



การคำนวณโหลดไฟฟ้โดยที่แสดงเป็นกราฟฟิคของระบบ
Load flow calculation with showing in graphic

โดย

นาย นพดล ทนสูงเนิน
นาย วรวิทย์ กัถยาเรือน
นาย สิบพงศ์ สุวรรณภู

วัน เดือน ปี.....-5.คค.2541
เลขทะเบียน.....038472
เลขเชืษกหนังสือ.....T.40053 4169ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038472

การคำนวณโหลดโพลโดยที่แสดงเป็นกราฟฟิกของระบบ
Load flow calculation with showing in graphic

โดย

นาย นพดล ทนสูงเนิน

นาย วรวิทย์ กัลยาเรื่อน

นาย สิบพงศ์ สุวรรณภู

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. มณฑล ฉลาจินดาไกรฤกษ์



ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2540


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การคำนวณโหลดโพลโดยที่แสดงเป็นกราฟฟิกของระบบ

ผู้จัดทำ

1. นาย นพดล ทนสูงเนิน
2. นาย วรวิทย์ กัลยาเรือน
3. นาย สืบพงศ์ สุวรรณภู


อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. มณฑล ฉัตรจินดาไกรฤกษ์)

การคำนวณโหลดโพลโดยที่แสดงเป็นกราฟฟีกของระบบ

นาย นพดล ทนสูงเนิน

นาย วรวิทย์ กัดชาเรื่อน

นาย สืบพงศ์ สุวรรณภู

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อทำการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า (load flow study) ในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะใช้วิธีการของเกาส์ไซเคิลและนิวตันราฟสันในการหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแคล์ไฟล์ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้กันมากในการเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ และผลของการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจะแสดงทิศทางการไหลในลักษณะกราฟฟีกของระบบ ซึ่งการศึกษาโหลดโพลนี้จะมีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบและวางแผนสำหรับการจัดการกับระบบไฟฟ้าที่จะมีการขยายระบบต่อไปในอนาคต

LOAD FLOW CALCULATION WITH SHOWING IN GRAPHIC

Noppadol Thonsoongnoen

Worawit Kunyartuen

Suebphong Suwannakut

Assc. Prof. Monton Leelajindakairerk Advisor

1997

ABSTRACT

This thesis is used for the load flow study in power system which use Gauss-Seidel and Newton-Raphson method for find the value of power flow. This program uses Delphi for writing the load flow program which used on windows and the result of power flow will shows the direction of power flow by graphic. Load flow study has necessary in designs and planning for manage the power system which will be expand in future

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การศึกษาโหลดไฟล	2
2.1 หลักการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าหรือโหลดไฟล	2
2.1.1 ปัญหาของการไหลของกำลังไฟฟ้า	2
2.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	7
2.1.3 การพิจารณาแรงดันบัล	10
2.2 วิธีการของเกิร์ช-ไซเคิล	12
2.3 วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน	15
2.4 วิธีการแก้ปัญหาโหลดไฟลโดยวิธีการของนิวตัน-ราฟสัน	17
2.5 การศึกษาโหลดไฟลในส่วนของการออกแบบและการควบคุมระบบไฟฟ้า	22
2.6 สรุป	23
บทที่ 3 การติดตั้งและการใช้งาน โปรแกรม โหลดไฟล	25
- การติดตั้งโปรแกรม	25
- การใช้งาน โปรแกรม โหลดไฟล	25
บทที่ 4 ผลการทดลองโปรแกรมโหลดไฟล	32
- เมื่อพิจารณาที่ 4 บัล	32
- เมื่อพิจารณาที่ 5 บัล	36
- เมื่อพิจารณาที่ 6 บัล	40
- เมื่อพิจารณาที่ 8 บัล	44
- เมื่อพิจารณาที่ 12 บัล	48
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	52
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 กำลังไฟฟ้าที่บัส i สำหรับการศึกษาโหลดโพล	3
รูป 2.2 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดที่มีค่า $ E_g $ และ $ V_g $ คงที่	8
รูป 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าภายใน E_g ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า	11
รูป 2.4 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเข้าสู่ระบบไฟฟ้า	11
รูป 2.5 รูป one-line diagram ของระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนบัส 4 บัส	12
รูป 3.1 ส่วนของการแสดงผลทางกราฟฟิกของโปรแกรมโหลดโพล	30
รูป 3.2 ข้อมูลที่พิมพ์ออกมาทางเครื่องพิมพ์จะเป็นข้อมูลลักษณะตาราง	31
รูป 4.1 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 4 บัส	35
รูป 4.2 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 5 บัส	39
รูป 4.3 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 6 บัส	43
รูป 4.4 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 8 บัส	47
รูป 4.5 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 12 บัส	51
รูป Gauss-Seidel power-flow solution	71
รูป Newton-Raphson power-flow solution	72

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 สรุปปัญหาของโหลดไฟล	7
ตาราง สรุปสมการโหลดไฟลและวิธีการแก้ปัญหา	53
ตาราง ข้อมูลในการรันโหลดไฟล	54
ตาราง ข้อมูลของระบบ 4 บั๊ต	54
ตาราง ข้อมูลของระบบ 5 บั๊ต	57
ตาราง ข้อมูลของระบบ 6 บั๊ต	60
ตาราง ข้อมูลของระบบ 8 บั๊ต	63
ตาราง ข้อมูลของระบบ 12 บั๊ต	67



บทที่ 1

บทนำ

ในการศึกษาโหลดโพล คือการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าภายในระบบ ว่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีขนาดเท่าใด กำลังไฟฟ้าดังกล่าวมีขนาดมากเกินกว่าอุปกรณ์ในระบบแต่ละอุปกรณ์สามารถรับได้หรือไม่ สักคาไฟฟ้าที่จุดต่างๆของระบบมีค่าสูงเกินไป เกินกว่าอัตราของอุปกรณ์หรือไม่ หรือค่าเกินไปจนอาจทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่เสียหายได้

ระบบไฟฟ้ากำลังที่จะเริ่มดำเนินการก่อสร้างรวมทั้งการเพิ่มเติมอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างโรงจักรใหม่หรือเพิ่มและลดสายส่งจำเป็นต้องผ่านการวิเคราะห์ทางด้านโหลดโพลเสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถทำงานได้ดีคือมีการส่งจ่ายไฟฟ้าได้โดยไม่มีอุปกรณ์ใดๆต้องรับกระแสเกินอัตราของมันเอง และสักคาไฟฟ้าที่จุดต่างๆภายในระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การศึกษาและวิเคราะห์โหลดโพลจึงมีประโยชน์ในการวางแผนการก่อสร้างเพิ่มเติมอุปกรณ์เข้าไปในระบบ และนอกจากนี้ยังใช้ศึกษาสภาพการทำงานทั้งในเวลาปกติและในเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มโหลดเพื่อสามารถวิเคราะห์และแก้ไขระบบได้ เช่น มีผู้ใช้ไฟมหาศาลในอนาคตเพิ่มเติมเข้าไปที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบก็ต้องนำไปวิเคราะห์โหลดโพล เพื่อดูผลว่าเป็นอย่างไร ถ้าผลวิเคราะห์ห้อออกมาแล้วปรากฏว่าสายส่งที่มีอยู่เดิมไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพราะใช้กำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งมากเกินไป ก็ต้องมีการเพิ่มขนาดหรือจำนวนสายส่งให้มากขึ้น หรือเมื่อเพิ่มโหลดเข้าไปและวิเคราะห์จากโหลดโพลแล้วปรากฏว่ามีสักคาไฟฟ้าที่บางบัสตกลงมากก็อาจแก้ไขด้วยการเพิ่มคาปาซิเตอร์เพื่อขจัดระดับสักคาไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นต้น

สรุปได้ว่า การวิเคราะห์ทางด้านโหลดโพลหรือคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูปโหลดโพลเปรียบเสมือนเครื่องมือที่สามารถช่วยให้ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องสามารถตัดสินใจได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมของโหลดเกิดขึ้นภายในระบบควรจะมีการแก้ไขระบบอย่างไรเพื่อให้การผลิตและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมของโหลดอย่างปกติไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มโหลดอย่างทันทีทันใดหรือการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิดการลัดวงจรภายในระบบ

บทที่ 2

การศึกษาโหลดไหล

2.1 หลักการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าหรือโหลดไหล

การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญมากที่จะนำไปใช้ในการวางแผนและออกแบบกับการขยายระบบกำลังไฟฟ้าที่จะทำการขยายกำลังการผลิตในอนาคต ซึ่งจะต้องมีการกำหนดตัดสินใจในเรื่องของการควบคุมระบบที่มีอยู่ให้ดีที่สุด หลักการก็นำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งก็คือขนาดและมุมเฟสของแรงดันแต่ละบัส รวมไปถึงกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งในแต่ละเส้น แต่อย่างไรก็ตามค่าของข้อมูลทั้งหมดนี้อาจจะพิมพ์แสดงผลออกมาโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของบริษัทที่มีโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ทางด้านระบบกำลังไฟฟ้า โดยลักษณะทั้งหมดนี้จะพิจารณาได้เด่นชัดในการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าหรือ load flow study

โดยจะทดสอบวิธีการต่างๆ โดยใช้การแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหา และค่าต่างๆของการไหลของกำลังไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและการควบคุมระบบไฟฟ้าจะแสดงผลออกมาให้เห็น

2.1.1 ปัญหาของการไหลของกำลังไฟฟ้า

ค่า self-admittance และค่า mutual-admittance ในแต่ละบัสซึ่งจะเป็นส่วนประกอบของบัสแอดมิตแตนซ์ Y_{bus} หรืออาจจะเปลี่ยนไปเป็นบัสอิมพีแดนซ์ Z_{bus} จะถูกนำไปใช้แก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้า และจะจำกัดขอบเขตในการศึกษาโดยใช้วิธีการใช้แอดมิตแตนซ์โดยตอนแรกข้อมูลที่ได้รับมาจะต้องถูกป้อนให้แก่คอมพิวเตอร์โดยเป็น one-line diagram ของระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าจะถูกแสดงเป็นวงจรต่อเฟส และมีวงจรเทียบเคียงเป็นแบบพายน์(π)ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรม และค่าผลรวม line-charging admittance Y ในสายส่งแต่ละเส้น (ปกติอยู่ในทอมของ line-charging megavars ที่แรงดันปกติของระบบ) ซึ่งจะมีความจำเป็นมากในการที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถกำหนดตัดสินใจเลือกขนาดของ บัสแอดมิตแตนซ์ขนาด $N \times N$ ใดๆของ Y_{ij} แต่ละตัวซึ่งก็คือ

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + j |Y_{ij}| \sin \theta_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (2.1)$$

ข้อมูลที่มีความสำคัญอาจจะรวมถึง พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าและค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า พิกัดของขั้ว-คาปาซิเตอร์ และการปรับเทปของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการ

ศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า แรงดันบัสและกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจะต้องถูกกำหนดให้ทราบ

แรงดันไฟฟ้าที่บัสของระบบจะถูกกำหนดให้เป็น โพลาร์-โคออร์ดิเนตโดย

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (2.2)$$

และแรงดันไฟฟ้าที่บัส j จะถูกเขียนคล้ายๆกัน โดยเปลี่ยนตัวสคริปต์จาก i เป็น j กระแสไฟฟ้าสุทธิที่ไหลเข้าไปในเน็ทเวิร์คที่บัส ในเทอมของ Y_{in} ของ Y_{bus} จะถูกกำหนดให้เป็นผลรวมโดย

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{iN}V_N = \sum_{n=1}^N Y_{in}V_n \quad (2.3)$$

ให้ P_i และ Q_i ใช้แทนกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสุทธิ ที่ไหลเข้าไปในเน็ทเวิร์คที่บัส i จากนั้นกำลังไฟฟ้าคอมเพล็กซ์คอนจูเกตจะไหลเข้าที่บัส i เป็น

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{n=1}^N Y_{in}V_n \quad (2.4)$$

และจากสมการ(2.1)และ(2.2) ซึ่งจะได้ว่า

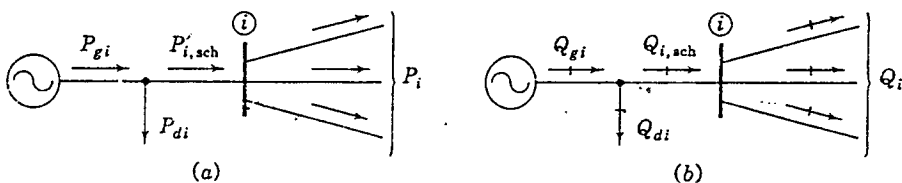
$$P_i - jQ_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in}V_iV_n| \angle (\theta_n + \delta_n - \delta_i) \quad (2.5)$$

จากสมการนี้จะสามารถแยกเป็นส่วนของสมการของส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้ว่า

$$P_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in}V_iV_n| \cos(\theta_n + \delta_n - \delta_i) \quad (2.6)$$

$$Q_i = - \sum_{n=1}^N |Y_{in}V_iV_n| \sin(\theta_n + \delta_n - \delta_i) \quad (2.7)$$

สมการ(2.6)และ(2.7)จะประกอบด้วยโพลาร์ฟอร์มของสมการไหลคโพล ซึ่งสมการนี้จะใช้เตรียมสำหรับคำนวณค่าสำหรับค่าของกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิ P_i และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสุทธิ Q_i ที่ไหลเข้าไปในเน็ทเวิร์คที่บัส i ให้ P_{gi} แทนด้วยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตส่งไปที่บัส i และให้ P_{di} แทนด้วยความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัส i และ $P_{i,sch} = P_{gi} - P_{di}$ ซึ่งจะเป็นค่าของกำลังไฟฟ้าสเซอร์พลสุทธิที่ไหลเข้าสู่เน็ทเวิร์คที่บัส i แสดงดังรูป 2.1(a)



รูปที่. 2.1 (a) แอกทีฟพาวเวอร์ และ (b) รีแอกทีฟพาวเวอร์ที่บัส i สำหรับการศึกษาโหลดโพล

แทนค่าที่ใช้คำนวณค่าของ P_i ด้วย $P_{i,sch}$ ค่ามิสมแมทซ์ ΔP_i จะเป็นค่าของสเปกทวล $P_{i,sch}$ ลบด้วยค่า
คำนวณ $P_{i,calc}$

$$\Delta P_i = P_{i,sch} - P_{i,calc} = (P_{gi} - P_{di}) - P_{i,calc} \quad (2.8)$$

ทำนองเดียวกัน กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส i จะได้ว่า

$$\Delta Q_i = Q_{i,sch} - Q_{i,calc} = (Q_{gi} - Q_{di}) - Q_{i,calc} \quad (2.9)$$

ดังแสดงในรูป 2.1(b) ค่ามิสมแมทซ์ที่ปรากฏในวิธีของการแก้ปัญหาโหลดโพลเมื่อค่า
คำนวณของ P_i และ Q_i เกิดขึ้นไม่พร้อมกันกับค่าของสเปกทวล ถ้าค่าคำนวณ $P_{i,calc}$ และ $Q_{i,calc}$ แมทซ์
กับค่าสเปกทวล $P_{i,sch}$ และ $Q_{i,sch}$ อย่างสมบูรณ์แล้วละก็ ก็จะสามารถกล่าวได้ว่าค่ามิสมแมทซ์ ΔP_i
และ ΔQ_i นั้นเป็นศูนย์ที่บัส i และสามารถที่จะเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าที่สมดุลย์ได้ว่า

$$g_i = P_i - P_{i,sch} = P_i - (P_{gi} - P_{di}) = 0 \quad (2.10)$$

$$g_{r,i} = Q_i - Q_{i,sch} = Q_i - (Q_{gi} - Q_{di}) = 0 \quad (2.11)$$

จะพบว่า ฟังก์ชัน g_i และ $g_{r,i}$ จะเขียนได้สะดวกสำหรับสมการที่อ้างอิงถึงค่ามิสม
แมทซ์ ΔP_i และ ΔQ_i ถ้าบัส i ไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือไม่มีโหลดเทอมที่เหมาะสมที่จะต้องถูก
ปรับให้เท่ากับศูนย์ในสมการ(2.10)และ(2.11) ในแต่ละบัสของเน็ทเวิร์คจะมีสมการอยู่สองสม
การและปัญหาของการไหลของกำลังไฟฟ้าจะถูกแก้ปัญหาโดยใช้สมการ(2.6)และ(2.7)สำหรับค่า
ของแรงดันบัสที่ยังไม่ทราบค่า สมการ(2.10)และ(2.11)จะให้ค่าที่ยอมรับได้ที่แต่ละบัส ถ้าไม่มี
ค่าสเปกทวลสำหรับบัส i นั้นค่ามิสมแมทซ์ $\Delta P_i = P_{i,sch} - P_{i,calc}$ จะไม่สามารถกำหนดได้ และสมการที่
(2.10)ก็จะนำมาใช้ไม่ได้ในการนำมาแก้ปัญหาโหลดโพล ในทำนองเดียวกันถ้า $Q_{i,sch}$ ไม่มีที่บัส i
สมการ(2.11)ก็จะใช้ไม่ได้ด้วยเช่นกัน

ปริมาณทั้งสี่ปริมาณที่ยังไม่ทราบที่มีอยู่ในแต่ละบัส i ซึ่งก็คือ P_i , Q_i , มุมของแรงดัน
ไฟฟ้า δ_i และขนาดของแรงดันไฟฟ้า $|V_i|$ ค่าทั้งหมดนี้จะอยู่ในสมการสองสมการนั้นคือสมการ
(2.10)และ(2.11)ที่ใช้สำหรับ โหนดแต่ละ โหนด และดังนั้นจะต้องพิจารณาว่าจะทำอย่างไรกับปริมาณ
ที่ยังไม่ทราบว่า จะสามารถลดทอนเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนของสมการที่มีอยู่เพื่อที่จะแก้ปัญหา
ของโหลดโพล ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปในการศึกษาโหลดโพลจะแบ่งชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า
ออกเป็น 3 ชนิด ในแต่ละบัส โดๆที่มีค่าอยู่สองค่าที่ทราบจากค่าทั้งหมดสี่ค่าคือ δ_i ,
 $|V_i|$, P_i และ Q_i ในส่วนของค่าที่เหลือที่ยังไม่ทราบอีกสองค่าจะถูกคำนวณหา โดยสามารถแบ่ง
แยกชนิดของบัสทั้งสามชนิดได้ดังนี้

1. โหลดบัส(Load Bus) บัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่จะถูกเรียกว่าโหลดบัส ค่า P_{gi} และค่า
 Q_{gi} จะเป็นศูนย์และค่ากำลังไฟฟ้าจริง P_{di} และค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q_{di} จะไหลจากระบบ ไปสู่

โหลด(เป็นลบแสดงว่าโหลดเข้าระบบ)จะทราบจากการบันทึก การคำนวณโหลดหรือการวัด
ใดๆ บ่อยๆครั้งในทางปฏิบัติค่ากำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้นที่จะทราบ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
จะหาจากค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ค่า0.85หรือสูงกว่า โหลดบัส i บ่อยครั้งจะเรียกว่าPQ บัส
เพราะว่าค่าสเปค-ควล $P_{i, sch} = -P_{di}$ และ $Q_{i, sch} = -Q_{di}$ จะทราบได้และค่ามิสแมทซ์ ΔP_i และ ΔQ_i จะ
สามารถหาได้จากสมการ(2.10)และ(2.11) และค่าที่จะต้องหาสองค่าสำหรับโหลดบัสคือ δ_i
และ $|V_i|$

2. โวลต์เตจคอนโทรลลิ่งบัส(Voltage-Controlled Bus) บัสใดๆในระบบไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดันคงที่
จะถูกเรียกว่ามีการควบคุมแรงดัน บัสใดๆที่มีเครื่องกำเนิดต่ออยู่(MW) จะสามารถควบคุม
เครื่องกำเนิดได้โดยการปรับที่ไพรม-มูฟเวอร์ และขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะสามารถควบคุม
ได้โดยการปรับที่ระบบการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นที่เงินเนอร์เรเตอร์บัส i ใดๆ
จะพบว่ามีค่า P_{gi} และ $|V_i|$ ที่เหมาะสม ค่า P_{di} ที่ทราบเราก็จะสามารถที่กำหนดค่ามิสแมทซ์ ΔP_i
ตามสมการ(2.8) การจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q_{gi} ที่ต้องการให้กับแรงดันสเปคควล $|V_i|$ จะไม่
สามารถทราบได้ล่วงหน้า และดังนั้นค่ามิสแมทซ์ ΔQ_i จะไม่สามารถกำหนดขึ้นได้ ที่เงินเนอร์เร
เตอร์บัส i มุมของแรงดัน δ_i จะเป็นปริมาณที่ยังไม่ทราบและสมการ(2.10)จะสามารถหาค่า P_i ได้
หลังจากนั้นแก้ปัญหาโหลดโพล ค่า Q_i จะสามารถคำนวณหาได้จากสมการ(2.7)

สำหรับเงินเนอร์เรเตอร์บัสปกติจะเรียกว่า โวลต์เตจคอนโทรลลิ่งบัส หรือ PVบัส บางที
บัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดต่ออยู่อาจจะมีความสามารถในการควบคุมแรงดัน อย่างเช่นบัสที่ถูกออก
แบบเป็น โวลต์เตจคอนโทรลลิ่งบัสที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเป็นศูนย์หรือไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้า
จริง

3. สแลคบัส(Slack Bus) เพื่อความสะดวกในการพิจารณา บัสจะถูกพิจารณาให้เป็นสแลคบัส
เสมอมุมของแรงดันของสแลคบัสจะถูกใช้อ้างอิงกับมุมของแรงดันที่บัสอื่นๆ มุมของแรงดัน
ของสแลคบัสจะไม่มีค่าสำคัญเพราะว่าความแตกต่างของมุมของแรงดันจะเป็นตัวกำหนด
ค่าคำนวณของ P_i และ Q_i ในสมการ(2.6)และ(2.7) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะให้ $\delta_1 = 0^\circ$ ค่ามิส
แมทซ์จะไม่ถูกกำหนดสำหรับสแลคบัส เพราะว่าขนาดของแรงดัน $|V_1|$ จะทราบได้ที่เป็น
ปริมาณที่มีมุม $\delta_1 = 0^\circ$ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะใช้สมการ(2.10)หรือ(2.11)สำหรับสแลคบัสใน
การแก้ปัญหาโหลดโพล

เพื่อที่จะเข้าใจว่าทำไมค่า P_i และ Q_i ไม่เป็นค่าสเปคควลที่สแลคบัสโดยพิจารณาที่แต
ละบัสของระบบดังสมการ(2.10)จะสามารถเขียนให้มีขอบเขตจาก1ถึงNเมื่อผลลัพธ์ของจำนวน
สมการNสมการถูกพิจารณาพร้อมเข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$P_T = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N P_{gi} - \sum_{i=1}^N P_{di} \quad (2.12)$$

กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย ผลรวมของการผลิต ผลรวมโหลด

เทอมของ P_T ในสมการนี้จะเห็นได้เด่นชัดในเทอมของผลรวมการสูญเสีย I^2R ในสายส่งกำลังไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นของระบบจะไม่สามารถคำนวณหาได้จนกระทั่งหลังจากขนาดและมุมเฟสของแรงดันเป็นที่ทราบแล้วทุกๆ บัสในระบบไฟฟ้า สำหรับค่า P_T นั้นช่วงเริ่มแรกจะไม่ทราบและสมการ(2.12)จะนำมาใช้คำนวณไม่ได้ ในสูตรของการแก้ปัญหาโหลดโฟลจะเลือกบัสหนึ่งเป็นสมลคบัสนี้ที่มีค่า P_T ที่มีลักษณะไม่แน่นอน หลังจากนั้นปัญหาของโหลดโฟลจะถูกทำการแก้ปัญหาค่าแตกต่าง(สมลค) ระหว่างผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริง P_T ที่ไหลเข้าสู่ระบบที่บัสอื่นๆทั้งหมด และผลรวมของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P บวกด้วยค่าการสูญเสีย I^2R ที่ถูกกำหนดไปในสมลคบัสนี้ สำหรับเหตุผลนี้จะทำให้เจนเนอเรเตอร์บัสจะถูกพิจารณาเป็นสมลคบัสนี้ ค่าความแตกต่างของผลรวมเมกกิวาร์(total megawatts) ที่ถูกจ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส และค่าเมกกิวาร์ที่รับโดยโหลดจะกำหนดให้เป็น

$$\sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^N Q_{gi} - \sum_{i=1}^N Q_{di} \quad (2.13)$$

สมการนี้จะเห็นชัดเจนเมื่อเป็นบัสที่มีลักษณะเฉพาะดังสมการ(2.11)ที่แต่ละบัส ในการแก้ปัญหาโหลดโฟล ค่า Q_i จะสามารถประมาณค่าได้จากสมการ(2.7) หลังจากแก้ปัญหาโหลดโฟลได้แล้ว จากนั้นปริมาณที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของสมการ(2.13)จะเป็นค่าที่รวมกันของค่าเมกกิวาร์ของไลน์ชาร์จิง วัตต์คาปาซิเตอร์และรีแอกเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่บัส และมันจะเรียกว่าค่าความสูญเสีย X ที่เกิดขึ้นภายในรีแอกแตนซ์อนุกรม(series reactances)ของสายส่งกำลังไฟฟ้า

มุมและขนาดของแรงดันไฟฟ้าของบัสที่ไม่เป็นสมลคในข้อมูลอินพุตของการศึกษาโหลดโฟลจะเรียกว่า สเตจวาริเอเบิล(state variables)หรือ ดีเพ็นเด้นท์วาริเอเบิล(dependent variables)ซึ่งค่าเหล่านี้จะบอกให้ทราบถึงสถานะของระบบซึ่งจะเป็นผลมาจากปริมาณที่เป็นลักษณะเฉพาะของบัสทั้งหมด ปัญหาโหลดโฟลจะเป็นตัวกำหนดค่าของสถานะที่เปลี่ยนไปทั้งหมดโดยการแก้ปัญหาของจำนวนของสมการ โหลดโฟลในส่วนของข้อมูลอินพุตถ้ามีโวลต์เดจคอนโทรลบัสนี้จำนวน N_g บัส(ไม่นับสมลคบัสนี้) ในระบบของ N บัสมันจะเป็น $(2N - N_g - 2)$ สมการที่ใช้แก้ปัญหา $(2N - N_g - 2)$ สำหรับสถานะที่เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 1 สถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งจะถูกคำนวณ สถานะที่สมบูรณ์ของระบบจะสามารถหาได้และปริมาณทั้งหมดจะเป็นผลตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงและสามารถกำหนดได้ ปริมาณอย่างเช่น P_i และ Q_i ที่สมลคบัสนี้, Q_i ที่โวลต์เดจคอนโทรลบัสนี้แต่ละบัส และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย P_L ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ถูกควบคุม

ตารางที่ 2.1

สรุปปัญหาของโหลดโพล

ชนิดของบัส	จำนวนบัส	ค่าที่ทราบ	จำนวนของสมการ	จำนวนสภาวะการเปลี่ยนแปลงของ $\delta_i, V_j $
เกนเคาท์: $i=1$	1	$\delta_i, V_j $	0	0
โวลต์ที่ตรงก่อนทรานซิสเตอร์ ($i=2, \dots, N_s+1$)	N_s	$P_i, V_j $	N_s	N_s
โหลดบัส ($i=2, \dots, N$)	$N - N_s - 1$	P_i, Q_i	$2(N - N_s - 1)$	$2(N - N_s - 1)$
รวม	N	$2N$	$2N - N_s - 2$	$2N - N_s - 2$

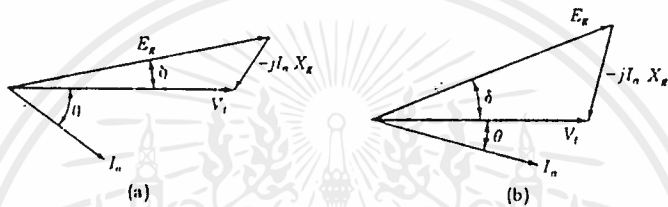
ฟังก์ชัน P_i และ Q_i ของสมการ(2.6)และ(2.7)เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นของสภาวะที่เปลี่ยนแปลงของ δ_i และ $|V_j|$ การคำนวณโหลดโพลโดยปกติจะใช้เทคนิคการคำนวณซ้ำแล้วซ้ำอีกอย่างเช่นวิธีการของ เก้าซ์-ไซเคิลและนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งจะถูกพิจารณาต่อไปนี้ โดยวิธีการของนิวตัน-ราฟสันจะเป็นการแก้ปัญหาในรูปแบบโพลาร์ฟอร์มของสมการ โหลดโพลจนกระทั่งค่ามิสแมตซ์ ΔP และ ΔQ ที่บัสทั้งหมดมีค่าเข้าใกล้ค่าที่ยอมรับได้ ส่วนวิธีการของเก้าซ์-ไซเคิลจะแก้ปัญหาสมการโหลดโพลในลักษณะเรคแทนกูร์โคออร์ดิเนต จนกระทั่งค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าบัสจากการคำนวณรอบแรกและรอบอื่นๆแตกต่างกันน้อยมาก และทั้งสองวิธีการนี้จะเป็นพื้นฐานของสมการบัสแอตมิตแดนซ์

2.1.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

คราวนี้จะมาทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของเครื่องกลเชิงโรตารี โดยจะพิจารณาจากหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการกระตุ้นแบบโอเวอร์เอ็กไซท์(over-excited)ที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q เข้าสู่ระบบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการกระตุ้นแบบอันเดอร์เอ็กไซท์(under-excited)ที่รับเอากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q จากระบบ และจะสามารถเข้าใจว่าจะควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟระหว่างเครื่องกำเนิดและระบบไฟฟ้าได้อย่างไร

ในตอนนี้จะพิจารณาที่กำลังไฟฟ้าจริง P สมมติว่าเครื่องกำเนิดถูกใช้จ่ายให้กับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขการกระตุ้นต่ำกว่าปกติหรือ under-excited มุมที่เป็นมุมระหว่างแรงดันที่บัสของระบบ (V) และแรงดันที่จ่ายออกมาของเครื่องกำเนิด (E_g) ถ้า E_g นำหน้า (lead) V , เราก็จะได้รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมดังรูปข้างล่าง ถ้ากำลังไฟฟ้าอินพุตที่ไหลเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยมีค่ามากขึ้น ซึ่งไอน้ำหรือน้ำที่ขับเคลื่อนเทอร์ไบน์ในขณะที่ $|E_g|$ มีขนาดคงที่ ความเร็วของโรเตอร์จะเพิ่มขึ้นตอนเริ่มต้นและมุมระหว่าง E_g และ V จะเพิ่มขึ้น ผลของการที่มุมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า I_a มากขึ้นที่มุม θ ที่ค่า θ อาจพิจารณาเปรียบเทียบกับได้จากรูป เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะส่งกำลังไฟฟ้าจำนวนมากเข้าสู่ระบบเนตเวิร์คและอินพุตจากตัวไพรมมูฟ

เวอร์จะเท่ากับเอาท์พุทที่ไหลเข้าสู่เนตเวิร์ค ถ้าความสูญเสียไม่ถูกนำมาพิจารณาความสมดุลจะมีอีกครั้งที่ความเร็วที่เป็นไปตามความถี่ของบัสอนันต์ที่มุมขนาดใดๆ รูป 2.2(b) จะเขียนสำหรับการกระตุ่นที่สนามไฟฟ้าลึชี่เดียวกัน และค่า $|E_g|$ ด้วเดียวกันกับรูป 2.2(a) แต่กำลังไฟฟ้าเอาท์พุทจะเท่ากับ $|V_t| |I_g| \cos \theta$ ที่มีค่ามากกว่าเงื่อนไขขงรูป 2.2(b) และการเพิ่มขึ้นของมุม δ จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าปล่อยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่. 2.2 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดที่มีค่า $|E_g|$ และ $|V_t|$ คงที่สำหรับ (a) มุม δ ที่มีขนาดเล็ก (b) มุม δ ที่มีขนาดใหญ่กว่า เพื่อที่จะแสดงการเพิ่มของกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกมาเมื่อมุม δ มีขนาดเพิ่มขึ้น

กำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับมุมกำลังซึ่งแสดงโดยสมการที่กำหนดให้ $P+jQ$ จ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเทอมของ δ ถ้า

$$V_t = |V_t| \angle 0^\circ \quad \text{และ} \quad E_g = |E_g| \angle \delta$$

ซึ่ง V_t และ E_g จะมีหน่วยเป็นโวลท์-ทวิ-นิวทรอล หรือเปอร์ยูนิต ดังนั้น

$$I_a = \frac{|E_g| \angle \delta - |V_t|}{jX_s} \tag{2.13.1}$$

$$\text{และ} \quad I_a^* = \frac{|E_g| \angle -\delta - |V_t|}{-jX_s} \tag{2.13.2}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} P+jQ &= V_t I_a^* \\ &= \frac{|V_t| |E_g| \angle -\delta - |V_t|^2}{-jX_s} \\ &= \frac{|V_t| |E_g| \angle (90 - \delta) - |V_t|^2 \angle 90}{X_s} \end{aligned} \tag{2.13.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของค่าจริงของสมการคือ

$$P = \frac{|V_r||E_r|}{X_r} \cos(90 - \delta) = \frac{|V_r||E_r|}{X_r} \sin \delta \quad (2.13.4)$$

และส่วนที่เป็นค่าจินตภาพคือ

$$\begin{aligned} Q &= \frac{|V_r||E_r|}{X_r} \sin(90 - \delta) - \frac{|V_r|^2}{X_r} \\ &= \frac{|V_r|}{X_r} (|E_r| \cos \delta - |V_r|) \end{aligned} \quad (2.13.5)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้า(เปอร์เซ็นต์)ที่แทนด้วย V_r และ E_r ในสมการของ P และ Q เราจะต้องพิจารณา V_r และ E_r เป็นค่าแรงดัน โลว์-ทิว-นิวทรอล และค่า P และ Q จะเป็นค่าต่อเฟส แต่อย่างไรก็ตาม ค่าแรงดัน โลว์-ทิว-ไลน์คือ V_r และ E_r ที่จะทำให้เกิดค่าสามเฟสของค่า P และ Q ค่าของ P และ Q ที่เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ดังสมการที่กล่าวมาจะคูณด้วยค่าเบสของเมกก โวลท์ที่แอมป์สามเฟสหรือค่าเบสเมกก โวลท์ที่แอมป์ต่อเฟสที่มีผลกับผลรวมของกำลังไฟฟ้าสามเฟสหรือกำลังไฟฟ้าต่อเฟสที่ต้องการทราบ สมการของกำลังไฟฟ้าจริง P ดังที่ได้กล่าวมาจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบกำลังไฟฟ้าจะเป็นผลตามขนาดของมุมกำลัง δ ถ้าค่า $|E_r|$ และ $|V_r|$ แต่อย่างไรก็ตามถ้าค่า P และ V_r คงที่ สมการของกำลังไฟฟ้าจริง P จะพบว่ามุมจะต้องลดลงถ้า $|E_r|$ เพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นที่เพิ่มขึ้นจากการกระตุ้นแบบเพิ่มสนามไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนในสมการของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q ค่า P จะคงที่ ค่า $|E_r|$ จะเพิ่มขึ้นและค่าจะลดลงซึ่งหมายความว่าค่า Q จะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าค่า Q เป็นบวกหรือมีการลดลงในเรื่องของขนาด และอาจจะเป็นบวกถ้าค่า Q เป็นลบก่อนที่จะมีการเพิ่มขึ้นของการทำการกระตุ้นสนาม ไฟฟ้า

จากสมการของกำลังไฟฟ้าจริง P อาจกล่าวได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งจากบัสหนึ่งเข้าสู่ระบบเข้าสู่อีกบัสหนึ่งโดยผ่านตัวรีแอกแตนซ์ X ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่บัสเป็น V_1 และ V_2 และค่ามุมเป็นมุมที่แรงดันไฟฟ้า V_1 นำหน้า V_2 ซึ่ง

$$P = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin \delta \quad (2.13.6)$$

ในทำนองเดียวกันจากสมการของ Q จะได้รับ Q ที่บัส 2 จะได้ว่า

$$Q = \frac{|V_2|}{X} (|V_1| \cos \delta - |V_2|) \quad (2.13.7)$$

จากสมการของ P และ Q ที่ได้ทำการเขียนใหม่ จะพบว่า การเพิ่มขึ้นของมุมจะเป็นสาเหตุทำให้การเปลี่ยนแปลงของ P เกิดขึ้นมากกว่า Q เมื่อมีขนาดเล็ก ความแตกต่างนี้จะใช้พิจารณาเมื่อการเปลี่ยนแปลงของค่า $\sin \delta$ มีค่ากว้าง แต่การเปลี่ยนแปลงของ $\cos \delta$ มีค่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมุมมีค่าน้อยกว่า 10 องศาหรือ 15 องศา

2.1.3 การพิจารณาแรงดันบัล

จากการที่ได้มีการพิจารณาตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสจากการพิจารณาในแง่ของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่บัสบอนด์ ได้ทดสอบถึงผลกระทบของการกระตุ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมุมกำลังเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์มินอลของเครื่องกำเนิดมีค่าคงที่ ในการศึกษาโหลดโพลในส่วนของคอมพิวเตอร์อย่างไรก็ดีจะพบว่ามันมีความจำเป็นที่จะต้องระบุขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ทุกๆบัส(ยกเว้นสวิงบัส) ซึ่งที่บัสนี้จะสามารถทราบขนาดและมุมของมัน ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์จะสามารถบอกผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆของระบบได้ทั้งหมดก็ตาม มันอาจจะช่วยในการพิจารณาว่ามีอะไรเกิดขึ้นในกรณีธรรมดาทั่วไปเท่านั้น

โดยปกติแล้วที่บัสซึ่งมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจะทราบขนาดของแรงดันไฟฟ้าเมื่อการศึกษาโหลดโพลถูกกระทำในคอมพิวเตอร์ ที่บัสซึ่งมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงP โดยเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะทราบซึ่งจะกำหนดในส่วนของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้วิเคราะห์ในการแก้ปัญหาโหลดโพล จากเหตุนี้จะเป็นการตรวจสอบผลกระทบของค่าขนาดของแรงดันที่บัสกับค่าของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟQที่จ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

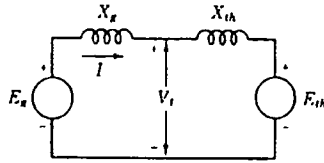
จากรูปที่ 2.3 จะแสดงตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยเขียนเป็นวงจรสมมูลขึ้น โดยไม่คำนึงถึงค่าความต้านทานที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับค่าอื่นๆในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจะถูก แสดงโดยแรงดันที่เทียบเคียงเทวินิน E_{th} ที่ต่ออนุกรมกับค่าอิมพีแดนซ์ของเทวินิน X_{th} ซึ่งก็จะไม่พิจารณาค่าของความต้านทานเช่นเดียวกับโหลดใดๆที่บัสที่รวมไปถึงวงจรสมมูลของเทวินิน สำหรับกำลังไฟฟ้าที่คงที่ที่ส่งออกไปโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกระแสไฟฟ้าต่อเฟสและ E_{th} จะคงที่ และแรงดันที่บัส V_b จะเป็น

$$V_b = E_{th} + jIX_{th} \quad (2.13.8)$$

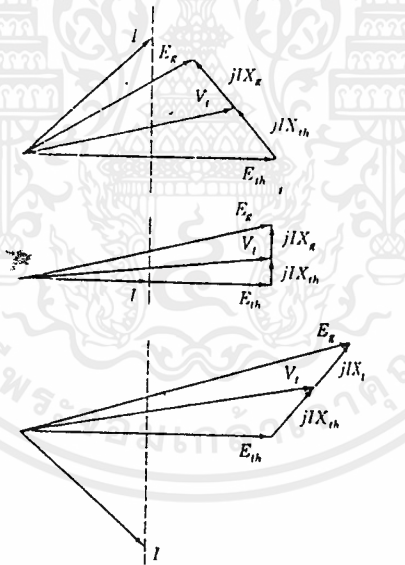
รูปเฟสเซอร์โวลตาจและแอมแปร์สำหรับวงจรรูปที่ 2.3 จะแสดงโดยรูปที่ 2.4 สำหรับมุมของทั้งสามเฟสที่แตกต่างกันระหว่าง E_{th} และI ในทั้งหมดตามกรณี แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของกระแสต่อเฟสกับแรงดัน E_{th} จะคงที่

จากรูปที่ 2.4 จะแสดงขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดมากกว่าแรงดันบัล V_b กับกำลังไฟฟ้าอินพุตที่คงที่ที่ให้กับบัสจะมีค่า $|E_{th}|$ ที่มากกว่าและด้วยเหตุนี้ ค่า $|E_{th}|$ ที่มีขนาดมากกว่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการกระตุ้นของขดลวดสนามกระแสตรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่บัส โดยการเพิ่มของ $|E_{th}|$ จะเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสมีการล้าหลัง(lag)มากกว่าถ้าพิจารณาจากรูปที่ 2.4 โดยทำการพิจารณาที่ตัวของเครื่องกำเนิดซึ่งโครนัสเมื่อทำการศึกษาโหลดโพลจะพบว่า การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าที่เจนเนอเรเตอร์บัสจะหมายความว่ากำลังจ่ายกำลังไฟ

ฟ้าเข้าที่บัสจะเพิ่มค่าเอาท์พุทของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้าที่บัสเพิ่มขึ้น จากหลักการการควบคุมของระบบไฟฟ้านี้ก็จะสามารถควบคุมแรงดันที่บัสได้



รูปที่ 2.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าภายใน E_s ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า และแสดงเป็นรูปวงจรมูลเหตุวินิน และการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q โดยการปรับการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



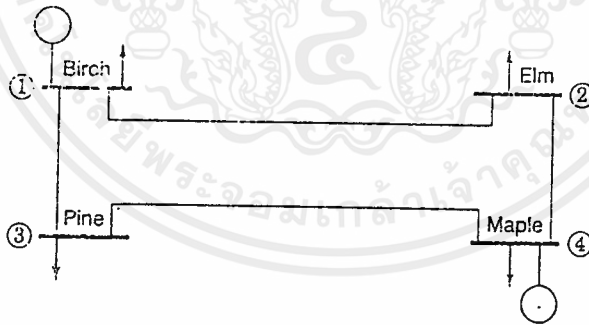
รูปที่ 2.4. รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่แตกต่างกันสามค่า

จากวงจรมูลเหตุวินินจะทำการสมมติค่า E_s และ E_m ในระบบไฟฟ้าให้มีขนาดและมุมที่คงที่ และการสมมตินี้จะไม่ถูกต้องเสมอไปนักภายใต้เงื่อนไขควบคุมในทางปฏิบัติ เมื่อการเปลี่ยนแปลงถูกกระทำโดยการทำการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งตัวและการเปลี่ยนแปลง

อื่นๆอาจจะสร้างปัญหาให้กับระบบ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสนใจเงื่อนไขทั้งหมดที่ทำให้เกิดการรบกวนภายในระบบไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามการสมมติให้ค่า E_u และ E_{∞} คงที่ในระบบไฟฟ้าจะเป็นการขกเว้นเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการแสดงที่เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าบัสที่ทำการพิจารณา

2.2 วิธีการของเกิร์ช-ไซเคิล

ความยุ่งยากของการแก้ปัญหาโหนดโพลในระบบไฟฟ้ากำลังจะมีมากขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของชนิดของข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับความแตกต่างของชนิดของบัส ถึงแม้ว่าสูตรสมการต่างๆจะสามารถแมทซ์เข้ากับจำนวนของสถานะที่เปลี่ยนแปลงที่ยังไม่ทราบและถึงแม้จะไม่มี ความยุ่งยากมากก็ตาม จะพบว่าไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้เสมอไป การแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับปัญหาโหนดโพลจะเป็นขบวนการที่ทำซ้ำแล้วซ้ำอีกโดยการกำหนดประมาณค่าแรงดันบัสที่ยังไม่ทราบและโดยการคำนวณใหม่สำหรับค่าแรงดันบัสแต่ละบัสจากการประมาณค่าที่บัสอื่นๆและประมาณค่าจากค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ การปรับแก้ค่าใหม่ของแต่ละบัสจะนำมาใช้คำนวณกับแรงดันบัสอื่นๆอยู่อีกเช่นเดิม การคำนวณแต่ละครั้งโดยการปรับแก้ค่าแรงดันใหม่จะเรียกว่า ไอเทอเรชัน(iteration)หรือการกระทำซ้ำแล้วซ้ำอีก ขบวนการไอเทอเรชันจะถูกกระทำซ้ำแล้วซ้ำอีกจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงของแต่ละบัสมีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้



รูปที่. 2.5 รูป one-line diagram ของระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนบัส 4 บัส

เราจะทำการเขียนสมการสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีสี่บัสและเขียนสมการทั่วไปกับสแลคบัส กำหนดให้เป็นหมายเลข 1 การคำนวณทางคอมพิวเตอร์จะเริ่มต้นคำนวณที่บัส 2 ถ้า $P_{2,sch}$ และ $Q_{2,sch}$ เป็นค่าสเปคควลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟโดยการป้อนข้อมูลเน็ทเวิร์คเข้าที่บัส 2 ซึ่งมันจะเป็นไปตามสมการ(2.4)ซึ่งจะถูกแก้ให้เท่ากับ 2 และ N จะเท่ากับ 4 ซึ่งจะได้

$$\frac{P_{2,sch} - jQ_{2,sch}}{V_2} = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4 \quad (2.14)$$

แก้สมการหาค่า V_2 จะได้ว่า

$$V_2 = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_{2,sch} - jQ_{2,sch}}{V_2} - \frac{(Y_{21}V_1 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4)}{1} \right] \quad (2.15)$$

สำหรับในตอนนี้เราจะสมมติให้บัส3และบัส4เป็นโหนดบัสที่รู้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ในทำนองเดียวกันสมการ(2.15)อาจจะเขียนสำหรับแต่ละบัส ดังนั้นที่บัส3เราจะได้

$$V_3 = \frac{1}{Y_{33}} \left[\frac{P_{3,sch} - jQ_{3,sch}}{V_3} - \frac{(Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{34}V_4)}{1} \right] \quad (2.16)$$

ถ้าทำให้ส่วนของค่าจริงและค่าจินตภาพที่เท่ากันของสมการ(2.15)และ(2.16)และสมการที่คล้ายกันของบัส4 จะได้สมการหสมการในหกสภาวะที่เปลี่ยนแปลงจาก δ_1 ถึง δ_4 และ $|V_2|$ ถึง $|V_4|$ แต่อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาสำหรับทิศทางแรงดันคอมเพล็กซ์จากสมการที่ปรากฏอยู่ ขบวนการแก้ปัญหาโดยการทำไอเทอเรชันหรือการคำนวณซ้ำแล้วซ้ำอีกบนพื้นฐานค่าสเขตวลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส2,3และบัส4นั้นแรงดันสเขตวลของสแลคบัส $V_i = |V_i| \angle \delta_i$ และแรงดันเริ่มต้นจะประมาณได้ $V_2^{(0)}, V_3^{(0)}$ และ $V_4^{(0)}$ ที่บัสต่างๆ

การแก้ปัญหาของสมการ(15)จะกำหนดให้แรงดันที่ถูกต้อง $V_2^{(1)}$ คำนวณจาก

$$V_2^{(1)} = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_{2,sch} - jQ_{2,sch}}{V_2^{(0)*}} - \frac{(Y_{21}V_1 + Y_{23}V_3^{(0)} + Y_{24}V_4^{(0)})}{1} \right] \quad (2.17)$$

ในแต่ละปริมาณทั้งหมดในส่วนตัวทางด้านขวามือของสมการจะมีลักษณะที่มีค่าคงที่หรือการประมาณค่าเริ่มต้น ค่าคำนวณ $V_2^{(1)}$ และค่าประมาณ $V_2^{(0)}$ จะไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ ซึ่งถ้าต้องการที่จะทำให้ค่านี้สามารถนำมาพิจารณาได้นั้นต้องมีค่ามุมที่ถูกต้องหลังจากการทำไอเทอเรชันหลายๆรอบและจะทำให้ค่า V_2 ที่เป็นแรงดันประมาณมีค่าถูกต้องแต่ถ้าไม่มีการพิจารณากำลังไฟฟ้าที่บัสอื่น ค่าที่ได้มานี้จะไม่เป็นค่าคำนวณของ V_2 สำหรับเงื่อนไขของโหนดโพล แต่อย่างไรก็ตามแรงดันคำนวณของ V_2 วิธีนี้จะเป็นการประมาณค่า $V_3^{(0)}$ และ $V_4^{(0)}$ ที่บัสอื่นๆ และแรงดันไฟฟ้าจริงจะยังไม่ทราบ

แรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้องที่หาได้ทีแต่ละบัสจะถูกใช้คำนวณค่าแรงดันที่ถูกต้องที่บัสถัดไป เพราะฉะนั้นการแทนค่า $V_2^{(1)}$ ในสมการ(2.16)เราจะได้ค่าการคำนวณครั้งที่ที่บัส3คือ

$$V_3^{(1)} = \frac{1}{Y_{33}} \left[\frac{P_{3,sch} - jQ_{3,sch}}{V_3^{(0)*}} - \frac{(Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2^{(1)} + Y_{34}V_4^{(0)})}{1} \right] \quad (2.18)$$

ขบวนการทำการ ไอเทอเรชันที่บัส4และที่แต่ละบัสจะต่อเนื่องกันตลอดทั้งระบบ(ยกเว้นที่สแลคบัส)ที่จะทำให้การทำ ไอเทอเรชันครั้งแรกสมบูรณ์ในค่าที่คำนวณจะถูกหาในแต่ละสภาวะที่เปลี่ยนแปลง ถัดจากนั้นขบวนการทั้งหมดจะถูกทำซ้ำออกมาซ้ำๆกันจนกระทั่งค่าความถูกต้องของ

แรงดันไฟฟ้าที่ทุกๆบัสมีค่าน้อยกว่าดัชนีความแม่นยำที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้นี้ ขบวนการที่ใช้แก้ ปัญหาโหลดพลวัตวิธีนี้จะเป็นวิธีการของเกิร์ช-ไซเคิล-ไอเทอเรทีฟ

ในทางปฏิบัติจะพยายามหลีกเลี่ยงการแก้ปัญหาก็ไม่ถูกต้อง ถ้าค่าเริ่มต้นมีขนาดที่เหมาะสมและ ไม่มีความแตกต่างกันมากนักในส่วนของมุมเฟสมันเป็นเรื่องปกติธรรมดาในทางปฏิบัติที่จะต้องทำ การปรับเซตการประมาณค่าเริ่มต้นของแรงดันที่ยังไม่ทราบ ที่โหลดบัสทั้งหมดให้เท่ากับ $1.0 \angle 0^\circ$ เปรอรัยูนิต การเริ่มต้นจะถูกเรียกว่าแฟลทสตาร์ท (flat start) เพราะว่ารูปร่างของแรงดันจะถูกสมมติ ขึ้น

สำหรับระบบที่มีนวัต สมการทั่วไปที่ใช้คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสใดๆ เมื่อ P และ Q เป็นค่าสเกลทวลจะได้

$$V_i^{(k)} = \frac{1}{Y_{ij}} \left[\frac{P_{i,sh} - jQ_{i,sh}}{V_i^{(k-1)r}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} - \sum_{j=i+1}^N Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right] \quad (2.19)$$

$$V_{2,acc}^{(1)} = (1-\alpha)V_2^{(0)} + \alpha V_2^{(1)} = V_2^{(0)} + \alpha(V_2^{(1)} - V_2^{(0)}) \quad (2.20)$$

$$\text{หรือ} \quad V_{i,acc}^{(k)} = (1-\alpha)V_{i,acc}^{(k-1)} + \alpha V_i^{(k)} = V_{i,acc}^{(k-1)} + \alpha(V_i^{(k)} - V_{i,acc}^{(k-1)}) \quad (2.21)$$

ตัวสลับสคริปท์(k) จะใช้แทนจำนวนของการทำไอเทอเรชันในส่วนที่แรงดันที่ถูกคำนวณ และ (k-1) จะบอกถึงจำนวนของขบวนการการทำไอเทอเรชันและเราจะพบว่าค่าของแรงดันที่อยู่ทางด้าน ขวามือของสมการนี้จะเป็นค่าที่คำนวณอย่างทันทีทันใดทั้งหมดสำหรับบัสที่มีลักษณะเดียวกัน (หรือค่าแรงดันประมาณ ถ้าเป็น 1 และ ไม่มีการทำไอเทอเรชันที่บัสที่ทำการพิจารณา)

ตั้งแต่สมการ(2.19) จะใช้กับ โหลดบัสที่ทราบค่ากำลัง ไฟฟ้าจริงและกำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟเท่านั้น การพิจารณาเป็นสเต็ปจะมีความจำเป็นที่บัสที่เป็น โวลต์เตจคอนโทรลล์ซึ่งขนาดของแรงดัน จะมีค่าคงที่

โวลต์เตจคอนโทรลล์บัส เมื่อขนาดของแรงดันและกำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีลักษณะเฉพาะที่บัส ใดๆ ส่วนประกอบที่เป็นค่าจริงและค่าจินตภาพของแรงดันของการทำไอเทอเรชันแต่ละรอบที่หาได้ในการคำนวณครั้งแรกสำหรับค่ากำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟจากสมการ(2.4)จะได้ว่า

$$Q_i = -\text{Im} \left\{ V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right\} \quad (2.22)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$Q_i^{(k)} = -\text{Im} \left\{ V_i^{(k-1)r} \left[\sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} + \sum_{j=i+1}^N Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right] \right\} \quad (2.23)$$

ซึ่ง Im คือส่วนของค่าจินตภาพและตัวสลับสคริปท์จะบอกถึงการทำไอเทอเรชัน กำลัง ไฟฟ้ารี แอกทีฟ $Q_i^{(k)}$ จะประมาณ ได้จากสมการ(2.23) สำหรับค่าแรงดันที่บัสจะถูกแทนในสมการของ $Q_i^{(k)}$

และจะถูกแทนในสมการ(2.19)เพื่อที่จะหาค่าใหม่ของ $V_i^{(k)}$ องค์ประกอบของ $V_i^{(k)}$ ใหม่จะเป็นจำนวนเท่าของอัตราส่วนของขนาดค่าคงที่ $|V_i|$ กับขนาดของ $V_i^{(k)}$ ซึ่งถูกกำหนดดัง สมการ(2.19)ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแรงดันคอมเพล็กซ์ที่ถูกต้อง

วิธีการของเกาส์-ไซเดลจะเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาโหลดโพล แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาพื้นฐานทางด้านอุตสาหกรรมทุกวันนี้จะใช้สลับกับวิธีการของการไอเทอเรชันแบบนิวตัน-ราฟสันซึ่งเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ และยังเป็นวิธีการคำนวณที่รวดเร็วกว่าแบบเกาส์-ไซเดลมากและยังมีความเหมาะสมในด้านของเศรษฐศาสตร์มากอีกด้วย

2.3 วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน

การขยายอนุกรมของเทย์เลอร์สำหรับฟังก์ชันของตัวแปรสองตัวแปรหรือมากกว่าจะเป็นพื้นฐานสำหรับวิธีการของนิวตันราฟสันสำหรับการวิเคราะห์การแก้ปัญหาโหลดโพล การศึกษาวิธีการนี้จะเริ่มต้นโดยการพิจารณาการแก้ปัญหาที่ต้องการพิจารณานั้นคือสองสมการและสองตัวแปร และเราจะสามารถที่จะวิเคราะห์การแก้ปัญหาโหลดโพลได้อย่างไร

พิจารณาที่สมการของฟังก์ชัน h_1 ของตัวแปรสองตัวแปรคือ x_1 และ x_2 เท่ากับค่าคงที่ b_1 โดย

$$g_1(x_1, x_2, u) = h_1(x_1, x_2, u) - b_1 = 0 \quad (2.27)$$

และสมการที่สองจะกล่าวถึงฟังก์ชัน h_2 ซึ่ง

$$g_2(x_1, x_2, u) = h_2(x_1, x_2, u) - b_2 = 0 \quad (2.28)$$

เมื่อ b_1 เป็นค่าคงที่เช่นกัน สัญลักษณ์ u ใช้แสดงแทนการควบคุมอิสระซึ่งเป็นการพิจารณาค่าคงที่ในเรื่องนี้ ในสมการ(2.9)และ(2.10)ฟังก์ชัน g_1 และ g_2 จะใช้เพื่ออำนวยความสะดวกที่จะให้พิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างค่าคำนวณของ h_1 และ h_2 และมันยังอ้างอิงถึงค่า b_1 และ b_2 ด้วย

สำหรับค่าเฉพาะของ u จะทำการประมาณการแก้ปัญหาของสมการนี้เป็น $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ สับสคริปต์ที่เป็นศูนย์จะบ่งบอกถึงค่าที่เป็นการประมาณการเริ่มต้นและจะไม่ใช้การแก้ปัญหาจริง นั่นคือค่า x_1 และ x_2 จะทำการกำหนดค่าที่ถูกต้อง $\Delta x_1^{(0)}$ และ $\Delta x_2^{(0)}$ ซึ่งเป็นค่าที่ถูกรวมกับ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ กับวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้องของ x_1 และ x_2 ดังนั้นจะได้ว่า

$$g_1(x_1, x_2, u) = g_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}, u) = 0 \quad (2.29)$$

$$g_2(x_1, x_2, u) = g_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}, u) = 0 \quad \dots \quad (2.30)$$

ปัญหาในตอนนี้ก็คือการแก้ปัญหาหาค่า $\Delta x_1^{(0)}$ และ $\Delta x_2^{(0)}$ ซึ่งจะทำให้ปัญหาโดยการขยายสมการ(2.29)และ(2.30)ในรูปแบบของอนุกรมเทย์เลอร์เกี่ยวกับการแก้ปัญหาซึ่งจะกำหนดว่า

$$g_1(x_1, x_2, u) = g_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} \Big|^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial g_1}{\partial x_2} \Big|^{(0)} + \dots = 0 \quad (2.31)$$

$$g_2(x_1, x_2, u) = g_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial g_2}{\partial x_1} \Big|^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \Big|^{(0)} + \dots = 0 \quad (2.32)$$

ซึ่งการทำอนุพันธ์พาร์ทเชียลของอันดับที่มากกว่าหนึ่งในอนุกรมของเทอมของการขยายจะไม่มีกำหนดขึ้นมา เทอม $\frac{\partial g_1}{\partial x_1} \Big|^{(0)}$ จะบ่งบอกถึงอนุพันธ์พาร์ทเชียลที่ประมาณสำหรับค่าประมาณของ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ และในส่วนของเทอมอื่นจะประมาณคล้ายกัน

ถ้าไม่พิจารณาอนุพันธ์พาร์ทเชียลที่มีอันดับมากกว่าหนึ่งเราจะสามารถเขียนสมการ (2.31) และ (2.32) ในรูปแบบของเมทริกซ์ฟอร์มได้ว่า

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \frac{\partial g_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial g_2}{\partial x_1} & \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}}_{J^{(0)}} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 - g_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) \\ 0 - g_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 - h_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) \\ b_2 - h_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u) \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

ซึ่งเมทริกซ์จัตุรัสของอนุพันธ์พาร์ทเชียลจะถูกรู้จักว่าจาโคเบียน J หรือในกรณีนี้ $J^{(0)}$ จะบ่งบอกถึงค่าประมาณเริ่มต้น $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ ซึ่งจะถูกใช้ในการคำนวณค่าของจำนวนของอนุพันธ์พาร์ทเชียล จะสังเกตได้ว่า $g_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, u)$ จะเป็นค่าคำนวณของ g_1 ที่คำนวณจากค่าประมาณ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ แต่ค่าที่คำนวณออกมานี้จะไม่เป็นศูนย์กลางสมการ (2.27) นอกจากว่าค่าประมาณ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ จะถูกต้อง ก่อนหน้านี้แทนค่าเฉพาะของ g_1 ด้วยค่าคำนวณของ g_1 ที่เป็นมิสแมทซ์ $\Delta g_1^{(0)}$ และกำหนดค่ามิสแมทซ์ $\Delta g_2^{(0)}$ ในลักษณะเดียวกัน ก็จะ ได้ระบบที่เป็นเชิงเส้นของสมการมิสแมทซ์

$$J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta g_1^{(0)} \\ \Delta g_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

โดยการแก้สมการมิสแมทซ์ไม่ว่าจะโดยวิธีการใดเองเกิดแพททอไรเซชันของจาโคเบียน (สำหรับปัญหาที่เล็กน้อย) หรือโดยการหาค่าอินเวอร์สของมันเราจะสามารถกำหนด $\Delta x_1^{(0)}$ และ $\Delta x_2^{(0)}$ แต่อย่างไรก็ตามตั้งแต่ตอนที่ได้ทำการขยายอนุกรมออกเป็นส่วนๆค่าเหล่านั้นจะรวมถึงค่าคาดคะเนเริ่มต้น ไม่ใช่เป็นการกำหนดที่ถูกต้อง และจะต้องสมมติค่าประมาณค่าใหม่ $x_1^{(1)}$ และ $x_2^{(1)}$ อีกครั้งซึ่ง

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}; \quad x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \quad (2.35)$$

$$\text{และ} \quad g_1(x_1, x_2, u) = P_2(x_1, x_2, u) - (P_{e2} - P_{a2}) \\ = 4|V_1||V_2| \sin \delta_2 + 0.6 = 0 \quad (2.36)$$

$$g_2(x_1, x_2, u) = Q_2(x_1, x_2, u) - (Q_{e2} - Q_{a2}) \\ = 4|V_2|^2 - 4|V_1||V_2| \cos \delta_2 + 0.3 = 0 \quad (2.37)$$

และจะทำการ ให้อิทธิพลของแรงกระทำที่ได้อาจมีขนาดเล็กน้อย ซึ่งจะเลือกค่านีความแม่นยำ > 0 จนกระทั่ง $|\Delta x_1|$ และ $|\Delta x_2|$ นั้นน้อยกว่าค่า ϵ และวิธีการต่างๆเหล่านี้จะเป็นวิธีการของนิวตัน-ราฟสันที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาโหนดโพล

2.4 วิธีการแก้ปัญหาโหนดโพลโดยวิธีการของนิวตัน-ราฟสัน

เพื่อที่จะนำวิธีการของนิวตัน-ราฟสันมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในเรื่องของสมการของโหนดโพลนั้นจะทำการพิจารณาแรงดันบัสและค่าแอดมิตแดนซ์ของสายส่งในรูปแบบโพลาร์ เมื่อถูกปรับแก้ให้เท่ากับดังในสมการ(2.6)และ(2.7)และเทอมเหล่านั้นจะถูกแยกออกมาพิจารณาได้ว่า

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \tag{2.38}$$

$$Q_i = -|V_i|^2 B_{ii} - \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \tag{2.39}$$

สมการนี้มีความยุ่งยากในการที่จะอ้างอิงถึงมุมของแรงดันและขนาดของแรงดัน เทอมของ G_{ii} และ B_{ii} จะมาจากค่าของ Y_{ii} ในสมการ(2.1) และที่มุม $(\delta_n - \delta_i)$ เท่ากับศูนย์เมื่อ $n = i$ พิจารณาพิจารณาโวลต์เตจคอนโทรลบัสดัดไปและพิจารณาบัสดั้งเดิม(ยกเว้นสแลคบัสด)ที่เป็นโหนดบัสดที่รู้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของ P_{di} และ Q_{di} สแลคบัสดจะมีค่าที่ทราบคือค่ามุม δ_i และ $|V_i|$ และแต่ละบัสดต่างๆที่อยู่ในระบบนี้ที่เวิร์คจะมีตัวแปรสองตัวแปรคือ δ_i และ $|V_i|$ ที่จะนำไปใช้คำนวณในการแก้ปัญหาโหนดโพล ค่า P_{di} และ Q_{di} ที่รู้จะมีค่าเป็นลบของค่าคงที่บดบังแสดงในสมการ(2.27)และ(2.28) ที่ค่าประมาณของบัสดที่ไม่ใช่สแลคบัสดแต่ละบัสด ค่า δ_i และ $|V_i|$ จะเป็นไปตามค่าประมาณ $x_1^{(0)}$ และ $x_2^{(0)}$ ในการแก้ปัญหาค่ามิสมเมทซ์ Δg ของสมการ(2.34)จะเป็นไปตามสมการ(2.8)และ(2.9)โดยจะเป็นการเขียนเพาเวอร์มิสมเมทซ์สำหรับโหนดบัสดใดๆได้ว่า

$$\Delta P_i = P_{i, sch} - P_{i, calc} \tag{2.40}$$

$$\Delta Q_i = Q_{i, sch} - Q_{i, calc} \tag{2.41}$$

สำหรับตอนนี้จะทำการเขียนสมการมิสมเมทซ์สำหรับระบบที่มีสี่บัสด และสามารถพิจารณาได้อย่างชัดเจนเมื่อทำการขยายสมการนี้เข้าสู่ระบบที่มีมากกว่าสี่บัสด

สำหรับกำลังไฟฟ้าจริง P_i จะได้ว่า

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + \frac{\partial P_i}{\partial |V_2|} \Delta |V_2| + \frac{\partial P_i}{\partial |V_3|} \Delta |V_3| + \frac{\partial P_i}{\partial |V_4|} \Delta |V_4| \tag{2.42}$$

ในส่วนของสามทอมหลังจะสามารถเขียนใหม่โดยอ้างอิงกับขนาดของแรงดันของมันซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของมัน ดังนั้นซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \Delta P_1 = & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial P_1}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |V_2| \frac{\partial P_1}{\partial V_2} \frac{\Delta V_2}{|V_2|} \\ & + |V_3| \frac{\partial P_1}{\partial V_3} \frac{\Delta V_3}{|V_3|} + |V_4| \frac{\partial P_1}{\partial V_4} \frac{\Delta V_4}{|V_4|} \end{aligned} \quad (2.43)$$

รูปแบบของสมการจะมีประโยชน์มากซึ่งจะให้เห็นหลังจากนี้ สมการที่มีลักษณะคล้ายๆ กันจะสามารถเขียนในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q_1 จะสามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} \Delta Q_1 = & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} \Delta \delta_2 + \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_3} \Delta \delta_3 + \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_4} \Delta \delta_4 + |V_2| \frac{\partial Q_1}{\partial V_2} \frac{\Delta V_2}{|V_2|} \\ & + |V_3| \frac{\partial Q_1}{\partial V_3} \frac{\Delta V_3}{|V_3|} + |V_4| \frac{\partial Q_1}{\partial V_4} \frac{\Delta V_4}{|V_4|} \end{aligned} \quad (2.44)$$

บัสที่ไม่ใช่สแลคบัสแต่ละบัสของระบบจะมีสมการอยู่สองสมการที่เหมือนกับสมการของ ΔP_1 และ ΔQ_1 โดยการรวบรวมจากสมการมิตสมัทซ์ทั้งหมดในลักษณะรูปแบบของเวกเตอร์เมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_2}{\partial V_4} \\ | & J_{11} & | & | & J_{12} & | \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_4}{\partial V_2} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_4}{\partial V_4} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_2}{\partial V_4} \\ | & J_{21} & | & | & J_{22} & | \\ \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_4}{\partial V_2} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_4}{\partial V_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ | \\ \Delta \delta_4 \\ \frac{\Delta V_2}{|V_2|} \\ | \\ \frac{\Delta V_4}{|V_4|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ | \\ \Delta P_4 \\ \Delta Q_2 \\ | \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

จาโคเบียน

คอร์เรกชัน มิตสมัทซ์

ซึ่งไม่สามารถที่จะรวมค่ามิตสมัทซ์สำหรับสแลคบัสได้ตั้งแต่ค่า ΔP_1 และ ΔQ_1 ที่เป็นค่าที่ไม่ได้กำหนดเมื่อค่า P_1 และ Q_1 ไม่ได้เป็นค่าเสถียรเราจะยกเลิกทอมทั้งหมดที่กล่าวถึง $\Delta \delta_1$ และ $\Delta |V_1|$ จากสมการเพราะว่าค่าคอร์เรกชันนั้นเป็นศูนย์ทั้งคู่ที่สแลคบัส

การแบ่งแยกทอมจากสมการ(2.45)จะเน้นไปที่ชนิดความแตกต่างทั้งสี่ของอนุพันธ์พาร์ทเชี่ยลซึ่งจะเข้าไปสู่ตัวจาโคเบียน องค์ประกอบของ J_{22} และ J_{21} จะมีจำนวนเป็นจำนวนเท่าของขนาดของแรงดันเพราะว่าผลลัพท์จาโคเบียนมีความสมมาตรมาก ในการเลือกรูปแบบเช่นนี้จะใช้เอกลักษณ์ของ

$$\underbrace{|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial V_j}}_{\text{องค์ประกอบของ } J_{21}} \times \underbrace{\frac{\Delta V_j}{|V_j|}}_{\text{คอร์เรกชัน}} = \frac{\partial P_i}{\partial V_j} \times \Delta V_j \quad (2.46)$$

องค์ประกอบของ J_{21} คอร์เรกชัน



และค่าคอร์เรชันจะกลายเป็น $\Delta|V_i|/|V_i|$ ซึ่งจะเป็นการแสดงที่ค่อนข้างจะเหมือน $\Delta|V_i|$ การแก้ปัญหาของสมการ(2.45)จะหาได้โดยการทำไอเทอเรชันดังนี้

- ค่าประมาณ $\delta_i^{(0)}$ และ $|V_i|^{(0)}$ สำหรับตัวแปรสเตต
- ใช้การประมาณมาคำนวณ

ค่า $P_{i,calc}^{(0)}$ และ $Q_{i,calc}^{(0)}$ จากสมการ(2.38)และ(2.39)

ค่ามิสแมตช์ $\Delta P_i^{(0)}$ และ $\Delta Q_i^{(0)}$ จากสมการ(2.40)และ(2.41) และองค์ประกอบของอนุพันธ์พาร์ทเชิล J

- แก้สมการ(2.45)สำหรับหาค่าคอร์เรชันเริ่มต้น $\Delta\delta_i^{(0)}$ และ $\Delta|V_i|^{(0)}/|V_i|^{(0)}$
- ทำการรวมค่าคอร์เรชันที่ทำการแก้ปัญหาแล้วเป็นค่าประมาณเริ่มต้นซึ่งจะได้

$$\delta_i = \delta_i^{(0)} + \Delta\delta_i^{(0)} \quad (2.47)$$

$$|V_i|^{(1)} = |V_i|^{(0)} + \Delta|V_i|^{(0)} = |V_i|^{(0)} \left(1 + \frac{\Delta|V_i|^{(0)}}{|V_i|^{(0)}} \right) \quad (2.48)$$

- ใช้ค่าใหม่ของ $\delta_i^{(1)}$ และ $|V_i|^{(1)}$ เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการทำไอเทอเรชันครั้งที่สองและครั้งต่อไปเรื่อยๆ

ในส่วนของเทอมต่างๆ ไปนั้น สูตรที่ถูกปรับปรุงขึ้นให้ใช้ได้กับค่าเริ่มต้นของตัวแปรสเตตซึ่งก็คือ

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.49)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} + \Delta|V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k)} \left(1 + \frac{\Delta|V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}} \right) \quad (2.50)$$

สำหรับระบบที่มีสี่บัส เมตริกซ์ย่อย J_{11} จะมีรูปแบบดังนี้

$$J_{11} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

เพื่อที่จะทำให้องค์ประกอบในสมการนี้เห็นเด่นชัดเป็นการง่ายที่จะหาโดยการทำให้เกิดความแตกต่างของค่าจำนวนของเทอมที่เหมาะสมในสมการ(2.38) เมื่อตัวแปร θ ทำกับค่า μ ของเทอมโคซายน์ในการทำซิมเมชันของสมการ(2.38)ที่มีค่า δ_j และ โดยการทำดิฟพาร์ทเชิลที่เป็นเทอมเดี่ยวๆที่อ้างอิงถึง δ_j ซึ่งจะได้องค์ประกอบในแนวทแยง(off-diagonal)ของค่า J_{11}

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.52)$$

ในส่วนของด้านอื่นๆทุกๆเทอมในการทำซัมเมชันของสมการ(2.38)ซึ่งมี δ_i และคั้งนั้นองค์ประกอบทางแนวทแยงของ J_{11} คือ

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_n| \sin(\theta_n + \delta_n - \delta_i) = - \sum_{n=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} \quad (2.53)$$

โดยการเปรียบเทียบกับค่า Q_i ในสมการ(2.39)จะได้

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (2.54)$$

ในทำนองเดียวกัน จะทำการดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับองค์ประกอบของเมทริกซ์ย่อย J_{12} ดังนี้

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_j| \cos(\theta_j + \delta_j - \delta_i) \quad (2.55)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_n| \cos(\theta_n + \delta_n - \delta_i) = - \sum_{n=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \quad (2.56)$$

การเปรียบเทียบกับสมการนี้สำหรับ $\partial Q_i / \partial \delta_i$ กับสมการ(2.38)สำหรับ P_i จะแสดงได้ว่า

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = P_i - |V_i|^2 G_{ii} \quad (2.57)$$

องค์ประกอบของเมทริกซ์ย่อย J_{12} จะหาได้ง่ายในการหาครั้งแรกสำหรับการหาอนุพันธ์ของ $\partial P_i / \partial V_j$ และหลังจากนั้นคูณด้วย $|V_j|$ จะได้ว่า

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial V_j} = |V_j| |V_j Y_j| \cos(\theta_j + \delta_j - \delta_i) \quad (2.58)$$

เปรียบเทียบกับสมการ(2.55)จะได้

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial V_j} = - \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \quad (2.59)$$

ผลลัพธ์การใช้งานทั้งหมดนี้จะเป็นการลดการคำนวณที่กล่าวถึงในรูปแบบฟอร์มของจาโคเบียนตั้งแต่องค์ประกอบทางด้านแนวทแยงของ J_{12} ตอนนี้จะเป็นค่าลบขององค์ประกอบที่ตามกันใน J_{21} ซึ่งข้อเท็จจริงนี้จะไม่เห็นเด่นชัดถ้าไม่คูณ $\partial P_i / \partial V_j$ โดยขนาด $|V_j|$ ในสมการ(2.43) ในทำนองเดียวกันองค์ประกอบในแนวทแยงของ J_{12} จะถูกหาได้โดย

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = |V_i| \left[2|V_i| G_{ii} + \sum_{n=1, n \neq i}^N |V_n Y_n| \cos(\theta_n + \delta_n - \delta_i) \right] \quad (2.60)$$

และการเปรียบเทียบกับสมการ(2.56)และ(2.57) จะได้ว่าสูตรว่า

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 G_{ii} = P_i + |V_i|^2 G_{ii} \quad (2.61)$$

ในตอนสุดท้ายแล้ว องค์ประกอบแนวทแยงและแนวทแยงออฟของเมทริกซ์ย่อย J_{ii} ของจาโคเบียน จะถูกกำหนดว่า

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -|V_i| |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \quad (2.62)$$

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2|V_i|^2 B_{ii} = Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (2.63)$$

และเมื่อพิจารณาผลลัพธ์เข้าด้วยกันจะได้ว่า

องค์ประกอบแนวทแยงออฟ(Off-diagonal elements), $i \neq j$

$$M_{ij} \equiv \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \quad (2.64)$$

$$N_{ij} \equiv \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial V_j} \quad (2.65)$$

องค์ประกอบแนวทแยง(Diagonal elements), $i = j$

$$M_{ii} \equiv \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \quad |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -M_{ii} - 2|V_i|^2 B_{ii} \quad (2.66)$$

$$N_{ii} \equiv \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} \quad |V_i| \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = N_{ii} + 2|V_i|^2 G_{ii} \quad (2.67)$$

ความเกี่ยวข้องภายในระหว่างองค์ประกอบในเมทริกซ์ย่อยทั้งสี่ของจาโคเบียนจะเห็นได้ชัดเจนถ้าเรากำหนด และเขียนสมการ(2.45)ใหม่ในรูปแบบของ

$$\begin{bmatrix} M_{22} & M_{23} & M_{24} & N_{22} + 2|V_2|^2 G_{22} & -N_{23} & -N_{24} \\ M_{32} & M_{33} & M_{34} & -N_{32} & N_{33} + 2|V_3|^2 G_{33} & -N_{34} \\ M_{42} & M_{43} & M_{44} & -N_{42} & -N_{43} & N_{44} + 2|V_4|^2 G_{44} \\ N_{22} & N_{23} & N_{24} & -M_{22} - 2|V_2|^2 B_{22} & M_{23} & M_{24} \\ N_{32} & N_{33} & N_{34} & M_{32} & -M_{33} - 2|V_3|^2 B_{33} & M_{34} \\ N_{42} & N_{43} & N_{44} & M_{42} & M_{43} & -M_{44} - 2|V_4|^2 B_{44} \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \\ \Delta |V_2|/|V_2| \\ \Delta |V_3|/|V_3| \\ \Delta |V_4|/|V_4| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \quad (2.68)$$

ซึ่งจะต้องพิจารณา巴士ที่ไม่ใช่สแลค巴士ทั้งหมดที่เป็นโพล巴士 และต้องพิจารณา โวลท์เตจคอนโทรล巴士ด้วย

2.5 การศึกษาโพลโพลในส่วนของการออกแบบและการควบคุมระบบไฟฟ้า

บริษัทที่มีเครื่องมืออำนวยความสะดวกเกี่ยวกับทางด้านระบบไฟฟ้าอย่างเช่น โปรแกรมที่มีความละเอียดสูงมาก ๆ สำหรับการศึกษโพลโพล วัตถุประสงค์จะมุ่งเน้นไปที่การประมาณค่าของคอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในระบบไฟฟ้า ความสำคัญของข้อมูลที่ได้รับจะเกี่ยวกับการออกแบบและการควบคุมของระบบซึ่งยังไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกับระบบที่ยังมีอยู่ การศึกษาโพลโพลเพื่อการควบคุมระบบในทางปฏิบัติหรือเงื่อนไขการควบคุมโครงการโดยปกติจะเรียกว่ากรณีพื้นฐาน ผลลัพธ์จากกรณีพื้นฐานจะก่อให้เกิดเป็นผลสำหรับการเปรียบเทียบของการเปลี่ยนแปลงในระบบที่มีการไหลของกำลังและแรงดันไฟฟ้าภายใต้สภาวะผิดปกติหรือเงื่อนไขความบังเอิญ วิศวกรที่ออกแบบระบบส่งกำลังไฟฟ้าจะสามารถค้นพบความล้มเหลวของระบบอย่างเช่น แรงดันไฟฟ้าลดต่ำลง สายส่งรับโพลมากเกินไปหรือเงื่อนไขการใช้โพลที่มากเกินไป ความล้มเหลวอย่างนี้สามารถที่จะขจัดออกได้โดยการทำการศึกษการออกแบบที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการรวมเอาระบบที่เป็นพื้นฐานเข้าด้วย รูปแบบของระบบจะเป็นลักษณะที่ต้องมีการทดสอบการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะได้ค้นพบว่าความล้มเหลวของระบบเพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขความบังเอิญที่อ้างถึงความผิดปกติของตารางการผลิตหรือระดับโพล การปฏิบัติร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบระบบและโปรแกรมที่จะใช้คำนวณโพลโพลจะต้องมีความต่อเนื่องจนระบบแสดงผลเป็นที่น่าพอใจกับขอบเขตพื้นที่การวางแผนหรือกฎเกณฑ์ที่ใช้ควบคุมได้

โปรแกรมโพลโพลจะต้องมีความสามารถในการจัดการกับระบบไฟฟ้า และสมมติว่าระบบไฟฟ้าที่มีมากกว่า 2,000巴士 3,000ไลน์และหม้อแปลงไฟฟ้า500ตัว และในส่วนของโปรแกรมจะต้องสามารถขยายให้ใหญ่โตได้มากกว่าขนาดของระบบที่มีอยู่ให้มากเพียงพอเพื่อรองรับกับระบบไฟฟ้าในอนาคต

ส่วนของข้อมูลจะถูกส่งป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องรวมค่าของจำนวนของสายส่งและข้อมูลของ巴士 และการบ่งบอกถึงชนิดของ巴士ว่าเป็นสแลค巴士หรือเรกูลาทิบัสซึ่งจะมีขนาดของแรงดันที่คงที่โดยการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q หรือโพล巴士ที่มีขนาดPและQคงที่ตลอด ส่วนค่าที่ไม่คงที่จะถูกกำหนดในตารางที่เป็นการประมาณการเริ่มต้น การจำกัดค่าการจ่ายPและQโดยปกติจะต้องกำหนดให้คิดโดยพิจารณาเป็นกิโลโวลท์แอมป์ไลน์ นอกจากนี้ปกติโปรแกรมมักจะสมมติค่าเบสเป็น100MVA

๒๖/๒๕๖๓

ผลรวมของไลน์-ชาร์ทกึ่งเมกกวารจะกำหนดสำหรับสายส่งแต่ละเส้น สำหรับค่า
 ชั้นที่คาปาซิเตอร์จะเท่ากับ $\sqrt{3}$ คูณด้วยพิคัดแรงดัน ไลน์ในหน่วยกิโลโวลท์คูณด้วย I_{chg} และหารด้วย
 10^3 ซึ่งจะได้

$$(Mvar)_{chg} = \sqrt{3} |V| I_{chg} \times 10^3 = \omega C_n |V|^2 \quad (2.69)$$

ซึ่ง $|V|$ จะเป็นพิคัด ไลน์-ทุ-ไลน์ในหน่วยกิโลโวลท์ และ C_n เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ ไลน์-
 ทุ-ไลน์ในหน่วยฟารัด (F) ของความยาวสายส่งทั้งหมด และ I_{chg} ถูกกำหนดโดยสมการ $I_{chg} = j\omega CV$
 ในหน่วยแอมป์ต่อ ไมล์ ตัวโปรแกรมจะสร้างวงจรเทียบเคียงแบบ π ขึ้นมาโดยการแบ่งค่าคาปาซิ
 เตอร์คำนวณจากค่าที่กำหนดให้ของชาร์ทกึ่งเมกกวารที่เท่ากันระหว่างสองข้างของสายส่ง จะ
 สามารถเห็นได้ชัดเจนจากสมการ (2.69) ซึ่ง ไลน์ชาร์ทกึ่งเมกกวารในหน่วยเปอร์ยูนิตจะเท่ากับค่า
 เปอร์ยูนิตของชั้นที่จับเขปแดนซ์ของสายส่งที่แรงดัน 1.0 เปอร์ยูนิต สำหรับสายส่งระยะยาว
 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณวงจรเทียบเคียงแบบ π สำหรับคาปาซิเตอร์ที่กระจายอยู่ตลอดสาย
 ส่ง

ผลลัพธ์ที่ถูกแสดงออกมาโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยจำนวนข้อมูลต่างๆที่จัด
 ในรูปแบบตาราง โดยปกติข้อมูลที่สำคัญส่วนมากที่จะใช้พิจารณาเป็นลำดับแรกจะเป็นตารางที่ซึ่ง
 มีข้อมูลของบัสแต่ละบัสและชื่อของบัสนั้นๆ ขนาดของแรงดันบัสและมุมเฟสในหน่วยเปอร์ยูนิต,
 การจ่ายกำลัง ไฟฟ้าและโหลดที่แต่ละบัสในหน่วยเมกกะวัตต์และเมกกวาร และค่าเมกกวารของส
 แดคคาปาซิเตอร์หรือรีแอคเตอร์ที่มีอยู่ในบัส จากข้อมูลของบัสจะเป็นการ โหลดของกำลัง ไฟฟ้าใน
 หน่วยเมกกวัตต์และเมกกวารที่ไหลจากบัสนั้นๆ ไหลผ่านสายส่งแต่ละเส้นที่ต่ออยู่กับบัสนั้น ไปยัง
 บัสอื่น ผลรวมของการจ่ายกำลัง ไฟฟ้าของระบบจะถูกบันทึกในค่าเมกกวัตต์และเมกกวาร

2.6 สรุป

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับปัญหาของโหลด โฟลซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าขนาด
 ของแรงดันและมุมของแรงดันที่แต่ละบัสของระบบภายใต้เงื่อนไขการกำหนดของการควบคุม
 ขบวนการทำไอเทอเรนซ์แบบเก๊าซีไซเคิลและแบบนิวตันรัฟสันสำหรับการแก้ปัญหาโหลด โฟลจะ
 ถูกอธิบายไว้แล้วอย่างละเอียด

ในการพิจารณาที่จะศึกษาโหลด โฟลบางวิธีการของการควบคุมโหลด โฟลทั้งค่า
 กำลังไฟฟารีแอคทีฟและกำลังไฟฟ้าจริงก็ได้แสดงให้เห็นอย่างละเอียดแล้ว ผลลัพธ์ของหม้อแปลง
 สองตัวที่ต่อขนานกันเมื่ออัตราส่วนขนาดของแรงดันนั้นมีความแตกต่างกันหรือเมื่อหม้อแปลงตัว
 หนึ่งถูกเตรียมการทดสอบเฟสรีเฟรช สมการจะถูกใช้กับสำหรับ โนคแอคมิตแดนซ์ของหม้อแปลงและ
 วงจรสมมูลเหล่านี้จะเป็นการวิเคราะห์การควบคุมกำลังไฟฟารีแอคทีฟ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณโหลดไฟจะสามารถใช้ศึกษาการประยุกต์ใช้ คาปาซิเตอร์ที่โหลดบัล โดยการรวมค่าชั้นที่แอดมิตแดนซ์ของคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบ Y_{bus} ด้วยการควบคุมแรงดันที่เงินเนอเรเตอร์บัลจะสามารถพิจารณาได้จากการกำหนดค่าของแรงดันของ PV บัลขึ้นมา

วิธีการประมาณค่าที่รวดเร็วสำหรับการแก้ปัญหาโหลดไฟจะสามารถทำได้โดยการ เกลี่ยรูปแบบของคิซิทาเวอร์โพลซึ่งเป็นผลของค่าของกำลังไฟฟ้าจริง P และมุมของแรงดัน δ และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ Q และขนาดของแรงดันไฟฟ้า ดังในตารางการสรุปวิธีการต่างๆสำหรับโหลด ไฟและสูตรต่างๆที่นำมาใช้กับการแก้ปัญหาโหลดไฟ

ในการพิจารณาที่จะศึกษาเรื่องโหลดไฟนั้นจะกระทำโดยคอมพิวเตอร์ในการ พิจารณาในบทนี้ซึ่งจะมีการสาธิตบางวิธีในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการไหลของกำลังไฟฟ้า จากจุดหลักจุดหนึ่งที่ทราบว่าการควบคุมนี้จะต้องเป็นอย่างไร การศึกษาเรื่องโหลดไฟใน คอมพิวเตอร์จะเป็นหนทางที่ดีที่สุดที่จะได้รับคำตอบสำหรับผลกระทบของการควบคุมของระบบ ไฟฟ้า

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดเชิง โครนัสที่ต่อกับบัลที่มี แรงดันคงที่จะมีการขยายขนาดการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบ โดยแสดงเป็นวงจรมูลของเทวินิน

เมื่อเราพิจารณาการใช้คาปาซิเตอร์ประยุกต์กับ โหลดจะพบว่ากำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟ ตัวคาปาซิเตอร์จะเป็นสาเหตุให้แรงดัน ไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้น เมื่อการเพิ่มขึ้นของการกระตุ้นของ เครื่องกำเนิดเชิง โครนัสเพิ่มขึ้นจะเป็นสาเหตุให้อินพุทของกำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟไหลเข้าสู่ระบบ ไฟ ฟ้า ผลกระทบจะมาจากตัวคาปาซิเตอร์ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้แรงดัน ไฟฟ้าที่เงินเนอเรเตอร์บัลมี ขนาดเพิ่มขึ้นนอกเสียจากว่าระบบจะมีขนาดใหญ่มาก

เมื่อขนาดของแรงดัน ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดจะถูกส่งออกมา โดยปกติสำหรับการศึกษาโหลดไฟเราจะตรวจสอบว่าจะทำการกระตุ้นเครื่องกำเนิดอย่างไรที่จะ ต้องมีการปรับเปลี่ยนที่พบว่าแรงดันของบัลจะทำให้ค่า P คงที่ โดยเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า ในขั้นสุดท้าย เราจะได้ค่า P และ Q จากเครื่องกำเนิด ในเทอมของ $|V|, |E_g|$ และมุมกำลัง δ เพื่อใช้แสดงผลของกำลัง ไฟฟ้าจริงที่ขึ้นกับค่าของ δ

ผลลัพธ์ของการขนานหม้อแปลง ไฟฟ้าสองตัวเมื่ออัตราส่วนของขนาดของแรงดัน ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันหรือเมื่อหม้อแปลงตัวหนึ่งมีการเตรียมการทดสอบเฟสชัฟต์แล้ว สมการ ของค่า โคนแอดมิตแดนซ์ของวงจรมูลของหม้อแปลง ไฟฟ้าและหม้อแปลง LTC จะใช้ควบคุม ขนาดของแรงดัน ไฟฟ้าและหม้อแปลงเรกกูเลชันชนิดที่เป็นการเรกกูเลชันขนาดแรงดัน ไฟฟ้าและการ ชัฟต์เฟสจะสามารถควบคุมการ ไหลของกำลัง ไฟฟ้าจริงและกำลัง ไฟฟ้ารีแอกทีฟในสายส่งได้

บทที่ 3

การติดตั้งและใช้งานโปรแกรมโหลดไฟล์

สำหรับการติดตั้งและใช้งานโปรแกรมโหลดไฟล์ จะสามารถทำการติดตั้งโปรแกรมเพื่อใช้งานได้โดยทำการ unzip โปรแกรมโหลดไฟล์ที่ได้มีการบีบอัดไฟล์ข้อมูลจากแผ่นดิสก์ที่ได้แนบมา และ โปรแกรมโหลดไฟล์ที่ได้ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

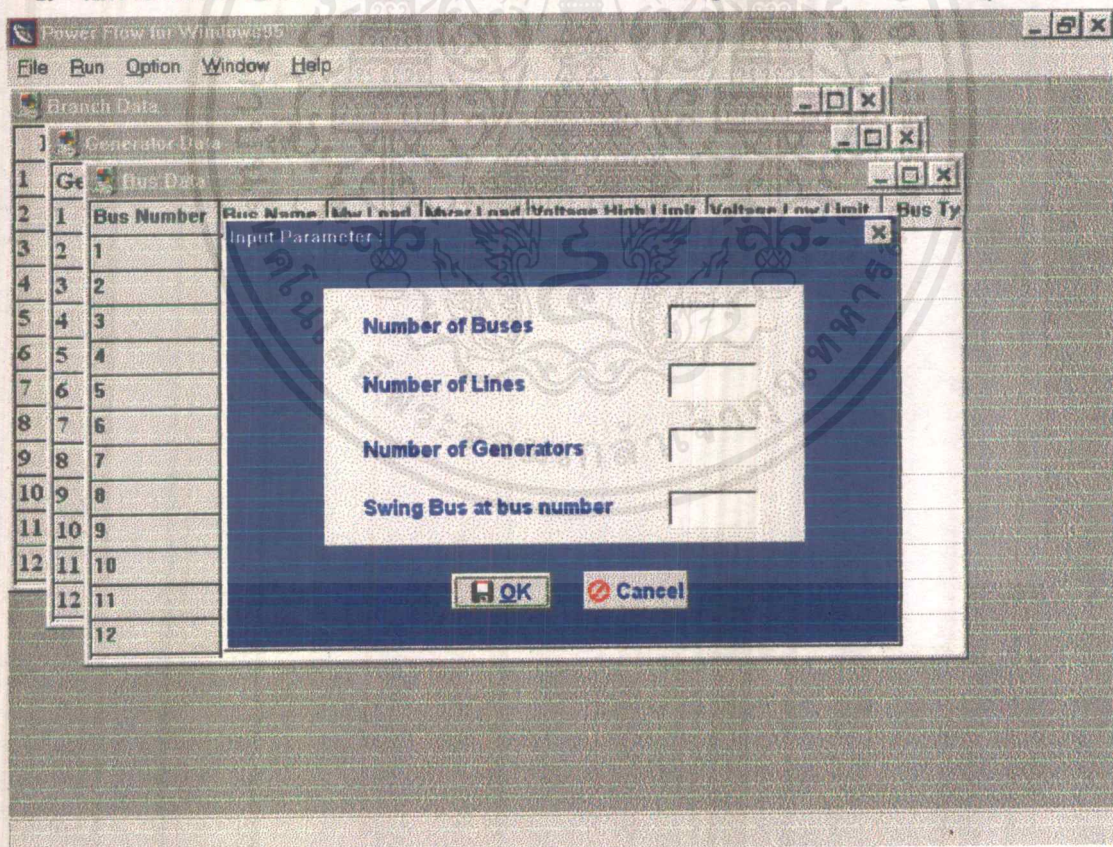
การติดตั้งโปรแกรม

การติดตั้งโปรแกรมโหลดไฟล์เข้ากับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 มีขั้นตอนดังนี้

1. ใส่อิสเทคต์ในไดรฟ์ A:
2. ไปที่สตาร์ทเมนู แล้วเลือกคำสั่งรัน
3. พิมพ์ A:\setup จากนั้นกดปุ่ม OK
4. ดำเนินการตามคำสั่งในการติดตั้งที่ปรากฏบนหน้าจอ จนเสร็จการติดตั้ง

การใช้งานโปรแกรมโหลดไฟล์

1. เปิดโปรแกรมโหลดไฟล์ คลิกที่ File Menu แล้วคลิกที่ Open บนหน้าจอจะปรากฏข้อความ



ถ้าระบบเป็น 4 บัสจะต้องป้อน

Input Parameter :

Number of Buses	4
Number of Lines	4
Number of Generators	2
Swing Bus at bus number	1

OK Cancel

ถ้าระบบเป็น 5 บัสจะต้องป้อน

Input Parameter :

Number of Buses	5
Number of Lines	6
Number of Generators	2
Swing Bus at bus number	1

OK Cancel

ถ้าระบบเป็น 6 บัสจะต้องป้อน

Input Parameter :

Number of Buses	6
Number of Lines	11
Number of Generators	3
Swing Bus at bus number	1

OK Cancel

ถ้าระบบเป็น 8 บัสจะต้องป้อน

Input Parameter :

Number of Buses	8
Number of Lines	9
Number of Generators	2
Swing Bus at bus number	1

OK Cancel

และถ้าระบบเป็น 12 บัสจะต้องป้อน

Input Parameter :

Number of Buses	12
Number of Lines	13
Number of Generators	3
Swing Bus at bus number	1

OK Cancel

เมื่อทำการป้อนค่าต่างๆเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการคลิกที่ปุ่ม Ok หรือเคาะแป้น Enter

2. ทำการคลิกที่ Run Menu เพื่อเลือกวิธีการคำนวณแบบ Gauss-Seidel หรือ Newton-Raphson บนหน้าจอก็จะปรากฏข้อความ

Output Load Flow Solution:

24/3/98 1:46:02 Time

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

GAUSS-SEIDEL METHOD

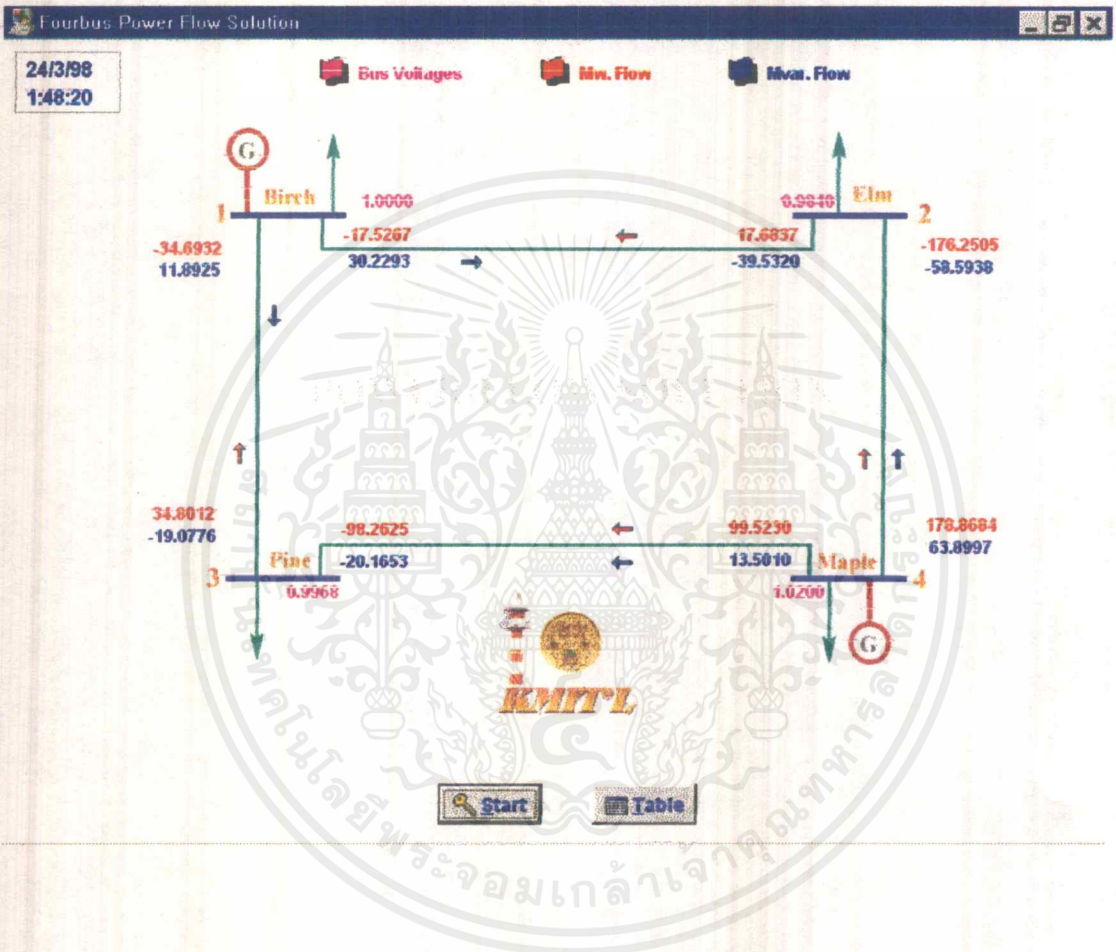
FOUR BUS 10 ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0000	0.0000	134.6400	83.4370	82.4201	125.5587	2 3
2	Elm	0.9840	0.7219	158.4000	98.1600			1 4
3	Pine	0.9968	0.8093	63.3600	39.2670			1 4
4	Maple	1.0200	4.2339	39.6000	24.5440	318.0000	101.9446	2 3
Total				396.0000	245.4080	400.4201	227.5034	

Start Display Print

หมายเหตุ: เมื่อ Run ที่ระบบ 4 บัส

3. ทำการคลิกที่ปุ่ม Start โปรแกรมจะเริ่มทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า หลังจากนั้นคลิกที่ปุ่ม Display เพื่อดูทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในส่วนของกราฟฟิก หรือจะคลิกที่ปุ่ม Print เพื่อพิมพ์ข้อมูลต่างๆของระบบออกมาทาง Printer



รูปที่ 3.1 ส่วนของการแสดงผลทางกราฟฟิกของโปรแกรมโหลด โฟล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Load Flow Solution:

24/3/98 1:49:47

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

GAUSS-SEIDEL METHOD

FOUR BUS ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0000	0.0000	134.6400	83.4370	82.4201	125.5587	2 3
2	Elm	0.9840	0.7219	158.4000	98.1600			1 4
3	Pine	0.9968	0.8093	63.3600	39.2670			1 4
4	Maple	1.0200	4.2339	39.6000	24.5440	318.0000	101.9446	2 3
Total				396.0000	245.4060	400.4201	227.5034	

Start Display Print

รูปที่ 3.2 ข้อมูลที่พิมพ์ออกมาทางเครื่องพิมพ์นั้นจะเป็นข้อมูลในลักษณะตารางดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองโปรแกรมโหลดโพล

ผลการทดลองโปรแกรมโหลดโพลจะใช้ทดสอบกับระบบไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ 5 ระบบคือ 4, 5, 6, 8, 12 บัส

เมื่อพิจารณาที่ 4 บัส

Output Load Flow Solution:

24/3/98 1:51:06 Time

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

GAUSS-SEIDEL METHOD FOUR BUS ITERATIONS 10

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0000	0.0000	134.6400	83.4370	82.4201	125.5587	2 3
2	Elm	0.9840	0.7219	158.4000	96.1600			1 4
3	Pine	0.9968	0.8093	63.3600	39.2670			1 4
4	Maple	1.0200	4.2339	39.6000	24.5440	318.0000	101.9446	2 3
Total				396.0000	245.4080	400.4201	227.5034	

Start Display Print

รูป. เมื่อทำการรันแบบ Gauss-Seidel จะทำการคำนวณ 10 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

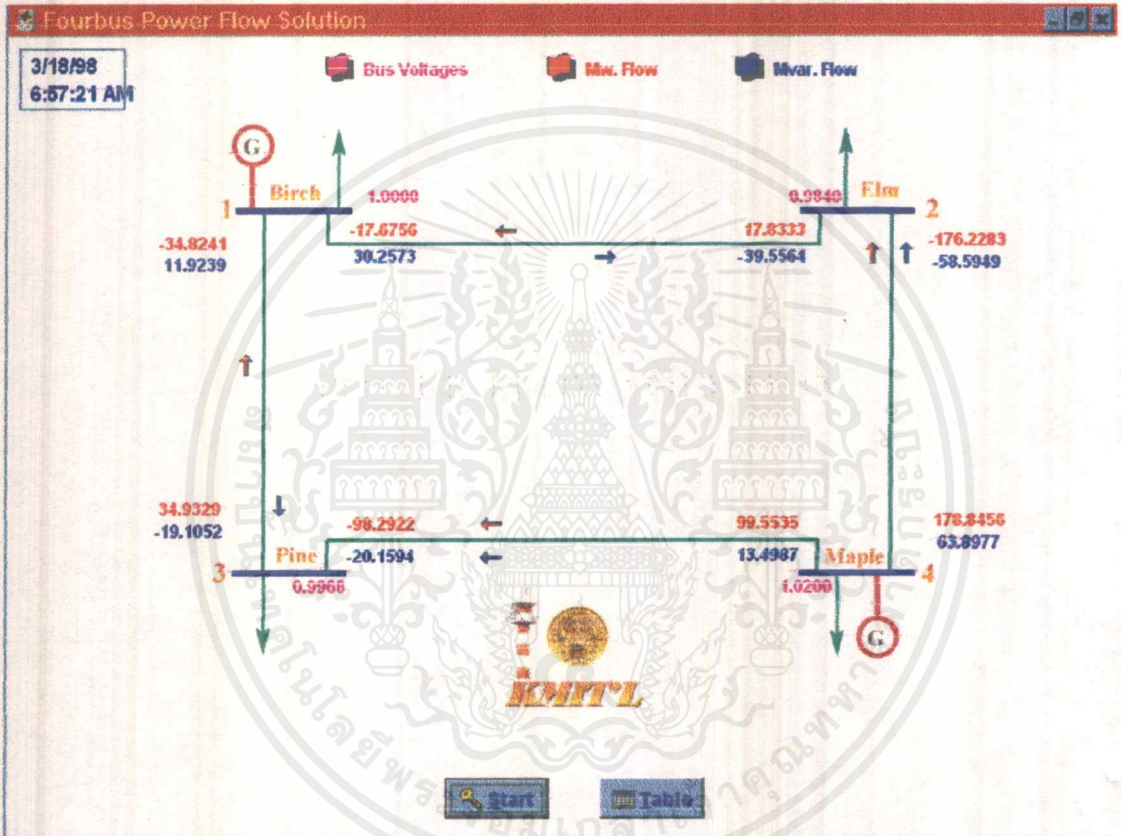
Output Load Flow Solution:

24/3/98 1:52:01 **POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L** FOUR BUS ITERATIONS
Time **NEWTON-RAPHSON METHOD**

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0000	0.0000	134.6400	83.4370	82.1403	125.6181	2 3
2	Elm	0.9840	0.7264	158.4000	98.1600			1 4
3	Pine	0.9968	0.8122	63.3600	39.2670			1 4
4	Maple	1.0200	4.2379	39.6000	24.5440	318.0000	101.9404	2 3
Total				396.0000	245.4080	400.1403	227.5585	

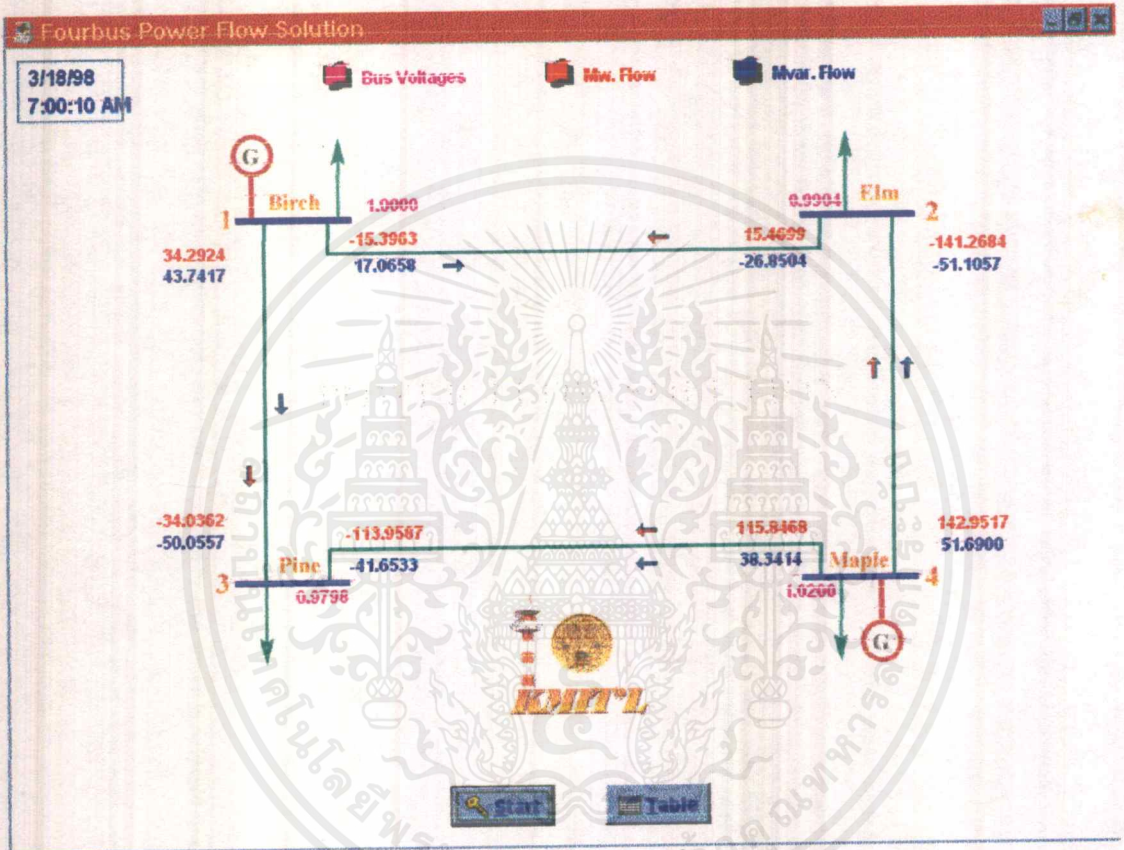
Start Display Print

รูป. เมื่อทำการคำนวณแบบNewton-Raphsonจะคำนวณ3รอบ



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที2

รูปที่4.1 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 4 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่ 5 บัส

Output Load Flow Solution:

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

23/3/98
21:38:00 **Time**

GAUSS-SEIDEL METHOD

FIVE BUS ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0400	0.0000	63.5580	29.3430	224.9694	97.8365	2 5
2	Elm	0.9633	-5.9543	112.4640	58.6480			1 3
3	Maple	1.0200	-3.2451	68.4290	39.1250	180.0000	105.6045	2 4 5
4	Oak	0.9236	-10.3514	68.4290	29.3440			3 5
5	Pine	0.9703	-5.8485	83.1200	39.1250			1 3 4
Total				396.0000	195.5950	404.9694	203.4410	

Start Display Print

รูป. เมื่อรัน โดยวิธีเกาส์เซอิดลจะทำการคำนวณ 16 รอบ

Output Load Flow Solution: _ 5 x

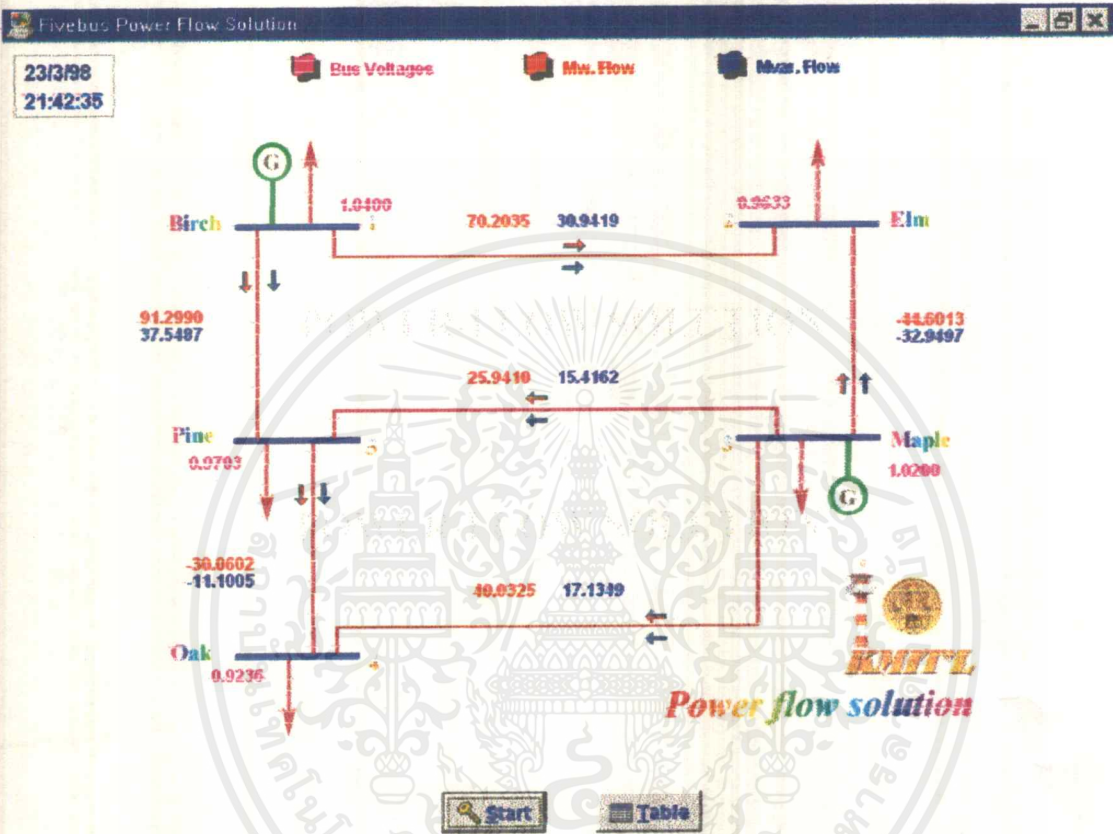
23/3/98 **POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L** FIVE BUS
 21:40:17 Time **NEWTON-RAPHSON METHOD** + ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	Birch	1.0400	0.0000	63.5580	29.3430	225.0806	97.8336	2 5
2	Elm	0.9633	-5.9595	112.4640	58.6480			1 3
3	Maple	1.0200	-3.2511	68.4290	39.1250	180.0000	105.6243	2 4 5
4	Oak	0.9236	-10.3565	68.4290	29.3440			3 5
5	Pine	0.9703	-5.8512	83.1200	39.1250			1 3 4
Total				396.0000	195.5850	405.0606	203.4579	

Start Display Print

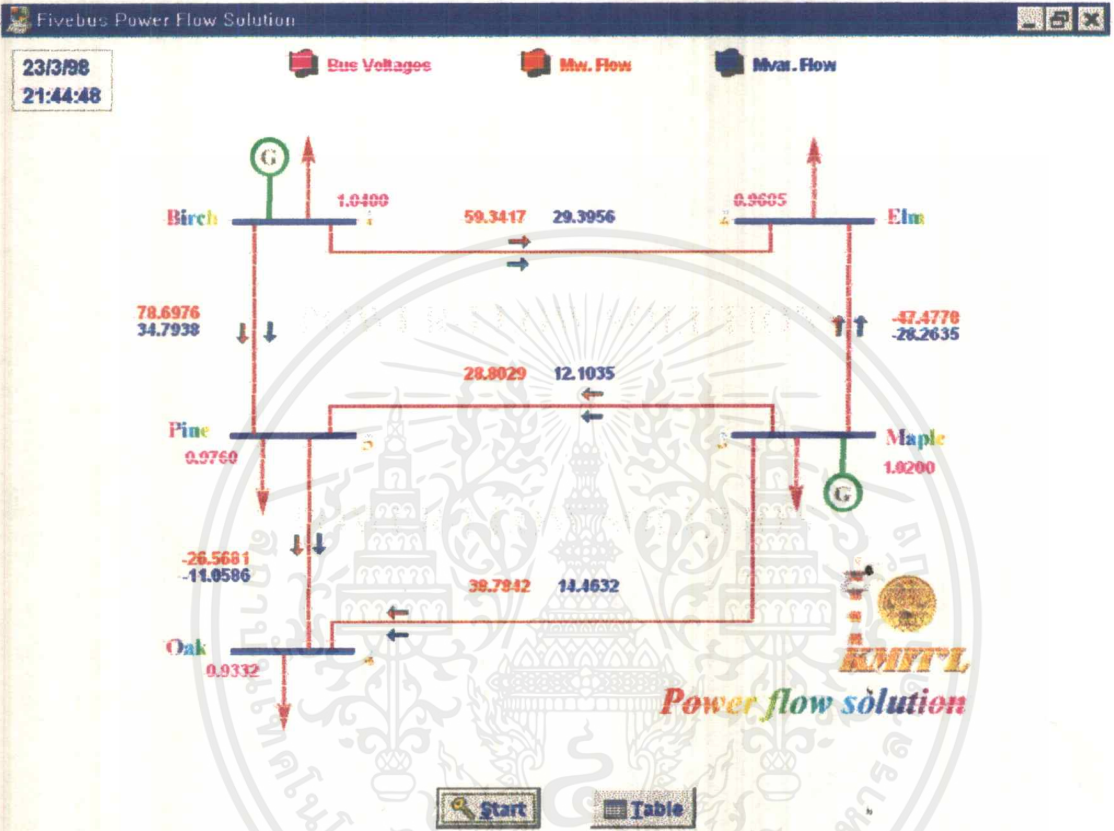
รูป. เมื่อรัน โดยวิธีนิวตันราฟสันจะทำการคำนวณ 4 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที่ 2

รูปที่ 4.2 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 5 บัส

เมื่อพิจารณาที่ระบบ 6 บัส

Output Load Flow Solution:

23/3/98
21:48:06

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

GAUSS-SEIDEL METHOD

SIX BUS
23 ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bu
1	Bus1	1.0500	0.0000	0.0000	0.0000	67.6546	-4.8384	2 4 5
2	Bus2	1.0500	-1.7905	0.0000	0.0000	50.0000	6.3967	1 3 4 5 6
3	Bus3	1.0700	-1.9106	0.0000	0.0000	60.0000	38.8958	2 5 6
4	Bus4	1.0200	-3.1311	63.0000	31.5000			1 2 5
5	Bus5	1.0325	-3.5087	47.2500	22.7500			1

Start Display Print

รูป. เมื่อรัน โดยวิธีเกาส์ไชเดิลจะทำการคำนวณ 23 รอบ

Output Load Flow Solution:

23/3/98
21:50:37

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

Time

NEWTON-RAPHSON METHOD

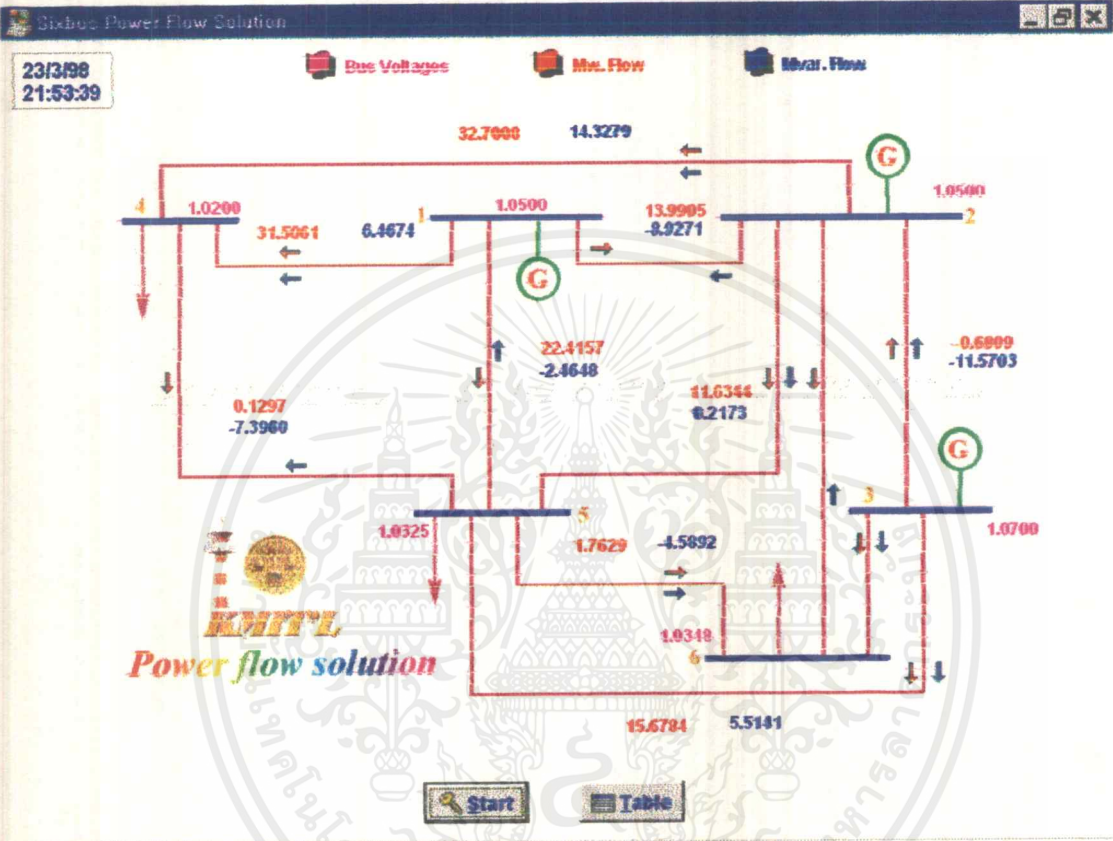
SIX BUS ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bu
1	Bus1	1.0500	0.0000	0.0000	0.0000	67.9123	-4.9245	2 4 5
2	Bus2	1.0500	-1.8038	0.0000	0.0000	50.0000	6.4573	1 3 4 5 6
3	Bus3	1.0700	-1.9277	0.0000	0.0000	60.0000	38.9176	2 5 6
4	Bus4	1.0200	-3.1406	63.0000	31.5000			1 2 5
5	Bus5	1.0325	-3.5207	47.2500	22.7500			1

Start Display Print

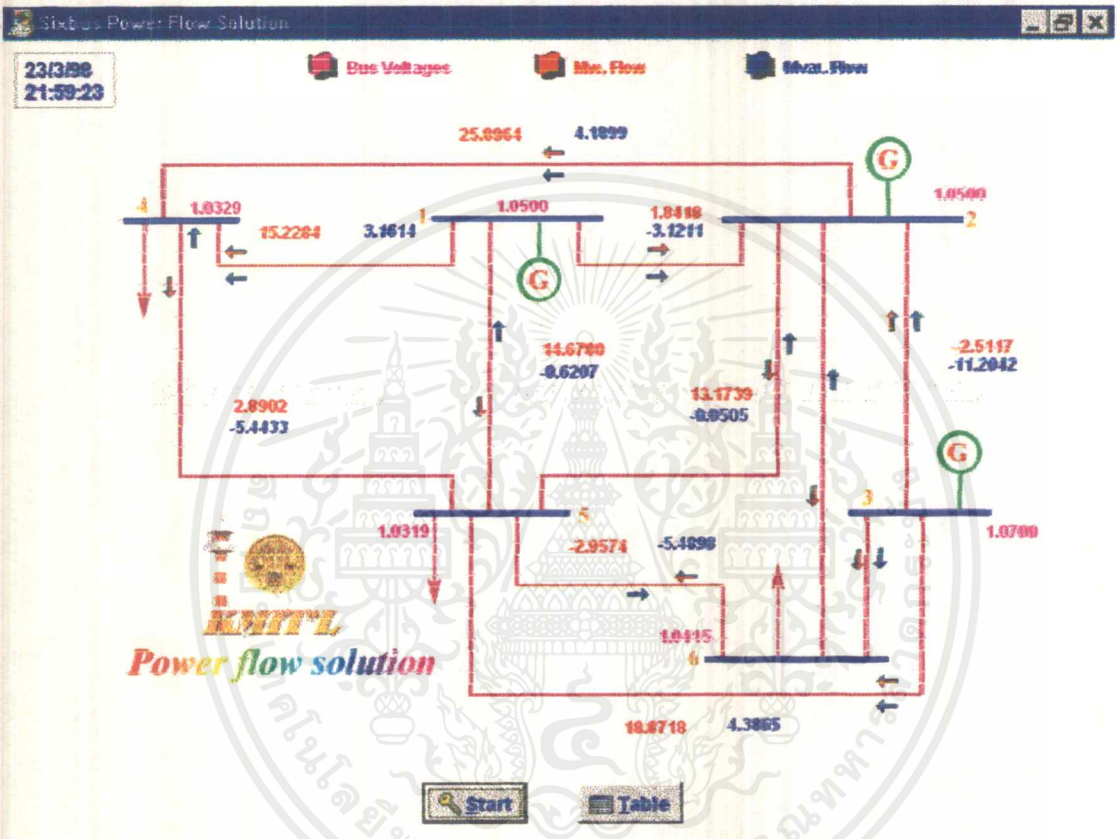
รูป. เมื่อรัน โดยวิธีนิวตันจะทำการคำนวณ 3 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที 2

รูปที่ 4.3 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 6 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่ 8 บัส

Output Load Flow Solution:

23/3/98
22:02:21

POWER FLOW SOLUTION BY KMIT'L

GAUSS-SEIDEL METHOD

EIGHT BUS
101 ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	AP	1.0100	0.0000	31.5610	15.2860	270.1415	17.1237	2
2	BL	0.8572	-6.8121	225.9580	74.2500			1
3	CTN	0.8934	-7.0844	0.0000	0.0000			2
4	SH1	0.9294	-7.3503	0.0000	0.0000			3
5	RY3	1.0121	-7.9045	0.0000	0.0000			4
6	RY2	1.0270	-7.5128	49.9360	24.1960	162.0000	173.3628	5
7	KLA	1.0076	-8.6467	0.0000	0.0000			6
8	RY1	0.9855	-9.6078	88.5060	42.8870			5

Start Display Print

รูป. เมื่อรันแบบเกือซไเซเดิลจะทำการคำนวณ 101 รอบ

Output Load Flow Solution:

23/3/98
22-04-22

POWER FLOW SOLUTION BY KMITL
NEWTON-RAPHSON METHOD

EIGHT BUS
ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	AP	1.0100	0.0000	31.5610	15.2860	284.5512	13.9330	2
2	BL	0.8501	-7.4373	225.9580	74.2500			1 3
3	CTN	0.9877	-7.9746	0.0000	0.0000			2 4
4	SH1	0.9251	-8.4630	0.0000	0.0000			3 5
5	RY3	1.0115	-9.4405	0.0000	0.0000			4 6 8
6	RY2	1.0270	-9.0572	49.9360	24.1960	162.0000	180.2561	5 7
7	KLA	1.0073	-10.2042	0.0000	0.0000			6 8
8	RY1	0.9850	-11.1500	88.5060	42.8870			5

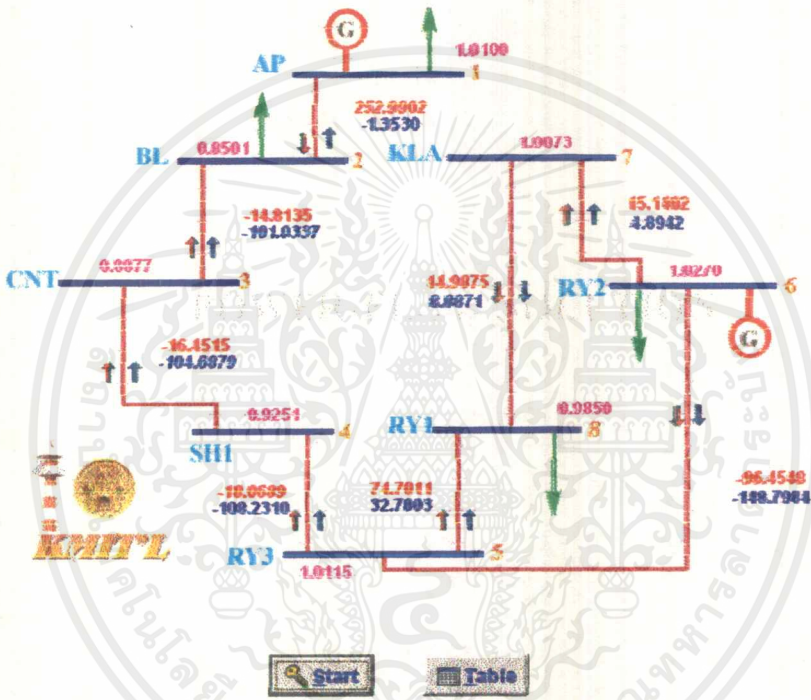
Start Display Print

รูป. เมื่อรันแบบนิวตันราฟสันจะทำการคำนวณ 4 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

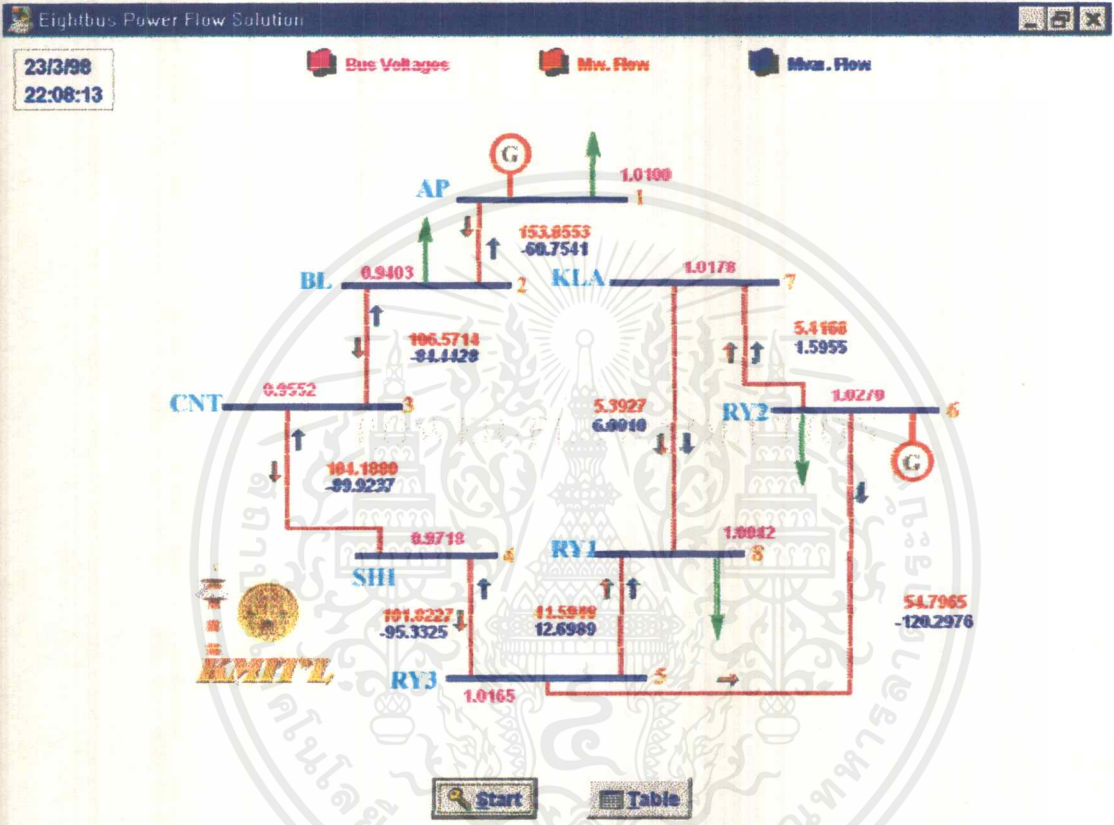
23/3/98
22:06:16

Bus Voltage MW Flow Mvar. Flow



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาทีี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันในช่วงเวลาที่ 2

รูปที่ 4.4 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 8 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่ 12 บัส

Output Load Flow Solution: _ B X

23/3/98 Time **POWER FLOW SOLUTION BY KMITL** TWELVE BUS

22:13:01 GAUSS-SEIDEL METHOD 101 ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	AP	1.0100	0.0000	32.8280	15.8800	240.2905	-32.5727	2
2	BL	0.9017	-7.7346	75.9820	36.3530			1 3
3	CTN	0.9233	-10.7091	0.0000	0.0000			2 4
4	SH1	0.9467	-13.6023	0.0000	0.0000			3 5
5	RY3	1.0076	-19.9891	0.0000	0.0000			12 4 6
6	RY2	1.0270	-19.8752	26.7700	12.9890	162.0000	224.7656	8 5 7
7	KLA	0.9923	-22.7773	0.0000	0.0000			9 6

Start Display Print

รูป. เมื่อรัน โดยวิธีเกาส์เซเดลจะทำการคำนวณ 101 รอบ

Output Load Flow Solution

23/3/98 22:16:21

POWER FLOW SOLUTION BY KMITL

Time

NEWTON-RAPHSON METHOD

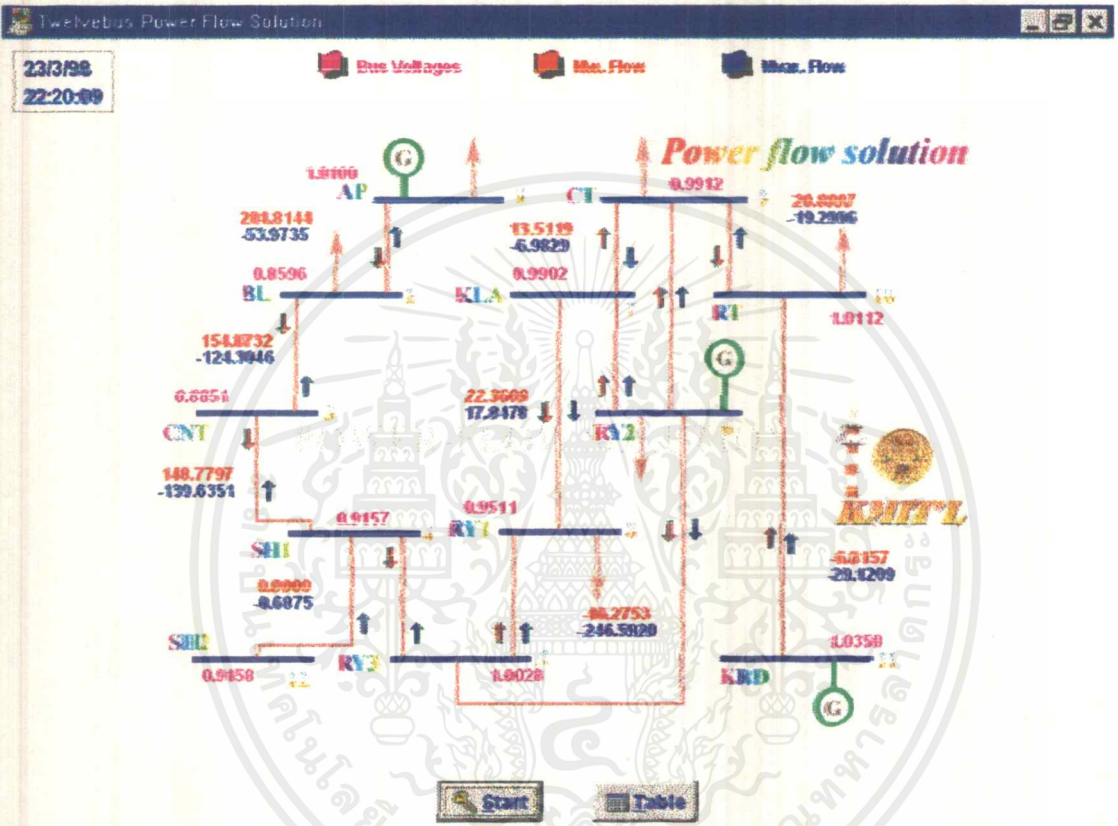
TWELVE BUS ITERATIONS

Bus	Name	Volt Mag.	Volt Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus
1	AP	1.0100	0.0000	22.9280	15.8800	317.8424	-38.0935	2
2	BL	0.8596	-10.6339	75.0820	36.3530			1 3
3	CTN	0.8851	-15.2071	0.0000	0.0000			2 4
4	SH1	0.9157	-19.4943	0.0000	0.0000			3 5
5	RY3	1.0028	-28.2886	0.0000	0.0000			12 4 6
6	RY2	1.0270	-28.2522	26.7700	12.9690	162.0000	277.9241	8 5 7
7	KLA	0.9902	-31.2827	0.0000	0.0000			9 6

Start Display Print

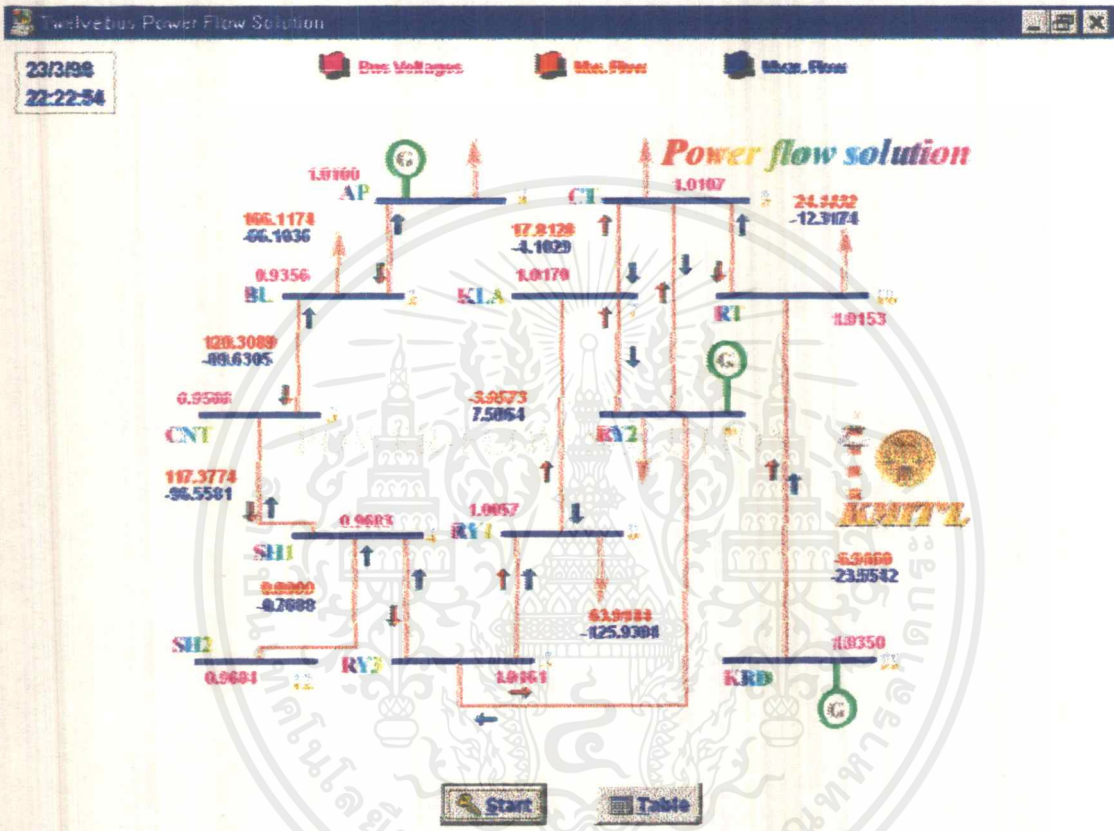
รูป. เมื่อรัน โดยวิธีนิวตันราฟสันจะทำกรคำนวณ 5 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. เมื่อรันที่ช่วงเวลาที2

รูปที่4.5 เมื่อทำการทดสอบกับระบบ 12 บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโปรแกรมโหนดโฟลตนั้น จะต้องทำการป้อนค่าพารามิเตอร์อินพุตตัวคือ ข้อมูลบัส, ข้อมูลของเครื่องกำเนิด และข้อมูลของสายส่งที่มีวงจรสมมูลแบบพาสน์ ซึ่งถ้าต้องการให้เอาท์พุทออกมาในลักษณะกราฟฟิสิกของระบบจะต้องป้อนค่าต่างๆให้ตรงกับการใช้งานโปรแกรมดังจะเห็นได้จากบทที่ 3 ซึ่งข้อมูลอินพุตต่างๆนั้นสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าได้ เช่น ต้องการให้บัสไหนเป็นสวิงบัสก็ได้ การเปลี่ยนค่าข้อมูลก็เพียงแค่เปลี่ยนค่าเข้าไปแล้วกด center เพื่อให้โปรแกรมรับค่าเท่านั้น เมื่อทำการรันโปรแกรมและเมื่อทำการพิจารณาจากรูปเอาท์พุทแล้วจะพบว่า ผลเอาท์พุทจากรูปจะบอกค่าแรงดันที่บัสออกมาในค่าเปอร์เซ็นต์ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะบอกออกมาเป็นค่าเมกกะวัตต์และเมกกะวาร์ตามลำดับ โดยมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจะแสดงให้เห็นเป็นลักษณะรูปลูกศรเคลื่อนที่ตามสายส่งไฟฟ้า ซึ่งจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นการรันเพียง 2 ช่วงเวลา ซึ่งจริงๆแล้วโปรแกรมจะทำการรันอยู่ 24 ช่วงเวลาและในแต่ละช่วงเวลาความต้องการของโหนดจะมีค่าแตกต่างกัน แต่ถ้าต้องการรันโหนดโฟลต โดยมีข้อมูลของระบบไม่ตรงกับข้อมูลของรูปของระบบที่มีใน โปรแกรมจะสามารถรันได้แต่จะไม่มีรูปภาพฟิสิกของระบบแสดงให้เห็น และขีดจำกัดของโปรแกรมโหนดโฟลตที่เขียนขึ้นมาี้ จะสามารถใช้รันกับระบบที่มีจำนวนบัสไม่เกิน 25 บัส จำนวนสายส่งไม่เกิน 80 โหนด และจำนวนเครื่องกำเนิดไม่เกิน 20 ตัว

จากการทดลองโปรแกรมโหนดโฟลตจะพบว่าเมื่อทำการ โปรแกรมโดยการรันแบบ Gauss-Seidel และแบบ Newton-Raphson จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของจำนวนรอบการคำนวณคือ การรันแบบเกาส์ไซด์จะใช้จำนวนรอบในการคำนวณมากกว่าการรันแบบนิวตันราฟสัน โดยถ้าระบบไฟฟ้ามีจำนวนบัสมากขึ้นก็จะทำให้ต้องใช้การคำนวณหรือการทำไอเทอเรชันหลายรอบมากเมื่อใช้วิธีของเกาส์ไซด์ ส่วนวิธีของนิวตันราฟสันเมื่อจำนวนบัสเพิ่มขึ้นจำนวนรอบในการคำนวณจะไม่เพิ่มมากนัก ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองการคำนวณจะเพิ่มเพียงรอบเดียวเท่านั้นเอง ซึ่งจากจุดนี้ทำให้พิจารณาได้ว่าวิธีของนิวตันราฟสันจะใช้เวลาในการคำนวณสั้นกว่าวิธีของเกาส์ไซด์

อาจจะสรุปได้ว่าการรันโดยใช้วิธีของนิวตันราฟสันจะใช้เวลาในการคำนวณเร็วกว่าการรันโดยใช้วิธีของเกาส์ไซด์ แต่ในความเป็นจริงจากการทดลอง ความเร็วในการประมวลผลไม่แตกต่างกันสักเท่าไรนัก เนื่องมาจากความเร็ว CPU ของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีความเร็วมากกว่าสมัยในอดีตมาก และ โปรแกรมโหนดโฟลตที่เขียนขึ้นมาี้จะมีประโยชน์อย่างมากในการใช้ศึกษาเกี่ยวกับ โหนดโฟลตที่มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าของโหนดในแต่ละช่วงเวลา

ตารางสรุปสมการโหลดโพลและวิธีการแก้ปัญหา

<p>สมการโหลดโพล</p>	$P_i = \sum_{n=1}^N Y_n V_i V_n \cos(\theta_n + \delta_n - \delta_i)$ $Q_i = -\sum_{n=1}^N Y_n V_i V_n \sin(\theta_n + \delta_n - \delta_i)$ $\Delta P_i = P_{i,sch} - P_{i,load}$ $\Delta Q_i = Q_{i,sch} - Q_{i,load}$
<p>วิธีการแก้อัตรา</p>	<p>หาค่า V ที่บัส แม็ทริกของค่า P และ Q;</p> $V_i^{(k)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_{i,sch} - jQ_{i,sch}}{V_i^{(k-1)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} - \sum_{j=i+1}^N Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right]$ <p>หาค่า Q ที่แรงกวดบัส;</p> $Q_i^{(k)} = -\text{Im} \left\{ V_i^{(k-1)*} \left[\sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} + \sum_{j=i}^N Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right] \right\}$ <p>ใช้แฟกเตอร์ตัวเร่ง α ที่บัส ในการทำไอเทอเรชัน k;</p> $V_{i,acc}^{(k)} = (1 - \alpha) V_{i,acc}^{(k-1)} + \alpha V_i^{(k)} = V_{i,acc}^{(k-1)} + \alpha (V_i^{(k)} - V_{i,acc}^{(k-1)})$
<p>วิธีการนิวตันรัฟสัน</p>	$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} & V_2 \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \dots & V_N \frac{\partial P_2}{\partial V_N} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{12} & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} & V_2 \frac{\partial P_N}{\partial V_2} & \dots & V_N \frac{\partial P_N}{\partial V_N} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} & V_2 \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \dots & V_N \frac{\partial Q_2}{\partial V_N} \\ \vdots & J_{21} & \vdots & \vdots & J_{22} & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} & V_2 \frac{\partial Q_N}{\partial V_2} & \dots & V_N \frac{\partial Q_N}{\partial V_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_N \\ \frac{\Delta V_2}{ V_2 } \\ \vdots \\ \frac{\Delta V_N}{ V_N } \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_N \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_N \end{bmatrix}$ $\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_j + \delta_j - \delta_i) \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{n=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} = -Q_i - V_i ^2 B_{ni}$ $\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_j + \delta_j - \delta_i) \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{n=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} = P_i - V_i ^2 G_{ni}$ $ V_i \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = -\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} \quad V_i \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = +\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2 V_i ^2 G_{ii}$ $ V_i \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = +\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \quad V_i \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2 V_i ^2 B_{ii}$ <p>สูตรการอัปเดตตัวแปรแทน;</p> $\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad V_i ^{(k+1)} = V_i ^{(k)} + \Delta V_i ^{(k)}$ $= V_i ^{(k)} \left(1 + \frac{\Delta V_i ^{(k)}}{ V_i ^{(k)}} \right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในการรันโหลดไฟ

ระบบ 4 บัส

BUS DATA:

Bus Number	Bus Name	MW Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low Limit	Bus Type
1	Birch	?	?	1.06	0.95	Swing
2	Elm	?	?	↓	↓	Load
3	Pine	?	?	↓	↓	Load
4	Maple	?	?	↓	↓	Gen

GENERATOR DATA:

Bus Number	MW Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low Mvar Limit
1	0.000	1.000	45.000	-37.200
4	318.000	1.020	45.000	-37.200

BRANCH DATA:

From Bus	To Bus	Branch R	Branch X	Line Charging	Branch Mvar Limit	Branch Type
1	2	0.01008	0.05040	0.05125	1.00	Line
1	3	0.00744	0.03720	0.03875	↓	↓
2	4	0.00744	0.03720	0.03875	↓	↓
3	4	0.01272	0.06360	0.06375	↓	↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางโหลด

เวลา (ชม)	Bus1		Bus2		Bus3		Bus4		Total Load	
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
1	37.000		125.800		148.000		59.200		370.000	
	22.933		77.959		91.716		36.689		229.297	
2	35.500		120.700		142.000		56.800		355.000	
	22.003		74.799		87.997		35.202		220.001	
3	34.500		117.300		138.000		55.200		345.000	
	21.383		72.692		85.519		34.210		213.804	
4	33.000		112.200		132.000		52.800		330.000	
	20.453		69.531		81.800		32.723		204.507	
5	32.700		111.180		130.800		52.320		327.000	
	20.267		68.899		81.057		32.425		202.648	
6	32.850		111.690		131.400		52.560		328.500	
	20.360		69.215		81.429		32.574		203.578	
7	33.750		114.750		135.000		54.000		337.500	
	20.918		71.111		83.660		33.467		209.156	
8	40.000		136.000		160.000		64.000		400.000	
	24.792		84.280		99.152		39.664		247.888	
9	47.500		161.500		190.000		76.000		475.000	
	29.441		100.083		117.743		47.101		294.368	
10	50.500		171.700		202.000		80.800		505.000	
	31.300		106.404		125.179		50.076		312.959	
11	52.500		178.500		210.000		84.000		525.000	
	32.540		110.618		130.137		52.059		325.354	
12	52.000		176.800		208.000		83.200		520.000	
	32.230		109.564		128.898		51.563		322.255	
13	48.000		163.200		192.000		76.800		480.000	
	29.750		101.136		118.982		47.597		297.465	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	52.800	179.520	211.200	84.480	528.000
	32.725	111.250	130.881	52.356	327.212
15	58.900	200.260	235.600	94.240	589.000
	36.506	124.102	146.001	58.405	365.014
16	58.000	197.200	232.000	92.800	580.000
	35.948	122.206	143.770	57.513	359.437
17	50.000	170.000	200.000	80.000	500.000
	30.990	105.350	123.940	49.580	309.860
18	45.700	155.380	182.800	73.120	457.000
	28.325	96.290	113.281	45.316	283.212
19	45.450	154.530	181.800	72.720	454.500
	28.170	95.763	112.661	45.068	281.662
20	46.300	157.420	185.200	74.080	463.000
	28.697	97.554	114.768	45.911	286.930
21	45.000	153.000	180.000	72.000	450.000
	27.891	94.815	111.546	44.622	278.874
22	43.750	148.750	175.000	70.000	437.500
	27.116	92.181	108.448	43.383	271.128
23	42.650	145.010	170.600	68.240	426.500
	26.434	89.864	105.721	42.292	264.311
24	39.600	134.640	158.400	63.360	396.000
	24.544	83.437	98.160	39.267	245.408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ 5 บัส

BUS DATA:

Bus Number	Bus Name	MW Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low Limit	Bus Type
1	Birch	65.00	30.00	1.06	0.95	Swing
2	Elm	115.00	60.00			Load
3	Maple	70.00	40.00			Gen
4	Oak	70.00	30.00			Load
5	Pine	85.00	40.00	↓	↓	Load

GENERATOR DATA:

Bus Number	MW Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low Mvar Limit
1	0.000	1.04	45.000	-37.200
3	180.000	1.02	45.000	-37.200

BRANCH DATA:

From Bus	To Bus	Branch R	Branch X	Line Charging	Branch Mvar Limit	Branch Type
1	2	0.042	0.168	0.0205	1.00	Line
1	5	0.031	0.126	0.0155		
2	3	0.031	0.126	0.0155		
3	4	0.084	0.336	0.0410		
3	5	0.053	0.210	0.0255		
4	5	0.063	0.252	0.0305	↓	↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางโหลด

เวลา (ชม)	Bus1 MW Mvar	Bus2 MW Mvar	Bus3 MW Mvar	Bus4 MW Mvar	Bus5 MW Mvar	Total Load MW Mvar
1	59.385	105.080	63.936	63.936	77.663	370.000
	27.417	54.797	36.556	27.417	36.556	182.743
2	56.978	100.820	61.344	61.344	74.515	355.000
	26.306	52.576	35.074	26.306	35.074	175.336
3	55.373	97.980	59.616	59.616	72.416	345.000
	25.565	51.095	34.086	25.565	34.086	170.397
4	52.965	93.720	57.024	57.024	69.267	330.000
	24.453	48.873	32.604	24.453	32.604	162.987
5	52.484	92.868	56.506	56.506	68.637	327.000
	24.231	48.429	32.308	24.231	32.308	161.507
6	52.644	93.152	56.678	56.678	68.847	328.000
	24.305	48.577	32.406	24.305	32.406	161.999
7	54.269	95.850	58.320	58.320	70.841	337.500
	25.009	49.984	33.345	25.009	33.345	166.692
8	64.200	113.600	69.120	69.120	83.960	400.000
	29.640	59.240	39.520	29.640	39.520	197.560
9	76.238	134.900	82.080	82.080	99.703	475.000
	35.198	70.348	46.930	35.198	46.930	234.604
10	81.053	143.420	87.264	87.264	106.000	505.000
	37.421	74.791	49.894	37.421	49.894	249.421
11	84.263	149.100	90.720	90.720	110.198	525.000
	38.903	77.753	51.870	38.903	51.870	259.299
12	83.460	147.680	89.856	89.856	109.148	520.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	38.532	77.012	51.376	38.532	51.376	256.828
13	77.040	136.320	82.944	82.944	100.759	480.000
	35.568	71.088	47.424	35.568	47.424	237.072
14	84.744	149.952	91.238	91.238	110.827	528.000
	39.125	78.197	52.166	39.125	52.166	260.779
15	94.535	167.276	101.779	101.779	123.631	589.000
	43.645	87.231	58.193	43.645	58.193	290.907
16	93.090	164.720	100.224	100.224	121.742	580.000
	49.978	85.898	57.304	42.978	57.304	293.462
17	80.250	142.000	86.400	86.400	104.950	500.000
	37.050	74.050	49.400	37.050	49.400	246.950
18	73.349	129.788	78.970	78.970	95.924	457.000
	33.864	67.682	45.152	33.864	45.152	225.714
19	72.867	128.936	78.451	78.451	95.295	454.000
	33.641	67.237	44.855	33.641	44.855	224.229
20	74.312	131.422	80.006	80.006	97.184	463.000
	34.308	68.570	45.744	34.308	45.744	228.674
21	72.225	127.800	77.760	77.760	94.455	450.000
	33.345	66.645	44.460	33.345	44.460	222.255
22	70.219	124.250	75.600	75.600	91.831	437.500
	32.419	64.794	43.225	32.419	43.225	216.082
23	68.453	121.126	73.699	73.699	89.522	426.500
	31.604	63.165	42.138	31.604	42.138	210.649
24	63.558	112.464	68.429	68.429	83.120	393.000
	29.343	58.648	39.125	29.344	39.125	195.585

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ 6 บัส**BUS DATA:**

Bus Number	Bus Name	MW Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low Limit	Bus Type
1	Bus 1	0.000	0.000	1.06	0.95	Swing
2	Bus 2	0.000	0.000	↓	↓	Gen
3	Bus 3	0.000	0.000	↓	↓	Gen
4	Bus 4	?	?	↓	↓	Load
5	Bus 5	?	?	↓	↓	Load
6	Bus 6	?	?	↓	↓	Load

GENERATOR DATA:

Bus Number	MW Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low Mvar Limit
1	0.000	1.050	45.000	-37.200
2	50.000	1.050	45.000	-37.200
3	60.000	1.070	45.000	-37.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRANCH DATA:

From Bus	To Bus	Branch R	Branch X	Line Charging	Branch Mvar Limit	Branch Type
1	2	0.1000	0.2000	0.0200	1.0000	Line
1	4	0.0500	0.2000	0.0200		
1	5	0.0800	0.3000	0.0300		
2	3	0.0500	0.2500	0.0300		
2	4	0.0500	0.1000	0.0100		
2	5	0.1000	0.3000	0.0200	▼	▼
2	6	0.0700	0.2000	0.0250	1.0000	Line
3	5	0.1200	0.2600	0.0250		
3	6	0.0200	0.1000	0.0100		
4	5	0.2000	0.4000	0.0400		
5	6	0.1000	0.3000	0.0300	▼	▼

ตารางโหลด

เวลา (ชม)	Bus1 MW Mvar	Bus2 MW Mvar	Bus3 MW Mvar	Bus4 MW Mvar	Bus5 MW Mvar	Bus6 MW Mvar	Total Load MW Mvar
1	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	37.800 18.200	51.800 26.600	50.400 25.200	140.000 70.000
2	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	36.450 17.550	49.950 25.650	48.600 24.300	135.000 67.500
3	0.000	0.000	0.000	34.020	46.620	45.360	126.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.000	0.000	0.000	16.380	23.940	22.680	63.000
4	0.000	0.000	0.000	33.210	45.510	44.280	123.000
	0.000	0.000	0.000	15.990	23.370	22.140	61.500
5	0.000	0.000	0.000	33.480	45.880	44.640	124.000
	0.000	0.000	0.000	16.120	23.560	22.320	62.000
6	0.000	0.000	0.000	35.100	48.100	46.800	130.000
	0.000	0.000	0.000	16.900	24.700	23.400	65.000
7	0.000	0.000	0.000	37.800	51.800	50.400	140.000
	0.000	0.000	0.000	18.200	26.600	25.200	70.000
8	0.000	0.000	0.000	44.550	61.050	59.400	165.000
	0.000	0.000	0.000	21.450	31.350	29.700	82.500
9	0.000	0.000	0.000	56.700	77.700	75.600	210.000
	0.000	0.000	0.000	27.300	39.900	37.800	105.000
10	0.000	0.000	0.000	62.100	85.100	82.800	230.000
	0.000	0.000	0.000	29.900	43.700	41.400	115.000
11	0.000	0.000	0.000	64.260	88.060	85.680	238.000
	0.000	0.000	0.000	30.940	45.220	42.840	119.000
12	0.000	0.000	0.000	63.450	86.950	84.600	235.000
	0.000	0.000	0.000	30.550	44.650	42.300	117.500
13	0.000	0.000	0.000	58.050	79.550	77.400	215.000
	0.000	0.000	0.000	27.950	40.850	38.700	107.500
14	0.000	0.000	0.000	65.610	89.910	87.480	243.000
	0.000	0.000	0.000	31.590	46.170	43.740	121.500
15	0.000	0.000	0.000	65.340	89.540	87.120	242.000
	0.000	0.000	0.000	31.460	45.980	43.560	121.000
16	0.000	0.000	0.000	65.610	89.910	87.480	243.000
	0.000	0.000	0.000	31.590	46.170	43.740	121.500
17	0.000	0.000	0.000	63.450	86.950	84.600	235.000
	0.000	0.000	0.000	30.550	44.650	42.300	117.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	0.000	0.000	0.000	57.510	78.810	76.680	213.000
	0.000	0.000	0.000	27.690	40.470	38.340	106.500
19	0.000	0.000	0.000	59.400	81.400	79.200	220.000
	0.000	0.000	0.000	28.600	41.800	39.600	110.000
20	0.000	0.000	0.000	61.560	84.360	82.080	228.000
	0.000	0.000	0.000	29.640	43.320	41.040	114.000
21	0.000	0.000	0.000	60.210	82.510	80.280	223.000
	0.000	0.000	0.000	28.990	42.370	40.140	111.500
22	0.000	0.000	0.000	56.430	77.330	75.240	209.000
	0.000	0.000	0.000	27.170	39.210	37.620	104.500
23	0.000	0.000	0.000	52.380	71.780	69.840	194.000
	0.000	0.000	0.000	25.220	36.860	34.920	97.000
24	0.000	0.000	0.000	47.250	64.750	63.000	175.000
	0.000	0.000	0.000	22.750	33.250	31.500	87.500

ระบบ 8 บัส

BUS DATA:

Bus Number	Bus Name	MW Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low Limit	Bus Type
1	AP	?	?	1.06	0.95	Swing
2	BL	?	?	1.06	0.95	Load
3	CTN	0.000	0.000	1.06	0.95	Load
4	SH1	0.000	0.000	1.06	0.95	Load
5	RY3	0.000	0.000	1.06	0.95	Load
6	RY2	?	?	1.06	0.95	Gen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	KLA	0.000	0.000	1.06	0.95	Load
8	RY1	?	?	1.06	0.95	Load

GENERATOR DATA:

Bus Number	MW Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low Mvar Limit
1	0.000	1.010	45.000	-37.200
6	162.000	1.027	45.000	-37.200

BRANCH DATA:

From Bus	To Bus	Branch R	Branch X	Line Charging	Branch Mvar Limit	Branch Type
1	2	0.00667	0.04390	0.01210	1.000	Line
2	3	0.01440	0.03001	0.00430	↓	↓
3	4	0.01440	0.03001	0.00430	↓	↓
4	5	0.02661	0.06978	0.01000	↓	↓
5	6	0.00153	0.00956	0.00271	↓	↓
5	8	0.01561	0.04676	0.00576	1.000	Line
6	7	0.05746	0.16392	0.02140	↓	↓
7	8	0.04817	0.14377	0.01820	↓	↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางโหลด

สถานี (ขม)	Bus1 MW Mvar	Bus2 MW Mvar	Bus3 MW Mvar	Bus4 MW Mvar	Bus5 MW Mvar	Bus6 MW Mvar	Bus7 MW Mvar	Bus8 MW Mvar	Total load MW Mvar
1	82.695 40.071	29.489 14.282	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	211.122 69.375	0.000 0.000	46.657 22.607	370.000 146.335
2	79.343 38.447	28.294 13.703				202.563 66.563		44.766 21.691	355.000 140.404
3	77.108 37.364	27.497 13.317				196.875 64.698		43.505 21.080	345.000 136.449
4	73.755 35.739	26.301 12.738				188.298 61.875		41.613 20.163	330.000 130.515
5	73.085 35.414	26.062 12.622				186.586 61.313		41.235 19.980	327.000 129.329
6	73.420 35.577	26.181 12.680				187.442 61.594		41.424 20.071	328.500 129.922
7	75.431 36.551	26.900 13.028				192.580 63.281		42.560 20.621	337.500 133.481
8	89.400 43.320	31.880 15.440				228.240 75.000		50.440 24.440	400.000 158.200
9	106.163 51.443	37.858 18.335				271.035 89.063		59.898 29.023	475.000 187.864
10	112.868 54.692	40.289 19.493				288.153 94.688		63.681 30.856	505.000 199.459
11	117.338 56.858	41.843 20.265	0.000	0.000	0.000	299.563 98.438	0.000	66.203 32.078	525.000 207.639
12	116.220 56.316	41.444 20.072	0.000	0.000	0.000	296.712 97.500	0.000	65.572 31.772	520.000 205.660

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	107.280 51.984	38.256 18.528				273.888 90.000		60.528 29.328	480.000 189.840
14	118.008 57.183	42.082 20.381				301.277 99.000		66.581 32.261	528.000 208.825
15	131.642 63.789	46.943 22.735				336.083 110.438		74.273 35.988	589.000 232.950
16	129.630 62.814	46.226 22.388				330.948 108.750		73.138 35.438	580.000 229.390
17	111.750 54.150	39.850 19.300				285.300 93.750		63.050 30.550	500.000 197.750
18	102.140 49.493	36.423 17.640				260.764 85.688		57.628 27.923	457.000 186.744
19	101.581 49.222	36.224 17.544				259.338 85.219		57.312 27.770	454.500 179.755
20	103.481 50.143	36.901 17.872				264.188 86.813		58.384 28.289	463.000 183.117
21	100.575 48.735	35.865 17.370				256.770 84.375		56.745 27.495	450.000 177.975
22	97.781 47.381	34.869 16.888				249.638 82.031		55.169 26.731	437.500 173.031
23	95.323 46.190	33.992 16.463				243.361 79.969		53.782 26.059	426.500 168.661
24	88.506 42.887	31.561 15.286	▼	▼	▼	225.958 74.250	▼	49.936 24.196	396.000 159.619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ 12 บัส**BUS DATA:**

Bus Number	Bus Name	MW Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low Limit	Bus Type
1	AP	?	?	1.06	0.95	Swing
2	BL	?	?			Load
3	CTN	0.000	0.000			Load
4	SH1	0.000	0.000			Load
5	RY3	0.000	0.000			Load
6	RY2	?	?			Gen
7	KLA	0.000	0.000			Load
8	RY1	?	?			Load
9	CT	?	?			Load
10	TR	?	?			Load
11	KRD	0.000	0.000			Gen
12	SH2	0.000	0.000	↓	↓	Load

GENERATOR DATA:

Bus Number	MW Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low Mvar Limit
1	0.000	1.010	45.000	-37.200
6	162.000	1.027	45.000	-37.200
11	7.200	1.035	45.000	-37.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRANCH DATA:

From Bus	To Bus	Branch R	Branch X	Line Charging	Branch Mvar Limit	Branch Type
1	2	0.00667	0.04390	0.01210	1.000	Line
2	3	0.01144	0.03001	0.00430		
3	4	0.01144	0.03001	0.00430		
4	5	0.02461	0.06978	0.01000		
4	12	0.01147	0.02903	0.00410		
5	6	0.00153	0.00956	0.00576		
5	8	0.01561	0.04676	0.00576		
6	7	0.05746	0.16392	0.02140		
6	9	0.05746	0.16392	0.02140		
7	8	0.04817	0.14377	0.01820		
7	9	0.05696	0.16997	0.02150		
9	10	0.06243	0.18644	0.02360		
10	11	0.04646	0.07390	0.00830	▼	▼

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางโหลด

เวลา (ชม)	Bus1 MW Mvar	Bus2 MW Mvar	Bus6 MW Mvar	Bus8 MW Mvar	Bus9 MW Mvar	Bus10 MW Mvar	Total Load MW Mvar
1	70.152 33.966	25.012 12.136	179.117 58.867	39.590 19.166	25.456 12.321	30.673 14.837	370.000 151.293
2	67.308 32.589	23.998 11.644	171.856 56.481	37.985 18.389	24.424 11.822	29.430 14.236	355.000 145.161
3	65.412 31.671	23.322 11.316	167.015 54.890	36.915 17.871	23.736 11.489	28.601 13.835	345.000 141.072
4	62.568 30.294	22.308 10.824	159.753 52.503	35.310 17.094	22.704 10.989	27.357 13.233	330.000 134.937
5	61.999 30.019	22.105 10.726	158.301 52.026	34.989 16.939	22.498 10.889	27.108 13.113	327.000 133.712
6	62.189 30.110	22.173 10.758	158.785 52.185	35.096 16.990	22.566 10.922	27.191 13.153	328.000 134.118
7	63.895 30.937	22.781 11.054	163.142 53.617	36.059 17.457	23.186 11.222	27.937 13.514	337.500 137.801
8	75.840 36.720	27.040 13.120	193.640 63.640	42.800 20.720	27.520 13.320	33.160 16.040	400.000 163.560
9	90.060 43.605	32.110 15.580	229.948 75.573	50.825 24.605	32.680 15.818	39.378 19.048	475.000 194.229
10	95.748 46.359	34.138 16.564	244.471 80.346	54.035 26.159	34.744 16.817	41.865 20.251	505.000 206.496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	99.540	33.490	254.153	56.175	36.720	43.523	525.000
	48.195	17.220	83.598	27.195	17.483	21.053	214.744
12	98.592	35.152	251.732	55.640	35.776	43.108	520.000
	47.736	17.056	82.732	26.936	17.316	20.852	212.628
13	91.008	32.448	232.368	51.360	33.024	39.792	480.000
	44.064	15.744	76.368	24.864	15.984	19.248	196.272
14	100.109	35.693	255.605	56.496	36.326	43.771	528.000
	48.470	17.318	84.005	27.350	17.582	21.173	215.898
15	111.674	39.816	285.135	63.023	40.523	48.828	589.000
	54.070	19.319	93.701	30.510	19.614	23.619	240.833
16	109.968	39.208	280.778	62.060	39.904	48.082	580.000
	53.244	19.024	92.278	30.044	19.314	23.258	237.162
17	94.800	33.800	242.050	53.500	34.400	41.450	500.000
	45.900	16.400	79.550	25.900	16.650	20.050	204.450
18	86.647	30.893	221.234	48.899	31.442	37.885	457.000
	41.593	14.990	72.709	23.673	15.218	18.326	186.509
19	86.078	30.690	219.781	48.578	31.235	37.637	454.000
	41.677	14.891	72.231	23.517	15.118	18.205	185.639
20	87.785	31.299	224.138	49.541	31.854	38.383	463.000
	42.503	15.186	73.663	23.983	15.418	18.566	189.319
21	85.320	30.420	217.845	48.150	30.960	37.305	450.000
	41.310	14.760	71.595	23.310	14.985	18.045	184.005
22	82.950	29.575	211.794	46.813	30.100	36.269	437.500
	40.163	14.350	69.606	22.663	14.569	17.544	178.895
23	80.864	28.831	206.469	45.636	29.343	35.357	426.500
	39.153	13.982	67.856	22.093	14.202	17.103	174.389
24	75.082	26.770	191.704	42.372	27.245	32.828	396.000
	36.353	12.989	63.004	20.513	13.187	15.880	161.926

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data4\bus424.txt

2:18:48 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.000	0.000	50.000	30.990	186.795	114.488	2	38.688	22.297	44.654
							3	98.107	61.201	115.631
2	0.982	-0.976	170.000	105.350			1	-38.462	-31.235	49.547
							4	-131.535	-74.111	150.976
3	0.969	-1.872	200.000	123.940			1	-97.075	-63.559	116.031
							4	-102.910	-60.365	119.308
4	1.020	1.523	80.000	49.580	318.000	181.419	2	133.250	74.917	152.867
							3	104.745	56.923	119.213

NEWTON-RAPHSON METHOD (3 ITERATIONS)

Mw gen = 504.7948
Mvar gen = 295.9070
Mw load = 500.0000
Mvar load = 309.8600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data5\bus524.txt

2:20:32 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.040	0.000	65.000	30.000	234.674	100.126	2	73.985	31.555	80.433
							5	95.689	38.570	103.170
2	0.961	-6.322	115.000	60.000			1	-71.416	-25.394	75.797
							3	-43.584	-34.606	55.652
3	1.020	-3.714	70.000	40.000	180.000	110.303	2	44.590	35.651	57.089
							4	40.467	18.066	44.316
							5	24.943	16.587	29.955
4	0.920	-10.887	70.000	30.000			3	-38.742	-18.905	43.109
							5	-31.258	-11.095	33.168
5	0.968	-6.162	85.000	40.000			1	-92.601	-29.147	97.079
							3	-24.438	-19.628	31.344
							4	32.038	8.775	33.218

NEWTON-RAPHSON METHOD (4 ITERATIONS)

Mw gen = 414.6741
Mvar gen = 210.4291
Mw load = 405.0000
Mvar load = 200.0000

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data6\bus624.txt

2:21:41 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.050	0.000	0.000	0.000	67.912	-4.924	2	13.990	-8.927	16.596
							4	31.506	6.467	32.163
							5	22.416	-2.465	22.551
2	1.050	-1.804	0.000	0.000	50.000	6.457	1	-13.772	4.954	14.636
							3	-0.681	-11.570	11.590
							4	32.701	14.328	35.702
							5	11.634	0.217	11.636
							6	20.122	-1.472	20.176
3	1.070	-1.928	0.000	0.000	60.000	38.918	2	0.712	4.984	5.035
							5	15.678	5.514	16.620
							6	43.615	28.420	52.057
4	1.020	-3.141	63.000	31.500			1	-31.022	-8.816	32.250
							2	-32.108	-15.285	35.560
							5	0.130	-7.396	7.397
5	1.032	-3.521	47.250	22.750			1	-22.051	-2.671	22.212
							2	-11.506	-4.170	12.239
							3	-15.347	-10.324	18.496
							4	-0.110	-0.989	0.995
							6	1.763	-4.589	4.916
6	1.035	-3.879	64.750	33.250			2	-19.864	-3.224	20.124
							3	-43.130	-28.210	51.536
							5	-1.758	-1.807	2.521

NEWTON-RAPHSON METHOD (3 ITERATIONS)

Mw gen = 177.9123
Mvar gen = 40.4504
Mw load = 175.0000
Mvar load = 87.5000

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data8\bus824.txt

2:23:24 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.010	0.000	31.561	15.286	284.551	13.933				
							2	252.990	-1.353	252.994
2	0.850	-7.437	225.958	74.250						
							1	-211.141	26.788	212.833
							3	-14.813	-101.034	102.114
3	0.888	-7.975	0.000	0.000						
							2	16.454	104.688	105.973
							4	-16.452	-104.688	105.973
4	0.925	-8.463	0.000	0.000						
							3	18.072	108.231	109.729
							5	-18.069	-108.231	109.729
5	1.011	-9.440	0.000	0.000						
							4	21.755	116.018	118.040
							6	-96.455	-148.798	177.326
							8	74.701	32.780	81.577
6	1.027	-9.057	49.936	24.196	162.000	180.256				
							5	96.924	151.166	179.570
							7	15.140	4.894	15.912
7	1.007	-10.204	0.000	0.000						
							6	-14.987	-8.887	17.424
							8	14.987	8.887	17.424
8	0.985	-11.150	88.506	42.887						
							5	-73.680	-30.869	79.885
							7	-14.826	-12.018	19.085

NEWTON-RAPHSON METHOD (4 ITERATIONS)

Mw gen = 446.5512
Mvar gen = 194.1891
Mw load = 395.9610
Mvar load = 156.6190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data12\bus1224.txt

2:25:14 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.010	0.000	32.828	15.880	317.642	-38.094	2	284.814	-53.974	289.883
2	0.860	-10.634	75.082	36.353			1	-229.955	87.952	246.201
							3	154.873	-124.305	198.588
3	0.885	-15.207	0.000	0.000			2	-148.780	139.635	204.043
							4	148.780	-139.635	204.043
4	0.916	-19.494	0.000	0.000			3	-142.714	154.851	210.585
							5	142.714	-154.163	210.080
							12	0.000	-0.688	0.688
5	1.003	-28.289	0.000	0.000			4	-128.788	188.836	228.573
							6	-46.275	-246.592	250.896
							8	175.064	57.756	184.345
6	1.027	-28.252	26.770	12.989	162.000	277.924	5	47.231	252.005	256.393
							7	36.672	8.789	37.710
							9	51.327	4.141	51.494
7	0.990	-31.283	0.000	0.000			6	-35.873	-10.865	37.482
							8	22.361	17.848	28.610
							9	13.512	-6.983	15.210
8	0.951	-32.663	191.704	63.004			5	-169.778	-43.023	175.145
							7	-21.926	-19.981	29.664
9	0.991	-32.786	42.372	20.513			6	-49.870	-4.342	50.058
							7	-13.392	3.120	13.751
							10	20.890	-19.291	28.434
10	1.011	-35.619	27.245	13.187			9	-20.429	15.934	25.908
							11	-6.816	-29.121	29.908
11	1.035	-36.062	0.000	0.000	7.200	27.994	10	7.200	27.994	28.905
							4	0.000	-0.000	0.000
12	0.916	-19.497	0.000	0.000						

NEWTON-RAPHSON METHOD (5 ITERATIONS)

Mw gen = 486.8424
Mvar gen = 267.8250
Mw load = 396.0010
Mvar load = 161.9260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER-FLOW BUS INPUT DATA BY KMITL
xt

File: C:\Power Flow\data25\bus2524.t

2:28:28 AM
3/31/98

Number of Buses = 25
Number of Lines = 31
Number of Generators = 2
Swing Bus at bus number 1

Bus Data

Bus Number	Bus Name	Mw Load	Mvar Load	Voltage High Limit	Voltage Low limit	Bus Type
1	6709	83.86800	40.60000	1.06000	0.95000	SWING
2	6710	29.92800	14.44200	1.06000	0.95000	LOAD
3	6719	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
4	6711	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
5	6713	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
6	6714	214.13600	70.35400	1.06000	0.95000	GEN
7	6716	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
8	6715	47.32800	22.91000	1.06000	0.95000	LOAD
9	6717	30.39200	14.73200	1.06000	0.95000	LOAD
10	6718	36.65600	17.74800	1.06000	0.95000	LOAD
11	6731	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
12	6804	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
13	6802	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
14	6806	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
15	6723	46.34200	22.73600	1.06000	0.95000	LOAD
16	6707	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
17	6708	11.54200	5.91600	1.06000	0.95000	LOAD
18	6706	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
19	6705	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
20	6702	64.96000	31.49400	1.06000	0.95000	LOAD
21	6703	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
22	6704	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
23	6726	14.79000	7.19200	1.06000	0.95000	LOAD
24	6812	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD
25	6891	0.00000	0.00000	1.06000	0.95000	LOAD

Generator Data

Bus number	Mw Generation	Scheduled Voltage	High Mvar Limit	Low MVar Limit
1	162.00000	1.0270	45.0000	-37.2000
6	0.00000	1.0100	45.0000	-37.2000

Branch Data

From To Branch Branch Line Branch Branch
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus	Bus	R	X	Charging	Mva Limit	Type
1	2	0.0067	0.0439	0.012100	1.0000	
1	13	0.0046	0.0141	0.002000	1.0000	
1	16	0.0051	0.0149	0.001900	1.0000	
2	3	0.0114	0.0300	0.004300	1.0000	
3	4	0.0114	0.0300	0.004300	1.0000	
4	5	0.0266	0.0698	0.010000	1.0000	
5	6	0.0015	0.0096	0.005760	1.0000	
5	8	0.0156	0.0468	0.005760	1.0000	
6	7	0.0575	0.1639	0.021400	1.0000	
6	9	0.0575	0.1639	0.021400	1.0000	
6	12	0.0575	0.1639	0.021400	1.0000	
7	8	0.0482	0.1438	0.018200	1.0000	
7	9	0.0570	0.1700	0.021500	1.0000	
9	10	0.0624	0.1864	0.023600	1.0000	
9	11	0.0465	0.0739	0.008300	1.0000	
12	13	0.0051	0.0370	0.082860	1.0000	
12	14	0.0044	0.0319	0.071570	1.0000	
13	14	0.0029	0.0207	0.046360	1.0000	
13	25	0.0052	0.0385	0.087700	1.0000	
14	15	0.0426	0.0739	0.008300	1.0000	
16	17	0.0338	0.1006	0.012700	1.0000	
16	18	0.0216	0.0565	0.008100	1.0000	
18	19	0.0258	0.0774	0.009500	1.0000	
19	20	0.0046	0.0141	0.002000	1.0000	
19	25	0.0258	0.0774	0.008100	1.0000	
20	21	0.0015	0.0096	0.002710	1.0000	
21	22	0.0038	0.0393	0.165910	1.0000	
21	23	0.0696	0.2047	0.026650	1.0000	
22	23	0.0597	0.1754	0.022850	1.0000	
23	24	0.0426	0.1253	0.016320	1.0000	
24	25	0.0038	0.0393	0.165910	1.0000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER-FLOW SOLUTION BY KMITL

File: C:\Power Flow\data25\bus2524.txt

2:31:20 AM
3/31/98

From Bus	Volt. Mag.	Volt. Angle	Mw Load	Mvar Load	Mw Gen.	Mvar Gen.	To Bus	Mw Flow	Mvar Flow	Mva Flow
1	1.027	0.000	83.868	40.600	630.085	-52.168	2	226.222	-2.831	226.240
							13	265.598	-75.449	276.107
							16	54.396	-14.489	56.293
2	1.018	-5.459	29.928	14.442			1	-222.986	21.603	224.030
							3	193.057	-36.045	196.394
3	1.008	-8.924	0.000	0.000			2	-188.800	46.332	194.402
							4	188.800	-46.332	194.401
4	1.002	-12.436	0.000	0.000			3	-184.551	56.608	193.038
							5	184.551	-56.608	193.038
5	1.002	-20.652	0.000	0.000			4	-174.712	80.401	192.324
							6	118.845	-98.971	154.659
							8	55.867	18.570	58.872
6	1.010	-21.380	214.136	70.354	0.000	265.333	5	-118.482	100.070	155.087
							7	17.768	6.781	19.018
							9	44.619	18.791	48.415
							12	-158.041	69.337	172.582
7	0.986	-22.760	0.000	0.000			6	-17.545	-10.407	20.399
							8	-7.961	1.401	8.083
							9	25.506	9.006	27.049
8	0.985	-21.995	47.328	22.910			5	-55.325	-18.084	58.206
							7	7.997	-4.826	9.340
9	0.952	-25.021	30.392	14.732			6	-43.250	-19.010	47.243
							7	-25.052	-11.692	27.646
							10	37.910	17.476	41.744
							11	0.000	-1.506	1.506
10	0.891	-28.967	36.656	17.748			9	-36.656	-17.748	40.726
11	0.953	-25.043	0.000	0.000			9	0.000	-0.000	0.000
12	1.028	-4.572	0.000	0.000			6	174.991	-25.425	176.828
							13	-113.836	13.503	114.634
							14	-61.155	11.923	62.306
13	1.026	-2.224	0.000	0.000			1	-262.289	85.214	275.785
							12	114.487	-26.273	117.463

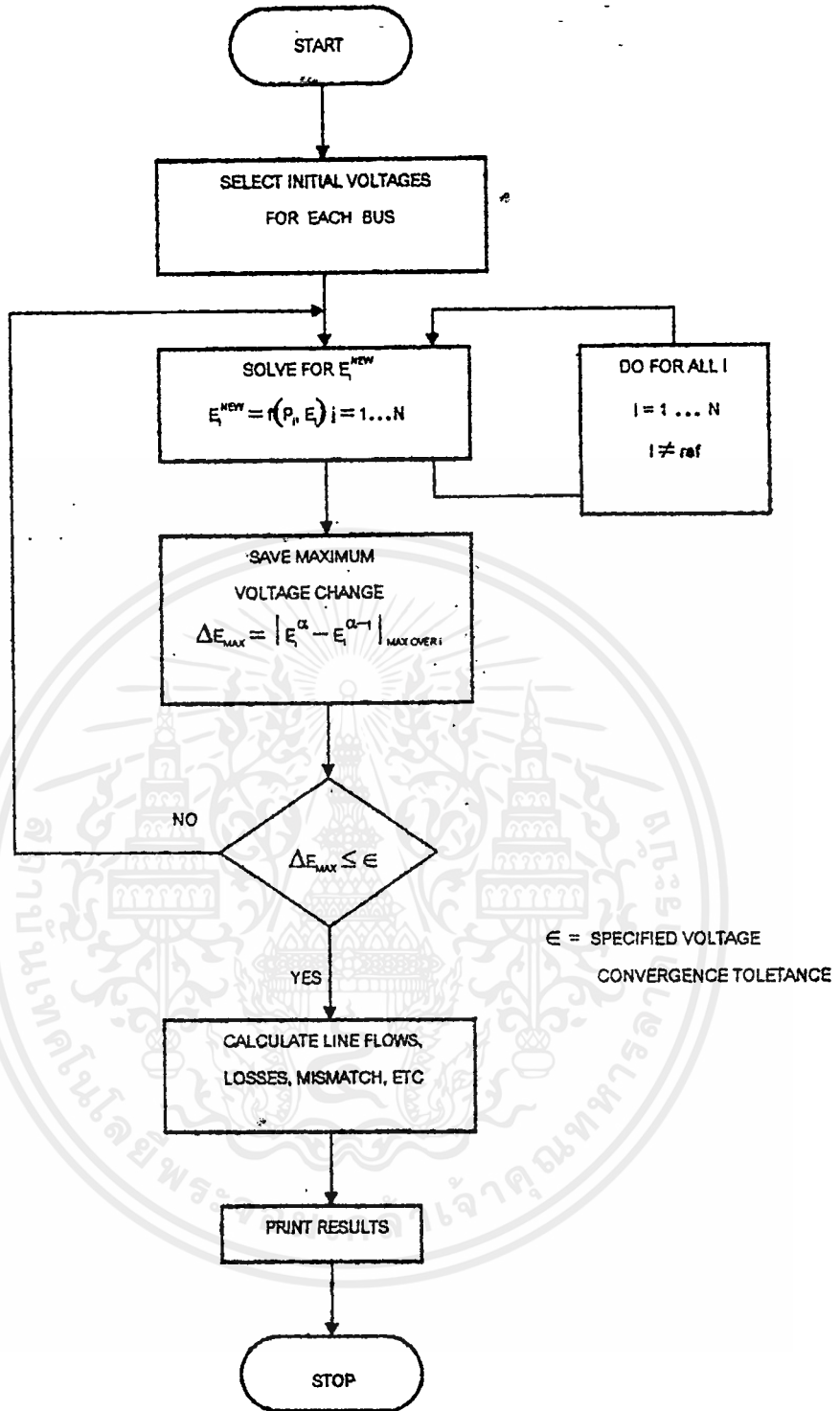
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	1.025	-3.463	0.000	0.000	14	109.142	-10.107	109.609
					25	38.661	-48.835	62.286
					12	61.327	-25.749	66.514
					13	-108.818	2.703	108.851
15	0.988	-4.872	46.342	22.736	15	47.490	23.046	52.787
16	1.026	-0.480	0.000	0.000	14	-46.342	-22.736	51.619
					1	-54.243	14.535	56.157
17	1.018	-1.032	11.542	5.916	17	11.592	3.412	12.084
18	1.027	-1.991	0.000	0.000	18	42.651	-17.947	46.273
					16	-11.542	-5.916	12.970
19	1.030	-3.991	0.000	0.000	16	-42.219	17.371	45.653
					19	42.219	-17.371	45.653
20	1.028	-4.506	64.960	31.494	18	-41.717	16.866	44.997
					20	64.134	-10.695	65.020
21	1.032	-4.536	0.000	0.000	25	-22.417	-6.171	23.251
					19	-63.952	10.834	64.863
22	1.039	-4.572	0.000	0.000	21	-1.008	-42.328	42.340
					20	1.034	41.912	41.925
23	1.037	-4.522	14.790	7.192	22	-0.110	-36.722	36.722
					23	-0.924	-5.190	5.272
24	1.046	-3.502	0.000	0.000	21	0.123	1.260	1.266
					23	-0.123	-1.260	1.266
25	1.039	-3.135	0.000	0.000	21	0.928	-0.504	1.057
					22	0.124	-3.666	3.668
					24	-15.842	-3.022	16.128
					23	15.942	-0.224	15.944
					25	-15.942	0.224	15.944
					13	-38.509	31.246	49.591
					19	22.547	4.825	23.057
					24	15.962	-36.071	39.445

NEWTON-RAPHSON METHOD (4 ITERATIONS)

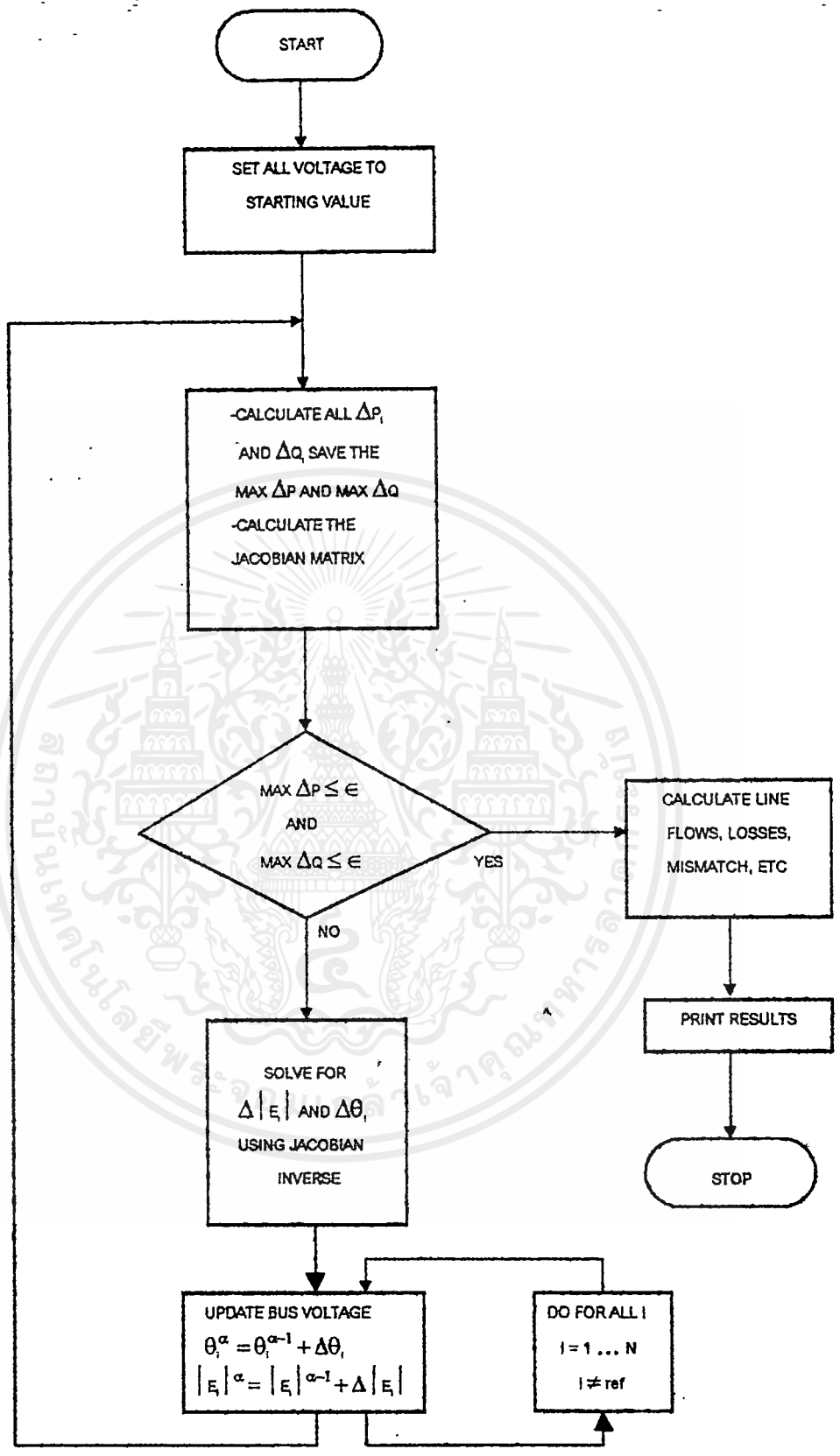
Mw gen = 630.0845
Mvar gen = 213.1646
Mw load = 579.9420
Mvar load = 248.1240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. Gauss-Seidel power-flow solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. Newton-Raphson power-flow solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กติกการรณประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการคำนวณโหลดไฟโตโคลที่แสดงเป็นกราฟฟีกของระบบฉบับนี้จะไม่สามารถทำให้สำเร็จดูส่งไปได้ ถ้าไม่ได้รับคำแนะนำที่ดีจาก รศ. มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ และที่ทำการไฟฟ้าฝ่ายผลิตบางกรวย แผนกรับโหลดไฟโต และเพื่อนๆทุกคนในการยื่นอุปรณ์ต่างๆ ในการทำโปรเจก จนทำให้โปรเจกนี้สำเร็จดูส่งไปได้ดี

คณะผู้จัดทำ





- [1] John J. Grainger and William D. Stevenson, "Power System Analysis", McGraw-Hill, 1994.
- [2] Stevenson, William D. , "Element of Power System Analysis", McGraw-Hill, 1982.
- [3] Wallach, Y. , "Calculation & Programs for Power System Networks", Prentice-Hall, 1986.
- [4] Glover, J. Duncan and Sarma, "Power System Analysis & Design", PWS Publishing Company, 1994.
- [5] J. Arrillage and C.P. Arnold, "Computer Analysis of Power System", Jhon Wiley & Sons, 1990.
- [6] ชำนาญ ห่อเกียรติ, "การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532.
- [7] ปราโมทย์ เคชชะอำไพ, "ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม", สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม. , 2538.