	10	0.023	0.0883	0.0239	175	220	208	0	0	1
6	10	0.0139	0.0605	2.459	175	200	193	0	0	1
7	8	0.0159	0.0614	0.0166	175	220	208	0	0	1
8	9	0.0427	0.1651	0.0447	175	220	208	0	0	1
8	10	0.0427	0.1651	0.0447	175	220	208	0	0	1
9	11	0.0023	0.0839	0	400	600	510	1.03	0	1
9	12	0.0023	0.0839	0	400	600	510	1.03	0	1
10	11	0.0023	0.0839	0	400	600	510	1.015	0	1
10	12	0.0023	0.0839	0	400	600	510	1.015	0	1
11	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	625	600	0	0	1
11	14	0.0054	0.0418	0.0879	500	625	600	0	0	1
12	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	625	600	0	0	1
12	23	0.0124	0.0966	0.0203	500	625	600	0	0	1
13	23	0.0111	0.0865	0.1818	500	625	600	0	0	1
14	16	0.005	0.0589	0.0818	500	625	600	0	0	1
15	16	0.002	0.0173	0.0364	500	625	600	0	0	1
15	21	0.0063	0.049	0.103	500	625	600	0	0	1
15	21	0.0063	0.049	0.103	500	625	600	0	0	1
15	24	0.0067	0.0519	0.1091	500	625	600	0	0	1

ตาราง ข.5 ข้อมูลระบบส่งของระบบ RTS-79 (ต่อ)

From Bus	To Bus	R	X	B	Rate A	Rate B	Rate C	Ratio	Angle	Status
16	17	0.0033	0.0259	0.0545	500	625	600	0	0	1
16	19	0.003	0.0231	0.049	500	625	600	0	0	1
17	18	0.0018	0.0144	0.0303	500	625	600	0	0	1
17	22	0.0135	0.1053	0.2212	500	625	600	0	0	1
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	625	600	0	0	1
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	625	600	0	0	1
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	625	600	0	0	1
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	625	600	0	0	1
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	625	600	0	0	1
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	625	600	0	0	1
21	22	0.0087	0.0678	0.1424	500	625	600	0	0	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกานต์ วงษ์ปาน เกิดวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2550



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย