

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์

OPTIMAL POWER FLOW



โดย

นาย ชินวัชร สุรัสวดี

นาย ฉัตรชัย กุลมงคลรัตน์



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 34181  
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

ปีการศึกษา 2541

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2541

ออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์

OPTIMAL POWER FLOW



อาจารย์ สมโภชน์ ประไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง ออพติมอล พาวเวอร์ โฟลว์

OPTIMAL POWER FLOW

ผู้จัดทำ

- |                           |          |
|---------------------------|----------|
| 1.นายชินวัชร สุรัสวดี     | 38014122 |
| 2.นายฉัตรชัย กุลมงคลรัตน์ | 38014092 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

  
(อาจารย์ สม โภชน์ ประไพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์

ชินวัชร สุรัสวดี

นัตรชัช ภูมมงคลรัตน์

2541

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการคำนวณโหลดโพล์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน ทั้งในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยมีการวิเคราะห์โหลดโพล์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม จากนั้นนำผลการคำนวณที่ได้ผ่านกระบวนการออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์ เพื่อให้ได้ระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดและมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด จากนั้นนำผลการคำนวณที่ได้จากการคำนวณโหลดโพล์ที่ไม่ผ่านกระบวนการออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์ และผลการคำนวณที่ได้จากการคำนวณโหลดโพล์ที่ผ่านกระบวนการออปติมอล พาวเวอร์ โฟลว์ เปรียบเทียบกันในแง่ของค่าใช้จ่ายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อเป็นหลักเกณฑ์พื้นฐานในการพิจารณาระบบให้มีความเหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMAL POWER FLOW

CHINNAWAT SURUSSAVADEE

CHATCHAI KULMONGKOLRAT

1998

**Abstract**

This thesis describes a load flow calculation by the Newton-Raphson method in rectangular and polar coordinates by load flow analysis and power system which it has limited beginning of load flow that appropriate and ill-condition power system. After that bring the result of calculation that pass the process of optimal power flow is got the lowest generation cost and the least power loss system. After that bring the result of calculation from load flow calculation that no pass the process of optimal power flow compare with the result of calculation from load flow calculation that pass the process of optimal power flow for the generation cost and power loss in order to make the basic rule for consideration the appropriate system.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
เนื้อหาและทฤษฎี	
บทที่	
1. บทนำทั่วไป	1
1.1 ความสำคัญของการศึกษาโหลดโฟลว์	1
1.2 ความจำเป็นในส่วนของ Optimal Power Flow ในการคำนวณ Load Flow	1
1.3 ความหมายของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่ไม่เหมาะสม	1
1.4 วัตถุประสงค์	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	2
1.6 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์	2
1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	3
2. การคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	4
2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์	4
2.2 วงจรสมมูลขององค์ประกอบในระบบกำลังไฟฟ้า	4
2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	4
2.2.2 โหลด (Load)	5
2.2.3 สายส่งไฟฟ้า (Transmission line)	5
2.2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	6
2.2.5 ชั้นที่อิติมเมนต์ (Shunt element)	8
2.3 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดโฟลว์	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4 การสร้างบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิเลเมนต์แสตมป์ ( Element stamp method )	9
2.4.1 สายส่งไฟฟ้า	9
2.4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	10
2.4.3 ชั้นที่อิเลเมนต์	11
2.4.4 ขั้นตอนการสร้างบัสแอดมิตแดนซ์โดย วิธีอิเลเมนต์แสตมป์	11
2.5 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า	13
2.5.1 บัสอ้างอิง	13
2.5.2 บัสควบคุมแรงดัน	13
2.5.3 โหลดบัส	14
2.6 สมการโหลด โฟลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน	14
2.7 การประยุกต์วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาทางโหลดโฟลว์	16
2.7.1 ระบบพิกัดฉาก ( Rectangular coordinate )	16
2.7.2 ระบบพิกัดเชิงขั้ว ( Polar coordinate )	21
2.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลง	25
2.8.1 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่ง	25
2.8.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในหม้อแปลง	26
2.9 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	27
3. Optimal Power Flow	30
3.1 วิธีการ Optimize ทั่วไป	30
3.2 การแก้ปัญหาของ Optimal Power Flow	32
3.3 การวิเคราะห์ Gradient method	32
4. ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์	38
4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้น ทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม	38
4.2 ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม	45
4.2.1 ผลการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโฟลว์ที่เหมาะสม	45

	หน้า
4.2.2 ผลการคำนวณโหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่เหมาะสม	46
4.2.3 ผลการคำนวณโหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่เหมาะสม	48
4.3 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่เหมาะสม	50
4.4 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลี ที่ไม่เหมาะสม	53
4.4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมของ ข้อกำหนดทางโครงสร้าง	53
4.4.2 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทาง สภาวะการทำงานของระบบ	56
4.5 ผลการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	57
4.5.1 ผลการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	57
4.5.2 ผลการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	60
4.5.3 ผลการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	60
4.5.4 ผลการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	61
4.6 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณ โหลดโพลีสำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลีที่ไม่เหมาะสม	62
5. สรุปและเสนอแนะ	67
<b>ภาคผนวก</b>	
ก. การมัลติระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อลิมิชั่น	68
ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์	74
ค. คู่มือการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์	129

### กิตติกรรมประกาศ

### เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	5
2.2 วงจรสมมูลของ โหลด	5
2.3 วงจรสมมูล $\pi$ ที่ใช้แทนสายส่ง ไฟฟ้า	6
2.4(ก) แบบจำลองของหม้อแปลง ไฟฟ้า	6
2.4(ข) วงจรสมมูลของหม้อแปลง ไฟฟ้า	6
2.5 วงจรสมมูลของชั้นที่อิเลิเมนต์	9
2.6 แผนภาพการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิเลิเมนต์แสดมปี	12
2.7 แผนภาพแสดงการคำนวณ โหลดโพล์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน	29
4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส	39
4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส	40
4.3 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส	42
4.4 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า	14
4.1(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส	39
4.1(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส	39
4.2(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส	41
4.2(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส	41
4.3(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส	43
4.3(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส	44
4.4 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	45
4.5 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	45
4.6 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	46
4.7 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	47
4.8 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	48
4.9 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลด โพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	49

	หน้า
4.10 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01	51
4.11 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมโดยใช้ค่า ความผิดพลาด 0.01	51
4.12 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01	51
4.13 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมโดยใช้ค่า ความผิดพลาด 0.01	52
4.14 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01	52
4.15 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ ขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01	53
4.16(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ ขนาด 13 บัส	55
4.16(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ ขนาด 13 บัส	56

## บทที่ 1

### บทนำทั่วไป

#### 1.1 ความสำคัญของการศึกษาโหลดฟลว์

การศึกษาโหลดฟลว์ ( Load flow studies ) ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของการศึกษาระบบต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้า อันได้แก่ การวิเคราะห์ความผิดปกติ การวิเคราะห์เสถียรภาพ การวางแผนจัดสรรการผลิตเพื่อให้มีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด รวมถึงการดำเนินงานของระบบกำลังไฟฟ้า หรือการวางแผนในระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ระบบกำลังไฟฟ้ามีความสามารถรองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้บริโภคได้อย่างเพียงพอ จากความสำคัญที่ได้กล่าวมานี้ ทำให้สังเกตเห็นความจำเป็นในการศึกษาโหลดฟลว์

#### 1.2 ความจำเป็นในส่วนของ Optimal Power Flow ในการคำนวณโหลดฟลว์

Optimal Power Flow ( OPF ) ถูกใช้เพื่อหาค่าที่น้อยที่สุดของค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงทั้งหมด หรือ Objective อื่น ๆ ขณะที่จะต้องพิจารณาขีดจำกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้า เช่น LTC tap limits, Voltage limits บนบัสต่าง ๆ ฯลฯ เมื่อค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่าต่ำสุด โดย Optimal Power Flow แสดงในลักษณะของ Economic load dispatch ซึ่งจะส่งผลให้ค่า Loss ที่เกิดขึ้น หรือค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตมีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Loss และเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ได้จากการคำนวณโหลดฟลว์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

#### 1.3 ความหมายของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดฟลว์ที่ไม่เหมาะสม

ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดฟลว์ที่ไม่เหมาะสม คือระบบกำลังไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะซึ่งไม่สามารถหาค่าตอบที่เป็นจริงได้ หรือสามารถหาค่าตอบดังกล่าวได้ แต่ต้องใช้จำนวนรอบในการคำนวณค่อนข้างมาก เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยมีลักษณะดังนี้

1.3.1 ลักษณะทางโครงสร้างของระบบ : ประกอบด้วยสายส่งที่มีความยาวมากและมีค่าอัตราส่วนระหว่างความต้านทานต่อรีแอคแตนซ์สูง หรือการที่มีคาปาซิแตนซ์ต่ออนุกรมกับสายส่ง ( Line series capacitance )

1.3.2 สภาวะการทำงานของระบบ : อยู่ในสภาวะจ่ายโหลดอย่างหนัก

1.3.3 ข้อกำหนดทางโหลดฟลว์ : อัตราส่วนระหว่างจำนวนโหลดบัสต่อจำนวนบัสควบคุมแรงดันมีค่าสูง หรือกำหนดตำแหน่งของบัสอ้างอิงไม่เหมาะสม หรือกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คำนวณไม่เหมาะสม

#### 1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 เพื่อศึกษาเทคนิคที่จะนำมาใช้พัฒนาวิธีนิวตัน-ราฟสันในการวิเคราะห์โหลดโพลว์

1.4.2 เพื่อให้การวิเคราะห์โหลดโพลว์มีลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบที่ดีขึ้น

1.4.3 เพื่อให้สามารถวิเคราะห์โหลดโพลว์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้น

ทางโหลดโพลว์ไม่เหมาะสมได้

1.4.4 เพื่อให้สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ตามเงื่อนไขให้มีค่าต่ำสุดได้ เมื่อผ่านกระบวนการ Optimal Power Flow โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ

1.4.5 เพื่อวิเคราะห์ระบบว่าสามารถทำให้ค่าการสูญเสียต่ำกว่าที่เป็นอยู่ได้หรือไม่

#### 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาจากทฤษฎีโดยค้นคว้าจากหนังสือและวารสารต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.5.2 ศึกษาการวิเคราะห์โหลดโพลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

1.5.3 ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์โหลดโพลว์

1.5.4 ศึกษาการวิเคราะห์ Optimal Power flow ด้วยวิธี Gradient method

1.5.5 ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ Optimal Power Flow

1.5.6 ทำการทดสอบกับระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐานและระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เพื่อหาข้อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 1.4.2

1.5.7 วิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการวิจัย

1.5.8 เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการและดำเนินการจัดสอบ

#### 1.6 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ การวิเคราะห์โหลดโพลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ใช้กับการวิเคราะห์โหลดโพลว์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลว์เหมาะสม และข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลว์ที่ไม่เหมาะสม ในแง่ของคุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบ รวมไปถึงการวิเคราะห์ Optimal Power Flow ในแง่ของ Loss และ การวิเคราะห์สภาพของระบบที่เป็นอยู่โดยพิจารณาจาก Loss

#### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการทำวิทยานิพนธ์

1.7.1 เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์โหลดโพลว์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลว์ที่ไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.2 เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาในการจัดระบบเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

1.7.3 เพื่อเป็นข้อมูลให้กับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

## 1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง การคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยใช้บัสมิตแดนซ์มตริกซ์ ทั้งในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดเชิงขั้ว ภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโพล์ โดยจะเริ่มต้นจากการศึกษาวงจรสมมูลขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าและสมการโหลดโพล์ที่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ใช้ ในตอนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณโหลดโพล์ที่จะเป็นพื้นฐานของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

บทที่ 3 กล่าวถึง การคำนวณ Optimal Power flow ด้วยวิธี Gradient method ภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณ Optimal Power Flow

บทที่ 4 กล่าวถึงตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ของระบบกำลังไฟฟ้าในบางสถานะที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจน

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ประกอบด้วย ภาคผนวก ก ภาคผนวก ข ภาคผนวก ค และภาคผนวก ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาคผนวก ก กล่าวถึง การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อิลิมิเนชัน

ภาคผนวก ข กล่าวถึง รายละเอียดของการเขียนภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโพล์ และ Optimal Power Flow

ภาคผนวก ค กล่าวถึง รายละเอียดของการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโพล์ และ Optimal Power Flow

ภาคผนวก ง กล่าวถึง รายละเอียดของผลการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีแนวความคิดที่จะดำเนินการพัฒนาวิธีนิวตัน-ราฟสัน ร่วมกับวิธีของ Optimal Power Flow โดยการเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า “BORLAND C++ version 5.02” บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และจะใช้โปรแกรมดังกล่าวทดสอบกับระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่าง เพื่อนำผลการคำนวณที่ได้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากวิธีนิวตัน-ราฟสันเดิม

## บทที่ 2

### การคำนวณโหลดโพล်ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

การวิเคราะห์โหลดโพล်ถือเป็นสิ่งสำคัญและเป็นพื้นฐานของการศึกษาระบบต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าอันได้แก่ การวิเคราะห์ความผิดปกติ การวิเคราะห์เสถียรภาพ การวางแผนและการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของระบบกำลังไฟฟ้า เป็นต้น คำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล်ของสถานะโหลดหนึ่ง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าจะได้อำนาจและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ กำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟที่ไหลผ่านอุปกรณ์ เช่น หม้อแปลงและสายส่งต่าง ๆ รวมทั้งกำลังสูญเสียในอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย

#### 2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล်

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล်ในที่นี้จะถือเป็นบรรทัดฐานใช้อ้างอิงในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโพล် ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 ระบบกำลังที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล်เป็นระบบกำลังไฟฟ้าสมดุล 3 เฟส อยู่ในสถานะการทำงานปกติ ( Steady state condition )

2.2.2 ในการสร้างแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์และสมการโหลดโพล်จะยึดบัสเป็นกรอบอ้างอิง ( Bus frame of reference )

2.1.3 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบมีบัสอ้างอิงเพียง 1 บัส

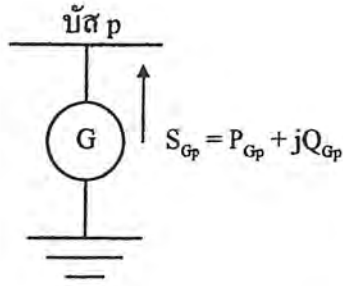
2.1.4 ให้ถือว่าโหลดทั้งหมดในระบบกำลังไฟฟ้าคงที่

2.1.5 วงจรสมมูลของหม้อแปลงและสายส่งเป็นแบบพาย ( Equivalent pi circuit :  $\pi$  )

#### 2.2 วงจรสมมูลขององค์ประกอบในระบบกำลังไฟฟ้า

##### 2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( Generator )

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะปรับให้มีค่าคงที่ ส่วนกำลังไฟฟ้ารืแอกทีฟจะปรับเปลี่ยนได้เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า แต่ต้องไม่เกินค่าขีดจำกัดสูงสุดและไม่น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุด สำหรับวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแทนด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ออยู่ที่บัส ดังแสดงในรูป 2.1 โดยกำหนดให้  $P_{Gp}$  และ  $Q_{Gp}$  เป็นบวกเมื่อจ่าย  $P_{Gp}$  และ  $Q_{Gp}$  เข้าสู่ระบบกำลังไฟฟ้า



$P_{Gp}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส P

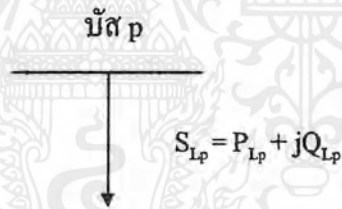
$Q_{Gp}$  คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ผลิตที่บัส P

$S_{Gp}$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ผลิตที่บัส P

รูป 2.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 2.2.2 โหลด (Load)

โหลดเป็นอุปกรณ์ที่รับกำลังไฟฟ้าจากบัส ซึ่งจะถือเป็นค่าคงที่และมีค่าเป็นลบในการคำนวณโหลดโฟลว์ โดยสัญลักษณ์ที่ใช้แทนโหลดในวงจรสมมูล คือ ลูกศร ดังแสดงในรูปที่ 2.2



$P_{Lp}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายโหลดที่บัส P

$Q_{Lp}$  คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่จ่ายโหลดที่บัส P

$S_{Lp}$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่จ่ายโหลดที่บัส P

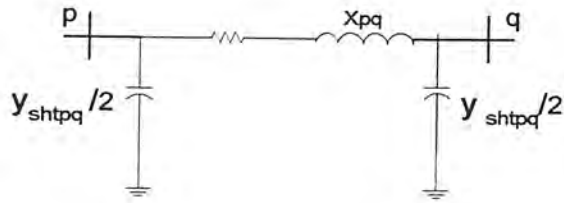
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของโหลด

### 2.2.3 สายส่งไฟฟ้า (Transmission line)

สายส่งไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างสองบัสใด ๆ เช่น ระหว่างบัส p และบัส q สามารถแทนได้ด้วยวงจรสมมูลพาส ซึ่งประกอบด้วยความต้านทาน (Resistance :  $R_{pq}$ ) ต่ออนุกรมกับอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive reactance :  $X_{pq}$ ) เชื่อมอยู่ระหว่างสองบัสนั้น ๆ และมีชั้้นท์คาปาซิแตนซ์ (Shunt capacitance) เท่ากับครึ่งหนึ่งของไลน์ชาร์จิ้งแอดมิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดนซ์ ( Half line charging admittance :  $Y_{shpq}/2$  ) ของสายส่งทั้งหมดตลอดสายต่ออยู่ที่บัสแต่ละบัส ดังแสดงในรูปที่ 2.3



$R_{pq}$  คือ ความต้านทานของสายส่ง pq

$X_{pq}$  คือ อินดักทีฟรีแอกแตนซ์ของสายส่ง pq

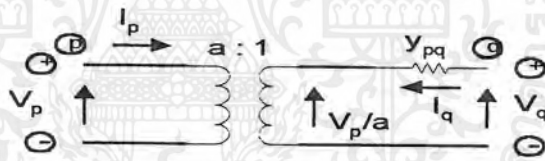
$Y_{shpq}$  คือ ไนน์ชาร์จิงแอดมิตแตนซ์ของสายส่ง pq

รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลพายที่ใช้แทนสายส่ง

2.2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถแทนได้ด้วย อิมพีแดนซ์ หรือ แอดมิตแตนซ์ของหม้อแปลงต่ออนุกรมกับหม้อแปลงอุดมคติ ( Ideal transformer ) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

(ก)

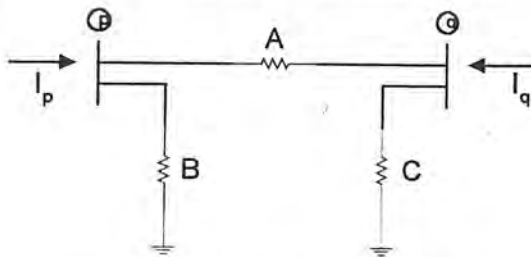


a คือ อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง

$Y_{pq}$  คือ ค่าแอดมิตแตนซ์ของหม้อแปลง

รูปที่ 2.4 (ก) แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยวงจรที่สมมูลที่สอดคล้องกับแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบพาย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข)



รูปที่ 2.4 (ข) วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพารามิเตอร์ A , B และ C ของวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปที่ 2.4 (ข) มีค่า ดังนี้

$$A = \frac{y_{pq}}{a} \quad (2.1)$$

$$B = \frac{1}{a^*} \cdot \left( \frac{1}{a} - 1 \right) \cdot y_{pq} \quad (2.2)$$

$$C = \left( 1 - \frac{1}{a^*} \right) \cdot y_{pq} \quad (2.3)$$

จากรูปที่ 2.4 (ก) พิจารณาในส่วนของหม้อแปลงอุดมคติ จะได้ว่า กำลังไฟฟ้าปรากฏ ( Apparent power ) เข้าและออกจะต้องเท่ากัน นั่นคือ

$$S_p = S_t \quad (2.4)$$

โดยที่  $S_p$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลออกจากหม้อแปลงทางด้านบัส p มีค่าดังนี้

$$S_p = -V_p \cdot I_p^* \quad (2.5)$$

$S_t$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านบัส t มีค่าดังนี้

$$S_t = \frac{V_p}{a} \cdot I_q^* \quad (2.6)$$

อาศัยสมการที่ (2.4) , (2.5) และ (2.6) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} -V_p \cdot I_p^* &= \frac{V_p}{a} \cdot I_q^* \\ I_q^* &= -a \cdot I_p^* \\ I_q &= -a^* \cdot I_p \end{aligned} \quad (2.7)$$

อาศัยกฎของเคอร์ชอฟ สามารถคำนวณหากระแส  $I_q$  ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_q = \left( V_q - \frac{V_p}{a} \right) \cdot y_{pq}$$

$$I_q = y_{pq} \cdot V_q - \frac{y_{pq}}{a} \cdot V_p \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

$$I_p = \frac{-1}{a^*} \cdot I_q \quad (2.9)$$

แทนค่า  $I_q$  จากสมการที่ (2.8) ลงในสมการที่ (2.9) จะได้ว่า

$$I_p = \frac{-1}{a^*} \cdot \left( y_{pq} \cdot V_q - \frac{y_{pq}}{a} \cdot V_p \right)$$

$$= \frac{-y_{pq}}{a^*} \cdot V_q + \frac{y_{pq}}{|a|^2} \cdot V_p \quad (2.10)$$

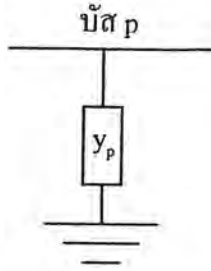
จากสมการที่ (2.8) และ (2.10) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองด้านของหม้อแปลงในรูปของสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_p \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_{pq}}{|a|^2} & \frac{-y_{pq}}{a^*} \\ \frac{-y_{pq}}{a} & y_{pq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_p \\ V_q \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ในสมการที่ (2.11) จะนำไปใช้ในการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ต่อไป

### 2.2.5 ชั้นที่อิดิเมนต์ ( Shunt element )

ชั้นที่อิดิเมนต์ที่ใช้งานในระบบกำลังไฟฟ้า ได้แก่ คาปาซิเตอร์ ( Capacitor ) และรีแอกเตอร์ ( Reactor ) หน้าที่ของอุปกรณ์ดังกล่าวคือ ช่วยรักษาแรงดันไฟฟ้าที่บัสให้อยู่ในช่วงการทำงานตามที่กำหนดสำหรับวงจรสมมูลที่ใช้แทนชั้นที่อิดิเมนต์ ประกอบด้วย แอดมิตแตนซ์คงที่  $y_p$  ต่อเข้าที่บัสและลงพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของชั้นที่อิเลเมนต์

### 2.3 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดโพลว์

ตามสมมติฐานในหัวข้อ 2.1 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดโพลว์โดยยึดบัสเป็นกรอบอ้างอิงจะเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสบัส (Bus current) และแรงดันบัส (Bus voltage) ดังนี้

$$I_{BUS} = Y_{BUS} \cdot V_{BUS} \quad (2.12)$$

โดยที่  $I_{BUS}$  คือ เวกเตอร์ของกระแสบัส

$V_{BUS}$  คือ เวกเตอร์ของแรงดันบัส

$Y_{BUS}$  คือ บัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ (Bus admittance matrix)

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด  $n$  บัส เวกเตอร์  $I_{BUS}$ ,  $V_{BUS}$  และเมตริกซ์  $Y_{BUS}$  จะมีมิติเท่ากับ  $n \times 1$ ,  $n \times 1$  และ  $n \times n$  ตามลำดับ

### 2.4 การสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิเลเมนต์สแตมป์ (Element stamp method)

การสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิเลเมนต์สแตมป์ เป็นวิธีการหาบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยการใส่องค์ประกอบของระบบกำลังไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวจนครบทุกตัว บัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ที่ได้หลังจากใส่องค์ประกอบตัวสุดท้าย จะเป็นบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ของระบบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.4.1 สายส่งไฟฟ้า

สำหรับสายส่งไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างบัส  $p$  และ  $q$  ตามรูปที่ 2.3 บัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ใหม่จะเป็นดังสมการ

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{pp}^{new} &= Y_{pp}^{old} + y_{serpq} + \frac{1}{2} \cdot y_{shpq} \\
 Y_{qq}^{new} &= Y_{qq}^{old} + y_{serpq} + \frac{1}{2} \cdot y_{shpq} \\
 Y_{pq}^{new} &= Y_{pq}^{old} - y_{serpq} \\
 Y_{qp}^{new} &= Y_{qp}^{old} - y_{serpq}
 \end{aligned} \right\} (2.13)$$

โดยที่

#### 2.4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างบัส  $p$  และ  $q$  ตามรูปที่ 2.4ก บัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์ใหม่จะเป็นดังสมการ

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{pp}^{new} &= Y_{pp}^{old} + \frac{1}{|a|^2} \cdot y_{pq} \\
 Y_{qq}^{new} &= Y_{qq}^{old} + y_{pq} \\
 Y_{qp}^{new} &= Y_{qp}^{old} - \frac{1}{a} \cdot y_{pq}
 \end{aligned} \right\} (2.14)$$

โดยที่

$Y_{pp}^{old}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $p$  ก่อนใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{pp}^{new}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $p$  หลังใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{qq}^{old}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $q$  และหลักที่  $q$  ก่อนใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{qq}^{new}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $q$  และหลักที่  $q$  หลังใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{pq}^{old}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $q$  ก่อนใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{pq}^{new}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $q$  หลังใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{qp}^{old}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $q$  และหลักที่  $p$  ก่อนใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$Y_{qp}^{new}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์แถวที่  $q$  และหลักที่  $p$  หลังใส่สายส่งไฟฟ้า  $pq$

$y_{serpq}$  คือ แอดมิตแดนซ์อนุกรม (Series admittance) ของสายส่งไฟฟ้า  $pq$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{R_{pq} + jX_{pq}}$

$y_{serpq}$  คือ โหลดชาร์จิงแอดมิตแดนซ์ (Line charging admittance) ของสายส่งไฟฟ้า  $pq$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ชั้นที่อติเมนต์

สำหรับชั้นที่อติเมนต์ที่ต่อกับบัส  $p$  ตามรูปที่ 2.5 บัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ใหม่จะเป็นคังสมการ

$$Y_{pp}^{new} = Y_{pp}^{old} + y_p \quad (2.15)$$

โดยที่

$Y_{pp}^{old}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $p$  ก่อนใส่ชั้นที่อติเมนต์ที่บัส  $p$

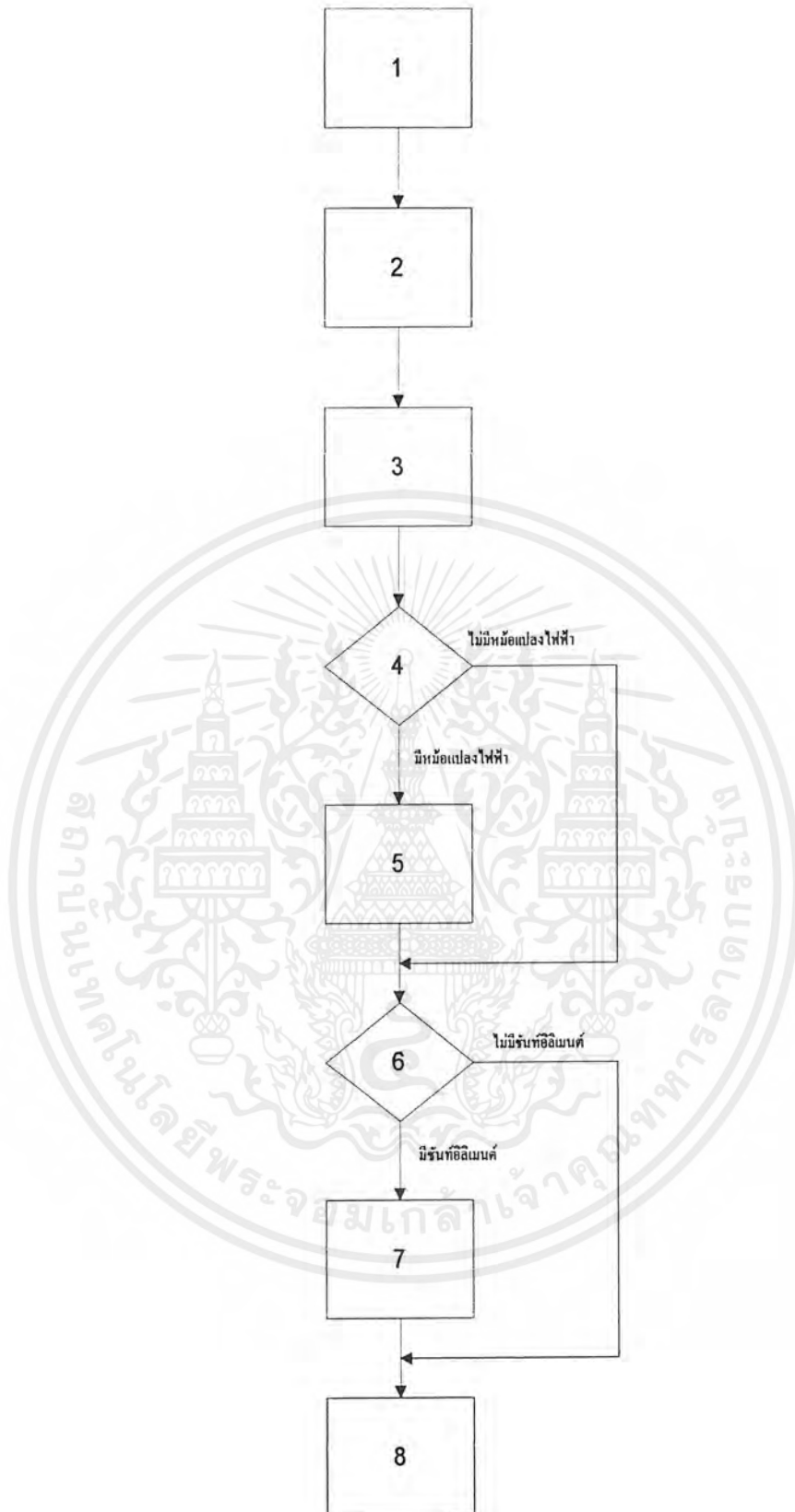
$Y_{pp}^{new}$  คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์แถวที่  $p$  และหลักที่  $p$  หลังใส่ชั้นที่อติเมนต์ที่บัส  $p$

$y_p$  คือ แอดมิตแตนซ์ของชั้นที่อติเมนต์ที่ต่อกับบัส  $p$

### 2.4.4 ขั้นตอนการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอติเมนต์สแตมปี

จากหลักการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ที่กล่าวมา สามารถสรุปเป็นขั้นตอนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อการคำนวณโหลดโพลว์ได้ดังนี้ และสรุปเป็นแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 2.6

1. ป้อนข้อมูลที่จำเป็นของระบบ
2. กำหนดค่าเริ่มต้น  $[Y_{pq}] = [0 + j0]$  สำหรับทุกค่าของ  $p$  และ  $q$
3. คำนวณสมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นสายส่งไฟฟ้า ตามสมการที่ (2.13)
4. ตรวจสอบว่ามีหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบกำลังไฟฟ้าหรือไม่
  - 4.1 ถ้าไม่มีหม้อแปลงไฟฟ้า ให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 6
  - 4.2 ถ้ามีหม้อแปลงไฟฟ้าให้ทำขั้นตอนที่ 5 ต่อไป
5. คำนวณสมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า ตามสมการที่ (2.14)
6. ตรวจสอบว่ามีชั้นที่อติเมนต์ในระบบกำลังไฟฟ้าหรือไม่
7. คำนวณสมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นชั้นที่อติเมนต์ ตามสมการที่ (2.15)
8. สิ้นสุดการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์



รูปที่ 2.6 แผนภาพการสร้างแบตเตอรี่แอมเพอร์ชั่วโมงโดยวิธีอลิเมนต์สแตมปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( หมายเลขที่ระบุไว้ในแต่ละช่อง คือ ลำดับขั้นตอนการสร้างบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ ที่ 2.4.4 )

## 2.5 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า

โดยทั่วไปบัสในระบบกำลังไฟฟ้าจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่ 1 บัสที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( Generator bus ) และประเภทที่ 2 บัสที่มีได้ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนิยมเรียกกันว่า โหลดบัส ( Load bus )

ประเภทที่ 1 บัสที่มีขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสสามารถกำหนดได้โดยการควบคุมของอุปกรณ์รักษาแรงดัน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ชนัทคาปาซิเตอร์ หรือ Synchronous compensator ที่คอยจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกตีฟเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าที่บัส ดังนั้น ในการวิเคราะห์ปัญหาทางโพลดิพล์ สำหรับบัสชนิดนี้ จะกำหนดให้ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตและขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าคงที่และเรียกบัสประเภทนี้ว่า บัสควบคุมแรงดัน ( Voltage controlled bus ) ในบรรดาบัสควบคุมแรงดันทั้งหมดจะเลือก 1 บัส ที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ที่สุดเป็นบัสอ้างอิง ( Reference bus or Slack bus or swing bus ) เหตุที่จำเป็นต้องมีบัสอ้างอิงก็ด้วยความจำเป็น 2 ประการ กล่าวคือ ประการที่ 1 เพื่อให้เป็นจุดอ้างอิงของระบบ เนื่องจากภายหลังการคำนวณ โพลดิพล์ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ซึ่งได้มานั้น กล่าวได้ว่า เป็นมุมเปรียบเทียบกับของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงทั้งสิ้น เพื่อให้สามารถบอกได้ว่า ที่บัสใด ๆ มีมุมนำหน้า ( Leading angle ) หรือ ล้าหลัง ( Lagging angle ) มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง กรณีทั่วไปมักนิยมให้มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงเป็น 0.00 องศา ประการที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงจะต้องรับภาระในการชดเชยกำลังสูญเสียทั้งหมดในระบบ แต่เนื่องจากก่อนการคำนวณ โพลดิพล์กำลังสูญเสียในระบบเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า จึงไม่อาจบอกได้ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด จึงควรเลือกบัสที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ที่สุดเป็นบัสอ้างอิง เพื่อให้สามารถชดเชยกำลังสูญเสียของระบบได้อย่างเพียงพอ

ประเภทที่ 2 บัสที่มีได้ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนิยมเรียกกันว่า โหลดบัส อันได้แก่ บัสที่นอกเหนือไปจากบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง ที่บัสประเภทนี้จะมีกำลังไฟฟ้าจริงหรือรีแอกตีฟคงที่

ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาในข้างต้น สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางโพลดิพล์จึงจำแนกบัสในระบบกำลังไฟฟ้าออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.5.1 บัสอ้างอิง จะกำหนดให้ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าคงที่ ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกตีฟที่ไหลเข้าสู่บัสเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า

2.5.2 บัสควบคุมแรงดัน จะกำหนดให้ขนาดของแรงดันและกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัสคงที่ ส่วนมุมของแรงดันและกำลังไฟฟ้รีแอกตีฟที่ไหลเข้าสู่บัสเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 โหลดบัส จะกำหนดให้กำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟบัสคงที่ ส่วนขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า

ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นบัสชนิดใดก็ตาม จะกำหนด 2 ปริมาณให้คงที่ และอีก 2 ปริมาณเป็นตัวแปรไม่ทราบค่าซึ่งจะต้องอาศัยการวิเคราะห์โหลดโพล์เพื่อคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่าดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า

ชนิดของบัส	ปริมาณที่ทราบค่า						ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์			
	$P_L$	$Q_L$	$P_G$	$Q_G$	$ V $	$\delta$	$P_G$	$Q_G$	$ V $	$\delta$
บัสอ้างอิง	*	*			*	*	X	X		
บัสควบคุมแรงดัน	*	*	*		*			X		X
โหลดบัส	*	*	*	*					X	X

โดยที่  $|V|$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส

$\delta$  คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส

$P_G$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส

$Q_G$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส

$P_L$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดที่บัส

$Q_L$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดที่บัส

\* คือ การระบุปริมาณที่ทราบค่า

X คือ การระบุปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์

## 2.6 สมการโหลดโพล์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด  $n$  บัส และมีจำนวนโหลดบัสเท่ากับ  $n_L$  สมการกำลังไฟฟ้าที่บัส  $p$  ใด ๆ คือ

$$P_p - jQ_p = V_p^* \cdot I_p \quad (2.16)$$

โดยที่ กระแสไฟฟ้าที่บัส  $p$  มีค่าดังนี้

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} \cdot V_q \quad (2.17)$$

แทนค่า  $I_p$  จากสมการที่ (2.17) ลงในสมการที่ (2.16) จะได้ว่า

$$P_p - jQ_p = V_p^* \cdot \sum_{q=1}^n Y_{pq} \cdot V_q \quad (2.18)$$

โดยที่

$P_p$  คือกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัส  $p$

$Q_p$  คือกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลเข้าสู่บัส  $p$

$V_p, V_q$  คือแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  และบัส  $q$  ตามลำดับ

$V_p^*$  คือสังยุคเชิงซ้อน (Complex conjugate) ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$

$I_p$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่บัส  $p$

$Y_{pq}$  คือสมาชิกในตำแหน่งที่  $(p, q)$  ของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์

$n$  คือจำนวนบัสทั้งหมดในระบบกำลังไฟฟ้า

$$\text{กำหนดให้ } V_p = e_p + jf_p \quad (2.19)$$

$$Y_{pq} = G_{pq} - jB_{pq} \quad (2.20)$$

แทนค่า  $V_p$  และ  $Y_{pq}$  จากสมการที่ (2.19) และ (2.20) ตามลำดับ ลงในสมการที่ (2.18) จะได้ว่า

$$P_p - jQ_p = (e_p - jf_p) \cdot \sum_{q=1}^n \{ (G_{pq} - jB_{pq}) \cdot (e_q + jf_q) \} \quad (2.21)$$

ทำการแยกส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการที่ (2.21) จะได้กำลังไฟฟ้าจริง  $P_p$  และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ  $Q_p$  สำหรับบัส  $p$  ใดๆ ที่เป็นโหนดบัส ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} P_p &= \sum_{q=1}^n \{ e_p (e_q \cdot G_{pq} + f_q \cdot B_{pq}) + f_p (f_q \cdot G_{pq} - e_q \cdot B_{pq}) \} \\ Q_p &= \sum_{q=1}^n \{ f_p (e_q \cdot G_{pq} + f_q \cdot B_{pq}) - e_p (f_q \cdot G_{pq} - e_q \cdot B_{pq}) \} \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบัส  $p$  ที่เป็นบัสควบคุมแรงดัน จะทำการคำนวณขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $|V_p|$  แทนกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส  $Q_p$  เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่า ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $|V_p|$  มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่กำหนดมากน้อยเพียงใดในการคำนวณแต่ละรอบ ดังนั้น สมการที่ใช้คำนวณสำหรับบัสควบคุมแรงดัน  $p$  เป็นดังนี้

$$\left. \begin{aligned} P_p &= \sum_{q=1}^n \{ e_p \cdot (e_q \cdot G_{pq} + f_q \cdot B_{pq}) + f_p \cdot (f_q \cdot G_{pq} - e_q \cdot B_{pq}) \} \\ |V_p|^2 &= e_p^2 + f_p^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

เนื่องจากสมการที่ (2.22) และ (2.23) มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ( Nonlinear equation ) ดังนั้น ในการแก้สมการโหนดโพลว์ดังกล่าว จะต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงเลข ( Numerical analysis ) ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยอาศัยเทคนิคการคำนวณซ้ำ ( Iterative techniques ) ด้วยการเริ่มต้นสมมติค่าตอบ คำนวณหาค่าปรับแต่ง ( Correction ) ของค่าตอบ เพื่อนำไปสู่การประมาณค่าตอบในรอบถัดไป และจะดำเนินการคำนวณซ้ำเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าความคลาดเคลื่อนของค่าปรับแต่งค่าตอบไม่เกินค่าความผิดพลาด ( tolerance ) ที่กำหนด ภายใต้จำนวนรอบที่ใช้คำนวณไม่เกินจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้ และจะได้ว่าค่าประมาณในรอบการคำนวณสุดท้าย คือ ค่าตอบของสมการ

## 2.7 การประยุกต์วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาทางโหนดโพลว์

### 2.7.1 ระบบพิกัดฉาก ( Rectangular coordinate )

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta |V|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

โดยที่ความหมายของนิพจน์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

$\Delta P$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส มีมิติเท่ากับ  $(n - 1) \times 1$  สำหรับ

บัส  $p$  ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= P_{p(schedule)} - P_p \\ &= (P_{p(gen)} - P_{p(load)}) - P_p \end{aligned} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่  $P_{p(gen)}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $P_{p(load)}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดที่ผลิตที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $P_p$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.) คำนวณตามสมการที่ (2.22) หรือ (2.23)  
 $n$  คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบกำลังไฟฟ้า

$\Delta Q$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส มีมิติเท่ากับ  $n_L \times 1$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ที่เป็นโหลดบัส คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \Delta Q_p &= Q_{p(schedule)} - Q_p \\ &= (Q_{p(gen)} - Q_{p(load)}) - Q_p \end{aligned} \quad (2.26)$$

- โดยที่  $Q_{p(gen)}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $Q_{p(load)}$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของโหลดที่ผลิตที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $Q_p$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟสุทธิที่บัส  $p$  หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.) คำนวณตามสมการที่ (2.22)  
 $n_L$  คือ จำนวนโหลดบัส

$\Delta |V|^2$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสควบคุมแรงดัน มีมิติเท่ากับ  $(n - n_L - 1) \times 1$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ที่เป็นบัสควบคุมแรงดัน คำนวณได้จาก

$$\Delta |V_p|^2 = |V_p|_{schedule}^2 - |V_p|^2 \quad (2.27)$$

- โดยที่  $|V_p|_{(schedule)}$  คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นไปตามการควบคุม หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $|V_p|$  คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (2.23) หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต (p.u.)  
 $\Delta e$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนจริงของแรงดันไฟฟ้าที่บัส มีมิติเท่ากับ  $(n - 1) \times 1$   
 $\Delta f$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของส่วนจินตภาพของแรงดันไฟฟ้าที่บัส มีมิติเท่ากับ  $(n - 1) \times 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$J$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ ประกอบด้วยจาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย  $J_1, J_2, J_3, J_4, J_5$  และ  $J_6$  ดังสมการที่ (2.28) โดยที่สมาชิกใด ๆ ของจาโคเบียนเมตริกซ์ย่อยเหล่านี้ได้จากการหา

$$\begin{bmatrix} J \\ J \\ J \\ J \\ J \\ J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \\ J_5 & J_6 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

อนุพันธ์ย่อย ( Partial derivative ) ของปริมาณทางไฟฟ้าที่บัส ได้แก่ กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟสุทธิที่บัส และขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส เทียบกับองค์ประกอบ  $e$  และ  $f$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

### 2.7.1.1 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_1$

$$J_1 = \left[ \frac{\partial P}{\partial e} \right]_{(n-1) \times (n-1)} \quad (2.29 \text{ ก})$$

สมาชิกในตำแหน่งที่  $(p,q)$  ของ  $J_1$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส เทียบกับส่วนจริง  $e$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_p}{\partial e_q} &= e_p \cdot G_{pq} - f_p \cdot B_{pq} & ; p \neq q \\ \frac{\partial P_p}{\partial e_p} &= e_p \cdot G_{pp} - f_p \cdot B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q \cdot G_{pq} + f_q \cdot B_{pq}) & ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.29 \text{ ข})$$

### 2.7.1.2 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_2$

$$J_2 = \left[ \frac{\partial P}{\partial f} \right]_{(n-1) \times (n-1)} \quad (2.30 \text{ ก})$$

สมาชิกในตำแหน่งที่  $(p,q)$  ของ  $J_2$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส เทียบกับส่วนจินตภาพ  $f$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_p}{\partial f_q} &= e_p \cdot B_{pq} + f_p \cdot G_{pq} & ; p \neq q \\ \frac{\partial P_p}{\partial f_p} &= e_p \cdot B_{pp} + f_p \cdot G_{pp} + \sum_{q=1}^n (f_q \cdot G_{pq} - e_q \cdot B_{pq}) & ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.30 \text{ ข})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ อีกทั้งหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาสาระใด ๆ จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.3 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย  $J_3$ 

$$J_3 = \left[ \frac{\partial Q}{\partial e} \right]_{n_L \times (n-1)} \quad (2.31 ก)$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_3$  สำหรับบัส p ใด ๆ ที่เป็นโหนดบัส ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสุทธิที่บัส เทียบกับส่วนจริง  $e$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสคำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_p}{\partial e_q} &= e_p \cdot B_{pq} + f_p \cdot G_{pq} && ; p \neq q \\ \frac{\partial Q_p}{\partial e_p} &= f_p \cdot G_{pp} + e_p \cdot B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q \cdot B_{pq} - f_q \cdot G_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.31 ข)$$

2.7.1.4 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย  $J_4$ 

$$J_4 = \left[ \frac{\partial Q}{\partial f} \right]_{n_L \times (n-1)} \quad (2.32 ก)$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_4$  สำหรับบัส p ใด ๆ ที่เป็นโหนดบัส ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสุทธิที่บัส เทียบกับส่วนจินตภาพ  $f$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสคำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_p}{\partial e_q} &= -e_p \cdot G_{pq} + f_p \cdot B_{pq} && ; p \neq q \\ \frac{\partial Q_p}{\partial e_p} &= f_p \cdot G_{pp} - e_p \cdot B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q \cdot G_{pq} + f_q \cdot B_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.32 ข)$$

2.7.1.5 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย  $J_5$ 

$$J_5 = \left[ \frac{\partial |V|^2}{\partial e} \right]_{(n-n_L-1) \times (n-1)} \quad (2.33 ก)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาชิกในตำแหน่งที่  $(p,q)$  ของ  $J_5$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ที่เป็นบัสควบคุมแรงดัน ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส เทียบกับส่วนจริง  $e$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสจำนวนได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial |V_p|^2}{\partial e_q} &= 0 & ; p \neq q \\ \frac{\partial |V_p|^2}{\partial e_p} &= 2 \cdot e_p & ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.33 \text{ ข})$$

#### 2.7.1.6 จาคอบีเยนเมตริกซ์ย่อย $J_6$

$$J_6 = \left[ \frac{\partial |V|^2}{\partial f} \right]_{(n-n_L-1) \times (n-1)} \quad (2.34 \text{ ก})$$

สมาชิกในตำแหน่งที่  $(p,q)$  ของ  $J_6$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ที่เป็นบัสควบคุมแรงดัน ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส เทียบกับส่วนจินตภาพ  $f$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส จำนวนได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial |V_p|^2}{\partial f_q} &= 0 & ; p \neq q \\ \frac{\partial |V_p|^2}{\partial f_p} &= 2 \cdot f_p & ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.34 \text{ ข})$$

จากสมการที่ (2.24) สามารถคำนวณหาค่าปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าที่บัส ในการคำนวณรอบที่  $k$  ได้โดยใช้เทคนิคการแก้สมการในภาคผนวก ก และแรงดันไฟฟ้าที่บัสใหม่ของการคำนวณในรอบที่  $k+1$  สำหรับบัส  $p$  ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง จำนวนได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} e_p^{(k+1)} &= e_p^{(k)} + \Delta e_p^{(k)} \\ f_p^{(k+1)} &= f_p^{(k)} + \Delta f_p^{(k)} \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

เงื่อนไขการเข้าสู่ของค่าตอบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left. \begin{aligned} &|\max \Delta P^{(k)}| \leq \varepsilon_P \\ &|\max \Delta Q^{(k)}| \leq \varepsilon_Q \\ &|\max \Delta |V^{(k)}|^2| \leq \varepsilon_V \\ &k \leq k_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (2.36)$$

โดยที่  $|\max \Delta P^{(k)}|$  คือ ขนาดของความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุดทางกำลังไฟฟ้าจริงสำหรับการคำนวณในรอบที่  $k$  ใดๆ

$|\max \Delta Q^{(k)}|$  คือ ขนาดของความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุดทางกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสำหรับการคำนวณในรอบที่  $k$  ใดๆ

$|\max \Delta |V^{(k)}|^2|$  คือ ขนาดของความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุดของขนาดของแรงดันไฟฟ้ายกกำลังสองที่บัสควบคุมแรงดัน สำหรับการคำนวณในรอบที่  $k$  ใดๆ

$\varepsilon_P$  คือ ค่าความผิดพลาดที่กำหนดให้ยอมรับได้ทางกำลังไฟฟ้าจริง

$\varepsilon_Q$  คือ ค่าความผิดพลาดที่กำหนดให้ยอมรับได้ทางกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$\varepsilon_V$  คือ ค่าความผิดพลาดที่กำหนดให้ยอมรับได้ของขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่

บัส

$k$  คือ จำนวนรอบที่ใช้คำนวณเพื่อการเข้าสู่ของค่าตอบ

$k_{\max}$  คือ จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดให้คำนวณได้

หมายเหตุ : สำหรับบัสควบคุมแรงดันใดก็ตาม ซึ่งคำนวณกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตจากแรงดันบัสที่ได้ใหม่เกินขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่บัสนั้นจะจ่ายหรือรับได้ จะกำหนดให้อุปกรณ์นั้นจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ขีดจำกัดทางด้านนั้น และบัสควบคุมแรงดันดังกล่าวจะถูกพิจารณาให้เป็นโหลดบัส สำหรับการคำนวณในรอบต่อไป

### 2.7.2 ระบบพิกัดเชิงขั้ว ( Polar coordinate )

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด  $n$  บัส และมีจำนวนโหลดบัสเท่ากับ  $n_L$  กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  ( $V_p$ ) และสมาชิกในตำแหน่งที่  $(p,q)$  ของบัสแอดมิตแตนซ์ ( $Y_{pq}$ ) อยู่ในรูปพิกัดเชิงขั้วดังนี้

$$V_p = |V_p| \cdot e^{j\delta_p} \quad (2.37)$$

$$Y_{pq} = |Y_{pq}| \cdot e^{j\theta_{pq}} \quad (2.38)$$

โดยที่  $|V_p|$ ,  $\delta_p$  คือ ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$|V_{pq}|, \theta_{pq}$  คือ ขนาดและมุมของสมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของบัสแอดมิตแตนซ์  
เมตริกซ์

แทนค่า  $V_p$  และ  $Y_{pq}$  จากสมการที่ (2.37) และ (2.38) ตามลำดับ ลงในสมการที่ (2.18) จะได้ว่า

$$P_p - jQ_p = \left( |V_p| \cdot e^{-j\delta_p} \right) \cdot \sum_{q=1}^n \left\{ \left( |Y_{pq}| \cdot e^{j\theta_{pq}} \right) \cdot \left( |V_q| \cdot e^{j\delta_q} \right) \right\} \quad (2.39)$$

ทำการแยกส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการที่ (2.39) จะได้กำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟที่  
บัส p ใด ๆ ตามลำดับ ดังนี้

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad \text{สำหรับบัส } p \text{ ใดๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง} \quad (2.40)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \quad \text{สำหรับบัส } p \text{ ที่เป็น โหลดบัส} \quad (2.41)$$

เนื่องจากสมการที่ (2.40) และ (2.41) มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในการวิเคราะห์  
โหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน จะเปลี่ยนสมการดังกล่าวให้อยู่ในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น เช่น  
เดียว

กับในระบบพิกัดฉากโดยอยู่ในรูปของสมการความคลาดเคลื่อนของปริมาณทางไฟฟ้าที่บัส ดัง

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

นี้

โดยที่  $\Delta P, \Delta Q$  มีความหมายเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.7.1

$\Delta \delta$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของมุมของแรงดัน ไฟฟ้าที่บัส มีมิติเท่ากับ  $(n-1)$   
 $\times 1$

$\Delta |V|$  คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดของแรงดัน ไฟฟ้าที่บัส มีมิติเท่ากับ  
 $n_b \times 1$

$J$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ ประกอบด้วยจาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย  $J_1, J_2, J_3$  และ  $J_4$  ดังสม  
การที่ (2.43) โดยที่สมาชิกใด ๆ ของจาโคเบียนเมตริกซ์ย่อยเหล่านี้ ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อย  
ของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส และกำลังไฟฟารีแอกทีฟสุทธิที่บัส เทียบกับมุม  $\delta$  และขนาด  $|V|$   
ของแรงดัน ไฟฟ้าที่บัส โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

### 2.7.2.1 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_1$

$$J_1 = \left[ \frac{\partial P}{\partial \delta} \right]_{(n-1) \times (n-1)} \quad (2.44 ก)$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_1$  สำหรับบัส p ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส เทียบกับมุม  $\delta$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} &= |V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p \neq q \\ \frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} &= - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.44 ข)$$

### 2.7.1.2 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_2$

$$J_2 = \left[ \frac{\partial P}{\partial |V|} \right]_{(n-1) \times n_L} \quad (2.45 ก)$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_2$  สำหรับบัส p ใด ๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่บัส เทียบกับขนาด  $|V|$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} &= |V_p \cdot Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p \neq q \\ \frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} &= 2 |V_p \cdot V_{pp}| \cos \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_q \cdot Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.45 ข)$$

ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1.3 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_3$

$$J_3 = \left[ \frac{\partial Q}{\partial \delta} \right]_{n_L \times (n-1)} \quad (2.46 \text{ ก})$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_3$  สำหรับบัส p ใด ๆ ที่เป็นโหนดบัส ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้านอกตีฟลูทริที่บัส เทียบกับมุม  $\delta$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} &= -|V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p \neq q \\ \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} &= \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p \cdot V_q \cdot Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.46 \text{ ข})$$

### 2.7.1.4 จาโคเบียนเมตริกซ์ย่อย $J_4$

$$J_4 = \left[ \frac{\partial Q}{\partial |V|} \right]_{n_L \times n_L} \quad (2.47 \text{ ก})$$

สมาชิกในตำแหน่งที่ (p,q) ของ  $J_4$  สำหรับบัส p ใด ๆ ที่เป็นโหนดบัส ได้จากการหาอนุพันธ์ย่อยของกำลังไฟฟ้านอกตีฟลูทริที่บัส เทียบกับขนาด  $|V|$  ของแรงดันไฟฟ้าที่บัส คำนวณได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|} &= |V_p \cdot Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p \neq q \\ \frac{\partial Q_p}{\partial |V_p|} &= -2|V_p \cdot Y_{pp}| \sin \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_q \cdot Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) && ; p = q \end{aligned} \right\} \quad (2.47 \text{ ข})$$

จากสมการที่ (2.42) สามารถคำนวณหาค่าปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าที่บัส ในการคำนวณรอบที่ k ได้โดยใช้เทคนิคการแก้สมการในภาคผนวก ก และแรงดันไฟฟ้าบัสใหม่ของการคำนวณในรอบที่ k + 1 คำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left. \begin{aligned} \delta_p^{(k+1)} &= \delta_p^{(k)} + \Delta \delta_p^{(k)} \\ |V_p|^{(k+1)} &= |V_p|^{(k)} + \Delta |V_p|^{(k)} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{สำหรับบัส } p \text{ ใดๆ ยกเว้นบัสอ้างอิง} \\ \text{สำหรับบัส } p \text{ ใดๆ ที่เป็นโหนดบัส} \end{array} \quad (2.48)$$

เงื่อนไขการลู่เข้าของคำตอบ คือ

$$\left. \begin{aligned} |\max \Delta P^{(k)}| &\leq \varepsilon_P \\ |\max \Delta Q^{(k)}| &\leq \varepsilon_Q \\ k &\leq k_{\max} \end{aligned} \right\} (2.49)$$

สำหรับความหมายของนิพจน์ต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.7.1

## 2.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลง

ภายหลังจากที่ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน เพื่อคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ แล้ว สามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ไหล และกำลังสูญเสียในสายส่ง และหม้อแปลงต่าง ๆ ได้ดังนี้

### 2.8.1 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่ง

พิจารณาสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัส  $p$  กับบัส  $q$  ดังรูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าที่บัส  $p$  ( $i_p$ ) คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} i_p &= i_{line} + i_{charging} \\ &= (V_p - V_q) \cdot y_{serpq} + V_p \cdot \frac{y_{shpq}}{2} \end{aligned} \quad (2.50)$$

โดยที่  $i_{line}$  คือ กระแสที่ไหลผ่านสายส่ง  $pq$

$i_{charging}$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากบัส  $p$  ลงสู่พื้นดินตามไลน์ชาร์จิ่ง

$V_p$  และ  $V_q$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $p$  และ  $q$  ตามลำดับ

$y_{serpq}$  คือ ค่าแอดมิตแตนซ์อนุกรมของสายส่ง  $pq$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{R_{pq} + jX_{pq}}$

$\frac{y_{shpq}}{2}$  คือ ครึ่งหนึ่งของค่าไลน์ชาร์จิ่งแอดมิตแตนซ์ทั้งหมดของสายส่ง  $pq$   
กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง  $pq$  จากบัส  $p$  ไปสู่บัส  $q$  คำนวณได้ดังนี้

$$P_{pq} - jQ_{pq} = V_p^* \cdot i_p \quad (2.51)$$

แทนค่า  $i_p$  จากสมการที่ (2.50) ลงในสมการที่ (2.51) จะได้ว่า

$$P_{pq} - jQ_{pq} = V_p^* \cdot (V_p - V_q) \cdot y_{serpq} + V_p^* \cdot V_p \cdot \frac{y_{shpq}}{2} \quad (2.52)$$

$$P_{qp} - jQ_{qp} = V_q^* \cdot (V_q - V_p) \cdot y_{serpq} + V_q^* \cdot V_q \cdot \frac{y_{shpq}}{2} \quad (2.53)$$

ในการทำงานเดียวกัน กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง pq จากบัส q ไปสู่อบัส p คำนวณได้ดังนี้

กำลังสูญเสียในสายส่ง pq มีค่าเท่ากับ ผลรวมทางพีชคณิตของกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส p ไปสู่อบัส q และที่ไหลจากบัส q ไปสู่อบัส p ดังนี้

$$P_{Loss}(pq) = P_{pq} + P_{qp} \quad (2.54)$$

### 2.8.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในหม้อแปลง

พิจารณาวจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปที่ 2.4(ก) กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส p ไปสู่อบัส q คือ

$$P_{pq} - jQ_{pq} = \left( \frac{1}{a} \right) \cdot V_p^* \cdot \left[ \frac{1}{a} \cdot V_p - V_q \right] \cdot y_{pq} \quad (2.55)$$

ในการทำงานเดียวกัน กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส q ไปสู่อบัส p คือ

$$P_{qp} - jQ_{qp} = V_q^* \cdot \left[ V_q - \frac{V_p}{a} \right] \cdot y_{pq} \quad (2.56)$$

สำหรับกำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า pq คำนวณได้จากสมการที่ (2.54) ทำงานเดียวกับสายส่ง

## 2.9 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโพล်ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

1. สร้างบัลแอคมิคแดนซ์เมตริกซ์ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4
2. สมมติค่าแรงดันเริ่มต้นที่บัลต่าง ๆ ยกเว้นที่บัลอ้างอิง  $V_p$
3. ให้  $k = 0$
4. คำนวณปริมาณทางไฟฟ้าที่บัล ดังนี้
 

สำหรับระบบพิกัดฉาก

  - ถ้าบัล  $p$  เป็น โหลดบัล แล้วคำนวณ  $P_p$  และ  $Q_p$  ตามสมการที่ (2.22)
  - ถ้าบัล  $p$  เป็น บัลควบคุมแรงดัน แล้วคำนวณ  $P_p$  และ  $V_p$  ตามสมการที่ (2.23)

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว

  - ถ้าบัล  $p$  เป็น โหลดบัล แล้วคำนวณ  $P_p$  และ  $Q_p$  ตามสมการที่ (2.40) และ (2.41) ตามลำดับ
  - ถ้าบัล  $p$  เป็น บัลควบคุมแรงดัน แล้วคำนวณ  $P_p$  ตามสมการที่ (2.40)
5. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณทางไฟฟ้าที่บัล ดังนี้
 

สำหรับระบบพิกัดฉาก

  - ถ้าบัล  $p$  เป็น โหลดบัล แล้วคำนวณ  $\Delta P_p$  และ  $\Delta Q_p$  ตามสมการที่ (2.22)
  - ถ้าบัล  $p$  เป็น บัลควบคุมแรงดัน แล้วคำนวณ  $\Delta P_p$  และ  $\Delta V_p$  ตามสมการที่ (2.23)

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว

  - ถ้าบัล  $p$  เป็น โหลดบัล แล้วคำนวณ  $\Delta P_p$  และ  $\Delta Q_p$  ตามสมการที่ (2.40) และ (2.41) ตามลำดับ
  - ถ้าบัล  $p$  เป็น บัลควบคุมแรงดัน แล้วคำนวณ  $\Delta P_p$  ตามสมการที่ (2.40)
6. ตรวจสอบเงื่อนไข
 

สำหรับระบบพิกัดฉาก ถ้าเงื่อนไขตามสมการที่ (2.36) เป็นจริง แล้วให้ไปทำขั้นตอนที่ 11 มิฉะนั้นให้เริ่มต้นทำขั้นตอนที่ 7

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว ถ้าเงื่อนไขตามสมการที่ (2.49) เป็นจริง แล้วให้ไปทำขั้นตอนที่ 11 มิฉะนั้นให้เริ่มต้นทำขั้นตอนที่ 7
7. คำนวณจาโคเบียนเมตริกซ์  $J$ 

สำหรับระบบพิกัดฉาก ตามหัวข้อ 2.7.1 จากสมการที่ (2.29) ถึงสมการที่ (2.34)

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว ตามหัวข้อ 2.7.2 จากสมการที่ (2.44) ถึงสมการที่ (2.47)
8. คำนวณค่าปรับแต่งแรงดัน ไฟฟ้าที่บัล ดังนี้
 

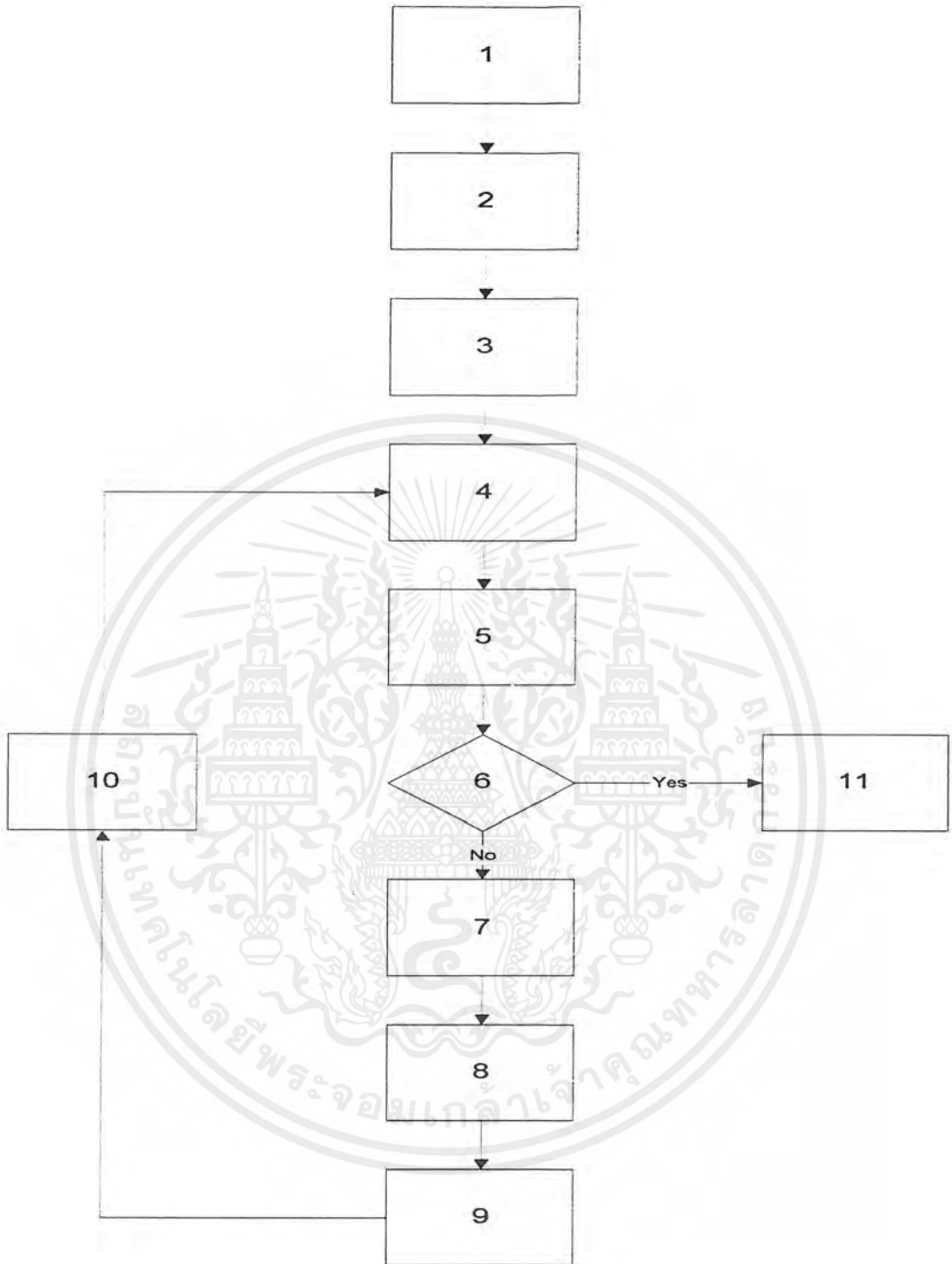
$\Delta e$  และ  $\Delta f$  สำหรับระบบพิกัดฉาก จากสมการที่ (2.24)

$\Delta \delta$  และ  $\Delta |V|$  สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว จากสมการที่ (2.42)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คำนวณแรงดันไฟฟ้าที่บัสใหม่ ดังนี้  
 สำหรับระบบพิกัดฉาก ตามสมการที่ (2.35)  
 สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้ว ตามสมการที่ (2.48)
10. ให้  $k = k + 1$  แล้วย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสใหม่ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 9
11. คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และกำลังสูญเสียในสายส่ง และหม้อแปลงต่าง ๆ ตามหัวข้อ 2.8 พร้อมทั้งพิมพ์ผลลัพธ์และสิ้นสุดการทำงาน
- จากขั้นตอนการคำนวณที่กล่าวมา สามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้





รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการคำนวณโหลดโพลีตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน  
(หมายเลขที่ระบุไว้ในแต่ละช่อง คือ ลำดับขั้นตอนการคำนวณตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การคำนวณ Optimal Power Flow ด้วยวิธี Gradient method

### 3.1 วิธีการ Optimize ทั่วไป

Optimization problem เกี่ยวข้องกับการค้นหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งอาจเป็นค่าที่มากที่สุด หรือค่าน้อยที่สุดของ Objective function (  $f$  ) ซึ่งขึ้นอยู่กับกลุ่มของพารามิเตอร์ซึ่งก็คือ State variable (  $x$  ) โดยการปรับกลุ่มของพารามิเตอร์ ซึ่งก็คือ Control variable (  $u$  )

พิจารณา Objective function (  $f$  ) เป็นฟังก์ชันของค่าตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ( Control variable,  $u$  ) และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ( Uncontrollable variable,  $x$  ) ปัญหาเงื่อนไขที่ไม่เป็นเชิงเส้นของการ Optimize สามารถแก้ได้โดยกำหนดให้

$$\text{minimize } f = F(x, u) \quad (3.1)$$

subject to

$$\left. \begin{aligned} g(x, u) &= 0 \\ h(x, u) &\leq 0 \\ u_{\min} &\leq u \leq u_{\max} \\ x_{\min} &\leq x \leq x_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

$$L(x, u, \lambda, \mu) = f(x, u) + \lambda g(x, u) + \mu h(x, u) \quad (3.3)$$

โดยที่  $g(x, u)$  คือ Non linear equality constraints ของเวกเตอร์  $x$  และ  $u$

$h(x, u)$  คือ Non Linear inequality constraints ของเวกเตอร์  $x$  และ  $u$

$\lambda$  คือ Lagrangian multipliers สำหรับ equality constraints

$\mu$  คือ Lagrangian multipliers สำหรับ inequality constraints

พิจารณาที่สภาวะ Optimum จะได้

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial x} &= 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial u} &= 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= g(x, u) = 0 \\
 \left. \begin{aligned}
 h(x, u) &\leq 0 \\
 \mu h(x, u) &= 0 \\
 \mu &\geq 0
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

โดย Objective function ( $F(x,u)$ ) ในสมการที่ 3.1 คือ

- Optimization of real power cost ( fuel cost )
- Minimization of transmission loss
- Minimum control shift
- Minimum number of controls rescheduled
- Maximization of system security
- Minimization of emission level

Equality constraints ( $g(x,u)$ ) และ Inequality constraints ( $h(x,u)$ ) คือ

- Limits on all control variables
- Power flow equations
- Generation/load balance
- Branch flow limits ( MW, MVar , MVA )
- Bus voltage limits
- Real/reactive reserve limits
- Generator MVar limits
- Corridor ( transmission interface ) limits

และ Control variables (  $u$  ) อาจประกอบด้วย

- Real and reactive power generation
- Phase-shifter angles
- Net area power interchange
- Load MW and MVar ( load shedding )
- DC transmission line flows
- Control voltage settings
- LTC transformer tap settings
- Shunt element status ( capacitors, reactors, SVC's )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การแก้ปัญหาของ Optimal Power Flow

วิธีการแก้ปัญหของ Optimal power flow มีหลายวิธีเช่น

- Lambda iteration method
- Gradient method
- Newton's method
- Linear programming method ( LOPF )
- Interior point method

โดยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธี Gradient method

### 3.3 Gradient method

เราจะพิจารณา Objective function เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการผลิต Generation ซึ่ง Objective function ที่ต้องการให้มีค่าน้อยที่สุด คือ

$$\sum_{\text{all gen}} F_i (P_i)$$

ซึ่งก็คือค่าใช้จ่ายในการ Generate ของ Generator ทุกตัว รวมทั้ง Generator ที่ Reference bus กำหนดให้ ตัวแปรไม่ทราบค่า หรือ State vector คือ

$$x = \left. \begin{array}{l} \theta_i \\ |E_i| \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{On each PQ bus} \\ \text{On each PV bus} \end{array} \quad (3.5)$$

กำหนดให้ Vector y คือ

$$y = \left. \begin{array}{l} \theta_k \\ |E_k| \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{On the reference bus} \\ \text{On each PQ bus} \end{array} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_k^{net} \\ Q_k^{net} \end{array} \right\} \text{On each QV bus}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เวกเตอร์  $y$  มาจาก พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ถูกกำหนดมา ซึ่งพารามิเตอร์จำนวนหนึ่งสามารถปรับค่าได้ เช่น Generator output และ Generator bus voltage และมีพารามิเตอร์จำนวนหนึ่งที่คงที่ เช่น  $P$  และ  $Q$  ที่ Load bus โดยเราจะแยกเวกเตอร์  $y$  ออกเป็น 2 ส่วน คือ  $u$  และ  $p$  ดังนี้

$$y = \begin{bmatrix} u \\ p \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

โดยที่  $u$  แทนเวกเตอร์ของ Control หรือ Adjustable variables

$p$  แทนเวกเตอร์ของ Fixed หรือ Constant variables

ซึ่งเราจะแยกพิจารณาเฉพาะ Equality constraints

กำหนดให้ กลุ่มของสมการ  $m$  สมการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$g(x, y) = \begin{cases} P_i(|E|, \theta) - P_i^{net} \\ Q_i(|E|, \theta) - Q_i^{net} \end{cases} \text{ for each PQ (load) bus } i \quad (3.8)$$

$$P_k(|E|, \theta) - P_k^{net} \text{ for each PV (gen) bus } k, \text{ not including the reference bus}$$

Reference bus power generation จะไม่ใช่ตัวแปรอิสระ โดยจะเปลี่ยนแปลงเพื่อความสมดุลของการไหลของกำลังไฟฟ้า เราไม่สามารถกำหนดค่าได้ในตอนเริ่มต้นของการคำนวณ เราต้องการที่จะแสดงค่าใช้จ่ายหรือ Objective function เป็นฟังก์ชันของ Control variables และ State variables ซึ่งเราสามารถหาได้โดยแบ่ง Cost function เป็น

$$\text{cost} = \sum_{gen} F_i \cdot (P_i) + F_{ref} \cdot (P_{ref}) \quad (3.9)$$

โดยที่ผลรวมในตอนแรกไม่คิดรวมกับ Reference bus กำหนดให้

$P_i$  คือ Independent variable และ  $P_{ref}$  คือ Dependent variable จะเห็นได้ว่า  $P_i$  อยู่ในเวกเตอร์  $u$

และ  $P_{ref}$  เป็นฟังก์ชันของ Network voltages และ Angles

$$P_{ref} = P_{ref}(|E|, \theta) \quad (3.10)$$

จะได้ Cost function เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{gen} F_i(P_i) + F_{ref} [P_{ref} (| E |, \theta)] = f(x, u) \quad (3.11)$$

เราสามารถตั้ง Lagrange equation สำหรับ Optimal Power Flow ( OPF ) ได้โดย

$$L(x, u, p) = f(x, u) + \lambda^t g(x, u, p) \quad (3.12)$$

โดย

x คือ Vector of state variables

u คือ Vector of control variables

p คือ Vector of fixed parameters

$\lambda$  คือ Vector of Lagrange multiplier

g คือ Set of equality constraints representing the power flow equation

f คือ Objective function

ซึ่งสามารถเขียน Lagrange equation ในรูปที่ง่ายขึ้นดังนี้

$$L(x, u, p) = \sum_{gen} F_i \cdot (P_i) + F_{ref} [P_{ref} (| E |, \theta)] + [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m] \cdot \begin{bmatrix} P_i(| E |, \theta) - P_i^{net} \\ Q_i(| E |, \theta) - Q_i^{net} \\ P_k(| E |, \theta) - Q_k^{net} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

เพื่อให้ค่า Cost function มีค่าน้อยที่สุด

$$\nabla L = 0 \quad (3.14)$$

เราแยก Gradient vector เป็น 3 ส่วนสัมพันธ์กับ x, u,  $\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla L_x = \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x} + \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^T \cdot \lambda \quad (3.15)$$

$$\nabla L_u = \frac{\partial L}{\partial u} = \frac{\partial L}{\partial u} + \left[ \frac{\partial g}{\partial u} \right]^T \cdot \lambda \quad (3.16)$$

$$\nabla L_\lambda = \frac{\partial L}{\partial \lambda} = g(x, u, p) \quad (3.17)$$

โดยกำหนดให้

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial P_{ref}} F_{ref}(P_{ref}) & \frac{\partial P_{ref}}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial}{\partial P_{ref}} F_{ref}(P_{ref}) & \frac{\partial P_{ref}}{\partial |E_1|} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

เทอม  $\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial x} \end{bmatrix}$  ในสมการที่ 3.15 คือ Jacobian matrix สำหรับ Newton power flow

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial |E_1|} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial |E_2|} & \dots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial |E_1|} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial |E_2|} & \dots \\ \frac{\partial P_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial |E_1|} & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial |E_1|} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอม  $\left[ \frac{\partial f}{\partial u} \right]$  ในสมการที่ 3.16 คือเวกเตอร์ของการอนุพันธ์ของ Objective function โดย Control variables

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial P_1} F_1(P_1) \\ \frac{\partial}{\partial P_2} F_2(P_2) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

การแก้ปัญหา Gradient method ของ Optimal Power Flow ( OPF ) มีลำดับดังนี้

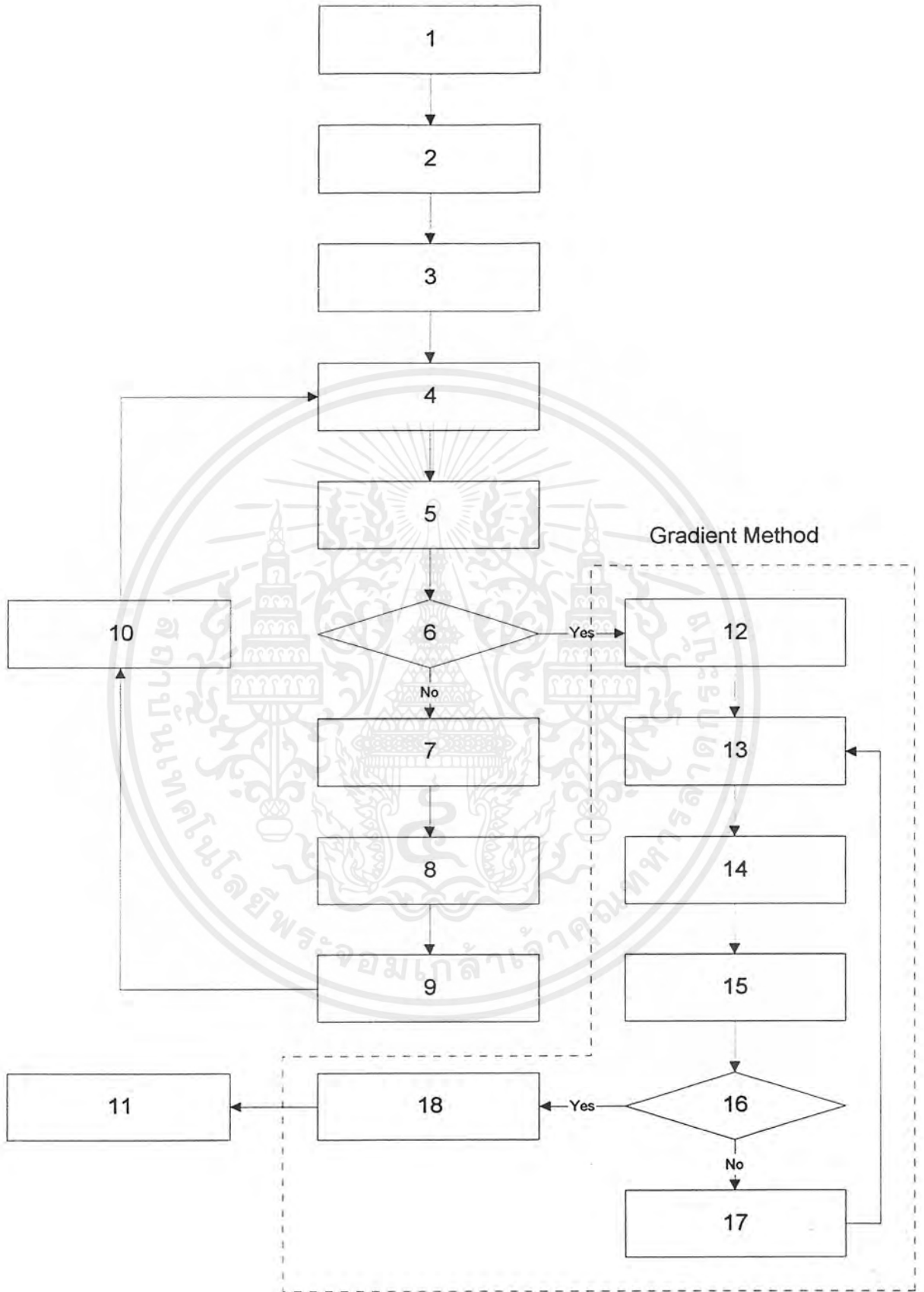
1. กำหนดกลุ่มของ Fixed parameter (P) และสมมติค่าเริ่มต้นของกลุ่มของ Control variables u และ State variables
2. แก้ปัญหา Power flow โดยการคำนวณ นิวตัน-ราฟสัน
3. แก้สมการ 3.15 และคำนวณค่า  $\lambda$  จาก

$$\lambda = - \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \quad (3.21)$$

4. แทนค่า  $\lambda$  ในสมการที่ 3.16 เพื่อให้ได้ค่า Gradient method ของ L โดยขึ้นอยู่กับ Control variables
5. ตรวจสอบเงื่อนไขในสถานะต่าง ๆ
6. กรณีเงื่อนไขเป็นจริง จะแสดงค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้
7. กรณีเงื่อนไขเป็นเท็จ ให้หาค่า

$$\begin{aligned} u^{new} &= u^{old} + \Delta u \quad ; \\ \Delta u &= -c \cdot [\nabla f] \end{aligned} \quad (3.22)$$

และค่าที่ได้นำไปคำนวณใหม่ในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการคำนวณ นิวตัน-ราฟสัน และ Optimal Power Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณโหลด โหลดด้วยวิธีนิวตัน - ราฟสัน จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการคำนวณโหลดโพล์ที่ได้ใน ลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของคำตอบโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่ปรากฏจากการคำนวณในรอบสุดท้าย สำหรับระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือ ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ( Well-conditioned systems ) และ ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม ( Ill-conditioned systems ) ซึ่งทั้งสองสภาวะดังกล่าวจะถูกใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตันราฟสัน

#### 4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

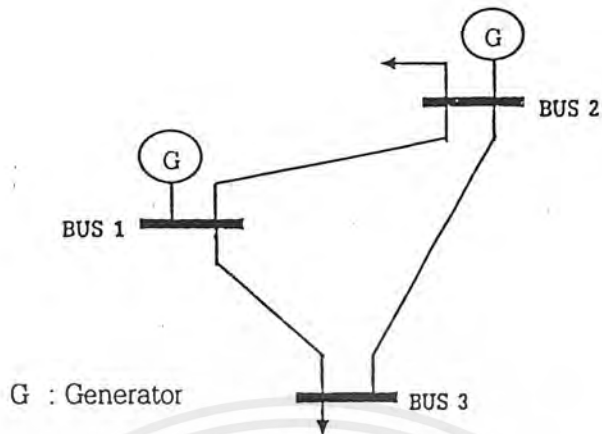
ระบบกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ทดสอบโดยมีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส , 14 บัส และ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ก) และ 4.1 (ข) ตามลำดับ

4.1.2 ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการ

คำนวณโหลดโพล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ก) และ 4.2 (ข) ตามลำดับ

4.1.3ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด30 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ก) และ 4.3 (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.1 (ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging	Tap Ratio	Phase shifting
			R (p.u.)	X (p.u.)			
1	L	1 --> 2	0.080	0.240	0.000		
2	L	1 --> 3	0.020	0.060	0.000		
3	L	2 --> 3	0.060	0.180	0.000		

L : Transmission Line  
System MVA Base =100

ตารางที่ 4.1 (ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

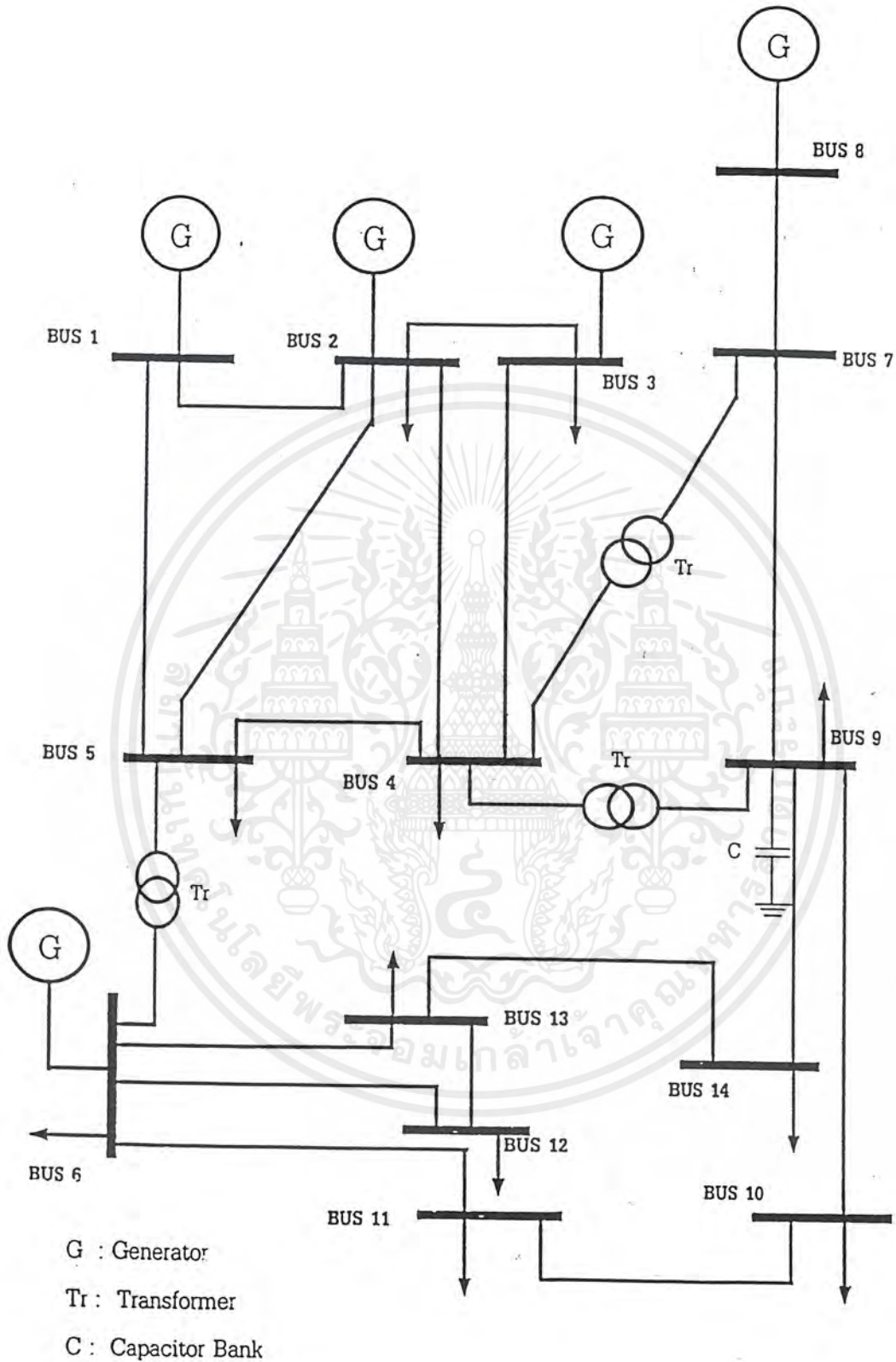
Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit Mvar		p.u. shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	Mvar	Qmax	Qmin	
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.0000
2	1	1.030	0.00	20.00		50.00	20.00	35.00	0.00	0.0000
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	60.00	25.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
			R(p.u.)	X(p.u.)			
1	L	1-->2	0.019	0.059	0.0264		
2	L	1-->5	0.054	0.223	0.0246		
3	L	2-->3	0.047	0.198	0.0219		
4	L	2-->4	0.058	0.176	0.0187		
5	L	2-->5	0.057	0.174	0.0170		
6	L	3-->4	0.067	0.171	0.0173		
7	L	4-->5	0.013	0.042	0.0064		
8	T	4-->7	0.000	0.209	0.0000	0.978	0.00
9	T	4-->9	0.000	0.556	0.0000	0.969	0.00
10	T	5-->6	0.000	0.252	0.0000	0.932	0.00
11	L	6-->11	0.095	0.199	0.0000		
12	L	6-->12	0.123	0.256	0.0000		
13	L	6-->13	0.066	0.130	0.0000		
14	L	7-->8	0.000	0.176	0.0000		
15	L	7-->9	0.000	0.110	0.0000		
16	L	9-->10	0.032	0.084	0.0000		
17	L	9-->14	0.127	0.270	0.0000		
18	L	10-->11	0.082	0.192	0.0000		
19	L	12-->13	0.221	0.200	0.0000		
20	L	13-->14	0.171	0.348	0.0000		

L : Transmission Line  
T : Transformer  
System MVA Base =100

ตารางที่ 4.2 (ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

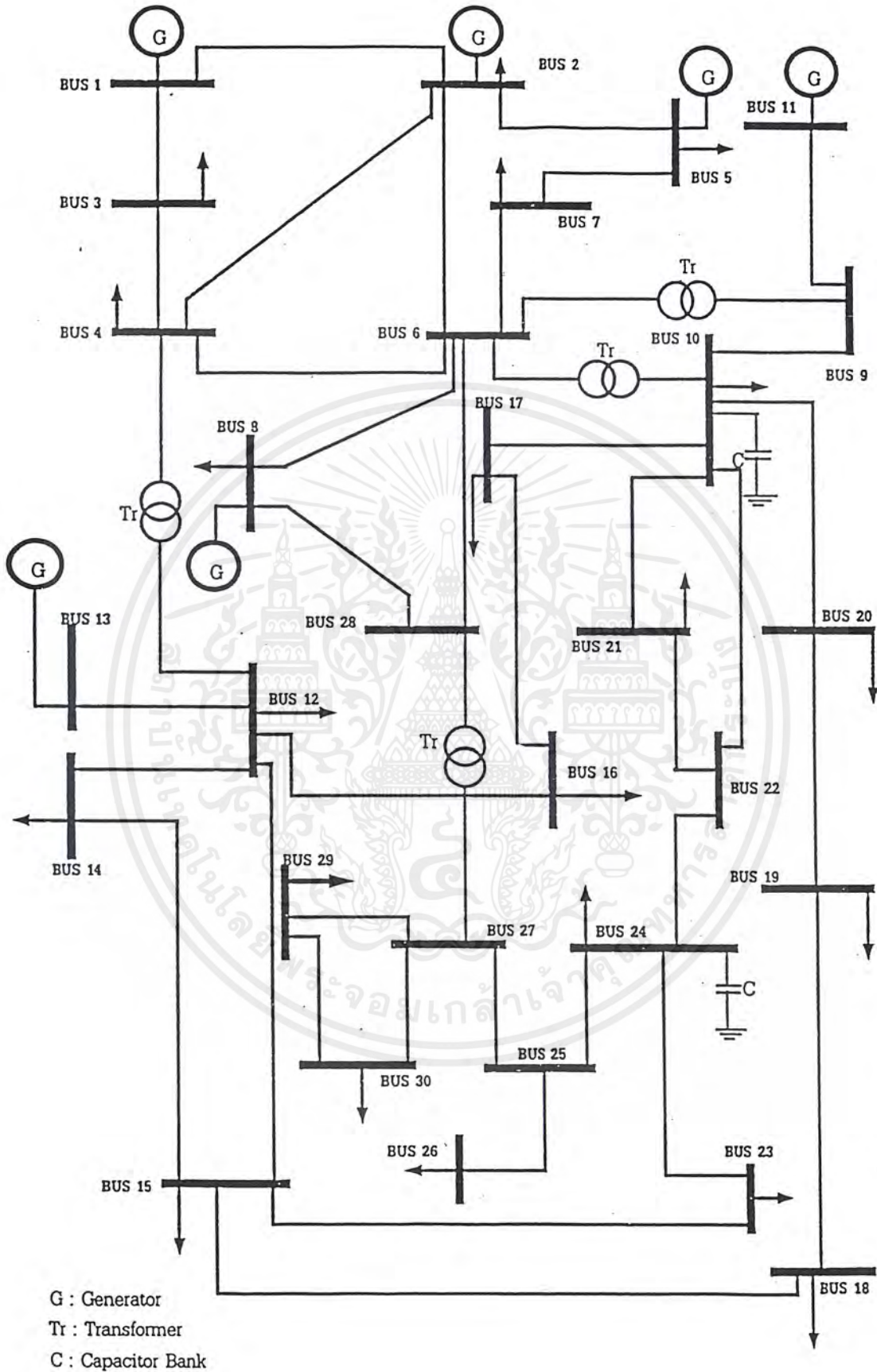
Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q Limit MVar		p.u. shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	Mvar	Qmax	Qmin	
1	2	1.060	0.00			0.00	0.00			0.0000
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.0000
3	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	0.00	0.0000
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	47.80	3.90			0.0000
5	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.0000
6	1	1.070	0.00	0.00		11.20	7.50	24.00	-6.00	0.0000
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
8	1	1.090	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.0000
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	29.50	16.60			0.1900
10	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.00	5.80			0.0000
11	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	1.80			0.0000
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	6.10	1.60			0.0000
13	0	1.000	0.00	0.00	0.00	13.50	5.80			0.0000
14	0	1.000	0.00	0.00	0.00	14.90	5.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap Ratio	Phase shifting (degree)
			R(p.u.)	X(p.u.)			
1	L	1 --> 2	0.019	0.058	0.0264		
2	L	1 --> 3	0.045	0.185	0.0204		
3	L	2 --> 4	0.057	0.174	0.0184		
4	L	2 --> 5	0.047	0.198	0.0209		
5	L	2 --> 6	0.058	0.176	0.0187		
6	L	3 --> 4	0.013	0.038	0.0042		
7	T	4 --> 6	0.012	0.041	0.0045		
8	L	4 --> 12	0.000	0.256	0.0000	1.013	0.00
9	L	5 --> 7	0.046	0.116	0.0102		
10	L	6 --> 7	0.027	0.082	0.0085		
11	L	6 --> 8	0.012	0.042	0.0045		
12	T	6 --> 9	0.000	0.208	0.0000	1.015	0.00
13	T	6 --> 10	0.000	0.556	0.0000	0.963	0.00
14	L	6 --> 28	0.017	0.060	0.0065		
15	L	8 --> 28	0.064	0.200	0.0214		
16	L	9 --> 10	0.000	0.110	0.0000		
17	L	9 --> 11	0.000	0.208	0.0000		
18	L	10 --> 17	0.032	0.084	0.0000		
19	L	10 --> 20	0.094	0.209	0.0000		
20	L	10 --> 21	0.035	0.075	0.0000		
21	L	10 --> 22	0.073	0.150	0.0000		
22	L	12 --> 13	0.000	0.140	0.0000		
23	L	12 --> 14	0.123	0.256	0.0000		
24	L	12 --> 15	0.066	0.130	0.0000		
25	L	12 --> 16	0.094	0.199	0.0000		
26	L	14 --> 15	0.221	0.200	0.0000		
27	L	15 --> 18	0.107	0.219	0.0000		
28	L	15 --> 23	0.100	0.202	0.0000		
29	L	16 --> 27	0.082	0.193	0.0000		
30	L	18 --> 19	0.064	0.129	0.0000		
31	L	19 --> 20	0.034	0.068	0.0000		
32	L	21 --> 22	0.012	0.024	0.0000		
33	L	22 --> 24	0.115	0.179	0.0000		
34	L	23 --> 24	0.132	0.270	0.0000		
35	L	24 --> 25	0.189	0.329	0.0000		
36	L	25 --> 26	0.254	0.380	0.0000		
37	L	25 --> 27	0.109	0.209	0.0000		
38	L	27 --> 29	0.220	0.415	0.0000		
39	L	27 --> 30	0.320	0.603	0.0000		
40	T	28 --> 27	0.000	0.396	0.0000	0.958	0.00
41	L	29 --> 30	0.240	0.453	0.0000		

L : Transmission Line  
T : Transformer  
System MVA Base =100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q Limit MVar		p.u. shunt Susceptance
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmax	Qmin	
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.00
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.00
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	1.20			0.00
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.00
5	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	-40.00	0.00
6	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	22.80	10.90			0.00
8	1	1.010	0.00	0.00		30.00	30.00	40.00	-10.00	0.00
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
10	0	1.000	0.00	0.00	0.00	5.80	2.00			0.00
11	1	1.082	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.00
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	11.20	7.50			0.00
13	1	1.071	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.00
14	0	1.000	0.00	0.00	0.00	6.20	1.60			0.00
15	0	1.000	0.00	0.00	0.00	8.20	2.50			0.00
16	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	1.80			0.00
17	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.00	5.80			0.00
18	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.20	0.90			0.00
19	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.50	3.40			0.00
20	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.20	0.70			0.00
21	0	1.000	0.00	0.00	0.00	17.50	11.20			0.00
22	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
23	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.20	1.60			0.00
24	0	1.000	0.00	0.00	0.00	8.70	6.70			0.00
25	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
26	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	2.30			0.00
27	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
28	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
29	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	0.90			0.00
30	0	1.000	0.00	0.00	0.00	10.60	1.90			0.00

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus type 0 คือ โหลดบัส

#### 4.2 ผลการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

##### 4.2.1 ผลการคำนวณ โหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

###### 4.2.1.1 การคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

4.2.1.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

4.2.1.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Bus Type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	Angle (degree)	MW	Mvar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	91.37	24.06	0.00	0.00
2	1	1.03000	-2.85202	20.00	25.05	50.00	20.00
3	0	1.02476	-1.94700	0.00	0.00	60.00	25.00

\*\*\* Remark : 0 = PQ bus                      1 = PV bus                      2 = Slack bus \*\*\*

ตารางที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW
1 --> 2	22.9718	1.6506	-22.5869	-0.4959	0.3849
1 --> 3	68.3996	22.4140	-67.4598	-19.5944	0.9398
2 --> 3	-7.4133	5.5459	7.4618	-5.4005	0.0485

4.2.1.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี Optimal Power Flow ไม่สามารถหาคำตอบที่ถูกรู้ได้จึงไม่มีผลการคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการคำนวณ โหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

4.2.2.1 การคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

4.2.2.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

4.2.2.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Bus Type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	Angle (degree)	MW	Mvar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	232.23	-18.54	0.00	0.00
2	1	1.04500	-4.94180	40.00	35.37	21.70	12.70
3	1	1.01000	-12.64317	0.00	20.68	94.20	19.00
4	0	1.02318	-10.32763	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	1.02591	-8.83680	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	1.09713	-14.18546	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	1.08020	-13.26840	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	1.11799	-13.26861	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	1.07558	-14.77334	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	1.07210	-14.93807	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	1.08105	-14.68828	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	1.08213	-14.99613	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	1.07691	-15.05859	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	1.05858	-15.85342	0.00	0.00	14.90	5.00

\*\*\* Remark : 0 = PQ bus                      1 = PV bus                      2 = Slack bus \*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสมเมื่อคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	Mvar	MW
1 --> 2	156.4340	-19.4152	-152.2501	26.5580	4.1839
1 --> 5	75.7946	0.8749	-73.0272	5.1999	2.7673
2 --> 3	72.8558	3.5947	-70.5558	1.4688	2.2999
2 --> 4	56.0850	-4.8871	-54.4100	5.9700	1.6750
2 --> 5	41.6098	-2.5990	-40.7058	1.7129	0.9040
3 --> 4	-23.6438	0.2079	24.0316	-2.8402	0.3697
4 --> 5	-60.9777	12.4006	61.4606	-12.1840	0.4829
4 --> 7	27.7408	-16.3098	-27.7408	18.2872	0.0000
4 --> 9	15.8335	-3.1200	-15.8335	4.4187	0.0000
5 --> 6	44.6728	3.6717	-44.6728	0.5068	0.0000
6 --> 11	7.6657	5.2319	-7.5977	-5.0895	0.0680
6 --> 12	7.8593	2.7010	-7.7887	-2.5541	0.0706
6 --> 13	17.9430	8.0626	-17.7308	-7.6447	0.2122
7 --> 8	0.0024	-23.1907	-0.0024	24.0020	0.0000
7 --> 9	27.7396	4.9043	-27.7396	-4.1562	0.0000
9 --> 10	4.9285	2.5774	-4.9200	-2.5550	0.0086
9 --> 14	9.1450	2.5429	-9.0461	-2.3326	0.0989
10 --> 11	-4.0805	-3.2447	4.0999	3.2901	0.0194
12 --> 13	1.6906	0.9551	-1.6834	-0.9486	0.0071
13 --> 14	5.9175	2.7948	-5.8544	-2.6662	0.0631

4.2.2.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี Optimal Power Flow ไม่สามารถหาคำตอบที่ใส่เข้าได้ จึงไม่มีผลการคำนวณโหลดโพลาร์ด้วยวิธีดังกล่าว



ตารางที่ 4.9 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบ  
กำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนด โพลร์ที่เหมาะสมเมื่อคำนวณ  
ด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	Mvar	MW	MVar	MW
1 --> 2	181.6436	60.2574	-175.2698	-46.2792	6.3738
1 --> 3	85.3084	31.4154	-81.8754	-21.4459	3.4330
2 --> 4	46.7337	7.8733	-45.3992	-7.2334	1.3346
2 --> 5	81.4679	56.6007	-76.5997	-39.6026	4.8681
2 --> 6	65.3667	19.1022	-62.5579	-13.9685	2.8088
3 --> 4	79.4759	20.2462	-78.5322	-18.2532	0.9437
4 --> 6	73.4110	17.7695	-72.6248	-15.0836	0.7861
4 --> 12	42.9220	6.5192	-42.9220	-1.1198	0.0000
5 --> 7	-17.5687	-19.3319	17.9950	18.9030	0.4263
6 --> 7	41.6686	31.1101	-40.7848	-29.7924	0.8838
6 --> 8	29.8619	-9.1265	-29.7235	8.8546	0.1383
6 --> 9	27.7055	-5.4675	-27.7055	7.5023	0.0000
6 --> 10	16.3834	9.6894	-16.3834	-7.4652	0.0000
6 --> 28	19.5628	3.2221	-19.4825	-4.0232	0.0803
8 --> 28	-0.2600	1.1443	0.2666	-4.6954	0.0066
9 --> 10	27.7312	15.1705	-27.7312	-13.8655	0.0000
9 --> 11	-0.0153	-22.7076	-0.0153	23.9811	0.0000
10 --> 17	9.0285	5.8921	-8.9826	-5.7716	0.0459
10 --> 20	8.1448	1.7352	-8.0643	-1.5563	0.0805
10 --> 21	14.3650	9.0157	-14.2407	-8.7495	0.1242
10 --> 22	6.6803	3.9548	-6.6260	-3.8432	0.0543
12 --> 13	-0.0430	-23.1300	0.0430	23.9869	0.0000
12 --> 14	8.1865	3.1917	-8.0778	-2.9656	0.1086
12 --> 15	18.6469	10.0073	-18.3088	-9.3412	0.3382
12 --> 16	4.8875	3.6134	-4.8477	-3.5293	0.0397
14 --> 15	1.8850	1.3756	-1.8706	-1.3626	0.0144
15 --> 18	6.9186	3.6324	-6.8394	-3.4702	0.0792
15 --> 23	5.0713	4.5860	-5.0146	-4.4715	0.0567
16 --> 27	1.3506	1.7354	-1.3460	-1.7244	0.0047
18 --> 19	3.6449	2.5772	-3.6288	-2.5448	0.0161
19 --> 20	-5.8535	-0.8311	5.8687	0.8614	0.0152
21 --> 22	-3.2263	-2.3948	3.2288	2.3997	0.0025
22 --> 24	3.3972	1.4437	-3.3773	-1.4128	0.0199
23 --> 24	1.8188	2.8793	-1.7996	-2.8400	0.0192
24 --> 25	-3.5118	-2.4176	3.5560	2.4947	0.0443
25 --> 26	3.5535	2.3762	-3.4959	-2.2900	0.0576
25 --> 27	-7.1095	-4.8709	7.2100	5.0636	0.1005
27 --> 29	6.2165	1.7162	-6.1078	-1.5112	0.1087
27 --> 30	7.1206	1.7257	-6.9165	-1.3430	0.2041
28 --> 27	19.2156	8.7169	-19.2156	-6.7647	0.0000
29 --> 30	3.7105	0.6159	-3.6681	-0.5360	0.0424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 เมื่อคำนวณด้วยวิธี Optimal Power Flow ไม่สามารถหาคำตอบที่ดูเข้าได้ จึง ไม่มีผลการคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีดังกล่าว

4.3 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

ผลการคำนวณโหลดโพล์สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ

4.1 สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์การคำนวณโหลดโพล์ ในแง่ของคุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ รวมทั้งจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีข้อกำหนดทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากผลการทดสอบระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมพบว่าไม่สามารถปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าให้มีค่า Power Loss น้อยลงได้ โดย Optimal Power Flow ด้วยวิธี Gradient Method ได้ เนื่องจากค่า Power Loss ที่ได้จากการคำนวณโหลดโพล์โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน เป็นค่าที่ต่ำที่สุดแล้ว และระบบกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมอยู่แล้ว

ในแง่ของคุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ รวมทั้งจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีข้อกำหนดทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

คุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบ โดยนำเสนอในรูปของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ ระหว่างวิธี นิวตัน-ราฟสัน และ วิธี Optimal Power Flow ดังนี้

4.3.1 คุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11

4.3.2 คุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13

4.3.3 คุณลักษณะการดูเข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	32.5700	65.0000	72.7057
1	1.6130	2.6202	3.0769
2	0.0020	0.0050	0.0054

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Mismatches of Optimal Power Flow
0	18.82
5	17.43
10	14.38
15	12.33
20	10.18
25	8.73
30	7.21
35	6.19
40	5.99
45	6.69
50	7.75

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	92.1943	82.4738	123.7001
1	24.6990	19.9846	31.7715
2	1.1789	0.9919	1.5407
3	0.0049	0.0023	0.0054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Mismatches of Optimal Power Flow
0	16.80
5	13.82
10	11.83
15	9.75
20	8.36
25	6.90
30	5.93
35	4.91
40	4.23
45	3.52
50	3.97
55	4.72
60	5.60

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	93.1717	52.9267	107.1550
1	666.4852	1920.8450	2033.1867
2	715.1754	5168.3594	5217.6064
3	165.2867	1326.6216	1336.8787
4	39.4902	310.8221	313.3207
5	8.3077	62.8223	63.3692
6	1.5313	7.9108	8.0576
7	0.0959	0.2675	0.2842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

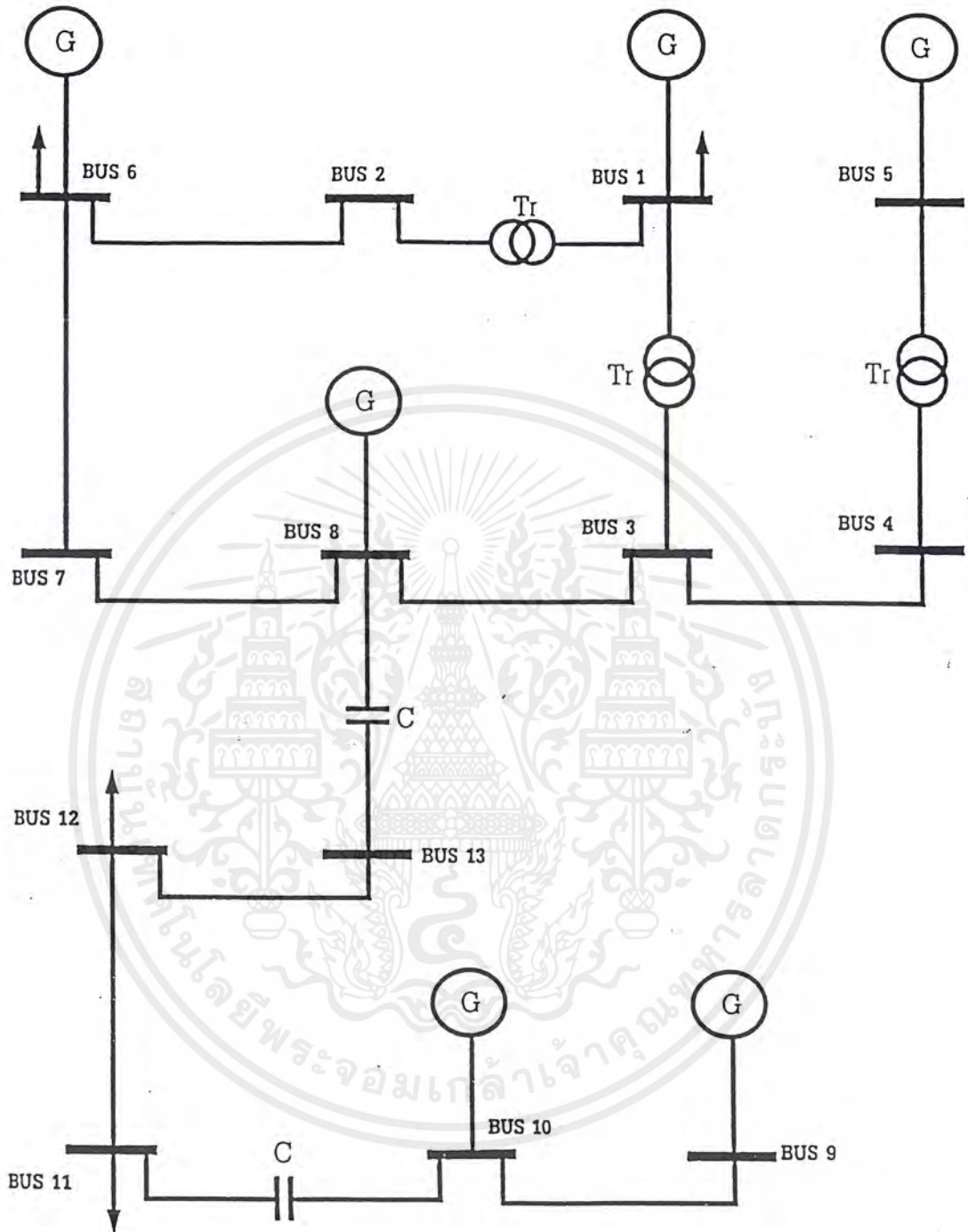
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Mismatches of Optimal Power Flow
0	17.44
5	14.93
10	12.30
15	10.13
20	8.67
25	7.14
30	6.12
35	5.04
40	4.31
45	4.15
50	4.93
55	5.72
60	5.89

4.4 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 เกี่ยวกับลักษณะของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสมนั้น สำหรับในหัวข้อนี้ จะนำเสนอตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าลักษณะดังกล่าวโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น ความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ และความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ

ความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ โดยทั่วไปจะหมายถึงความไม่เหมาะสมเกี่ยวกับสายส่ง เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งมีค่าไม่เหมาะสมแก่การคำนวณโหนดโพลาร์ ดังตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่จะใช้ในการทดสอบในหัวข้อนี้พบว่า ค่ารีแอกแตนซ์ของบางสายส่งเป็นลบ เนื่องจากการที่มีคาปาซิแตนซ์ต่ออนุกรมกับสายส่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหนดโพลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.16 (ก) และ 4.16 (ข) ตามลำดับ



G : Generator

Tr : Transformer

C : Line Capacitor

#### รูปที่ 4.4 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด

13 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap Ratio	Phase shifting (degree)
			R(p.u.)	X(p.u.)			
1	T	1-->2	0.004	0.085	0.000	1.05	0.00
2	T	1-->3	0.004	0.095	0.000	1.10	0.00
3	L	2-->6	0.048	0.459	0.246		
4	L	3-->4	0.007	0.143	0.436		
5	L	3-->8	0.012	0.233	0.712		
6	T	5-->4	0.004	0.095	0.000	1.10	0.00
7	L	6-->7	0.009	0.108	0.016		
8	L	7-->8	0.000	0.150	0.000		
9	C	8-->13	0.000	-0.150	0.000		
10	L	9-->10	0.010	0.202	0.620		
11	C	10-->11	0.000	-0.150	0.000		
12	L	11-->12	0.009	0.167	0.508		
13	L	12-->13	0.007	0.147	0.448		

L : Transmission Line  
T : Transformer  
System MVA Base =100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส

Bus No.	Bus Type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit		p.u. shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	Mvar	Qmax	Qmin	
1	2	1.080	0.00			1650.0	560.00			0.0000
2	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0	0.00			0.0000
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
5	1	1.000	0.00	0.00		0.00	0.00	200.00	-200.00	0.0000
6	1	1.037	0.00	500.00		0.00	30.00	200.00	-200.00	0.0000
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00			0.0000
8	1	1.100	0.00	0.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
9	1	0.943	0.00	500.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
10	1	1.100	0.00	0.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
11	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00			0.0000
						500.00				
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	500.00	32.00			0.0000
13	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

#### 4.4.2 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ

ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ ในที่นี้หมายถึง ระบบที่มีอยู่ในสภาวะจ่ายโหลดอย่างหนัก โดยตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบยังคงเป็นระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส , 14 บัส และ 30 บัส ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.1 มาทำการเพิ่มโหลดที่บัสใดบัสหนึ่ง ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.4.2.1 ทำการเพิ่มโหลดที่บัส 3 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส จาก 60.00 MW และ 25.00 MVar เป็น 600.00 MW และ 186.18 MVar ตามลำดับโดยข้อมูลอื่น ๆ ยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 ทำการเพิ่มโหลดที่บัส 14 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส จาก 14.90 MW และ 5.00 MVar เป็น 85.00 MW และ 25.52 MVar โดยข้อมูลอื่น ๆ ยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

4.4.2.3 ทำการเพิ่มโหลดที่บัส 30 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส จาก 10.60 MW และ 46.37 MVar โดยข้อมูลอื่น ๆ ยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

4.5 ผลการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม

4.5.1 ผลการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม

4.5.1.1 การคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

4.5.1.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.17

4.5.1.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลัง

ไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Bus Type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	Angle (degree)	MW	Mvar	MW	MVar
1	2	1.05000	0.00000	834.94	785.99	0.00	0.00
2	0	0.76843	-15.45394	20.00	35.00	50.00	20.00
3	0	0.58807	-28.01358	0.00	0.00	600.00	186.18

\*\*\* Remark : 0 = PQ bus      1 = PV bus      2 = Slack bus \*\*\*



ตารางที่ 4.21 แสดงค่า Power Loss ในสายส่งเปรียบเทียบกันระหว่าง การคำนวณโหลดโพล์ โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ไม่ได้ผ่านการ Optimal Power Flow กับ การคำนวณโหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ผ่านการ Optimal Power Flow (ระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม )

Bus Code (p → q)	Power losses in line By Newton Raphson (MW)	Power losses in line (OPF) By Optimal Power Flow (MW)
1 → 2	17.2032	53.5396
1 → 3	179.0355	118.1951
2 → 3	9.0261	9.0261
Total Losses	205.2648	180.7609

ตารางที่ 4.22 แสดงค่า Power Loss ใน Transformer เปรียบเทียบกันระหว่าง การคำนวณ โหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ไม่ได้ผ่านการ Optimal Power Flow กับ การคำนวณโหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ผ่านการ Optimal Power Flow (ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม )

Bus Code (p → q)	Power losses in transformer By Newton Raphson (MW)	Power losses in transformer By Optimal Power Flow(MW)
Total Losses	0.0000	0.0000

ตารางที่ 4.23 แสดงค่า Total Power Loss เปรียบเทียบกันระหว่าง การคำนวณโหลดโพล์ โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ไม่ได้ผ่านการ Optimal Power Flow กับ การคำนวณโหลดโพล์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่ผ่านการ Optimal Power Flow (ระบบกำลังไฟฟ้า ขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม )

Total Losses	Newton Raphson (MW)	Optimal Power Flow (MW)
Total Losses in Line	205.2648	180.7609
Total Losses in Transformer	0.0000	0.0000
Total Losse(Line+Transformer)	205.2648	180.7609

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\* Total losses decrease = 24.5040 MW \*\*\*\*\*

= 13.5560%

4.5.2 ผลการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัสที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม

4.5.2.1 เมื่อคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ไม่สามารถหาคำตอบที่ลู่ออกได้ จึง ไม่มีผลการคำนวณ โหลดโพล์ด้วยวิธีดังกล่าว

4.5.3 ผลการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม

4.5.3.1 การคำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

4.5.3.1.1 แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.24

4.5.3.1.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.24 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลัง ไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณ ด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus No.	Bus Type	Final bus voltage		Generation		Load	
		E (p.u.)	Angle (degree)	MW	Mvar	MW	MVar
1	2	1.06000	0.00000	337.66	124.29	0.00	0.00
2	0	0.98740	-6.67072	40.00	50.00	21.70	12.70
3	0	0.92546	-17.24611	0.00	40.00	94.20	19.00
4	0	0.88609	-14.95514	0.00	0.00	47.80	3.90
5	0	0.89810	-12.80320	0.00	0.00	7.60	1.60
6	0	0.85978	-27.54005	0.00	24.00	11.20	7.50
7	0	0.85981	-24.05565	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0	0.90638	-24.05254	0.00	24.00	0.00	0.00
9	0	0.81588	-29.36196	0.00	0.00	29.50	16.60
10	0	0.81387	-29.48718	0.00	0.00	9.00	5.80
11	0	0.83182	-28.69753	0.00	0.00	3.50	1.80
12	0	0.81869	-30.19221	0.00	0.00	6.10	1.60
13	0	0.78431	-31.07758	0.00	0.00	13.50	5.80
14	0	0.62268	-42.94917	0.00	0.00	85.00	25.52

\*\*\* Remark : 0 = PQ bus                      1 = PV bus                      2 = Slack bus \*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบ  
กำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสมเมื่อ  
คำนวณด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน

Bus code	Forward flow		Reverse flow		Loss
	MW	MVar	MW	MVar	MW
1 --> 2	228.2707	65.9746	-218.6557	-41.6575	9.6150
1 --> 5	109.3931	58.3184	-101.8487	-31.9111	7.5444
2 --> 3	88.8849	15.4897	-84.9265	-2.8247	3.9584
2 --> 4	83.0481	32.8323	-78.2306	-21.5051	4.8175
2 --> 5	65.0216	30.6327	-61.9403	-24.2550	3.0814
3 --> 4	-9.2498	23.8366	9.8182	-25.2260	0.5684
4 --> 5	-71.7068	-2.3105	72.5587	4.0441	0.8519
4 --> 7	58.9534	24.7237	-58.9534	-14.3185	58.3638
4 --> 9	33.3860	20.4279	-33.3860	-10.2418	33.0522
5 --> 6	83.6330	50.6330	-83.6330	-24.3141	82.7967
6 --> 11	10.6383	7.0772	-10.4285	-6.6377	0.2098
6 --> 12	15.8386	6.4844	-15.3512	-5.4701	0.4874
6 --> 13	45.9951	27.5544	-43.4284	-22.4988	2.5667
7 --> 8	-0.0240	-22.7486	0.0240	23.9806	0.0000
7 --> 9	58.9775	37.0673	-58.9775	-29.8472	0.0000
9 --> 10	2.1585	1.1313	-2.1557	-1.1238	0.0029
9 --> 14	60.7101	35.0928	-51.3287	-15.1481	9.3814
10 --> 11	-6.8446	-4.6486	6.9294	4.8470	0.0847
12 --> 13	9.2557	3.8868	-8.9235	-3.5860	0.3323
13 --> 14	38.8611	20.3332	-33.5136	-9.4507	5.3474

4.5.3.2 การคำนวณด้วยวิธี Optimal Power Flow ไม่สามารถหาคำตอบที่ดูเข้าได้ จึงไม่มีผลการ  
คำนวณ โหลดโพลาร์ด้วยวิธีดังกล่าว

4.5.4 ผลการคำนวณ โหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนด  
เริ่มต้นทาง โหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม

4.5.4.1 การคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ไม่สามารถหาคำตอบที่ดูเข้าได้ จึงไม่มีผลการคำนวณ  
โหลดโพลาร์ด้วยวิธีดังกล่าว

4.5.4.2 การคำนวณด้วยวิธี Optimal Power Flow ไม่สามารถหาคำตอบที่ดูเข้าได้ จึงไม่มีผลการ  
คำนวณโหลดโพลาร์ด้วยวิธีดังกล่าว

#### 4.6 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม

ผลการคำนวณ โหลดโพล์สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.4 สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์การคำนวณ โหลดโพล์

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 3 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่าสามารถปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมให้ดีขึ้นได้ คือ ทำให้ค่า Power Loss มีค่าต่ำลงได้โดยวิธี Gradient Method ซึ่งจะพบว่าค่า Power Loss ลดลง 13.5560 %

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 13 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นได้โดยวิธี Gradient Method เนื่องจากเป็นระบบที่มีโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 14 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นได้โดยวิธี Gradient Method โดยการปรับค่า โวลต์เตจที่ PV-Bus ได้ เนื่องจาก ค่า Power Loss ที่หาได้จากการคำนวณ โหลดโพล์โดยวิธี Newton Raphson นั้นมีค่าน้อยที่สุดแล้ว ถ้าต้องการปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้านี้ให้ดีขึ้น จะทำได้โดย การปรับปรุ่ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง (R/X น้อยกว่า 1 มากๆ)

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 30 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถหาค่า P,Q,V,angle ได้ตั้งแต่การคำนวณ โหลดโพล์ โดยวิธี Newton Raphson เนื่องจากเป็นระบบที่มี โหลด ไม่เหมาะสมเป็นอย่างมาก

ในแง่ของคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ รวมทั้งจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีข้อกำหนดทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ โดยนำเสนอในรูปของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ ระหว่างวิธี นิวตัน-ราฟสัน และ วิธี Optimal Power Flow ดังนี้

4.6.1 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.26

4.6.2 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 3 ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และตารางที่ 4.28

4.6.3 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.30

4.6.4 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 30 ดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโวลต์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	503.7995	138.4378	522.4739
3	1276.8755	381.0120	1332.5094
6	977.1156	380.1130	1048.4468
9	4588.6120	505.3517	4616.3558
12	5384.0969	635.8768	5421.5163
15	2139.5266	873.3698	2310.9195
18	3329.2576	899.8994	3448.7353
21	5388.1500	3220.4315	6277.2079
24	4131.3923	4293.8652	5958.6643
27	8758.0788	5935.7876	10580.0523

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 3 โดยใช้ ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	570.0000	96.1800	578.0576
1	40.5078	172.5727	177.2631
2	15.9489	43.9947	46.7964
3	4.2226	12.4374	13.1347
4	1.1336	3.4786	3.6586
5	0.3908	1.2107	1.2722
6	0.4967	1.5389	1.6171
7	0.3375	1.0455	1.0986
8	1.2095	3.7475	3.9378
9	0.4083	1.2653	1.3295
10	0.4415	1.3676	1.4371
11	0.3819	1.1840	1.2441
12	0.5354	1.6586	1.7429
13	0.3235	1.0027	1.0536
14	2.7081	8.3908	8.8170
15	0.7658	2.3728	2.4933
16	0.3245	1.0052	1.0563
17	2.4991	7.7429	8.1362
18	0.7145	2.2139	2.3263
19	0.3186	0.9872	1.0373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Mismatches of Optimal Power Flow
0	11.74
5	9.69
10	8.01
15	6.61
20	5.68
25	4.69
30	4.02
35	3.32
40	2.02
45	1.67
50	0.98
55	0.81
60	0.67
65	0.55
70	0.46
75	0.38
80	0.31
85	0.26
90	0.21
95	0.17
100	0.13
105	0.11
110	0.09
115	0.07
120	0.06
125	0.05
130	0.04
135	0.03
140	0.02
145	0.01

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่ บัส 14 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	92.1943	82.4738	123.7001
1	25.2839	46.1426	52.6184
2	3.3154	47.5579	47.6733
3	0.5116	3.2880	3.3276
4	0.1888	1.1618	1.1771
5	0.1576	0.9216	0.9346

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี Optimal Power Flow สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Mismatches of Optimal Power Flow
0	15.80
5	13.17
10	10.97
15	9.14
20	7.62
25	6.35
30	5.49
35	4.57
40	3.81
45	3.17
50	3.72
55	4.43
60	5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ โดยวิธี นิวตัน-ราฟสัน สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่ บัส 30 โดยใช้ ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)	Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)
0	93.1717	52.9267	107.1550
3	151.9678	232.5536	277.8046
6	2.5588	7.5357	7.9582
9	5.1742	16.1444	16.9533
12	181.2993	565.0371	593.4107
15	3.8303	11.9397	12.5267
18	2.7579	8.5951	9.0268
21	5.8400	18.2004	19.1144
24	8.8792	27.6723	29.0619
27	2.6445	8.2416	8.6555
30	2.6567	8.2796	8.6953
33	2.7765	8.6531	9.0867
36	7.2143	22.4836	23.6126
39	2.8199	8.7884	9.2297
42	13.4526	41.9180	44.0238
45	14.2553	44.4274	46.6585
47	2.5790	8.0377	8.4413
49	6.8947	21.4878	22.5669
51	9.0269	28.6937	30.1347
54	2.7800	8.6638	9.0989
57	7.5270	23.4582	24.6362
60	2.6314	8.2008	8.6126
63	2.5669	7.9999	8.4016
66	2.9503	9.1946	9.6563
69	4401.8188	13718.4202	14407.3273
72	69.6085	216.9398	227.8323
75	2.5163	7.8421	8.2360
78	23.3242	72.6911	76.3415
81	12.4091	38.6731	40.6152
84	8.0717	25.1560	26.4193
87	2.5131	7.8324	8.2257
90	82.0984	255.8630	268.7118
93	2.5810	8.0453	8.4475
96	2.6857	8.3699	8.7902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปและเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะศึกษาและเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าโดย Optimal Power Flow โดยใช้วิธี Gradient Method เพื่อที่จะปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะมีค่า Power Loss สูง ให้มีค่า Power Loss ต่ำลง โดยการปรับค่า โวลต์เตจของ PV-Bus เพื่อให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความเหมาะสมยิ่งขึ้น และเพื่อที่จะดูว่า จะสามารถปรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมนั้นให้ดีขึ้นได้โดยการปรับค่า โวลต์เตจที่PV-Bus ได้หรือไม่

ในระบบกำลังไฟฟ้านั้นจะมีทั้งระบบกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมและระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม ดังที่กล่าวแล้วตอนต้น

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น เนื่องจากระบบกำลังไฟฟ้ามีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่คืออยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่สามารถปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นได้อีกดังนั้นจะพบว่าเกิดการไม่คู่เข้า

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 3 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่าสามารถปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมให้ดีขึ้นได้ คือ ทำให้ค่า Power Loss มีค่าต่ำลงได้โดยวิธี Gradient Method ซึ่งจะพบว่าค่า Power Loss ลดลงประมาณ 13.5560 %

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 13 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นได้โดยวิธี Gradient Method เนื่องจากเป็นระบบที่มีโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 14 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นได้โดยวิธี Gradient Method โดยการปรับค่า โวลต์เตจที่ PV-Bus ได้ เนื่องจาก ค่า Power Loss ที่หาได้จากการคำนวณ โหลดโพลว์โดยวิธี Newton Raphson นั้นมีค่าน้อยที่สุดแล้ว ถ้าต้องการปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้านี้ให้ดีขึ้น จะทำได้โดย การปรับปรุงค่า อิมพีแดนซ์ของสายส่ง ( $R/X$  น้อยกว่า 1 มากๆ)

สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมแบบ 30 Bus ที่ได้นำมาศึกษานั้นพบว่า ไม่สามารถหาค่า  $P, Q, V, \text{angle}$  ได้ตั้งแต่การคำนวณ โหลดโพลว์ โดยวิธี Newton Raphson เนื่องจากเป็นระบบที่มี โหลดไม่เหมาะสมเป็นอย่างมาก

## ภาคผนวก ก

## การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อิลิมีเนชัน

สำหรับการแก้ระบบสมการของปัญหาทางโหลดโพลาร์ เนื่องจากสมการที่แสดงความคลาดเคลื่อนของปริมาณทางไฟฟ้าที่บัส ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta |V|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (ก.1)$$

ระบบสมการที่ (ก.1) เป็นสมการเชิงเส้น การแก้สมการด้วยวิธีอินเวอร์สจาโคเบียนเมทริกซ์ [ J ] มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณโหลดโพลาร์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยเน้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณให้น้อยลงแล้ว จึงเลือกใช้วิธีเกาส์อิลิมีเนชัน ( Gauss elimination method ) โดยมีหลักการ คือ ปรับปรุงจาโคเบียนเมทริกซ์ให้เป็นเมทริกซ์สามเหลี่ยมบน ( Upper triangular matrix ) หรือเมทริกซ์สามเหลี่ยมล่าง ( Lower triangular matrix ) พร้อมกับ [  $\Delta e$   $\Delta f$  ] ไปในลักษณะเดียวกัน จากนั้นจะคำนวณตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการที่เหลืออยู่เพียงตัวแปรเดียวก่อน แล้วในลำดับถัดไปจะสามารถคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการถัดไปที่มี 2 ตัวแปร โดยที่ตัวแปรหนึ่งในสองนั้นหาได้จากสมการแรก ทำให้สามารถคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่าที่เหลือได้ เมื่อทราบค่า 2 ตัวแปรแล้ว ในลำดับถัดไปจะสามารถคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่าจากสมการถัดไปที่มีตัวแปร 3 ตัวแปรได้ โดยที่มี 2 ตัวแปรที่ทราบค่าแล้วจากสมการก่อนหน้านี้ ทำให้หาค่าตัวแปรที่ 3 ได้ เช่นนี้เรื่อยไป

พิจารณาตัวอย่างการแก้ระบบสมการพีชคณิตเชิงเส้นที่ประกอบด้วย 4 สมการ 4 ตัวแปรดังนี้

$$\left. \begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + a_{14} x_4 &= y_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + a_{24} x_4 &= y_2 \\ a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{33} x_3 + a_{34} x_4 &= y_3 \\ a_{41} x_1 + a_{42} x_2 + a_{43} x_3 + a_{44} x_4 &= y_4 \end{aligned} \right\} \quad (ก.2)$$

สมการที่ ( ก.2 ) เขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

หรือ

$$Y = AX \quad (ก.3)$$

จะเห็นได้ว่า สมการที่ (ก.3) เทียบเท่ากับสมการที่ (ก.1) ดังนี้

$T$  คือ Transpose เมตริกซ์

$$\text{เมตริกซ์ } Y \text{ แทน } \left[ \Delta P \quad \Delta Q \quad \Delta |V|^2 \right]^T$$

$$\text{เมตริกซ์ } A \text{ แทน } [J]$$

$$\text{เมตริกซ์ } X \text{ แทน } [\Delta e \quad \Delta f]^T$$

ดังนั้นจึงอาศัยสมการที่ (ก.2) ในการแสดงขั้นตอนการแก้ระบบสมการพีชคณิตเชิงเส้น โดยวิธีเกาส์อิลมิเนชัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำจัดตัวแปร  $x_1$  ของสมการย่อยที่ 2, 3, และ 4 ในสมการที่ (ก.2)

1.1 จากสมการย่อยที่ 1 ของสมการที่ (ก.2) เมื่อ  $a_{11} \neq 0$  นำ  $a_{11}$ หารตลอดสมการย่อยที่ 1 จะได้ว่า

$$x_1 + \frac{a_{12}}{a_{11}} \cdot x_2 + \frac{a_{13}}{a_{11}} \cdot x_3 + \frac{a_{14}}{a_{11}} \cdot x_4 = \frac{y_1}{a_{11}}$$

กำหนดให้

$$b_{12} = \frac{a_{12}}{a_{11}}$$

$$b_{13} = \frac{a_{13}}{a_{11}}$$

$$b_{14} = \frac{a_{14}}{a_{11}}$$

$$g_1 = \frac{y_1}{a_{11}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สมการที่ ( ก.2 ) เขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_{12} x_2 + b_{13} x_3 + b_{14} x_4 &= g_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + a_{24} x_4 &= y_2 \\ a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{33} x_3 + a_{34} x_4 &= y_3 \\ a_{41} x_1 + a_{42} x_2 + a_{43} x_3 + a_{44} x_4 &= y_4 \end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.4})$$

1.2 กำจัดตัวแปร  $x_1$  ของสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ ( ก.4 ) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่ ( ก.4 ) ด้วย  $a_{21}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่ ( ก.4 ) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (a_{22} - a_{21} \cdot b_{12}) \cdot x_2 + (a_{23} - a_{21} \cdot b_{13}) \cdot x_3 + (a_{24} - a_{21} \cdot b_{14}) \cdot x_4 &= y_2 - a_{21} \cdot g_1 \\ a_{22}^{(1)} \cdot x_2 + a_{23}^{(1)} \cdot x_3 + a_{24}^{(1)} \cdot x_4 &= y_2^{(1)} \end{aligned}$$

1.3 กำจัดตัวแปร  $x_1$  ของสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ ( ก.4 ) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่ ( ก.4 ) ด้วย  $a_{31}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ ( ก.4 ) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (a_{32} - a_{31} \cdot b_{12}) \cdot x_2 + (a_{33} - a_{31} \cdot b_{13}) \cdot x_3 + (a_{34} - a_{31} \cdot b_{14}) \cdot x_4 &= y_3 - a_{31} \cdot g_1 \\ a_{32}^{(1)} \cdot x_2 + a_{33}^{(1)} \cdot x_3 + a_{34}^{(1)} \cdot x_4 &= y_3^{(1)} \end{aligned}$$

1.4 กำจัดตัวแปร  $x_1$  ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ ( ก.4 ) โดยการคูณสมการย่อยที่ 1 ในสมการที่ ( ก.4 ) ด้วย  $a_{41}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ ( ก.4 ) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (a_{42} - a_{41} \cdot b_{12}) \cdot x_2 + (a_{43} - a_{41} \cdot b_{13}) \cdot x_3 + (a_{44} - a_{41} \cdot b_{14}) \cdot x_4 &= y_4 - a_{41} \cdot g_1 \\ a_{42}^{(1)} \cdot x_2 + a_{43}^{(1)} \cdot x_3 + a_{44}^{(1)} \cdot x_4 &= y_4^{(1)} \end{aligned}$$

ท้ายที่สุดจะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร  $x_1$  ออกจากสมการย่อยที่ 2, 3, และ 4 ในสมการที่ ( ก.4 ) ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ a_{22}^{(1)} \cdot x_2 + a_{23}^{(1)} \cdot x_3 + a_{24}^{(1)} \cdot x_4 &= y_2^{(1)} \\ a_{32}^{(1)} \cdot x_2 + a_{33}^{(1)} \cdot x_3 + a_{34}^{(1)} \cdot x_4 &= y_3^{(1)} \\ a_{42}^{(1)} \cdot x_2 + a_{43}^{(1)} \cdot x_3 + a_{44}^{(1)} \cdot x_4 &= y_4^{(1)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.5})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำจัดตัวแปร  $x_2$  ออกจากสมการย่อยที่ 3 และ 4 ของสมการที่ ( ก.5 ) โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับ การกำจัดตัวแปร  $x_1$  ดังนี้

2.1 จากสมการย่อยที่ 2 ของสมการย่อยที่ (ก.5) เมื่อ  $a_{22}^{(1)} \neq 0$  นำ  $a_{22}^{(1)}$ หารตลอดสมการย่อยที่ 2 จะได้ว่า

$$x_2 + \frac{a_{23}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}} \cdot x_3 + \frac{a_{24}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}} \cdot x_4 = \frac{y_2^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

กำหนดให้

$$b_{23} = \frac{a_{23}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

$$b_{24} = \frac{a_{24}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

$$g_2 = \frac{y_2^{(1)}}{a_{22}^{(1)}}$$

ดังนั้น สมการที่ ( ก.5 ) เขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23}^{(1)} \cdot x_3 + b_{24}^{(1)} \cdot x_4 &= g_2 \\ a_{32}^{(1)} \cdot x_2 + a_{33}^{(1)} \cdot x_3 + a_{34}^{(1)} \cdot x_4 &= y_3^{(1)} \\ a_{42}^{(1)} \cdot x_2 + a_{43}^{(1)} \cdot x_3 + a_{44}^{(1)} \cdot x_4 &= y_4^{(1)} \end{aligned} \right\} \quad (ก.6)$$

2.2 กำจัดตัวแปร  $x_2$  ของสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่(ก.6) โดยการคูณสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่(ก.6)ด้วย  $a_{32}^{(1)}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่(ก.6)จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (a_{33}^{(1)} - a_{32}^{(1)} \cdot b_{23}) \cdot x_3 + (a_{34}^{(1)} - a_{32}^{(1)} \cdot b_{24}) \cdot x_4 &= y_3^{(1)} - a_{32}^{(1)} \cdot g_2 \\ a_{33}^{(2)} \cdot x_3 + a_{34}^{(2)} \cdot x_4 &= y_3^{(2)} \end{aligned}$$

2.3 กำจัดตัวแปร  $x_2$  ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่(ก.6)โดยการคูณสมการย่อยที่ 2 ในสมการที่(ก.6) ด้วย  $a_{42}^{(1)}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่(ก.6) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (a_{43}^{(1)} - a_{42}^{(1)} \cdot b_{23}) \cdot x_3 + (a_{44}^{(1)} - a_{42}^{(1)} \cdot b_{24}) \cdot x_4 &= y_4^{(1)} - a_{42}^{(1)} \cdot g_2 \\ a_{43}^{(2)} \cdot x_3 + a_{44}^{(2)} \cdot x_4 &= y_4^{(2)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้ายที่สุด จะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร  $x_2$  ออกจากสมการย่อยที่ 3 และ 4 ในสมการที่ (ก.6) ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23} \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_4 &= g_2 \\ a_{33}^{(2)} \cdot x_3 + a_{34}^{(2)} \cdot x_4 &= y_3^{(2)} \\ a_{43}^{(2)} \cdot x_3 + a_{44}^{(2)} \cdot x_4 &= y_4^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.7})$$

3. กำจัดตัวแปร  $x_3$  ออกจากสมการย่อยที่ 4 ของสมการที่ (ก.7) โดยมีขั้นตอนเช่นเดิม ดังนี้

3.1 จากสมการย่อยที่ 3 ของสมการย่อยที่(ก.7)เมื่อ  $a_{33}^{(2)} \neq 0$  นำ  $a_{33}^{(2)}$  หารตลอดสมการย่อยที่ 3 จะได้ว่า

$$x_3 + \frac{a_{34}^{(2)}}{a_{33}^{(2)}} \cdot x_4 = \frac{y_3^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

กำหนดให้

$$b_{34} = \frac{a_{34}^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

$$g_3 = \frac{y_3^{(2)}}{a_{33}^{(2)}}$$

ดังนั้น สมการที่ (ก.7) เขียนใหม่ ได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23} \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34} \cdot x_4 &= g_3 \\ a_{43}^{(2)} \cdot x_3 + a_{44}^{(2)} \cdot x_4 &= y_4^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.8})$$

3.2 กำจัดตัวแปร  $x_3$  ของสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) โดยการ คูณสมการย่อยที่ 3 ในสมการที่ (ก.8) ด้วย  $a_{43}^{(2)}$  แล้วลบออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}(a_{44}^{(2)} - a_{43}^{(2)} \cdot b_{34}) \cdot x_4 &= y_4^{(2)} - a_{43}^{(2)} \cdot g_3 \\ a_{44}^{(3)} \cdot x_4 &= y_4^{(3)}\end{aligned}$$

ท้ายที่สุด จะได้ระบบสมการใหม่ หลังจากกำจัดตัวแปร  $x_3$  ออกจากสมการย่อยที่ 4 ในสมการที่ (ก.8) ดังนี้

$$\left. \begin{aligned}x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23} \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34} \cdot x_4 &= g_3 \\ a_{44}^{(3)} \cdot x_4 &= y_4^{(3)}\end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.9})$$

4. เมื่อ  $a_{44}^{(3)} \neq 0$  นำ  $a_{44}^{(3)}$  หารตลอดสมการย่อยที่ 4 ของสมการที่ (ก.9) จะได้ระบบสมการใหม่ดังนี้

$$\left. \begin{aligned}x_1 + b_{12} \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_4 &= g_1 \\ x_2 + b_{23} \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_4 &= g_2 \\ x_3 + b_{34} \cdot x_4 &= g_3 \\ x_4 &= g_4\end{aligned} \right\} \quad (\text{ก.10})$$

โดยที่  $g_4 = \frac{y_4^{(3)}}{a_{44}^{(3)}}$

ลักษณะของระบบสมการที่ ( ก.10 ) มีเมตริกซ์สัมประสิทธิ์เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมบน ซึ่งสามารถคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่า  $x_4, x_3, x_2$  และ  $x_1$  ตามลำดับได้โดยตรง และเป็นเซตคำตอบของสมการที่ ( ก.2 ) นอกจากนี้ การปรับเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ให้เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมล่างก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน

## ภาคผนวก ข

## โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณ โหลดไฟลด์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมกับ Optimal Power Flow ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยการเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า “BORLAND C++ version 5.02” บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และประมวลผลบนระบบคอส โปรแกรมดังกล่าวมีชื่อว่า “LOADFLOW.CPP” โดยมีรายละเอียดเป็นภาษาโปรแกรมดังนี้

```

/* Newton-Raphson using Y-bus in RECTANGULAR FORM */
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <ctype.h>
#include <complex.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#define N 69 /* Don't more than 35 buses && 50 elements */

float re_z[36][36],im_z[36][36],im_chg[36][36],E[36],angleE[36],
      P_Gen[36],Q_Gen[36],P_Load[36],Q_Load[36],Qmax[36],Qmin[36],ratio[51],
      shift[51],im_cap[36];
char type[51],sysname[8];
int p[51],q[51],bus,code[36],nline,ntrans,nelement;

void SOLVE(float A[N][N],float Y[N],int dd);
void error(char *message);
void readline(void);
void readbus(void);
void saveline(void);
void savebus(void);
void fromline(void);
void frombus(void);
void fromkey(void);
void fromdisk(void);
void calculate(void);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void showline(void);
void showbus(void);
void modify_line(void);
void modify_bus(void);
void menu(void);

void SOLVE(float A[N][N],float Y[N],int dd)
{int i,j,k;
float G[N],B[N][N];
i=1;
do
{
for(j=i;j<=dd;j++)
B[j][j]=A[j][j]/A[j][i];
G[i]=Y[i]/A[j][i];
for(j=i+1;j<=dd;j++)
{
for(k=i;k<=dd;k++)
B[j][k]=A[j][k]-A[j][i]*B[i][k];
Y[j]=Y[j]-A[j][i]*G[i];
}
for(j=1;j<=dd;j++)
for(k=1;k<=dd;k++)
A[j][k]=B[j][k];
i++;
} while(i<=dd);
for(i=1;i<=dd;i++)
A[i][0]=0.0;
for(i=dd;i>=1;i--)
{
for(j=i+1;j<=dd;j++)
A[i][0]=A[i][0]-B[i][j]*A[j][0];
A[i][0]+=G[i];
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----
void error(char *message)
{
    printf("Error: %s\n",message);
    exit(0);
}
//-----

void readline()
{
    int i;
    for(i=1;i<=nelement;i++)
    {
        clrscr();
        printf("-----");
        printf(" Elemen: | Type |Bus code| Impedance | Line charging | Tap |Phase shifting\n");
        printf(" No. | |(p ->q)| (p.u.) | (p.u.) |ratio| (degree)\n");
        printf("-----");
        gotoxy(5,5);
        printf("%d",i);
        gotoxy(13,5);
        scanf("%s",&type[i]);
        gotoxy(19,5);
        scanf("%d",&p[i]);
        gotoxy(21,5);
        printf("->");
        scanf("%d",&q[i]);
        gotoxy(28,5);
        scanf("%f",&re_z[p[i]][q[i]]);
        gotoxy(33,5);
        printf("+j**");
        scanf("%f",&im_z[p[i]][q[i]]);
        gotoxy(47,5);
        printf("j**");
        scanf("%f",&im_chg[p[i]][q[i]]);
        if(type[i]!='t')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ gotoxy(58,5);
  scanf("%f",&ratio[i]);
  gotoxy(71,5);
  scanf("%f",&shift[i]);
}
}
printf("-----\n");
saveline();
}
//-----
void readbus()
{
int i;
for(i=1;i<=bus;i++)
{
clrscr();
printf("*** System MVA Base : 100\n");
printf("*** Specified code for bus type ***\n");
printf("  PQ bus = 0      PV bus = 1      Slack bus = 2\n");
printf("-----\n");
printf("Bus Bus Volt Angle Generation Load Gen. Q limit(MVar) p.u.Shunt\n");
printf("No. type (p.u.) (degree) MW Mvar MW Mvar Qmax Qmin Susceptance\n");
printf("-----");
gotoxy(2,8);
printf("%d",i);
gotoxy(6,8);
scanf("%d",&code[i]);
gotoxy(10,8);
scanf("%f",&E[i]);
gotoxy(18,8);
scanf("%f",&angleE[i]);
if(code[i]!=2)
{ gotoxy(27,8);
  scanf("%f",&P_Gen[i]);
  if(code[i]==0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    gotoxy(33,2);
    scanf("%f",&C_Gen[i]);
}
}
gotoxy(39,8);
scanf("%f",&P_load[i]);
gotoxy(45,8);
scanf("%f",&C_load[i]);
if(code[i]==1)
{
    gotoxy(53,8);
    scanf("%f",&C_max[i]);
    gotoxy(62,8);
    scanf("%f",&C_min[i]);
}
gotoxy(71,8);
printf("j*");
scanf("%f",&im_cap[i]);
}
printf("-----");
savebus();
}
//-----

void saveline()
{
    FILE *fp;
    char temp[8];
    int i;
    strcpy(temp,sysname);strcat(temp, ".lin");
    fp= fopen (temp, "wb");
    if (fp == 0) error("Write Error in file name");
    {
        fwrite(&nline,sizeof(int), 1,fp);
        fwrite(&ntrans,sizeof(int), 1,fp);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fwrite(&nelement,sizeof(int),1,fp);
for(i=1;i<=nelement;i++)
{
    fwrite(&type[i],sizeof(char),1,fp);
    fwrite(&p[i],sizeof(int),1,fp);
    fwrite(&q[i],sizeof(int),1,fp);
    fwrite(&re_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&im_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&im_chg[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&ratio[i],sizeof(float),1,fp);
    fwrite(&shift[i],sizeof(float),1,fp);
}
}
fclose(fp);
}
//-----
void fromline()
{
    FILE *fp;
    char temp[8];
    int i;
    strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".lin");
    fp= fopen (temp, "rb");
    if (fp == 0) error("Write Error in file name");
    {
        fread(&nline,sizeof(int),1,fp);
        fread(&ntrans,sizeof(int),1,fp);
        fread(&nelement,sizeof(int),1,fp);
        for(i=1;i<=nelement;i++)
        {
            fread(&type[i],sizeof(char),1,fp);
            fread(&p[i],sizeof(int),1,fp);
            fread(&q[i],sizeof(int),1,fp);
            fread(&re_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
            fread(&im_z[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    fread(&im_chg[p[i]][q[i]],sizeof(float),1,fp);
    fread(&ratio[i],sizeof(float),1,fp);
    fread(&shift[i],sizeof(float),1,fp);
}
}
fclose(fp);
}
//-----
void savebus()
{
FILE *fp;
char temp[8];
int i;
strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".bus");
fp= fopen (temp, "wb");
if (fp == 0) error("Write Error in file name");
{
fwrite(&bus,sizeof(int),1,fp);
for(i=1;i<=bus;i++)
{
fwrite(&code[i],sizeof(int),1,fp);
fwrite(&E[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&angleE[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&P_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&Q_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&P_Load[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&Q_Load[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&Qmax[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&Qmin[i],sizeof(float),1,fp);
fwrite(&im_cap[i],sizeof(float),1,fp);
}
}
fclose(fp);
}
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void frombus()
{
FILE *fp;
char temp[8];
int i;
strcpy(temp,sysname);strcat(temp,".bus");
fp= fopen(temp, "rb");
if (fp == 0) error("Write Error in file name");
{
fread(&bus,sizeof(int),1,fp);
for(i=1;i<=bus;i++)
{
fread(&code[i],sizeof(int),1,fp);
fread(&E[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&angleE[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&P_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&Q_Gen[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&P_Load[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&Q_Load[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&Qmax[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&Qmin[i],sizeof(float),1,fp);
fread(&im_cap[i],sizeof(float),1,fp);
}
}
fclose(fp);
}
//-----

void fromkey()
{
clrscr();
printf("Number of lines = ");
scanf("%d",&nline);
printf("Number of transformers = ");
scanf("%d",&ntrans);
printf("Number of lines+transformers = ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

scanf("%d",&nelement);
printf("Number of Buses = ");
scanf("%d",&bus);
getline();
readbus();
}
//-----
void fromdisk()
{
    fromline();
    frombus();
}
//-----
void modify_line()
{
    int i,ok=0;
    char ch,choice;
    do
    { clrscr();
      printf("*** Modify Line and Transformer Data ***\n\n");
      printf("Do you want to modify data?(y or n): ");
      scanf("%s",&ch);
      ch=tolower(ch);
      if(ch=='y')
      { printf("Enter element NO. which you want to modify : ");
        scanf("%d",&i);
        printf("*** Correction Menu ***\n");
        printf("  [1] Element type\n");
        printf("  [2] Bus code (p)\n");
        printf("  [3] Bus code (q)\n");
        printf("  [4] Line impedance\n");
        printf("  [5] Line charging\n");
        printf("  [6] tap ratio\n");
        printf("  [7] Phase shifting\n\n");
        printf("*** Select choice : ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

scanf("%s",&choice);
switch(choice)
{ case '1' : { printf("Enter new element type : ");
               type[i]=getche();
               getch();
               } break;
  case '2' : { printf("Enter new bus code (p) : ");
               scanf("%d",&p[i]);
               } break;
  case '3' : { printf("Enter new bus code (q) : ");
               scanf("%d",&q[i]);
               } break;
  case '4' : { printf("Enter new line impedance : ");
               scanf("%f",&re_z[p[i]][q[i]]);
               gotoxy(34,15);
               printf("+j*");
               scanf("%f",&im_z[p[i]][q[i]]);
               } break;
  case '5' : { printf("Enter new line charging : j*");
               scanf("%f",&im_chg[p[i]][q[i]]);
               } break;
  case '6' : { printf("Enter new tap ratio : ");
               scanf("%f",&ratio[i]);
               } break;
  case '7' : { printf("Enter new phase shifting (degree) : ");
               scanf("%f",&shift[i]);
               } break;
}
}
saveline();
} else ok=1;
} while(ok==0);
} //Modify_line()
//-----
void modify_bus()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int i,ok=0;
char ch,choice;
do
{ clrscr();
printf("**** Modify Bus Data ****\n\n");
printf("Do you want to modify data?(y or n): ");
scanf("%s",&ch);
ch=tolower(ch);
if(ch=='y')
{ printf("Enter BUS NO. which you want to modify : ");
scanf("%d",&i);
printf("**** Correction Menu ****\n");
printf(" [1] Bus type\n");
printf(" [2] Per unit voltage magnitude\n");
printf(" [3] Voltage angle in degree\n");
printf(" [4] MW Generation\n");
printf(" [5] MVar Generation\n");
printf(" [6] MW Load\n");
printf(" [7] Mvar Load\n");
printf(" [8] Generator Q. limit(MVar)\n");
printf(" [9] p.u. Shunt Susceptance\n");
printf("**** Select choice : ");
scanf("%s",&choice);
switch(choice)
{ case '1': { printf(" PQ bus=0 PV bus=1 Slack bus=2\n");
printf("enter new bus type : ");
scanf("%d",&code[i]);
} break;
case '2': { printf("Enter new voltage magnitude in p.u. : ");
scanf("%f",&E[i]);
} break;
case '3': { printf("Enter new voltage angle in degree : ");
scanf("%f",&angleE[i]);
} break;
case '4': { printf("Enter new MW Generation : ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

scanf("%f",&P_Gen[i]);
} break;
case '5' : { printf("Enter new Mvar Generation : ");
scanf("%f",&Q_Gen[i]);
} break;
case '6' : { printf("Enter new MW Load : ");
scanf("%f",&P_Load[i]);
} break;
case '7' : { printf("Enter new Mvar Load : ");
scanf("%f",&Q_Load[i]);
} break;
case '8' : { printf("Enter new Generator Q. limit(MVar) :\n");
printf("Qmax = ");
scanf("%f",&Qmax[i]);
printf("Qmin = ");
scanf("%f",&Qmin[i]);
} break;
case '9' : { printf("Enter new p.u. Shunt Susceptance : j* ");
scanf("%f",&im_cap[i]);
} break;
}
savebus();
} else ok=1;
} while(ok==0);
} //modify_bus()
//-----
void showline()
{
int i,j;
fromline();
clrscr();
printf("\n          Line and Transformer Data \n\n");
printf("-----\n");
printf(" Element |Type| Bus code | Impedance | Line charging | Tap |Phase shifting\n");
printf(" No. | | (p→q) | (p.u.) | (p.u.) |ratio | (degree)\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("-----\n");
for(i=1;j<=nelement;i++)
{ j=i%10;
  gotoxy(5,(7+j));
  printf("%2d",i);
  gotoxy(13,(7+j));
  printf("%c",toupper(type[i]));
  gotoxy(17,(7+j));
  printf("%2d",p[i]);
  gotoxy(19,(7+j));
  printf("->");
  printf("%2d",q[i]);
  gotoxy(26,(7+j));
  printf("%.3f",re_z[p[i]][q[i]]);
  gotoxy(31,(7+j));
  printf("j*");
  printf("%.3f",im_z[p[i]][q[i]]);
  gotoxy(45,(7+j));
  printf("j*");
  printf("%.3f",im_chg[p[i]][q[i]]);
  if(type[i]=='t')
  { gotoxy(58,(7+j));
    printf("%.3f",ratio[i]);
    gotoxy(71,(7+j));
    printf("%.3f",shift[i]);
  }
  printf("\n");
  if(j==9)
  { printf("-----\n");
    printf(" Press any key !");
    getch();
    clrscr();
    printf("          Line and Transformer Data \n\n");
    printf("-----\n");
    printf(" Element |Type| Bus code | Impedance | Line charging | Tap |Phase shifting\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf(" No. | |(p->q) | (p.u.) | (p.u.) |ratio | (degree)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----");
printf(" Press any key !");
getch();
}
//-----

void showbus()
{
int i,j;
frombus();
clrscr();
printf("\n\n          Bus Data \n\n");
printf("**** System MVA Base : 100\n");
printf("**** Specified code for bus type ****\n");
printf("  PQ bus = 0      PV bus = 1      Slack bus = 2\n");
printf("-----\n");
printf("Bus Bus Volt Angle Generation Load Gen.Q limit(MVar) p.u.Shunt\n");
printf("No. type (p.u.) (degree) MW Mvar MW Mvar Qmax Qmin Susceptance\n");
printf("-----\n");
for(i=1;i<=bus;i++)
{ j=i%10;
gotoxy(1,11+j);
printf("%2d",i);
gotoxy(7,11+j);
printf("%d",code[i]);
gotoxy(11,11+j);
printf("%5.3f",E[i]);
gotoxy(18,11+j);
printf("%5.2f",angleE[i]);
if(code[i]!=2)
{ gotoxy(24,11+j);
printf("%6.2f",P_Gen[i]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(code[i]==0)
{
gotoxy(32,11+j);
printf("%f",Q_Gen[i]);
}
}
gotoxy(36,11+j);
printf("%.2f",P_Load[i]);
gotoxy(42,11+j);
printf("%.2f",Q_Load[i]);
if(code[i]==1)
{
gotoxy(50,11+j);
printf("%.2f",Qmax[i]);
gotoxy(57,11+j);
printf("%.2f",Qmin[i]);
}
gotoxy(68,11+j);
printf("%.4f\n",im_cap[i]);
if(j==9)
{ printf("-----\n");
printf(" Press any key !");
getch();
clrscr();
printf("\n          Bus Data \n\n");
printf("**** System MVA Base : 100\n");
printf("**** Specified code for bus type ***\n");
printf("  PQ bus = 0      PV bus = 1      Slack bus = 2\n");
printf("-----\n");
printf("Bus Bus Volt Angle Generation Load Gen.Q limit(MVar) p.u.Shunt\n");
printf("No. type (p.u.)(degree) MW MVar MW MVar Qmax Qmin Susceptance\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf(" Press any key !");
getch();
}
//-----void menu()
void menu()
{
int ok;
char select;
ok=0;
do /* Function Menu */
{
clrscr();
printf(" *** MAIN MENU ***\n\n");
printf(" [1] Show Line and Transformer Data\n");
printf(" [2] Show Bus Data\n");
printf(" [3] Modify Line and Transformer Data\n");
printf(" [4] Modify Bus Data\n");
printf(" [5] Load Flow Solution & Exit Program\n\n");
printf("Enter choice: ");
select=getche();
getch();
switch (select)
{
case '1' : { showline();ok=0; } break;
case '2' : { showbus();ok=0; } break;
case '3' : { modify_line();ok=0; } break;
case '4' : { modify_bus();ok=0; } break;
case '5' : ok=1; break;
}
}while(ok==0);
}
//-----
void calculate()
{
int c,d,h,i,j,s,t,k,l,m,n,z,check,checka;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float X[N][N],a,b,U,R,K,I[36],L[N],O[36],Z[68][69],C[N][N],D[N],H[36],F[N][N],
    max_ch_P[100],max_ch_Q[100],re_bus[36][36],im_bus[36][36],max_ch_V,
    e[36],f[36],toler_P,toler_Q,delta_P[36],delta_Q[36],P[N],Q[36],
    delta_e[36],delta_f[36],angleY[36][36],rt,pw[36],pwo[36],pt[36],pto[36],ac,bc;

char ch;
complex x;
printf("\nSpecified tolalances for convergence :\n");
printf(" Per unit tolerance for the changes in the real bus powers = ");
scanf("%f",&toler_P);
printf(" Per unit tolerance for the changes in the reactive bus powers = ");
scanf("%f",&toler_Q);
printf("Press any key to continue.\n");
getch();
for(i=1;i<=nelement;i++)
{
    type[i]=tolower(type[i]);
    if(type[i]=='t')
        shift[i]=shift[i]*(M_PI/180);
}
for(i=1;i<=bus;i++)
for(j=1;j<=bus;j++)
{ re_bus[i][j]=0.0;
  im_bus[i][j]=0.0;
}
for(i=1;i<=bus;i++)
for(j=1;j<=nelement;j++)
if(i==p[j]||i==q[j])
{ im_bus[i][i]=im_chg[p[j]][q[j]]+im_bus[i][i];
  a=re_z[p[j]][q[j]]/(re_z[p[j]][q[j]]*re_z[p[j]][q[j]]+im_z[p[j]][q[j]]*im_z[p[j]][q[j]]);
  re_bus[i][i]=re_bus[i][i]+a;
  a=(-1)*im_z[p[j]][q[j]]/(re_z[p[j]][q[j]]*re_z[p[j]][q[j]]+im_z[p[j]][q[j]]*im_z[p[j]][q[j]]);
  im_bus[i][i]=im_bus[i][i]+a;
}
for(i=1;i<=nelement;i++)
{ a=(-1)*re_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

re_bus[p[i]][q[i]]=a;
a=im_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
im_bus[p[i]][q[i]]=a;
re_bus[q[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][q[i]];
im_bus[q[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][q[i]];
}
for(i=1;i<=nelement;i++)
if(type[i]=='t')
{
a=(-1)*re_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
re_bus[p[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][p[i]]+a;
a=im_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
im_bus[p[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][p[i]]+a;
a=ratio[i]*cos(shift[i]);
b=ratio[i]*sin(shift[i]);
x=complex(a,b);
a=norm(x);
a=1.00/a;
b=re_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
re_bus[p[i]][p[i]]=re_bus[p[i]][p[i]]+a*b;
b=(-1)*im_z[p[i]][q[i]]/(re_z[p[i]][q[i]]*re_z[p[i]][q[i]]+im_z[p[i]][q[i]]*im_z[p[i]][q[i]]);
im_bus[p[i]][p[i]]=im_bus[p[i]][p[i]]+a*b;
a=re_bus[q[i]][p[i]]*real(x)+im_bus[q[i]][p[i]]*imag(x);
a=a/norm(x);
re_bus[q[i]][p[i]]=a;
a=im_bus[q[i]][p[i]]*real(x)-re_bus[q[i]][p[i]]*imag(x);
a=a/norm(x);
im_bus[q[i]][p[i]]=a;
a=re_bus[p[i]][q[i]]*real(x)-im_bus[p[i]][q[i]]*imag(x);
a=a/norm(x);
re_bus[p[i]][q[i]]=a;
a=im_bus[p[i]][q[i]]*real(x)+re_bus[p[i]][q[i]]*imag(x);
a=a/norm(x);
im_bus[p[i]][q[i]]=a;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//————— Capacitor Bank or Reactor —————>
for(i=1;i<=bus;i++)
  if(im_cap[i]!=0.0)
    im_bus[i][i]=im_bus[i][i]+im_cap[i];
for(i=1;i<=bus;i++)
{
  angleE[i]=angleE[i]*(M_PI/180.0);
  e[i]=E[i]*cos(angleE[i]);
  f[i]=E[i]*sin(angleE[i]);
  if(code[i]!=2)
  {
    P_Gen[i]=P_Gen[i]/100.0;
    if(code[i]==0)
    {
      Q_Gen[i]=Q_Gen[i]/100.0;
    }
  }
  P_Load[i]=P_Load[i]/100.0;
  Q_Load[i]=Q_Load[i]/100.0;
  if(code[i]==1)
  {
    Qmax[i]=Qmax[i]/100.0;
    Qmin[i]=Qmin[i]/100.0;
  }
}
k=0;
check=1;
do
{ if(k==100)
  {
    clrscr();
    printf("\n      **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
    printf("—————\n");
    printf("Iteration| Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum APPARENT
Power\n");
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches (x1.0E-2) | Mismatches (x1.0E-2)\n");
printf("-----\n");
for(i=0;i<=k;i++)
{
    j=(i+1)%10;
    gotoxy(5,6+j);
    printf("%d",i);
    gotoxy(15,6+j);
    printf("%10.4f\n",max_ch_P[i]*100.0);
    gotoxy(37,6+j);
    printf("%10.4f\n",max_ch_Q[i]*100.0);
    gotoxy(59,6+j);
    a=max_ch_P[i]*max_ch_P[i]+max_ch_Q[i]*max_ch_Q[i];
    b=sqrt(a);
    printf("%10.4f\n",b*100.0);
    if(j==9)
    {
        printf("-----\n");
        printf("Press any key to continue.");
        getch();
        clrscr();
        printf("      **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
        printf("-----\n");
        printf("Iteration| Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum APPARENT
Power\n");
        printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches (x1.0E-2)\n");
        printf("-----\n");
    }
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.\n");
getch();
printf("**** Solution does not convergence ****\n");
printf("**** Press any key to EXIT PROGRAM ****");
getch();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

exit(0);
}
max_ch_P[k]=0;
max_ch_Q[k]=0;
max_ch_V=0;
for(i=2;i<=bus;i++)
{
if(code[i]==1)
{
Q[i]=0.0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{
Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
}
Q_Gen[i]=Q[i]+Q_Load[i];
if(Q_Gen[i]>Qmax[i])
{
code[i]=0;
Q_Gen[i]=Qmax[i];
}
else if(Q_Gen[i]<Qmin[i])
{
code[i]=0;
Q_Gen[i]=Qmin[i];
}
}
P[i]=0;
if(code[i]==0)
Q[i]=0;
else Q[i]=e[i]*e[i]+f[i]*f[i];
for(j=1;j<=bus;j++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

P[i]=P[i]+e[i]*e[j]*re_bus[i][j];
P[i]=P[i]-e[i]*f[j]*im_bus[i][j];
P[i]=P[i]+f[i]*f[j]*re_bus[i][j];
P[i]=P[i]+f[i]*e[j]*im_bus[i][j];
if(code[i]==0)
{
Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
}
}
delta_P[i]=P_Gen[i]-P_Load[i]-P[i];
a=delta_P[i];
if(a<0)
a=-a;
if(a>max_ch_P[k])
max_ch_P[k]=a;
if(code[i]==0)
{
delta_Q[i]=Q_Gen[i]-Q_Load[i]-Q[i];
b=delta_Q[i];
if(b<0)
b=-b;
if(b>max_ch_Q[k])
max_ch_Q[k]=b;
}
else
{
delta_Q[i]=E[i]*E[i]-Q[i];
a=delta_Q[i];
if(a<0)
a=-a;
if(a>max_ch_V)
max_ch_V=a;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
if(max_ch_P[k]<=toler_P && max_ch_Q[k]<=toler_Q && max_ch_V<=0.0001)
{ check=0;
//----- Calculate line flows -----
clrscr();
for(i=2;i<=bus;i++)
if(code[i]==0)
{
a=e[i]*e[i]+f[i]*f[i];
E[i]=sqrt(a);
b=f[i]/e[i];
angleE[i]=atan(b);
angleE[i]=angleE[i]*(180.0/M_PI);
}
else
{
b=f[i]/e[i];
angleE[i]=atan(b);
angleE[i]=angleE[i]*(180.0/M_PI);
}
angleE[1]=angleE[1]*(180.0/M_PI);
printf("      *** Newton-Raphson using Y-BUS ***\n");
printf("      **** Line Flows Result ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (p-> q)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
if(type[t]!='I')
{
printf("      %2d->%2d",p[t],q[t]);
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=complex(e[p[t]],-f[p[t]])*(complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(e[q[t]],f[q[t]]))/complex(a,b);
b=im_chg[p[t]][q[t]];
x=x+complex(e[p[t]],-f[p[t]])*complex(e[p[t]],f[p[t]])*complex(0.0,b);
X[p[t]][q[t]]=real(x);
printf("      %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("      **** Line Flows Result ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (p-> q)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("      **** Line Flows Result ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (q-> p)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
if(type[t]=='l')
{
printf("      %2d->%2d",q[t],p[t]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*(complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]]))/complex(a,b);
b=im_chg[p[t]][q[t]];
x=x+complex(e[q[t]],-f[q[t]])*complex(e[q[t]],f[q[t]])*complex(0.0,b);
X[q[t]][p[t]]=real(x);
printf("      %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
    printf("-----\n");
    printf("Press any key to continue. ");
    getch();
    clrscr();
    printf("      **** Line Flows Result ****\n");
    printf("-----\n");
    printf("      Bus code          Line flows\n");
    printf("      (q-> p)          MW          Mvar\n");
    printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power losses in lines -----
clrscr();
printf("      **** Power Losses in Lines ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power loss in line\n");
printf("      (p-> q)          (MW)\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(type[t]=='l')
{
printf("      %2d-->%2d",p[t],q[t]);
printf("              ");
pw[t]=100.0*(X[p[t]][q[t]]+X[q[t]][p[t]]);
printf("%9.4fn",pw[t]);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("          **** Power Losses in Lines ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power loss in line\n");
printf("      (p--> q)          (MW)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power flows in transformers -----
clrscr();
printf("          **** Power Flows in transformers ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power Flows in Transformer\n");
printf("      (p--> q)          MW          Mvar\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]=='t')
{
printf("      %2d-->%2d",p[t],q[t]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a=ratio[t]*cos(shift[t]);
b=ratio[t]*sin(shift[t]);
x=complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(a,b)*complex(e[q[t]],f[q[t]]);
x=x/norm(complex(a,b));
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=x/complex(a,b);
x=complex(e[p[t]],-f[p[t]])*x;
X[p[t]][q[t]]=real(x);
printf("          %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]!='t')
{
printf("      %2d->%2d",q[t],p[t]);
a=ratio[t]*cos(shift[t]);
b=ratio[t]*sin(shift[t]);
x=complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]])/complex(a,b);
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=x/complex(a,b);
x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*x;
X[q[t]][p[t]]=real(x);
printf("          %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power losses in transformers -----
clrscr();
printf("          **** Power Losses in Transformers ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power loss in Transformer\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("      (p-> q)                (MW)\n");
printf("-----\n");
for(j=1;j<=nelement;j++)
if(type[j]!='t')
{
printf("      %2d->%2d",p[j],q[j]);
printf("      ");
pt[j]=100.0*X[p[j]][q[j]]+X[q[j]][p[j]];
printf("%9.4f\n",pt[j]);
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.\n");
getch();
P[1]=0.0;
Q[1]=0.0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{
P[1]=P[1]+e[1]*e[j]*re_bus[1][j];
P[1]=P[1]-e[1]*f[j]*im_bus[1][j];
P[1]=P[1]+f[1]*f[j]*re_bus[1][j];
P[1]=P[1]+f[1]*e[j]*im_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]+f[1]*e[j]*re_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-f[1]*f[j]*im_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-e[1]*f[j]*re_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-e[1]*e[j]*im_bus[1][j];
}
P_Gen[1]=P[1]+P_Load[1];
Q_Gen[1]=Q[1]+Q_Load[1];
for(i=2;i<=bus;i++)
if(code[i]==1)
{
Q[i]=0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{
Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
}
Q_Gen[i]=Q[i]+Q_Load[i];
}
clrscr();
printf("\n          **** Load Flow Solution ****\n");
printf("-----\n");
printf(" Bus   Bus   Final bus voltage   Generation   Load\n");
printf(" No.  type  |E|(p.u.) angle(degree)   MW   Mvar   MW   Mvar\n");
printf("-----\n");
for(i=1;i<=bus;i++)
{
j=i%10;
gotoxy(3,6+j);
printf("%2d",i);
gotoxy(12,6+j);
printf("%d",code[i]);
gotoxy(19,6+j);
printf("%.5f",E[i]);
gotoxy(30,6+j);
printf("%.5f",angleE[i]);
gotoxy(45,6+j);
printf("%.2f",P_Gen[i]*100.0);
gotoxy(52,6+j);
printf("%.2f",Q_Gen[i]*100.0);
gotoxy(63,6+j);
printf("%.2f",P_Load[i]*100.0);
gotoxy(70,6+j);
printf("%.2f\n",Q_Load[i]*100.0);
if(j==9)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

getch();
clrscr();
printf("          **** Load Flow Solution ****\n");
printf("-----\n");
printf(" Bus   Bus   Final bus voltage   Generation   Load\n");
printf(" No.  type  |E|(p.u.) angle(degree)  MW   Mvar   MW   Mvar\n");
printf("-----\n");
}
}

printf("-----\n");
printf("**** Total number of iteration = %d ****\n",k+1);
printf("**** Maximum Iteration =100 ****\n");
printf("**** Remarks : 0 = PQ bus\t1 = PV bus\t2 = Slack bus ****\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("\n          **** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
printf("-----\n");
printf("Iteration| Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum
APPARENT Power\n");
printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches(x1.0E-
2)\n");

printf("-----\n");
for(i=0;i<=k;i++)
{
j=(i+1)%10;
gotoxy(5,6+j);
printf("%d",i);
gotoxy(15,6+j);
printf("%10.4f\n",max_ch_P[i]*100.0);
gotoxy(37,6+j);
printf("%10.4f\n",max_ch_Q[i]*100.0);
gotoxy(59,6+j);
a=max_ch_P[i]*max_ch_P[i]+max_ch_Q[i]*max_ch_Q[i];
b=sqrt(a);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("%.4f\n",b*100.0);
if(j==9)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("**** Maximum Power Mismatches for each iteration ****\n");
printf("-----\n");
printf("Iteration|Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum
APPARENT Power\n");
printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches
(x1.0E-2)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
//-----Optimal Power Flow-----
z=0;
checka=1;
for (i=2;i<=bus;i++)
{ if(code[i]==0)
{ a=e[i]*e[i]+f[i]*f[i];
E[i]=sqrt(a);
b=f[i]/e[i];
angleE[i]=atan(b);
}
else
{ b=f[i]/e[i];
angleE[i]=atan(b);
}
}
for (i=1;i<=bus;i++)
for (j=1;j<=bus;j++)
{ b=im_bus[i][j]/re_bus[i][j];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        angleY[i][j]=atan(b);
    }
do
{ if (z==200)
    { printf("*** Solution does not Convergence ***\n");
      printf("*** Press any key to EXIT PROGRAM ***");
      getch();
      exit(0);
    }

    //-----Diagonal elements of jacobian Matrix by dg/dx (OPF)-----
    for (i=2;i<=bus;i++)
    { t=i-1;
      C[t][t]=0;
      for (j=1;j<=bus;j++)
      if (i!=j)
          C[t][t]=C[t][t]+((-1)*sqrt(E[i]*E[i])*sqrt(E[j]*E[j]))*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus
[i][j]*im_bus[i][j]))*sin(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
    }
    l=0;
    m=0;
    for (i=2;i<=bus;i++)
    { s=i-1;
      t=bus+i-2+;
      if (code[i]==0)
      { C[s][t]=2*sqrt(E[i]*E[i])*sqrt((re_bus[i][i]*re_bus[i][i])+(im_bus[i][i]*im_bus[i]
[i]))*cos
(angleY[i][i]);
      for (j=1;j<=bus;j++)
      if (i!=j)
          C[s][t]=C[s][t]+(sqrt(E[j]*E[j]))*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i]
[j]))*cos(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
      }
      else { l=0;
            m=m+1;
            l=l-m;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
l=0;
m=0;
for (i=2;i<=bus;i++)
{ s=bus+i-2+l;
t=i-1;
if (code[i]==0)
{C[s][t]=0;
for (j=1;j<=bus;j++)
if (i!=j)
C[s][t]=C[s][t]+(sqrt(E[i]*E[i])*sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*cos(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
}
else { l=0;
m=m+1;
l=l-m;
}
}
l=0;
m=0;
for (i=2;i<=bus;i++)
{ s=bus+i-2+l;
if (code[i]==0)
{ C[s][s]=(-2)*sqrt(E[i]*E[i])*sqrt((re_bus[i][i]*re_bus[i][i])+(im_bus[i][i]*im_bus[i][i]))*sin
(angleY[i][i]);
for (j=1;j<=bus;j++)
if (i!=j)
C[s][s]=C[s][s]+(sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*sin
(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
}
else { l=0;
m=m+1;
l=l-m;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ----- off-Diagonal elements of jacobian Matrix by dg/dx (OPF) -----
for(i=2;i<=bus;i++)
  for(j=2;j<=bus;j++)
    if(i!=j)
      { s=i-1;
        t=j-1;
        C[s][t]=sqrt(E[i]*E[i])*sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j]+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*sin(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
      }
for(i=2;i<=bus;i++)
  { s=i-1;
    c=0;
    a=0;
    if(code[i]==1)
      for(j=2;j<=bus;j++)
        { t=bus+j-2+a;
          if(code[j]==0)
            { if(i!=j)
              C[s][t]=sqrt(E[i]*E[i])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j]+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*sin(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
            }
          else { a=0;
                c=c+1;
                a=a-c;
              }
            }
        }
    }
a=0;
c=0;
for(j=2;j<=bus;j++)
  { t=j-1;
    if(code[j]==0)
      for(i=2;i<=bus;i++)
        { s=bus+i-2+a;
          if(code[i]==0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ if(i!=j)
  C[s][t]=-sqrt(E[i]*E[i])*sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*cos(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]);
}
else { a=0;
      c=c+1;
      a=a-c;
    }
}
}

//-----Diagonal elements of jacobian Matrix by dg/du (OPF)-----
l=0;
m=0;
for (i=1;i<=bus;i++)
{ s=i-1;
  t=bus+i-2+l;
  if (code[i]==1)
  { Z[s][t]=2*sqrt(E[i]*E[i])*sqrt((re_bus[i][i]*re_bus[i][i])+(im_bus[i][i]*im_bus[i][i]))*cos
(angleY[i][i]);
    for (j=1;j<=bus;j++)
    if (i!=j)
      Z[s][t]=Z[s][t]+(sqrt(E[i]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[i][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*cos
(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]));
    }
  else { l=0;
        m=m+1;
        l=l-m;
      }
}
}

//-----off-Diagonal elements of jacobian Matrix by dg/du (OPF)-----
l=-2;
for (i=1;i<=bus;i++)
if(i==bus)
  n=3+l;
else { m=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        m=m+1;
        l=l-m;
    }
    for (i=2;i<=bus;i++)
    { l=0;
        m=0;
        for (j=1;j<=bus;j++)
        { s=i-1;
            t=bus+j-2+l+n;
            if (code[j]!=0)
            { if (i!=j)
                Z[s][t]=sqrt(E[i]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[j][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*cos(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]);
            }
            else { l=0;
                m=m+1;
                l=l-m;
            }
        }
    }
    c=0;
    d=0;
    for (i=2;i<=bus;i++)
    { l=0;
        m=0;
        if(code[i]==0)
        { for (j=1;j<=bus;j++)
            { s=bus+i-2+c;
                t=bus+j-2+l+n;
                if (code[j]!=0)
                { if (i!=j)
                    Z[s][t]=sqrt(E[i]*E[j])*sqrt((re_bus[i][j]*re_bus[j][j])+(im_bus[i][j]*im_bus[i][j]))*sin(angleE[i]-angleE[j]-angleY[i][j]);
                }
                else { l=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        m=m+1;
        l=l-m;
    }
    }
    }
    else { c=0;
        d=d+1;
        c=c-d;
    }
}

//-----off-Diagonal elements of jacobian Matrix by df/dx (OPF)-----
t=1;
for (j=2;j<=bus;j++)
{ D[t]=sqrt(E[1]*E[1])*sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[1][j]*re_bus[1][j]+(im_bus[1][j]*im_bus
[1][j]))*sin(angleE[1]-angleE[j]-angleY[1][j]));
    t=t+1;
}
t=bus;
for (j=2;j<=bus;j++)
if (code[j]==0)
{ D[t]=sqrt(E[1]*E[1])*sqrt((re_bus[1][j]*re_bus[1][j]+(im_bus[1][j]*im_bus[1][j]))*cos
(angleE[1]-angleE[j]-angleY[1][j]));
    t=t+1;
}
//-----Diagonal elements of jacobian Matrix by df/du (OPF)-----
H[1]=2*sqrt(E[1]*E[1])*sqrt((re_bus[1][1]*re_bus[1][1]+(im_bus[1][1]*im_bus[1]
[1]))*cos(angleY[1][1]));
for(j=2;j<=bus;j++)
H[1]=H[1]+(sqrt(E[j]*E[j])*sqrt((re_bus[1][j]*re_bus[1][j]+(im_bus[1][j]*im_bus[1]
[j]))*cos(angleE[1]-angleE[j]-angleY[1][j]));
//-----off-Diagonal elements of jacobian Matrix by df/du (OPF)-----
t=2;
for (j=2;j<=bus;j++)
if (code[j]==1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    { H[t]=sqrt(E[1]*E[1])*sqrt((re_bus[1][j]*re_bus[1][j]+(im_bus[1][j]*im_bus[1][j]))*cos
(angleE[1]-angleE[j]-angleY[1][j]));
    t=t+1;
}
n=0;
for (i=2;i<=bus;i++)
{ if (code[i]==0)
    n=n+2;
  else
    n=n+1;
}
//-----
for (i=1;i<=n;i++)
for (j=1;j<=n;j++)
  C[i][j]=C[j][i];
for (j=1;j<=n;j++)
for (i=1;i<=n;i++)
  F[i][j]=0;
for (i=1;i<=n;i++)
  F[i][i]=1;
for (j=1;j<=n;j++)
{ K=0;
  for (i=j;i<=n;i++)
    { R=C[i][j]*C[j][i];
      if (R>K)
        h=i;
      if (R>K)
        K=R;
    }
  if (j!=h)
    for (i=1;i<=n;i++)
      { R=C[j][i];
        U=F[j][i];
        C[j][i]=C[h][i];
        F[j][i]=F[h][i];
      }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    C[h][i]=R;
    F[h][i]=U;
}
R=C[j][i];
for (i=1;i<=n;i++)
{ C[j][i]=C[j][i]/K;
  F[j][i]=F[j][i]/K;
}
for (i=1;i<=n;i++)
{ if (i!=j)
  R=C[i][j];
  for (l=1;l<=n;l++)
  { C[i][l]=C[i][l]-(R*C[j][l]);
    F[i][l]=F[i][l]-(R*F[j][l]);
  }
}
for (i=1;i<=n;i++)
{ L[i]=0;
  for (j=1;j<=n;j++)
  L[i]=L[i]+(F[i][j]*D[j]);
}
for (i=1;i<=n;i++)
L[i]=(-1)*L[i];
m=0;
for(i=1;i<=bus;i++)
if (code[i]!=0)
m=m+1;
for (i=1;i<=m;i++)
for (j=1;j<=n;j++)
Z[i][j]=Z[j][i];
t=1;
for(i=1;i<=bus;i++);
if(code[i]!=0)
{ L[t]=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(j=1;j<=n;j++)
I[t]=I[t]+(Z[t][j]*L[j]);
t=t+1;
};
t=1;
for (i=1;i<=bus;i++)
if(code[i]!=0)
{ O[t]=H[t]+I[t];
t=t+1;
}
c=0;
for (i=1;i<=t-1;i++)
{ if (O[i]<=0.1)
c=c+0;
else c=c+1;
}
if (c==0)
{ checka=0;
//----- Calculate line flows (OPF)-----
clrscr();
for(i=1;i<=bus;i++)
angleE[i]=angleE[i]*(180.0/M_PI);
printf("      **** Optimal Power Flow ****\n");
printf("      **** Line Flows Result (OPF) ****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (p-> q)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
if(type[t]=='l')
{
printf("      %2d->%2d",p[t],q[t]);
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=complex(e[p[t]],-f[p[t]]*(complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(e[q[t]],f[q[t]]))/complex(a,b);
b=im_chg[p[t]][q[t]];
x=x+complex(e[p[t]],-f[p[t]])*complex(e[p[t]],f[p[t]])*complex(0.0,b);
X[p[t]][q[t]]=real(x);
printf("      %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("      **** Line Flows Result (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (p--> q)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("      **** Line Flows Result (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code      Line flows\n");
printf("      (q--> p)      MW      Mvar\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{
if(type[t]=='l')
{
printf("      %2d-->%2d",q[t],p[t]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*(complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]]))/complex(a,b);
b=im_chg[p[t]][q[t]];
x=x+complex(e[q[t]],-f[q[t]])*complex(e[q[t]],f[q[t]])*complex(0.0,b);
X[q[t]][p[t]]=real(x);
printf("          %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
printf("          %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
j=t%10;
if(j==0)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("      **** Line Flows Result (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Line flows\n");
printf("      (q-> p)          MW          Mvar\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power losses in lines (OPF) -----
clrscr();
printf("      **** Power Losses in Lines (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power loss in line\n");
printf("      (p-> q)          (MW)\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(type[t]=='l',
{
printf("      %2d-->%2d",p[t],q[t]);
printf("          ");
pwo[t]= 100.0*(X[p[t]][q[t]]+X[q[t]][p[t]]);
printf("%9.4f",pwo[t]);
}
i=i+1;
j=t%10;
if(j==0)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
clrscr();
printf("**** Power Losses in Lines (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power loss in line\n");
printf("      (p-> q)          (MW)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power flows in transformers (OPF) -----
clrscr();
printf("          **** Power Flows in transformers (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("      Bus code          Power Flows in Transformer\n");
printf("      (p-> q)          MW          Mva\n");
printf("-----\n");
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]=='t')
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("      %2d->%2d",p[t],q[t]);
a=ratio[t]*cos(shift[t]);
b=ratio[t]*sin(shift[t]);
x=complex(e[p[t]],f[p[t]])-complex(a,b)*complex(e[q[t]],f[q[t]]);
x=x/norm(complex(a,b));
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=x/complex(a,b);
x=complex(e[p[t]],-f[p[t]])*x;
X[p[t]][q[t]]=real(x);
printf("      %9.4f",X[p[t]][q[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
for(t=1;t<=nelement;t++)
if(type[t]=='t')
{
printf("      %2d->%2d",q[t],p[t]);
a=ratio[t]*cos(shift[t]);
b=ratio[t]*sin(shift[t]);
x=complex(e[q[t]],f[q[t]])-complex(e[p[t]],f[p[t]])/complex(a,b);
a=re_z[p[t]][q[t]];
b=im_z[p[t]][q[t]];
x=x/complex(a,b);
x=complex(e[q[t]],-f[q[t]])*x;
X[q[t]][p[t]]=real(x);
printf("      %9.4f",X[q[t]][p[t]]*100.0);
printf("      %9.4f\n",-imag(x)*100.0);
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue. ");
getch();
//----- Calculate power losses in transformers (OPF) -----
clrscr();
printf("      **** Power Losses in Transformers (OPF)****\n");
printf("-----\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("      Bus code          Power loss in Transformer\n");
printf("      (p->q)                (MW)\n");
printf("-----\n");
for(j=1;j<=nelement;j++)
if(type[j]=='1')
{
printf("      %2d->%2d",p[j],q[j]);
printf("      ");
pto[j]=100.0*X[p[j]][q[j]]+X[q[j]][p[j]];
printf("%9.4f\n",pto[j]);
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.\n");
getch();
P[1]=0.0;
Q[1]=0.0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{
P[1]=P[1]+e[1]*e[j]*re_bus[1][j];
P[1]=P[1]-e[1]*f[j]*im_bus[1][j];
P[1]=P[1]+f[1]*f[j]*re_bus[1][j];
P[1]=P[1]+f[1]*e[j]*im_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]+f[1]*e[j]*re_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-f[1]*f[j]*im_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-e[1]*f[j]*re_bus[1][j];
Q[1]=Q[1]-e[1]*e[j]*im_bus[1][j];
}
P_Gen[1]=P[1]+P_Load[1];
Q_Gen[1]=Q[1]+Q_Load[1];
for(i=2;i<=bus;i++)
if(code[i]==1)
{
Q[i]=0;
for(j=1;j<=bus;j++)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Q[i]=Q[i]+f[i]*e[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-f[i]*f[j]*im_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*f[j]*re_bus[i][j];
Q[i]=Q[i]-e[i]*e[j]*im_bus[i][j];
}
Q_Gen[i]=Q[i]+Q_Load[i];
}
clrscr();
printf("\n          **** Load Flow Solution (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf(" Bus   Bus   Final bus voltage   Generation   Load\n");
printf(" No.  type  |E|(p.u.) angle(degree)   MW   Mvar   MW   Mvar\n");
printf("-----\n");
for(i=1;i<=bus;i++)
{
j=i%10;
gotoxy(3,6+j);
printf("%2d",i);
gotoxy(12,6+j);
printf("%d",code[i]);
gotoxy(19,6+j);
printf("%8.5f",E[i]);
gotoxy(30,6+j);
printf("%9.5f",angleE[i]);
gotoxy(45,6+j);
printf("%7.2f",P_Gen[i]*100.0);
gotoxy(52,6+j);
printf("%7.2f",Q_Gen[i]*100.0);
gotoxy(63,6+j);
printf("%7.2f",P_Load[i]*100.0);
gotoxy(70,6+j);
printf("%7.2f\n",Q_Load[i]*100.0);
if(j==9)
{
printf("-----\n");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("          **** Load Flow Solution (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf(" Bus   Bus   Final bus voltage   Generation   Load\n");
printf(" No.  type  |E|(p.u.) angle(degree)   MW   Mvar   MW   Mvar\n");
printf("-----\n");
}
}

printf("-----\n");
printf("**** Total number of iteration = %d ****\n",k+1);
printf("**** Maximum Iteration =100 ****\n");
printf("**** Remarks : 0 = PQ bus\t1 = PV bus\t2 = Slack bus ****\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("\n          **** Maximum Power Mismatches for each iteration (OPF)****\n");
printf("-----\n");
printf("Iteration| Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum
APPARENT Power\n");
printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2)| Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches(x1.0E-
2)\n");
printf("-----\n");
for(i=0;i<=k;i++)
{
j=(i+1)%10;
gotoxy(5,6+j);
printf("%d",i);
gotoxy(15,6+j);
printf("%10.4f\n",max_ch_P[i]*100.0);
gotoxy(37,6+j);
printf("%10.4f\n",max_ch_Q[i]*100.0);
gotoxy(59,6+j);
a=max_ch_P[i]*max_ch_P[i]+max_ch_Q[i]*max_ch_Q[i];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b=sqrt(a);
printf("%10.4f\n",b*100.0);
if(j==9)
{
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
clrscr();
printf("**** Maximum Power Mismatches for each iteration (OPF) ****\n");
printf("-----\n");
printf("Iteration|Maximum REAL Power|Maximum REACTIVE Power|Maximum
APPARENT Power\n");
printf(" Number |Mismatches(x1.0E-2| Mismatches(x1.0E-2) | Mismatches
(x1.0E-2)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
//-----Power losses in lines comparison-----
clrscr();
printf("**** Power losses in lines comparison ****\n");
printf("-----\n");
printf("Bus code   Power losses in lines   Power losses in lines(OPF)\n");
printf(" (p->q)   By Newton Raphson(MW)       By Optimal Power Flow(MW)\n");
printf("-----\n");
for(i=1;i<=nelement;i++)
if(type[i]!='l')
{j=i%10;
printf("%2d->%2d",p[i],q[i]);
printf("    %9.4f          %9.4f\n",pw[i],pwo[i]);
if(j==9)
{printf("-----\n");
printf("Press any key!");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

getch();
clrscr();
printf("      **** Power losses in lines comparison ****\n");
printf("-----\n");
printf("Bus code   Power losses in lines      Power losses in lines(OPF)\n");
printf(" (p->q)   By Newton Raphson(MW)      By Optimal Power Flow(MW)\n");
printf("-----\n");
}
}
printf("-----\n");
a=0;b=0;
for(i=1;i<=nelement;i++)
{
a=a+pw[i];
b=b+pwo[i];
}
printf("Total Loss");
printf("   %9.4f           %9.4f\n",a,b);
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
//-----Power losses in transformers comparison-----
clrscr();
printf("      **** Power losses in transformers comparison ****\n");
printf("-----\n");
printf("Bus code   Power losses in transformers   Power losses in transformers\n");
printf(" (p->q)   By Newton Raphson(MW)      By Optimal Power Flow(MW)\n");
printf("-----\n");
z=1;
for(i=1;i<=nelement;i++)
if(type[i]=='t')
{j=z%10;
printf("%2d->%2d",p[i],q[i]);
printf("      %9.4f           %9.4f\n",pt[i],pto[i]);
if(j==9)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{printf("-----\n");
printf("Press any key!");
getch();
clrscr();
printf("**** Power losses in transformers comparison ****\n");
printf("-----\n");
printf("Bus code   Power losses in transformers   Power losses in transformers\n");
printf(" (p->q)     By Newton Raphson(MW)       By Optimal Power Flow(MW)\n");
printf("-----\n");
}
z=z+1;
}
printf("-----\n");
ac=0,bc=0;
for(i=1;i<=nelement;i++)
{
ac=ac+pt[i];
bc=bc+pto[i];
}
printf("Total Loss");
printf("      %9.4f      %9.4f\n",ac,bc);
printf("-----\n");
printf("Press any key to continue.");
getch();
//-----
clrscr();
printf("-----\n");
printf("  Total losses      Newton Raphson(MW)   Optimal Power Flow(MW)\n");
printf("-----\n");
printf("Total losses in line");
printf("      %9.4f      %9.4f\n",a,b);
printf("Total losses in transformers");
printf("      %9.4f      %9.4f\n",ac,bc);
printf("-----\n");
printf("Total losses(line+transformers)");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("  %9.4f          %9.4f\n",a+ac,b+bc);
printf("-----\n\n");
printf("      *****Total losses decrease = ");
printf(" %9.4f", (a+ac)-(b+bc));
printf(" MW*****\n");
printf("          =");
a=a+ac;
b=b+bc;
a=a-b;
printf(" %9.4f", a/b*100);
printf(" %\n\n");
printf("**** Press any key to EXIT PROGRAM ****");
getch();

}
else
{ t=1;
  for (i=1;i<=bus;i++)
  { if(code[i]!=0)
    E[i]=E[i]-(O[t]*0.003);
    t=t+1;
    e[i]=E[i]*cos(angleE[i]);
    f[i]=E[i]*sin(angleE[i]);
  }
}
z++;
} while (checka);
}
}
else
{ //----- Diagonal elements of jacobian matrix -----
  for(i=2;i<=bus;i++)
  {
    t=i-1;
    X[t][t]=e[i]*re_bus[i][i]+f[i]*im_bus[i][i];
    for(j=1;j<=bus;j++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

X[t][t]=X[t][t]+(e[j]*re_bus[i][j]-f[j]*im_bus[i][j]);
}
for(i=2;i<=bus;i++)
{
s=i-1;
t=bus+i-2;
X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][i]+f[i]*re_bus[i][i];
for(j=1;j<=bus;j++)
X[s][t]=X[s][t]+(f[j]*re_bus[i][j]+e[j]*im_bus[i][j]);
}
for(i=2;i<=bus;i++)
{
s=bus+i-2;
t=i-1;
if(code[i]==0)
{
X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][i]+f[i]*re_bus[i][i];
for(j=1;j<=bus;j++)
X[s][t]=X[s][t]+(e[j]*im_bus[i][j]+f[j]*re_bus[i][j]);
}
else X[s][t]=2*e[i];
}
for(i=2;i<=bus;i++)
{
s=bus+i-2;
if(code[i]==0)
{
X[s][s]=-e[i]*re_bus[i][i]-f[i]*im_bus[i][i];
for(j=1;j<=bus;j++)
X[s][s]=X[s][s]+(e[j]*re_bus[i][j]-f[j]*im_bus[i][j]);
}
else X[s][s]=2*f[i];
}
//----- Off-diagonal elements of Jacobian matrix -----
for(i=2;i<=bus;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(j=2;j<=bus;j++)
if(i!=j)
{
s=i-1;
t=j-1;
X[s][t]=e[i]*re_bus[i][j]+f[i]*im_bus[i][j];
}
for(i=2;i<=bus;i++)
for(j=2;j<=bus;j++)
if(i!=j)
{
s=i-1;
t=bus+j-2;
X[s][t]=-e[i]*im_bus[i][j]+f[i]*re_bus[i][j];
}
for(i=2;i<=bus;i++)
for(j=2;j<=bus;j++)
if(i!=j)
{
s=bus+i-2;
t=j-1;
if(code[i]==0)
X[s][t]=f[i]*re_bus[i][j]-e[i]*im_bus[i][j];
else X[s][t]=0.0;
}
for(i=2;i<=bus;i++)
for(j=2;j<=bus;j++)
if(i!=j)
{
s=bus+i-2;
t=bus+j-2;
if(code[i]==0)
X[s][t]=-f[i]*im_bus[i][j]-e[i]*re_bus[i][j];
else X[s][t]=0.0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

//----- Solve for Voltage Correction -----

```

t=1;
for(i=2; i<=bus; i++)
{
P[t]=delta_P[i];
t++;
}
t=bus;
for(i=2; i<=bus; i++)
{
P[t]=delta_Q[i];
t++;
}
SOLVE(X,P,2*(bus-1));
t=1;
for(i=2; i<=bus; i++)
{
delta_e[i]=X[t][0];
t++;
}
t=bus;
for(i=2; i<=bus; i++)
{
delta_f[i]=X[t][0];
t++;
}
for(i=2; i<=bus; i++)
{
e[i]=e[i]+delta_e[i];
f[i]=f[i]+delta_f[i];
}
k++;
}/*else*/
}while(check);
}/*calculate*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int getline(char line[],int max)
{
    int c,i;
    i=0;
    while((c=getchar()) != '\n' && c != EOF)
    if (i<max)
        line[i++]=c;
    line[i] = '\0';
    return (c==EOF) ? -1:i;
}

void main()
{
    int ok;
    char select;
    clrscr();
    gotoxy(25,7); printf(" Enter system name ");
    gotoxy(32,9); getline(sysname,8);
    ok=0;
    do
        /* Function Menu*/
    {
        printf (" [1] fromdisk \n");
        printf (" [2] fromkey \n\n");
        printf (" Enter choice: ");
        select=getche();
        getch();
        switch (select)
        {
            case '1' : { fromdisk();ok=1; } break;
            case '2' : { fromkey();ok=1; } break;
        }
    }
    while (ok==0);
    menu();
    calculate();
}/*end main*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## คู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณโหลดโพล์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาภายในวิทยานิพนธ์นี้ เขียนด้วยซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า “BORLAND C++ version 5.02” ประมวลผลบนระบบคอส ภายหลังจากการคอมไพล์ (Compile) และ รัน (Run) โปรแกรมที่ชื่อว่า “LOADFLOW.CPP” จะได้โปรแกรมใช้งานที่มีชื่อว่า “LOADFLOW.EXE” ซึ่งในการคำนวณโหลดโพล์ โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณถูกจัดเก็บไว้เป็นไฟล์ข้อมูล ประกอบด้วย

1. ไฟล์ข้อมูลของบัส (Bus data file) มีชื่อได้ไม่เกิน 7 ตัวอักษรและชื่อสกุลเป็น “.BUS” เช่น 3BUS.BUS, 13BUS.BUS, 14BUS.BUS และ 30BUS.BUS เป็นต้น ประกอบด้วยข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ ก.1 ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างแสดงข้อมูลของบัส

Bus Data										
*** System MVA Base										
Specified code for bus types										
		PQ bus = 0		PV bus = 1		Slack bus = 2				
Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation MW	MVar	Load MW	MVar	Gen Q.limit(MVar) Qmax	Qmin	p.u.Shunt Susceptance
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.0000j
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.0000j
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	1.20			0.0000j
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.0000j
5	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	-40.00	0.0000j
6	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000j
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	22.80	10.90			0.0000j
8	1	1.010	0.00	0.00		30.00	30.00	40.00	-10.00	0.0000j
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000j

Press any key !

1.1 ลำดับที่ของบัส ( Bus number ) เริ่มนับตั้งแต่บัสที่ 1 จนถึงบัสสุดท้าย โดยแสดงเป็นเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเต็ม เริ่มนับตั้งแต่หมายเลข 1 ที่ใช้เรียกบัสที่ 1 ไปจนถึงหมายเลขสุดท้ายที่ใช้เรียกบัสสุดท้าย โดยบัสที่ 1 จะต้องเป็นบัสอ้างอิงเสมอ

1.2 ชนิดของบัส ( Bus type ) จะถูกกำหนดด้วยเลขรหัส ดังนี้

หมายเลข 2 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน บัสอ้างอิง

หมายเลข 1 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน บัสควบคุมแรงดัน

หมายเลข 0 เป็นเลขรหัสที่ใช้แทน โหลดบัส

1.3 ขนาดของแรงดันที่บัส ( Voltage magnitude ) ที่แต่ละบัสจะมีการกำหนดขนาดของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1.3.1 ขนาดของแรงดันที่บัสอ้างอิง เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหนดโพลาร์

1.3.2 ขนาดของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดัน เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหนดโพลาร์

1.3.3 ขนาดของแรงดันที่โหลดบัส เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติขนาดของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้คำนวณเป็น 1.00 เปรอ์ยูนิค ( p.u. )

1.4 มุมของแรงดันที่บัส ( Voltage angle ) ที่แต่ละบัสจะมีการกำหนดมุมของแรงดันเริ่มต้นที่จะใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1.4.1 มุมของแรงดันที่บัสอ้างอิง เนื่องจากมุมของแรงดันที่บัสดังกล่าว ใช้อ้างอิงเปรียบเทียบกับมุมของแรงดันที่บัสอื่น ๆ จึงกำหนดมุมเป็น 0.00 องศา

1.4.2 มุมของแรงดันที่บัสควบคุมแรงดัน เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติมุมของแรงดันเริ่มต้นที่บัสดังกล่าวเป็น 0.00 องศา

1.4.3 มุมของแรงดันที่โหลดบัส เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ให้สมมติมุมของแรงดันเริ่มต้นที่บัสดังกล่าวเป็น 0.00 องศา

1.5 กำลังไฟฟ้าที่ผลิต ( Power generation ) ประกอบด้วย

1.5.1 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิต ( Real power generation ) ใช้หน่วยเป็นเมกะวัตต์ ( MW )

1.5.1.1 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัสอ้างอิง เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้องคำนวณหลังจากการทำโหนดโพลาร์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.2 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัสควบคุมแรงดัน เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหนดโพลาร์ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.5.1.3 กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่โหลดบัส เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหนดโพลาร์ ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.5.2 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิต ( Reactive power generation ) ใช้หน่วยเป็นเมกะแวลร์ ( Mvar )

1.5.2.1 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตที่บัสอ้างอิง เนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหลังจากการทำโหลดโพลว์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตที่บัสควบคุมแรงดันเนื่องจากเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ต้อง คำนวณหลังจากการทำโหลดโพลว์แล้ว จึงให้เว้นว่างไว้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น

1.5.1.3 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผลิตที่โหลดบัส เป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโพลว์ ให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

## 1.6 โหลด ( Load ) ประกอบด้วย

1.6.1 โหลดจริง ( Real load ) ใช้หน่วยเป็นเมกะวัตต์ ( MW ) สำหรับบัสทุกชนิดมีโหลดจริงเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโพลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.6.2 โหลดรีแอกทีฟ ( Reactive load ) ใช้หน่วยเป็นเมกะวาร์ ( MVar ) สำหรับบัสทุกชนิดมีโหลดรีแอกทีฟเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโพลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

## 1.7 ขีดจำกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสควบคุมแรงดัน

( Generator reactive power limit at voltage controlled bus ) ประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้

1.7.1 ขีดจำกัดสูงสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ( Maximum reactive power limit ) ใช้หน่วยเป็น เมกะวาร์ ( MVar ) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโพลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

1.7.2 ขีดจำกัดต่ำสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ( Minimum reactive power limit ) ใช้หน่วยเป็น เมกะวาร์ ( MVar ) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ให้แล้วจากข้อมูลทางโหลดโพลว์ จึงให้ป้อนข้อมูลตามค่าที่กำหนดให้

หมายเหตุ : สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง ถือว่าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้อย่างไม่มีขีดจำกัด จึงไม่มีข้อมูลส่วนนี้ในบัสอ้างอิง ให้เว้นว่างไว้ไม่ต้องป้อนข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น ส่วนที่โหลดบัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟคงที่ จึงไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ที่โหลดบัส ให้เว้นว่างไว้ไม่ต้องป้อนข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น เช่นกัน

1.8 ชั้นที่อิลิเมนต์ ( Shunt element ) ต้องป้อนและแสดงข้อมูลเป็นค่าซัสเซพแตนซ์ ( Susceptance ) ในหน่วยเปอร์ยูนิต ( p.u. ) ถ้าบัสใดไม่มีชั้นที่อิลิเมนต์ค้อยู่ ให้ป้อนค่า 0.00

2. ไฟล์ข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง ( Line and transformer data file ) มีชื่อได้ไม่เกิน 7 ตัวอักษรและชื่อสกุลเป็น “.LIN” เช่น 3BUS.LIN, 13BUS.LIN, 14BUS.LIN, และ 30BUS.LIN เป็นต้น ประกอบด้วยข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ ค.2 ดังนี้

## ตัวอย่างที่ ค.2 ตัวอย่างแสดงข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง

Line and Transformer Data

Element No.	Type	Bus code (p-->q)	Impedance (p.u.)	Line charging (p.u.)	Tap ratio	Phaseshifting (degree)
1	L	1-->2	$0.019+j*(0.058)$	$j*(0.0264)$		
2	L	1-->3	$0.045+j*(0.185)$	$j*(0.0204)$		
3	L	2-->4	$0.057+j*(0.174)$	$j*(0.0184)$		
4	L	2-->5	$0.047+j*(0.198)$	$j*(0.0209)$		
5	L	2-->6	$0.058+j*(0.176)$	$j*(0.0187)$		
6	L	3-->4	$0.013+j*(0.038)$	$j*(0.0042)$		
7	L	4-->6	$0.012+j*(0.041)$	$j*(0.0045)$		
8	T	4-->12	$0.000+j*(0.256)$	$j*(0.0000)$	1.013	0.000
9	L	5-->7	$0.046+j*(0.116)$	$j*(0.0102)$		

Press any key !

2.1 ลำดับที่ของอุปกรณ์ ( Element number ) เริ่มนับตั้งแต่อุปกรณ์ที่ 1 จนถึงอุปกรณ์สุดท้าย โดยแสดงเป็นเลขจำนวนเต็ม เริ่มนับตั้งแต่หมายเลข 1 ที่ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ 1 ไปจนถึงหมายเลขสุดท้ายที่ใช้เรียกอุปกรณ์สุดท้าย

2.2 ชนิดของอุปกรณ์ ( Element type ) จะถูกกำหนดด้วยรหัสเป็นตัวอักษร ดังนี้

L เป็นรหัสตัวอักษรที่ใช้แทน สายส่ง

T เป็นรหัสตัวอักษรที่ใช้แทน หม้อแปลง

2.3 ตำแหน่งของอุปกรณ์ จะระบุเป็นการเชื่อมจากบัสหนึ่ง ไปยังอีกบัสหนึ่ง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์หมายเลข 1 ซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 เมื่ออ่านข้อมูลจากไฟล์ซึ่งมีชื่อสกุลเป็น “.LIN” จะปรากฏบนจอภาพ ดังแสดงในตารางที่ ค.2

2.4 ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ ( สายส่งและ/หรือหม้อแปลง ) ประกอบด้วยค่าความต้านทาน(R) และรีแอกแตนซ์ ( X ) หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต ( p.u. ) โดยอยู่ในรูปของ  $R + j*X$  ดังแสดงในตารางที่ ค.2

2.5 ค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จิจ ( half line charging : y ) ของอุปกรณ์ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต ( p.u. ) โดยอยู่ในรูปของ  $j*(y)$  ดังแสดงในตารางที่ ง.2 สำหรับสายส่งหรือหม้อแปลงที่ไม่มีค่าฮาล์ฟไลน์ชาร์จิจ จะแสดงเป็นค่า  $j*( 0.0000 )$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อัตราส่วนแท็ป ( Tap ratio ) และการเลื่อนเฟส ( Phase shifting ) เป็นข้อมูลเฉพาะสำหรับ อุปกรณ์ที่เป็นหม้อแปลงเท่านั้นตัวอย่างเช่น อุปกรณ์หมายเลข 8 ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่เชื่อมจาก บัสที่ 4 ไปยังบัสที่ 12 มีอัตราส่วนแท็ป 1.013 และการเลื่อนเฟส 0.000 องศา เมื่ออ่านข้อมูลจาก ไฟล์ซึ่งมีชื่อสกุลเป็น “.LIN” จะปรากฏบนจอภาพ ดังแสดงในตารางที่ ค.2

#### การใช้งานโปรแกรมคำนวณโหลดโฟลว์

โปรแกรมที่ใช้คำนวณ โหลดโฟลว์ซึ่งถูกพัฒนาด้วยการเขียน โปรแกรมบนซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า “ BORLAND C++ version 5.02 ” ประมวลผลบนระบบคอสม โปรแกรมดังกล่าวมีชื่อว่า “ LOADFLOW.CPP ” ภายหลังจากการคอมไพล์ และรัน โปรแกรมนี้จะถูกจัดการให้เป็น โปรแกรมใช้งานที่มีชื่อว่า “ LOADFLOW.EXE ” และจะใช้โปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ” นี้ในการคำนวณ โหลดโฟลว์ โดยสามารถคำนวณ โหลดโฟลว์กับระบบกำลังไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 35 บัส และมีจำนวนอุปกรณ์ ( สายส่งและ/หรือหม้อแปลง ) ไม่เกิน 50 อุปกรณ์

ข้อกำหนดของการใช้งานโปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ”

1. โปรแกรม “ LOADFLOW>EXE ” ต้องใช้งานร่วมกับไฟล์ข้อมูลของบัส ( .BUS ) และไฟล์ ข้อมูลของสายส่งและ/หรือหม้อแปลง ( .LIN ) เสมอ โดยที่ทั้งหมดจะต้องถูกเก็บอยู่ในไดเรกทอรีปัจจุบัน ( Current directory ) เดียวกัน เช่น ถ้าโปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ” อยู่ในไดเรกทอรี A แล้ว ไฟล์ข้อมูลทั้งสองจะต้องอยู่ที่ไดเรกทอรี A ด้วย

2. เนื่องจากโปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ” ถูกพัฒนามาจากซอร์ฟแวร์ที่มีชื่อว่า “ BORLAND C++ version 5.02 ” ซึ่งประมวลผลบนระบบคอสม ดังนั้นก่อนจะเรียกใช้งาน โปรแกรมดังกล่าวจะต้องรีเซ็ต ( Reset ) เครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในโหมดการทำงานบนระบบ คอสม จากนั้นจึงเรียกใช้งาน โปรแกรมดังกล่าวได้

รายละเอียดของการใช้งานโปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ”

เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ในโหมดการทำงานของระบบคอสมแล้ว สามารถเรียกใช้งาน โปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ” โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สมมติว่าโปรแกรม “ LOADFLOW.EXE ” อยู่ที่ไดเรกทอรี A จะต้องเปลี่ยนไดเรกทอรี ปัจจุบัน ไปอยู่ที่ A ดังนี้

```
A:>
```

แล้วพิมพ์ชื่อโปรแกรมใช้งาน ดังนี้

```
A:>LOADFLOW
```

หรือ

```
A:>LOADFLOW.EXE
```

จากนั้นกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพเป็นดังนี้

Enter system name

-

2. ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ( Current cursor ) ให้พิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูล โดยไม่ต้องใส่ชื่อสกุล เช่น ต้องการคำนวณโหลดโพล์ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ซึ่งมีชื่อไฟล์ข้อมูลของบัสคือ 30BUS.BUS และชื่อไฟล์ข้อมูลของอุปกรณ์ คือ 30BUS.LIN ก็ให้พิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าดังกล่าว เป็นดังนี้

Enter System name

30BUS

หรือ

Enter System name

30bus

แล้วกดคีย์ Enter

3. ภายหลังจากกดคีย์ Enter ในขั้นตอนที่ 2 แล้ว จะมีรายการให้เลือกบนหน้าจอภาพดังนี้

Enter system name

30BUS

[ 1 ] fromdisk

[ 2 ] fromkey

Enter choice : \_

โดยที่ความหมายของแต่ละรายการเป็นดังนี้

3.1 fromdisk จะเลือกรายการนี้ ก็ต่อเมื่อมีไฟล์ข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณโหลดโพล์อยู่แล้ว ก็ให้พิมพ์หมายเลข 1 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter

3.1.1 ในกรณีพิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูลผิดหรือไม่พิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในไดเรกทอรีปัจจุบัน เดียวกับโปรแกรม “LOADFLOW.EXE” แล้ว โปรแกรมจะแสดงข้อความผิดพลาด และออกจากโปรแกรมทันทีโดยมีข้อความปรากฏบนหน้าจอภาพดังนี้

```

Enter system name
30BUS

[ 1 ] fromdisk
[ 2 ] fromkey

Enter choice : 1Error : Write Error in file name
A:\>

```

3.1.2 หากข้อผิดพลาดในข้อ 3.1.1 มิได้เกิดขึ้นแล้วภายหลังจากพิมพ์หมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏเมนูหลัก ( Main menu ) บนหน้าจอภาพดังนี้

```

*** MAIN MENU ***
[ 1 ] Show Line and Transformer Data
[ 2 ] Show Bus Data
[ 3 ] Modify Line and Transformer Data
[ 4 ] Modify Bus Data
[ 5 ] Load Flow Solution & Exit Program

Enter choice : _

```

ความหมายของแต่ละรายการในเมนูหลักเป็นดังนี้

#### 3.1.2.1 Show Line and Transformer Data

เมื่อต้องการดูข้อมูลเกี่ยวกับสายส่งและ/หรือหม้อแปลง ให้พิมพ์หมายเลข 1 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพ ดังแสดงตามตารางที่ ค.2 โดยรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่เกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง ทำการกดคีย์ใด ๆ เพื่อดูข้อมูลถัดไปจนกระทั่งหมด จากนั้นจะกลับไปเมนูหลักโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.2 Show Bus Data

เมื่อต้องการดูข้อมูลเกี่ยวกับบัส ให้พิมพ์หมายเลข 2 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏบนหน้าจอภาพ ดังแสดงตามตารางที่ ค.1 โดยรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลของบัส ทำการกดคีย์ใด ๆ เพื่อดูข้อมูลถัดไปจนกระทั่งหมด จากนั้นจะกลับไปเมนูหลักโดยอัตโนมัติ

### 3.1.2.3 Modify Line and Transformer Data

เมื่อต้องการแก้ไขข้อมูลของสายส่งและ/หรือหม้อแปลง ให้พิมพ์หมายเลข 3 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Modify Line and Transformer Data ***

Do you want to Modify data ? ( y or n ) : _
```

โปรแกรมจะถามผู้ใช้อีกครั้งว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลจริงหรือไม่ ถ้าไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลใด ๆ ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปเมนูหลักทันที แต่ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Modify Line and Transformer Data ***

Do you want to Modify data ? ( y or n ) : y

Enter element NO. which you want to Modify : _
```

ให้ป้อนลำดับที่ของอุปกรณ์ที่ต้องการแก้ไขข้อมูล เช่น ต้องการแก้ไขข้อมูลของอุปกรณ์ที่ 5 ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏรายการแก้ไข ( Correct menu ) ดังนี้

```

*** Correct Line and Transformer Data ***

Do you want to correct data ? ( y or n ) : y

Enter Element NO. which you want to Modify : 5

*** Correction Menu ***

[ 1 ] Element type
[ 2 ] Bus code (p)
[ 3 ] Bus code (q)
[ 4 ] Line impedance
[ 5 ] Line charging
[ 6 ] Tap ratio
[ 7 ] Phase shifting

*** Select choice : _

```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนหมายเลขประจำรายการข้อมูลที่ต้องการแก้ไข ดังนี้

- รายการแก้ไขที่ [ 1 ] Element type

เมื่อต้องการแก้ไขชนิดของอุปกรณ์ ให้ป้อนหมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

Enter new element type : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนชนิดของอุปกรณ์ใหม่ แล้วกดคีย์ Enter เช่น ป้อน t หรือ T แล้วกดคีย์ Enter ตอนนี้อุปกรณ์หมายเลข 5 ถูกแก้ไขให้เป็นหม้อแปลงแล้ว

- รายการแก้ไขที่ [ 2 ] Bus code p

เมื่อต้องการแก้ไขตำแหน่งบัสต้นทาง ให้ป้อนหมายเลข 2 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

Enter new bus code (p) : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนตำแหน่งของบัสต้นทางใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 3 ] Bus code q

เมื่อต้องการแก้ไขตำแหน่งบัสปลายทาง ให้ป้อนหมายเลข 3 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ ดังนี้

Enter new bus code (q) : \_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนตำแหน่งของบัสปลายทางใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 4 ] Line impedance

เมื่อต้องการแก้ไขค่าอิมพีแดนซ์ ให้ป้อนหมายเลข 4 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new line impedance : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความต้านทาน R ใหม่ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ แล้วกดคีย์

Enter จะปรากฏ “ +j ” ตามด้วยการป้อนค่ารีแอกแตนซ์ X ใหม่ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ แล้วกดคีย์

Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 5 ] Line charging

เมื่อต้องการแก้ไขค่าชาร์ฟไลน์ชาร์จิจึง ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new line charging : j\* \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าชาร์ฟไลน์ชาร์จิจึงใหม่ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ แล้วกดคีย์

Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 6 ] Tap ratio

เมื่อต้องการแก้ไขอัตราส่วนแท็ป ให้ป้อนหมายเลข 6 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new tap ratio : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าอัตราส่วนแท็ปใหม่ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 7 ] Phase shifting

เมื่อต้องการแก้ไขการเลื่อนเฟส ให้ป้อนหมายเลข 7 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new phase shifting ( degree ) : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าการเลื่อนเฟสใหม่ หน่วยเป็นองศา แล้วกดคีย์ Enter

ภายหลังการแก้ไขข้อมูลแต่ละรายการ โปรแกรมจะถามผู้ใช้เสมอว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีกหรือไม่ ถ้าใช่ให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจึงดำเนินการแก้ไขข้อมูลในรายการที่ต้องการต่อไป แต่หากไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีก ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปเมนูหลัก

#### 3.1.2.4 Modify Bus Data

เมื่อต้องการแก้ไขข้อมูลของบัส ให้พิมพ์หมายเลข 4 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพดังนี้

\*\*\* Modify Bus Data \*\*\*

Do you want to Modify data ? ( y or n ) : \_

โปรแกรมจะถามผู้ใช้อีกครั้งว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลจริงหรือไม่ ถ้าไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลใด ๆ ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปเมนูหลักทันที แต่ถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

```
*** Modify Bus Data ***
```

```
Do you want to Modify data ? ( y or n ) : y
```

```
Enter BUS NO. which you want to Modify : _
```

ให้ป้อนลำดับที่ของบัสที่ต้องการแก้ไขข้อมูล เช่น ต้องการแก้ไขข้อมูลของบัสที่ 8 ให้ป้อนหมายเลข 8 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏรายการแก้ไข ( Correction menu ) ดังนี้

```
*** Modify Bus Data ***
```

```
Do you want to Modify data ? ( y or n ) : y
```

```
Enter BUS NO. which you want to Modify : 8
```

```
*** Correction Menu ***
```

- [ 1 ] Bus type
- [ 2 ] Per unit voltage magnitude
- [ 3 ] Voltage angle in degree
- [ 4 ] MW Generation
- [ 5 ] MVar Generation
- [ 6 ] MW Load
- [ 7 ] MVar Load
- [ 8 ] Generator Q. limit ( MVar )
- [ 9 ] p.u. Shunt Susceptance

```
*** Select choice : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนหมายเลขประจำรายการข้อมูลที่ต้องการแก้ไข ดังนี้

- รายการแก้ไขที่ [ 1 ] Bus type

เมื่อต้องการแก้ไขชนิดของบัส ให้ป้อนหมายเลข 1 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

```
PQ bus = 0   PV bus = 1   Slack bus = 2
```

```
Enter new bus type : _
```

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนชนิดของบัสใหม่ตามหมายเลขรหัสที่ระบุไว้ แล้วกดคีย์

Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 2 ] Per unit voltage magnitude

เมื่อต้องการแก้ไขขนาดของแรงดันที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 2 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new voltage magnitude in p.u. : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนขนาดและแรงดันที่บัสใหม่ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต ( p.u. )

แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 3 ] Voltage angle in degree

เมื่อต้องการแก้ไขมุมของแรงดันที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 3 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new voltage angle in degree : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนมุมและแรงดันที่บัสใหม่ หน่วยเป็นองศา แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 4 ] MW Generation

เมื่อต้องการแก้ไขกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิต ให้ป้อนหมายเลข 4 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new MW Generation : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตใหม่ หน่วยเป็นเมกะวัตต์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 5 ] MVar Generation

เมื่อต้องการแก้ไขกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิต ให้ป้อนหมายเลข 5 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new MVar Generation : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตใหม่ หน่วยเป็นเมกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 6 ] MW Load

เมื่อต้องการแก้ไขโหลดจริงที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 6 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new MW Load : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนโหลดจริงใหม่ หน่วยเป็นเมกะวัตต์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 7 ] MVar Load

เมื่อต้องการแก้ไขโหลดรีแอกทีฟที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 7 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new MVar Load : \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนโวลต์รีแอกทีฟใหม่ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter  
- รายการแก้ไขที่ [ 8 ] Generator Q. limit ( Mvar )

เมื่อต้องการแก้ไขขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 8 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new Generator Q. limit ( MVar ) :

Qmax =

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนขีดจำกัดสูงสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจะปรากฏข้อความ “ Qmin = ” ให้ป้อนขีดจำกัดต่ำสุดของการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ หน่วยเป็นเมกกะวาร์ แล้วกดคีย์ Enter

- รายการแก้ไขที่ [ 9 ] p.u. Shunt Susceptance

เมื่อต้องการแก้ไขค่าชั้นที่ชัฒเซฟแดนซ์ที่บัส ให้ป้อนหมายเลข 9 แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความดังนี้

Enter new p.u. Shunt Susceptance : j\* \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าชั้นที่ชัฒเซฟแดนซ์ หน่วยเป็นเปอร์ยูนิต ( p.u. ) แล้วกดคีย์ Enter

ภายหลังการแก้ไขข้อมูลแต่ละรายการ โปรแกรมจะถามผู้ใ้เสมอว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีกหรือไม่ ถ้าใช่ให้ป้อน y หรือ Y แล้วกดคีย์ Enter จากนั้นจึงดำเนินการแก้ไขข้อมูลในรายการที่ต้องการต่อไป แต่ถ้าไม่ต้องการแก้ไขข้อมูลอื่นใดอีก ให้ป้อน n หรือ N แล้วกดคีย์ Enter โปรแกรมจะกลับไปที่เมนูหลัก

### 3.1.2.5 Load Flow Solution & Exit Program

เมื่อต้องการดูผลการคำนวณโหลดโพลว์ ให้พิมพ์หมายเลข 5 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

\*\*\* MAIN MENU \*\*\*

[ 1 ] Show Line and Transformer Data

[ 2 ] Show Bus Data

[ 3 ] Modify Line and Transformer Data

[ 4 ] Modify Bus Data

[ 5 ] Load Flow Solution & Exit Program

Enter choice : \_

Specified tolerances for convergence :

Per unit tolerances for the changes in the real bus powers = \_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความคลาดเคลื่อนทางกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

Per unit tolerances for the changes in the reactive bus powers = \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนค่าความคลาดเคลื่อนทางกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไปบนหน้าจอภาพ ดังนี้

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน

- กดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความ “ Press any key to continue ” ให้กดคีย์ใด ๆ เพื่อดูผลการคำนวณโหลดโพล์ในส่วนของ นิวตัน-ราฟสัน และ Optimal Power Flow ( OPF ) ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง

- กำลังสูญเสียในสายส่ง

- กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านหม้อแปลง

- กำลังสูญเสียในหม้อแปลง

- แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ

- ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ

จากนั้นกดคีย์ใด ๆ เพื่อออกจากโปรแกรม

3.2 fromkey จะเลือกรายการนี้ ก็ต่อเมื่อต้องการคำนวณโหลดโพล์ของระบบกำลังไฟฟ้าที่ยังไม่มีไฟล์ข้อมูลจำเป็นต้องรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์ ( Keyboard ) ในครั้งแรก จึงให้เลือกรายการนี้ โดยพิมพ์หมายเลข 2 ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพดังนี้

Number of lines = \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนสายส่ง แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไป คือ

Number of transformers = \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนหม้อแปลง แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไป คือ

Number of lines + transformers = \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด ( จำนวนสายส่งและหม้อแปลงรวมกัน ) แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความถัดไป คือ

Number of buses = \_

ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ปัจจุบัน ให้ป้อนจำนวนบัส แล้วกดคีย์ Enter จะปรากฏข้อความบนหน้าจอ ภาพเป็นตารางให้ป้อนข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง ตั้งแต่อุปกรณ์ที่ 1 ไปจนถึงอุปกรณ์สุดท้าย โดยมีหน้าจอกภาพเป็นดังนี้

Element No.	Type	Bus code (p->q)	Impedance (p.u.)	Line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase Shifting (degree)
1	-					

เมื่อป้อนข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลงเสร็จแล้ว จะต่อด้วยการป้อนข้อมูล ตั้งแต่บัสที่ 1 ไปจนถึงสุดท้าย โดยมีหน้าจอกภาพเป็นดังนี้

*** System MVA Base : 100									
*** Specified code for bus types ***									
PQ bus = 0			PV bus = 1			Slack bus = 2			
Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation MW	Load MW	Gen. Q limit (MVar)	p.u.	Shunt Susceptance	
1	-								

ภายหลังจากการป้อนข้อมูลของบัสสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลและจะปรากฏข้อความบนหน้าจอภาพ ดังนี้

*** MAIN MENU ***
[ 1 ] Show Line and Transformer Data
[ 2 ] Show Bus Data
[ 3 ] Modify Line and Transformer Data
[ 4 ] Modify Bus Data
[ 5 ] Load Flow Solution & Exit Program
Enter choice : _

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละรายการในเมนูหลัก ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 fromdisk ถ้าต้องการ  
คำนวณโหนดไฟล์ใหม่ในครั้งต่อไป สามารถเรียก fromdisk ได้ทันที ไม่ต้องเสียเวลาป้อนข้อ  
มูลใหม่ เนื่องจากข้อมูลถูกจัดเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลไว้แล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ อาจารย์ สมโภชน์ ประไพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอดและได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย เป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุน ทั้งในด้านการเงิน และเป็นกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นาย ชินวัชร สุรัสวดี

นาย นัทรชัย กุลมงคลรัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Stagg, G.W., and El-Abiad, A.h. Computer Methods in Power System Analysis. New York;McGraw-Hill Book Company , 1968.
2. Stevenson, W.D.,Jr. Elements of Power System Analysis. New York ; McGraw-Hill Book Company , 1962
3. El-Arini , M.M.M. Decouples power flow solution method for well-conditioned and III-conditioned power system , IEE. Proceedings-c 140 (January 1993) : 7-10
4. El-Hawary, M.E., and Wellon, O.k. The alpha-modified quasi-modified order Newton-Raphson method for load flow solutions in rectangular form.IEEE.Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-101 (September 1982) : 3261-3268
5. Yehuda Wallach , Gradient Methods for Load Flow Problem form.IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-87, No.5, (May 1988)
6. H.W. Dommel and W.F. Tinney, “ Optimal Power Flow Solutions, ” IEEE Trans. PAS-87, pp.1866-1876
7. A.M. Sasson, F. Vilorio and F. Aboytes, “ Optimal Load Flow Solution Using the Hessian Matrix, ” IEEE Trans. PAS-92, pp. 31-41, January/February, 1973