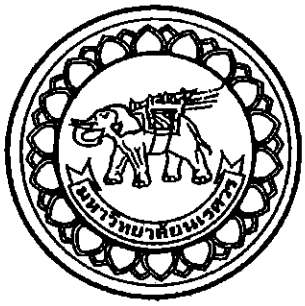
อภินันทนาการ



สำนักหอส

การทำออปติมอลเพาเวอร์โฟลว์ โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสม

OPTIMAL POWER FLOW BY USING OPTIMIZATION TECHNIQUE

นายกฤษฎาพงษ์ ฦๅปัญญา รหัส 43362389
นายเหรียญชัย เหรียญทอง รหัส 43362839

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 26 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน 1718674
เลขเรียกหนังสือ ว ปร
ก529ก
2546

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2546

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน การทำออปติมอลเพาเวอร์โฟลว์ โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสม

ผู้ดำเนินโครงงาน นายกฤษฎาพงษ์ ฦๅปัญญา รหัส 43362383

นายเหรียญชัย เหรียญทอง รหัส 43362839

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2546

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่)

.....กรรมการ

(อาจารย์ธนิต มาลากร)

.....กรรมการ

(อาจารย์สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

หัวข้อโครงงาน	การทำออปติมอลเพาเวอร์โฟลว์ โดยใช้เทคนิคที่เหมาะสม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกฤษฎาพงษ์ ฦๅปัญญา รหัส 43362383
	นายเหรียญชัย เหรียญทอง รหัส 43362839
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2546

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมนี้นำเสนอการนำวิธีที่เหมาะสมมาใช้ในการคำนาณหาค่ากำลังการสูญเสียในสายส่งที่น้อยที่สุดเท่าที่ระบบสามารถทำได้ โดยนำระบบเครือข่ายการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ 6 บัสมาศึกษา โดยเลือกใช้วิธีซิมเพล็ก (Simplex Method)และโปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาค่ากำลังสูญเสียที่ต้องการ ดังนั้นผลจากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นการปรับปรุงการวางแผนการผลิต ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบเครือข่ายการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ 6 บัสนี้ได้

Project Title	Optimal Power Flow by Using Optimization Technique		
Name	Mr Krissadapong	Luepunya	ID 43362383
	Mr Reanchai	Reanthong	ID 43362839
Project Advisor	Miss Supannika	Youngyou	
Co-Project Advisor	Miss Cattareeya	Adsoongneon	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	2003		

.....

ABSTRACT

This project presents the Optimal power flow by using optimization technique to minimize power loss in transmission line. In this project we apply the so called simplex method to find the optimal generation under the limitation of power generation and MATLAB program to analysis six-bus network power flow and to calculate an objective function. The result of this study can be used to develop suitable generation-plan of six-bus system to reduce the system transmission loss.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับข้อเสนอแนะจากอาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่ ในเรื่องรูปแบบ ขอบข่ายโครงงานและคำปรึกษาเกี่ยวกับ Optimal Power Flow by Using Optimization โดยมีอาจารย์แคทรียา อัดสูงเนิน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ข้อเสนอแนะและคำปรึกษาที่ดีเป็นอย่างยิ่งรวมทั้งนายนพพร ศรีคิฤทธิ์ ที่ร่วมทำโครงงานในช่วงแรก

สุดท้ายนี้ผู้ทำโครงงานขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทำเป็นกำลังใจให้ผู้ทำโครงงานอยู่เสมอมา

นายกฤษฎาพงษ์ ฦาปัญญา

นายเหรียญชัย เหรียญทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ 2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา

2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้า 4

2.2 แผนภาพของระบบ 5

บทที่ 3 หลักการและทฤษฎี

3.1 การศึกษาโหลดโฟลว์ (Load Flow) 6

3.2 การคำนวณโหลดไฟลว์โดยวิธี Newton-Raphson Method 10

3.3 สมการการสูญเสียในระบบส่ง (The Transmission Loss Equation) 16

3.4 หลักการทำให้เหมาะสม (Optimization Techniques) 19

3.5 การใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้แก้ปัญหา 25

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการคำนวณ

4.1 ผลโหลดโฟลว์..... 26

4.2 ผลการคำนวณหาค่า Matrix B และกำลังการสูญเสีย..... 27

4.3 ผลการ Run Optimal Power Flow Program..... 28

บทที่ 5 สรุปผลและแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

5.1 สรุปผล..... 29

5.2 แนวทางการศึกษาเพิ่มเติม..... 29

เอกสารอ้างอิง..... 30

ภาคผนวก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 33

ประวัติผู้เขียนโครงงาน..... 46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1	ข้อมูลสายส่ง	4
2.2	ข้อมูลบัส	5
4.1	ผลโหลดโฟลว์	26
4.2	ผลการ Run Optimal Power Flow Program.....	28

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพของระบบ	4
3.1	โฟลว์ชาร์ทโหลดโฟลว์ วิธีนิวตัน-ราฟสัน	15
3.2	กระบวนการสะท้อน	20
3.3	การสะท้อนวนซ้ำไม่มีที่สิ้นสุด	21
3.4	การสะท้อนวนเป็นวงกลม	21
3.5	โฟลว์ชาร์ท วิธีซิมเพล็ก	23

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้า เพิ่มสูงขึ้นมากเรื่อยๆจนมีแนวโน้มว่าในอนาคตพลังงานไฟฟ้าอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้

การใช้พลังงานในปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง และไม่คุ้มค่ากับทุนทรัพย์ที่เสียไป การช่วยกันประหยัดพลังงาน ใช้วัสดุและใช้กระบวนการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้คุ้มทุนที่สุดและการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่กระทบต่อการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อจะได้มีไฟฟ้าใช้ไปนานๆ ล้วนเป็นหนึ่งในวิธีประหยัดพลังงาน วิธีการที่จะช่วยประหยัดพลังงานมีอยู่หลายวิธี ได้แก่

1) รณรงค์ให้ประชากรมีสำนึกในการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด หากคนทั้งประเทศช่วยกันประหยัดไฟฟ้าใช้เฉพาะที่จำเป็น จะช่วยประหยัดพลังงานได้มหาศาล แต่ทว่าการควบคุมคนเป็นจำนวนมากเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและต้องปลูกฝังตั้งแต่อายุน้อย จึงเห็นผลช้าด้วย

2) เป็นวิธีที่มองที่กระบวนการผลิต เลือกวัตถุดิบและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เนื่องจากส่วนนี้เป็นเพียงหน่วยงานหนึ่งที่เล็กเมื่อเทียบกับคนทั้งประเทศ สามารถทำได้ง่ายกว่าข้อแรก ด้วยการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการคำนวณ ในการลดต้นทุนการผลิต การลดการสูญเสียในสายส่งเพื่อการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด

ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจึงได้เลือกทำโครงงาน Optimal Power Flow เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมดังข้อ 2 ที่กล่าวมา โดยจะต้องใช้ความรู้หลายเรื่องมาทำโครงงานครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อการศึกษาการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

2) เพื่อการศึกษาเทคนิคการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

3) เพื่อดำเนินการหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยการทำออปติมอลเพาเวอร์โฟลว์ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด โดยไม่เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1) ศึกษาการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและดำเนินอย่างประหยัด ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยการเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จะส่งจ่ายและมีการสูญเสียในสายส่งน้อยที่สุด

2) ศึกษาเทคนิคการทำ Optimal Power Flow

3) ดำเนินการอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลังโดยเลือกเทคนิคการทำ Optimal Power Flow

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2545		2546									
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB	←	—	—	→								
ศึกษาโหลดโฟลว์		←	—	—	→							
ศึกษาเกี่ยวกับสมการการสูญเสียในสายส่ง			←	—	→							
ศึกษา Optimization Tachniques			←	—	—	→						
ทำการทดลองและเริ่มทำโครงงาน						←	—	—	→			
หาจุดบกพร่องและแก้ไขให้สมบูรณ์									←	—	—	→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

15.1) ได้ความรู้ความเข้าใจการส่งเกี่ยวกับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

15.2)ได้ความรู้ความเข้าใจการส่งเกี่ยวกับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.6 งบประมาณ

1) ค่าเอกสาร	1,000 บาท
2) ค่าแผ่นดิส	300 บาท
3) ค่าอุปกรณ์อื่นๆ	700 บาท
รวม	2,000 บาท

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
ระบบไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา

โครงงานนี้ได้เลือกระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ 6 บัส ซึ่งมี ข้อมูลระบบไฟฟ้าและแผนภาพ ดังนี้

2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้า 6 บัส

ข้อมูลสายส่ง

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสายส่ง

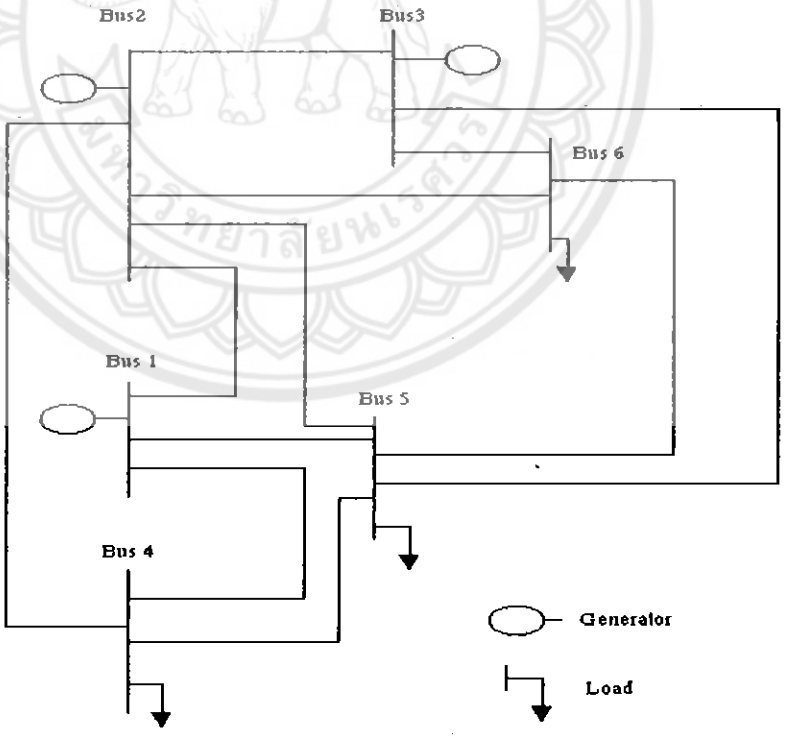
From bus	To bus	R(pu)	X(pu)	BCAP(pu)
1	2	0.01	0.20	0.020
1	4	0.05	0.20	0.020
1	5	0.08	0.30	0.030
2	3	0.05	0.25	0.030
2	4	0.05	0.10	0.010
2	5	0.10	0.30	0.020
2	6	0.07	0.20	0.025
3	5	0.12	0.26	0.025
3	6	0.02	0.10	0.010
4	5	0.20	0.40	0.040
5	6	0.10	0.30	0.030

ข้อมูลบัส

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลบัส

Bus Number	Bus Type	Voltage Schedule (pu V)	P_{Gen} (pu MW)	P_{Load} (pu MW)	Q_{Load} (pu MVAR)
1	Swing	1.05			
2	Gen.	1.05	0.05	0.0	0.0
3	Gen.	1.07	0.06	0.0	0.0
4	Load		0.0	0.07	0.07
5	Load		0.0	0.07	0.07
6	Load		0.0	0.07	0.07

2.2 แผนภาพของระบบ



รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบ

บทที่ 3
หลักการและทฤษฎี

3.1 การศึกษาโหลดโฟลว์ (Load Flow)

การศึกษาโหลดโฟลว์คือ การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าและกระแสที่จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะการทำงานปกติ ผลที่ได้จากการศึกษาโหลดโฟลว์โดยทั่วไปประกอบด้วย ขนาดและมุมของศักดาไฟฟ้าที่บัสต่างๆในระบบ กระแสและกำลังที่ไหลในระบบส่งทุกเส้น ค่าต่างๆ ที่ได้ออกมาจากผลการศึกษาโหลดโฟลว์ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของศักดาไฟฟ้าหรือกระแสจะถูกนำมาพิจารณาว่าค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ คือศักดาไฟฟ้าทุกจุดในระบบมีค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปกระแสที่ไหลผ่านจุดต่างๆ มีค่าไม่มากกว่าอัตราของอุปกรณ์หรือสายที่จะรับได้ ดังนั้นการศึกษาโหลดโฟลว์จึงเป็นหัวใจสำคัญอันหนึ่งในการวางแผนการจ่ายไฟฟ้ารวมทั้งการขยายงานระบบไฟฟ้าด้วย

ปัญหาของโหลดโฟลว์ (Load-flow Problem) คือ การคำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) ที่ไหลในแต่ละสายส่งไฟฟ้า รวมทั้งเป็นการคำนวณหาค่าขนาด (Magnitude) และค่าของมุม (Phase Angle) ของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบสายส่งที่กำหนดไว้ โดยเลือกช่วงเวลาของโหลด ในการวิเคราะห์การหาต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังตามความต้องการของผู้บริโภคอย่างประหยัดที่สุด สำหรับตัว Generator และโหลดในสภาวะของการทำงานลักษณะต่างๆ นั้น ค่ารายละเอียดที่คำนวณหาได้จากการโหลดโฟลว์ (Load flow) ก็ยังสามารถใช้ในการทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบไฟฟ้า ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าจากตัว Generator ไปยังโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าโดยไม่ทำให้ระบบสายส่งเกิดการโอเวอร์โหลด (Overload) รวมทั้งมีค่าระดับของแรงเคลื่อน (Voltage Regulation) ที่ดีโดยมีวิธีการควบคุมระดับของแรงเคลื่อนโดยการใช้ Shunt Capacitor, Shunt Reactor และ Tap-Changing Transformer และตัว Generator ที่ใช้ในการผลิตค่าของ Reactive Power (Q) แต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการผลิตกำลังไฟฟ้าจริง (P)

<u>ข้อที่ควรสังเกตในการพิจารณาผลการคำนวณ Load Flow ของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงเป็นปกติ และอยู่ในกรณี Peak Load คือ</u>

1) ขนาดของแรงดันที่ Busbar ต่างๆในระบบควรมีค่าใกล้เคียงค่าปกติ
2) อุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่กับระบบควรทำงานไม่เกินค่า Rated Capacities
3) กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะสัมพันธ์กับต้นทุนการผลิต

4) การจ่าย Reactive Power ควรจัดสรรให้เหมาะสมที่ทำให้เกิดการสูญเสียของ Real Power ในระบบน้อยที่สุด

ความต้องการเหล่านี้อาจเป็นสิ่งที่ขัดแย้งกัน การศึกษา Load Flow จะแสดงให้เห็นขอบเขตของจุดทำงานที่ระบบจะสามารถตอบสนองได้ และแนวทางการแก้ไขปรับปรุงระบบเพื่อให้มีการตอบสนองที่น่าพอใจยิ่งขึ้น ปัญหาการแก้สมการของข่ายวงจรระบบไฟฟ้ากำลังในการศึกษา Load Flow

<u>ความยุ่งยากที่เกิดขึ้นในการคำนวณ Load Flow นั้นเป็นผลจากสิ่งต่อไปนี้</u>

1) การใช้ Phasor ซึ่งเป็นเลขเชิงซ้อนในการวิเคราะห์ข่ายวงจรไฟฟ้าสลับใน Steady State

2) ธรรมชาติของข้อมูลที่มีอยู่และผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งทำให้ได้สมการของระบบแบบ Nonlinear

3) ข้อจำกัดในการใช้งานของอุปกรณ์ที่ประกอบกันเป็นระบบไฟฟ้า

4) ความซับซ้อนของตัวข่ายวงจรระบบไฟฟ้าเอง

การนำเอา Phasor มาช่วยคำนวณ Load Flow เป็นการหลีกเลี่ยงที่จะต้องแก้สมการ Differential ของข่ายวงจร และเปลี่ยนเป็นสมการพีชคณิตแทนอย่างไรก็ตาม จำนวนสมการพีชคณิตจะเป็นสองเท่าคือ สมการของเลขจริง และสมการของเลขจินตภาพ สมการที่ได้เป็นสมการ Nonlinear ที่มีตัวแปรไม่ทราบค่าและการแก้สมการจะต้องอาศัยการคำนวณเชิงซ้อน (Numerical Method) โดยทำการคำนวณแบบซ้ำรอบ (Iterative Technique) วิธีคำนวณแบบนี้เหมาะที่จะอาศัยดิจิตอลคอมพิวเตอร์ และเมื่อระบบไฟฟ้าที่วิเคราะห์มีขนาดใหญ่การใช้คอมพิวเตอร์ก็กลายเป็นสิ่งจำเป็นในการคำนวณ Load Flow เราจำเป็นที่จะต้องมีขั้นตอนสำหรับตรวจสอบจุดทำงานของอุปกรณ์ในระบบ และมีการแก้ไขการคำนวณ เมื่อผลการตรวจสอบปรากฏว่ามีอุปกรณ์ในระบบมีการทำงานอย่างผิดปกติ ตัวอย่างเช่น ทำงานเกินกำลัง หรือแรงดันที่ขั้วสูงหรือต่ำเกินกำหนด หากไม่มีการจัดการเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้ ผลการคำนวณที่ได้อาจใช้ไม่ได้เพราะดำเนินการแบบนั้นในระบบไฟฟ้าจริงๆไม่ได้ พิจารณาระบบไฟฟ้าซึ่งมีโรงจักรกำเนิดไฟฟ้า 3 แห่ง ระบบมี 4 บัส และมีโหลดอยู่ทุกบัสและทราบค่าโหลดทุกบัส กำลังไฟฟ้าจริงจากโรงจักรไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ว่าจะจ่ายให้โหลดทั้งหมดควรมาจากโรงจักรไหนบ้าง เท่าไร ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าจริงนี้จะกำหนดเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายของแต่ละโรงจักร หรืออาจเป็นขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ผ่านโปรแกรมทางเศรษฐศาสตร์ระบบไฟฟ้ากำลัง จะได้ว่า P1, P2, P3 ควรมีค่าเท่าใดจึงจะประหยัดที่สุด ส่วนค่าขนาดศักดาไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจัดให้มีค่าคงที่เท่าใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมโดยใช้ Automatic Voltage Regulator ของแต่ละเครื่องกำเนิดเป็นตัวควบคุมให้คงที่ตลอดเวลาที่ค่าที่ตั้งไว้ ค่าต่างๆที่ทราบค่าดังกล่าวก็จะเป็นอินพุทของโปรแกรมโหลดโฟลว์เพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่มาจากแต่ละโรงจักรไฟฟ้า ในการคำนวณกำลังเชิงซ้อนของ Busbar เราถือว่ากำลังที่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบมีเครื่องหมายเป็นบวก และกำลังที่ไหลออกจากระบบมีเครื่องหมายลบ

3.1.1 การจำแนกชนิดของ Busbar ตามลักษณะการกำหนดค่าของตัวแปร Busbar นั้นได้ดังนี้

1) Slack หรือ Swing หรือ Reference busbar เรากำหนดค่าขนาดและเฟสของแรงดันและเหลือค่า Active Power และ Reactive Power เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าซึ่งต้องการหาจากสมการของระบบ ในการศึกษา Load flow เราจำเป็นต้องมี Slack Bus ซึ่งมีอยู่เพียง Busbar เดียวเท่านั้น เพื่อจ่ายกำลังชดเชยให้กับกำลังสูญเสียในระบบ และชดเชยความแตกต่างระหว่างกำลังผลิตกับ Loads ของระบบซึ่งในที่นี้รวมทั้ง Real Power และ Reactive Power โดยปกติแล้วเรามักจะให้เฟสของ Slack Busbar มีค่าเป็นศูนย์ เพื่อเป็นจุดอ้างอิงสำหรับแรงดันที่ Busbar อื่น

2) Generator Busbar เรากำหนด Active Power และขนาดของแรงดันของ Busbar และเหลือ Reactive Power และเฟสของแรงดันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ในบางครั้งเราก็เรียก Busbar เหล่านี้ว่าเป็น Voltage Controlled Busbar การควบคุมขนาดของแรงดันนั้นทำได้โดยการเพิ่มหรือลดการผลิต Reactive Power ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ Synchronous Condenser ที่ต่ออยู่กับ Busbar นั้นๆ บ่อยครั้งที่ค่า Reactive Power มากกว่าค่าสูงสุด หรือน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ Capacity ของ Synchronous Machines ที่ต่ออยู่ ซึ่งทำให้เราต้องแทน Reactive Power ของ Bus นั้นๆ ด้วยค่าต่ำสุด หรือค่าสูงสุดแล้วแต่กรณี และเปลี่ยนให้ขนาดของแรงดันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า กรณีหลังนี้เราจะต้องเปลี่ยนชนิดของ Busbar จาก Generator Busbar เป็น Load Busbar

3) Load Busbar เรากำหนดค่า Real Power และ Reactive Power ของ Busbar เหล่านี้และเหลือค่าขนาดและเฟสของแรงดันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

ในการคำนวณโหลดโฟลว์การคำนวณจะค่อนข้างยาว โอกาสคำนวณผิดมีมากและมีการคำนวณซ้ำ มีขั้นตอนในแต่ละรอบการคำนวณที่แน่นอน ไม่เหมาะกับการคำนวณด้วยมือ แต่เหมาะกับการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเราจะใช้วิธีการคำนวณ Load Flow โดยวิธีการของ Gauss Seidel Method และ Newton-Raphson Method

3.1.2 สมการที่เกี่ยวข้องกับโหลดโฟลว์

การศึกษา Load Flow เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับการถ่ายเทของกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติ

Load Flow Equation

$$S_i = V_i I_i^* \qquad (3\text{-}1)$$

$$S_i^* = V_i^* I_i \quad (3\text{-}2)$$

จากสมการ S=P+jQ

จะได้

$$S_i^* = V_i^* \sum_{j=1}^{n_{bus}} Y_{ij} V_j \quad (3\text{-}3)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^{n_{bus}} Y_{ij} V_j \quad (3\text{-}4)$$

โดยที่

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| \cos\theta_{ij} + j|Y_{ij}| \sin\theta_{ij}$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i \quad (3\text{-}5)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3\text{-}6)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3\text{-}7)$$

$$P_{i(schedule)} = P_{gi} - P_{di} \quad (3\text{-}8)$$

$$Q_{i(schedule)} = Q_{gi} - Q_{di} \quad (3\text{-}9)$$

Power- Balance Equation

$$P_i - P_{i(schedule)} = P_i - (P_{gi} - P_{di}) = 0 \quad (3\text{-}10)$$

$$Q_i - Q_{i(schedule)} = Q_i - (Q_{gi} - Q_{di}) = 0 \quad (3\text{-}11)$$

<u>ข้อจำกัดบนพิสัยของตัวแปร</u>

ข้อจำกัดบนพิสัยของกำลังผลิต เป็นข้อจำกัดของกำลังผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในรูป

$$P_{gi,min} < P_{gi} < P_{gi,max}$$

$$Q_{gi,min} < Q_{gi} < Q_{gi,max}$$

ข้อจำกัดบนพิสัยของขนาดของแรงดัน

$$V_{i,min} < V_i < V_{i,max}$$

3.1.3 การคำนวณโหลดโฟลว์

1) Initial Condition
2) Slack Bus กำหนดเป็นบัสที่ 1 มีมุมเฟสของกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็น ศูนย์
3) Generator Bus ขนาดของแรงดันไฟฟ้าถูกกำหนดเป็นค่าจำเพาะ และมีมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็น ศูนย์
4) Load Bus ขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่า 1.0 p.u. และ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็น ศูนย์

3.2 การคำนวณโหลดไฟลว์โดยวิธี Newton-Raphson Method

เราสามารถคำนวณโหลดโฟลว์โดยการกระจายของสมการ 2 สมการนี้

$$P_{Gi} - P_{Di} = P_{Ni} = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \qquad (3\text{-}12)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = Q_{Ni} = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \qquad (3\text{-}13)$$

โดยอนุกรมของ Taylor รอบๆจุดทำงานที่แรงดันปกติของระบบโดยถือว่าเกิดการเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าและแรงดันของบัสออกไปจากจุดทำงานปกติเล็กน้อย และไม่นำพจน์กำลังสองขึ้นไปของการเปลี่ยนแปลงแรงดันมาคิด เนื่องจากถือได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันเหล่านั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อให้ n เป็นจำนวน Busbar ทั้งหมดของระบบและเมื่อให้ Busbar หมายเลขที่ 1 คือ Slack Busbar จะทำให้ไม่มีการเบี่ยงเบนของกำลังเชิงซ้อนและแรงดันที่ Busbar หมายเลขที่ 1 สมการที่

ได้มีเฉพาะค่าเบี่ยงเบนของกำลังและแรงดันตั้งแต่ Busbar หมายเลข 2 ขึ้นไป (โดยในขั้นต้นนี้จะถือว่า Busbar ที่เหลือเป็น Load Busbar) เราจะได้สมการรูป Matrix เป็น

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{22} & H_{23} & H_{24} & \cdots & H_{2n} & N_{22} & N_{23} & N_{24} & \cdots & N_{2n} \\ H_{32} & H_{33} & H_{34} & \cdots & H_{3n} & N_{32} & N_{33} & N_{34} & \cdots & N_{3n} \\ H_{42} & H_{43} & H_{44} & \cdots & H_{4n} & N_{42} & N_{43} & N_{44} & \cdots & N_{4n} \\ \vdots & & & & \vdots & \vdots & & & & \vdots \\ H_{n2} & H_{n3} & H_{n4} & \cdots & H_{nn} & N_{n2} & N_{n3} & N_{n4} & \cdots & N_{nn} \\ J_{22} & J_{23} & J_{24} & \cdots & J_{2n} & L_{22} & L_{23} & L_{24} & \cdots & L_{2n} \\ J_{32} & J_{33} & J_{34} & \cdots & J_{3n} & L_{32} & L_{33} & L_{34} & \cdots & L_{3n} \\ J_{42} & J_{43} & J_{44} & \cdots & J_{4n} & L_{42} & L_{43} & L_{44} & \cdots & L_{4n} \\ \vdots & & & & \vdots & \vdots & & & & \vdots \\ J_{n2} & J_{n3} & J_{n4} & \cdots & J_{nn} & L_{n2} & L_{n3} & L_{n4} & \cdots & L_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta\delta_4 \\ \vdots \\ \Delta\delta_n \\ \Delta V_2/V_2 \\ \Delta V_3/V_3 \\ \Delta V_4/V_4 \\ \vdots \\ \Delta V_n/V_n \end{bmatrix}$$

โดยที่

$\Delta P_i = P_{Gi} - P_{Di} - P_i =$ เศษเหลือของค่ากำลังไฟฟ้าจริง

$\Delta Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} - Q_i =$ เศษเหลือของรีแอคทีฟเพาว์เวอร์

และเมื่อ

$\Delta\delta_i =$ ผลต่างเฟสของแรงดัน

$\Delta V_i =$ ผลต่างของขนาดแรงดัน

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \cos\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) \qquad (3\text{-}14)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_i Y_{ij} V_j| \sin\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) \qquad (3\text{-}15)$$

$$H_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} \tag{3-16}$$

$$N_{ik} = V_k \frac{\partial P_i}{\partial V_k} \tag{3-17}$$

$$J_{ik} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} \tag{3-18}$$

$$L_{ik} = V_k \frac{\partial Q_i}{\partial V_k} \tag{3-19}$$

Matrix ของ H_{ik} , N_{ik} , J_{ik} และ L_{ik} คือ Jacobian Matrix และเมื่อให้ $Y_{ij} = Y_{ij}\angle\theta_{ij} = G_{ij} + B_{ij}$ และ $Y_i = Y_i\angle\delta_i = e_i + jf_i$ เราสามารถวิเคราะห์หาสูตรเพื่อใช้หา Elements ของ Jacobian Matrix โดยได้สูตรดังนี้

ก) พจน์นอกทแยงมุม $i \neq k$

$$H_{ik} = L_{ik} = V_i Y_{ik} V_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

$$= f_i(G_{ik}e_k - B_{ik}f_k) - e_i(B_{ik}e_k + G_{ik}f_k) \tag{3-20}$$

$$N_{ik} = -J_{ik} = -V_i Y_{ik} V_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

$$= e_i(G_{ik}e_k - B_{ik}f_k) + f_i(B_{ik}e_k + G_{ik}f_k) \tag{3-21}$$

ข) พจน์ทแยงมุม $i = k$

$$H_{ii} = -Q_i + V_i^2 Y_{ii} \sin(-\theta_{ii}) = -Q_i - B_{ii}V_i^2 \tag{3-22}$$

$$N_{ii} = P_i + V_i^2 Y_{ii} \cos(-\theta_{ii}) = P_i + G_{ii}V_i^2 \tag{3-23}$$

$$N_{ii} = P_i - V_i^2 Y_{ii} \cos(-\theta_{ii}) = P_i - G_{ii}V_i^2 \tag{3-24}$$

$$L_{ii} = Q_i + V_i^2 Y_{ii} \sin(-\theta_{ii}) = Q_i - B_{ii} V_i^2 \quad (3\text{-}25)$$

สำหรับ Load Busbar เราจะคำนวณ Power และ Reactive Power Residual ได้และจะต้องคำนวณ Jacobian Elements ใน หลักและแถว ที่ตรงกันกับ Load Busbar นั้นๆ สำหรับใช้ในการแก้สมการ Matrix เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดและเฟสของแรงดันของ Busbar

ในกรณี Generator Bus เป็นค่าที่ไม่ทราบทำให้เราคำนวณ Reactive Power Residual ไม่ได้ และขนาดของแรงดันถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ ค่าการเปลี่ยนขนาดแรงดันจึงเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงไม่ต้องนำ Column ของ Jacobian Matrix ,N_{ij} , L_{ij} และ Row ของ J_{ij} , L_{ij} ที่ตรงกับ Generator Bus นั้นมาคิดคำนวณตอนแก้สมการ สำหรับ Reactive Power เราใช้สมการที่ 3-15 คำนวณหาค่าแล้วนำไปตรวจสอบกับ Limit หากไม่ออกไปนอกขอบเขตจะกำหนดให้ Reactive Power เป็นค่าที่ขอบเขตและนำขั้นตอนการคำนวณของ Load bus มาใช้สำหรับ Generator Bus ที่คุมขนาดแรงดันไม่ได้นั้นๆ และเมื่อเกิดกรณีนี้ขึ้น จะต้องคำนวณ Element ของ Jacobian Matrix ใน Row และ Column ของ Generator Bus นั้นทุก Elements

การคำนวณ Load Flow ทำโดยสมมติแรงดันที่ Busbar ต่างๆ ปกติจะให้เป็น 1.0 p.u. และเฟสเป็น 0 องศา จากนั้นจะคำนวณค่า Complex Power และ Power Residual ที่ Busbar ต่างๆ ตามด้วยการคำนวณเข้ารูป Jacobian Matrix และแก้ระบบสมการเชิงเส้น

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V / V \end{bmatrix} \quad (3\text{-}26)$$

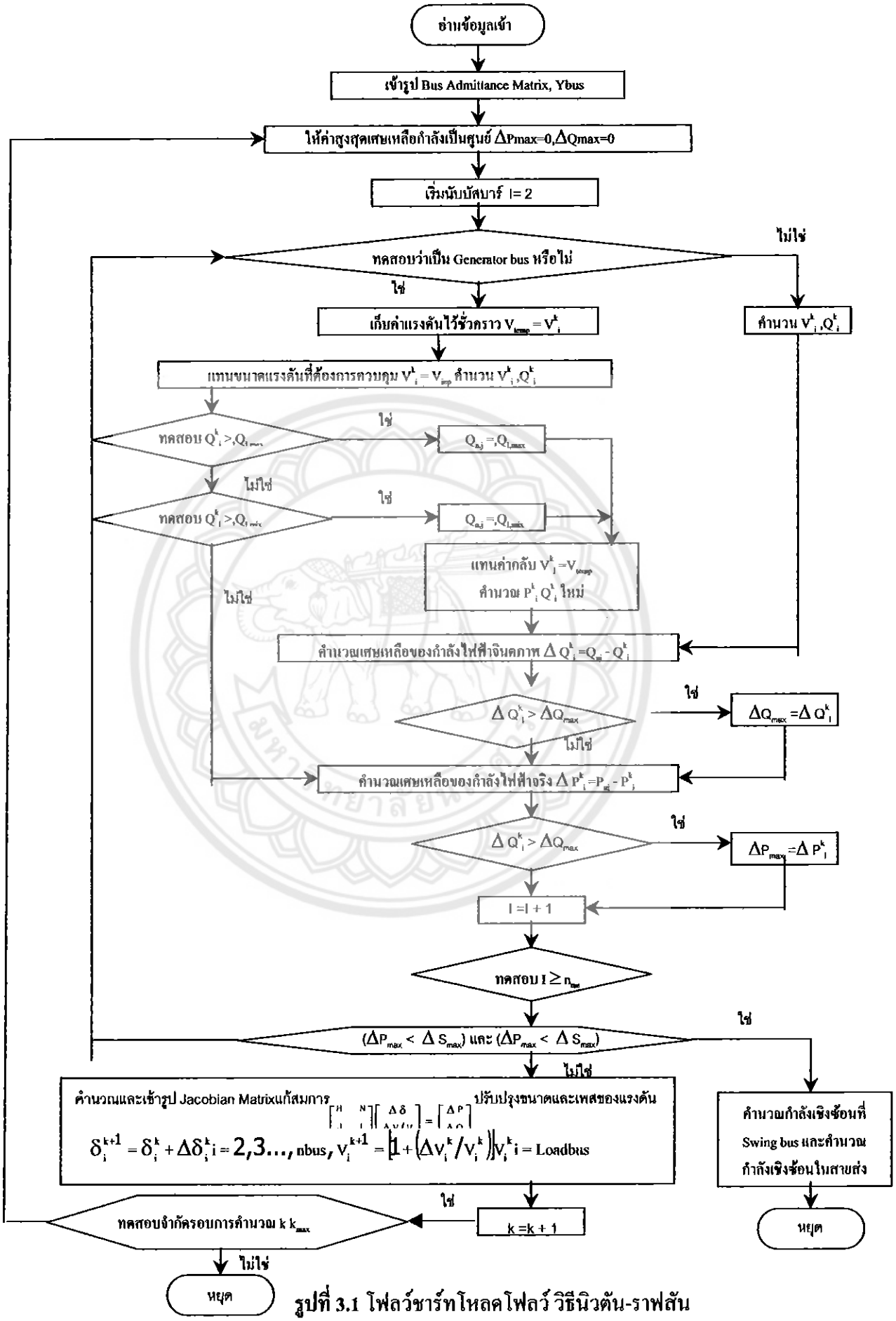
จากนั้นนำค่าการเปลี่ยนเฟสและขนาดแรงดันที่แก้สมการได้ไปแก้ไขค่าแรงดันเดิม

$$\delta^k = \delta_k^k + \Delta\delta_i^k, i = 2,3,\ldots n_{bus} \quad (3\text{-}27)$$

$$V_i^k = V_k^k \left[1 + \left(\frac{\Delta V_i}{V_i} \right)^k \right] \quad , i = \text{โหลดบัสบาร์} \quad (3\text{-}28)$$

เมื่อปรับปรุงค่าแรงดันแล้วจะคำนวณค่า Complex Power และ Power Residuals หลังจากนั้นทำการทดสอบ Convergence หาก Power Residuals และยังมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด จะต้องทำการคำนวณซ้ำโดยเริ่มคำนวณ Jacobian Matrix และแก้สมการที่ 3-27 หลังจากนั้นก็ปรับปรุงแรงดันใหม่ การคำนวณจะวนซ้ำรอบจน Power Residuals มีค่าต่ำกว่า Maximum Power Mismatch ที่

กำหนดไว้ตั้งแต่ต้น จากนั้นก็ควรคำนวณหา Swing Bus Power และ Line Power Flow รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในโฟลว์ชาร์ท ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ทโหลดโฟลว์ วิธีนิวตัน-ราฟสัน

3.3 สมการการสูญเสียในระบบส่ง (The Transmission Loss Equation)

การคำนวณสัดส่วนของความสูญเสียเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบสามารถทำได้โดยการพิจารณาความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าจริงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบและความสูญเสียรวมในระบบซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแทนได้ด้วย สมการความสูญเสียในระบบส่ง ดังนี้

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} P_{gi} B_{ij} P_{gj} + \sum_{i=j}^{k} B_{io} P_{gi} + B_{oo} \qquad (3\text{-}29)$$

โดยที่

B คือ ตัวชี้บ่งความสูญเสีย (Loss Coefficient)

P_g คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_{loss} คือ ความสูญเสียรวมในระบบ

k คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวอย่าง การคำนวณหาเมตริกซ์ B

	Base case			
	Generation		Voltage	
	P	Q	Magnitude (p.u.)	Angle (deg)
①	1.91352	1.872240	1.0	0.0
②	3.18	1.325439	1.0	2.43995
③	-	-	0.96051	-1.07932
④	-	-	0.94304	-2.62658
	5.093152	3.197679		

230-kV, 100-MVA base.

$$R_{bus} = \begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} ① & ② & ③ & ④ \end{array} \\ \begin{bmatrix} +2.911963 & -1.786620 & -0.795044 & -0.072159 \\ -1.786620 & +2.932995 & -0.072159 & -1.300878 \\ -0.795044 & -0.072159 & +2.911963 & -1.786620 \\ -0.072159 & -1.300878 & -1.786620 & +2.932995 \end{bmatrix} \end{array} \times 10^{-3}$$

$$X_{bus} = \begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} ① & ② & ③ & ④ \end{array} \\ \begin{bmatrix} -2.582884 & -2.606321 & -2.601379 & 2.597783 \\ -2.606321 & -2.582784 & -2.597783 & -2.603899 \\ -2.601379 & -2.597783 & -2.582884 & -2.606321 \\ -2.597783 & -2.603899 & -2.606321 & -2.582784 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$I_4 = \frac{P_4 - jQ_4}{V_4^*} = \frac{-2.8 + j1.73520}{0.94304\angle 2.6258^\circ} = 3.493043\angle 145.5863^\circ$$

$$I_3 = \frac{P_3 - jQ_3}{V_3^*} = \frac{-2.2 + j1.3640}{0.96304\angle 1.07932^\circ} = 2.6941\angle 147.1331^\circ$$

$$d_4 = \frac{I_4}{I_3 + I_4} = 0.564527 + j0.006637$$

$$d_3 = \frac{I_3}{I_3 + I_4} = 0.435473 + j0.006637$$

$$t_1 = \frac{Z_{11}}{d_3 Z_{13} + d_4 Z_{14}} = 0.993664 + j0.001259$$

$$t_2 = \frac{Z_{12}}{d_3 Z_{14} + d_4 Z_{14}} = 1.002681 + j0.000547$$

$$C = \begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ \\ ④ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} ① & ② & (n) \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & . & . \\ . & 1 & . \\ -0.432705-j0.007143 & -0.436644-j0.006416 & -0.432705-j0.005285 \\ -0.560958+j0.005884 & -0566037+j0.006964 & -0.560958+j0.005884 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ (n) \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} ① & ② & (n) \end{array} \\ \begin{bmatrix} 4.282158+j0 & -0.030982-j0.010638 & 0.985724-j0.005255 \\ -0.030982+j0.010638 & 5.080886+j0 & 1.367642+j0.006039 \\ 0.0985724+j0.005255 & 1.367642-j0.006039 & 0.601225+j0 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$I_n^o = \frac{V_1}{Z_n} = \frac{1.0 \quad j0}{0.002912 \quad j0.2582884} = 0.000436 \quad j0.387164$$

$$\alpha_1 = \frac{1 - jS_1}{V_1 1} = \frac{1.0 - j(1.872240 \ / 1.913152 \ )}{1.0 \angle 0^\circ} = 1.0 - j0.978615$$

$$\alpha_2 = \frac{1 - jS_{21}}{V_2} = \frac{1.0 - j(11.325439 \ / 3.1800 \ )}{1.0 \angle -2.43995^\circ} = 1.016838 - j0.373855$$

$$\tau_\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 & . & . \\ . & \alpha_2 & . \\ . & . & I_n^0 \end{bmatrix} C^T R_{bus} C^* \begin{bmatrix} \alpha_1 & . & . \\ . & \alpha_2 & . \\ . & . & I_n^0 \end{bmatrix}.$$

$$T_\alpha = \begin{bmatrix} 8.38183 + j0.0 & -0.049448 + j0.004538 & 0.375082 + j0.380069 \\ -0.049448 - j0.004538 & 5.963568 + j0.0 & 0.194971 + j0.539511 \\ 0.375082 - j0.380069 & 0.194971 - j0.539511 & 0.090212 + j0.0 \end{bmatrix} \times 10^{-3}$$

$$\left[\begin{array}{cc|c} B_{11} & B_{12} & B_{10}/2 \\ B_{21} & B_{22} & B_{20}/2 \\ \hline B_{10}/2 & B_{20}/2 & B_{00} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{cc|c} 8.383183 & -0.049448 & 0.375082 \\ -0.049448 & 5.963568 & 0.194971 \\ \hline 0.375082 & 0.194971 & 0.090121 \end{array}\right] \times 10^{-3}$$

$$P_L = \begin{bmatrix} 1.913152 & 3.18/1 \end{bmatrix} \left[\begin{array}{cc|c} B_{11} & B_{12} & B_{10}/2 \\ B_{21} & B_{22} & B_{20}/2 \\ \hline B_{10}/2 & B_{20}/2 & B_{00} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} 1.913152 \\ 3.18 \\ \hline 1 \end{array}\right]$$

$= 0.093153$ p.u.

3.4 หลักการทำให้เหมาะสม (Optimization Techniques)

หลักการทำให้เหมาะสมเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function) โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปร (Variable) ที่เกี่ยวกับฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด (Constrain) เพื่อให้ค่าฟังก์ชั่น เป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุดในโครงงานนี้เป็นการหาฟังก์ชั่นเป้าหมายที่มีค่าน้อยที่สุด อย่างเดียว

การหาคำตอบและหลักการให้เหมาะสมมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธี Pattern Search ,วิธี Rosenbrock และ วิธีซิมเพล็ก (Simplex Method) ซึ่งโครงงานนี้ได้เลือกใช้วิธี ซิมเพล็ก

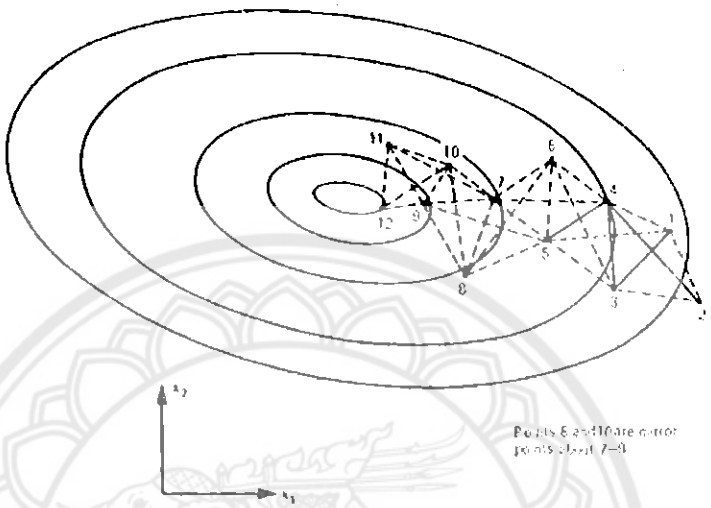
3.4.1 วิธีซิมเพล็ก (Simplex Method)

เป็นการคิดโดยจำลองอยู่ในรูปเรขาคณิตที่มี n มิติ, n+1 จุด เมื่อจุดแต่ละจุดมีความห่างเท่ากัน ดังนั้นในแบบจำลองแบบ 2 มิติจะเป็นรูปสามเหลี่ยม และในแบบ 3 มิติชิจะเป็นรูปทรงสี่หน้า (Tetrahedron)

ทั่วไปแล้ววิธีซิมเพล็ก คือการเปรียบเทียบค่าของ Objective Function โดยการเคลื่อนย้ายรูปทรงเรขาคณิตแบบกลิ้งเข้าหาค่าที่ต้องการในที่นี้คือค่าต่ำสุด ด้วยกระบวนการ 3 แบบ

1) Reflection ยกตัวอย่างเช่นในแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 3.2 จะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยจะทำการตรวจสอบว่าจุดใดเป็นจุดที่ห่างจากค่าน้อยที่สุด (Minimum) หรือเช็คว่าจุดใดเป็นจุดที่ทำให้ค่า objective function มีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง แล้วให้จุดดังกล่าวเป็นจุด X_h และตรวจสอบค่าน้อยสุดที่จุด 2 จุดที่เหลือ แล้วให้เป็นจุด X_L และจุดที่เหลือให้เป็นค่า X_m หลังจากนั้นสร้างจุดใหม่ที่มีระยะห่างจากฐานเท่ากับ และอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับจุด X_h เรียกว่าจุด X_r ซึ่งเราเรียกว่าการสะท้อน (Reflection) โดยมีจุด X_0 เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด X_h กับจุด X_r และจุดกึ่งกลางระหว่างจุด X_L กับ

จุด X_m จะได้สามเหลี่ยมรูปใหม่ที่ประกอบด้วยจุด X_L, X_m และ X_r เป็นจุดยอด แล้วก็เริ่มเช็คจุดที่มีค่าสูงสุดอีกครั้งทำตามขั้นตอนข้างต้นวนซ้ำอีกเรื่อยๆจนกว่าค่าที่ได้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าค่านั้นเองคือค่าที่ต้องการ (Optimum Point) เป็นการสิ้นสุด Simplex Method หรือสามารถทำตามขั้นตอนของแผนภาพการแสดงการทำงานของ Simplex Method

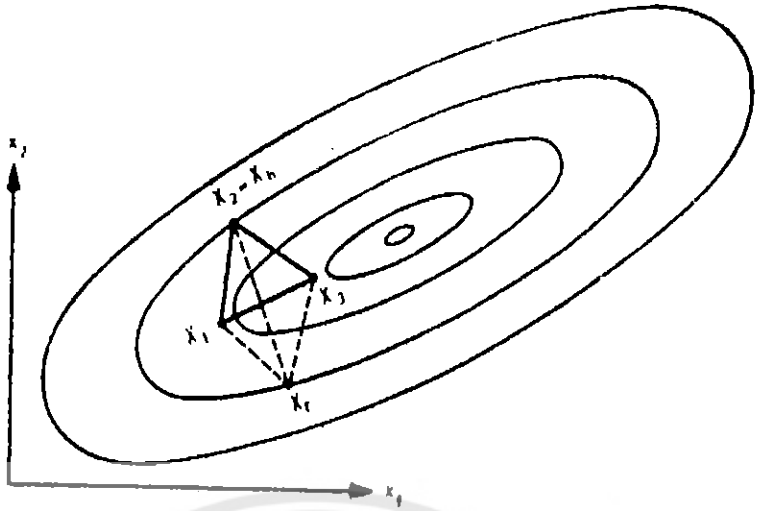


รูปที่ 3.2 กระบวนการสะท้อน

ในบางกรณีไม่ก็สามารถทำตามกระบวนการข้างต้นนี้ได้กรณีดังกล่าวนี้คือ

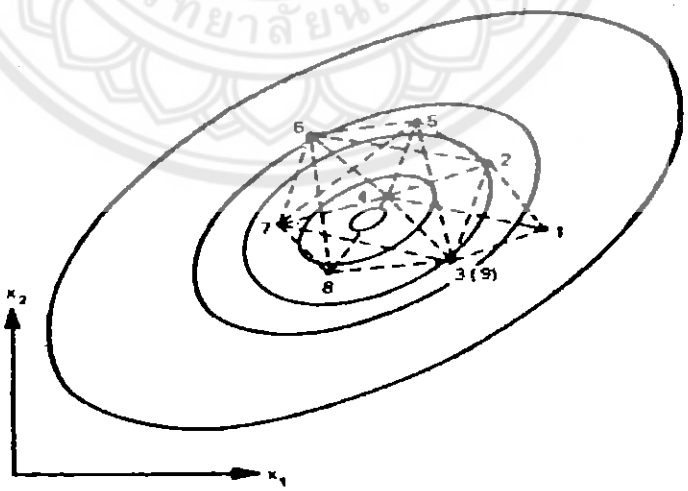
1) กรณีที่มีเมื่อเรากำหนดค่าจุดลงไปแล้วการหมุนของรูปเรขาคณิตเกิดปัญหาขึ้น นั่นก็คือเมื่อเราทำการสะท้อนจุดเพื่อหมุนรูปเรขาคณิตแต่กลับพบว่าจุด X_r มีค่าเท่ากับ จุด X_h ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งถ้าเราทำการสะท้อนอีกครั้งจะทำให้ได้สามเหลี่ยมรูปใหม่เหมือนกับรูปแรกเมื่อสะท้อนไปเรื่อยๆสามเหลี่ยมก็จะวนกลับหัวไปมาไม่สามารถไปถึงจุดที่ต้องการได้ ถ้าเราเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณก็จะเกิดการวนซ้ำไม่มีที่สิ้นสุด

วิธีแก้ไขคือเมื่อใดที่มีการสะท้อนกลับไปซ้ำจุดเก่า ให้เลือกจุดที่มีค่ามากรองลงมาเป็นจุด X_h แทนที่แล้ว ด้วยวิธีนี้ก็จะสามารถกลิ้งรูปเรขาคณิตเข้าสู่ค่าที่ต้องการได้



รูปที่ 3.3 การสะท้อนวนซ้ำไม่มีที่สิ้นสุด

2) กรณีที่เมื่อกลิ้งซิมเพล็กไปเรื่อยๆเกิดกลิ้งวนเป็นวงดังรูที่ 3.4 ซึ่งถ้าเราทำการสะท้อนอีกครั้งจะทำให้ได้สามเหลี่ยมรูปใหม่ซิมเพล็กซ์ก็จะกลิ้งกลับไปที่รูปแรกเมื่อสะท้อนไปเรื่อยๆ สามเหลี่ยมก็จะวนเป็นวงกลมไม่สามารถไปถึงจุดที่ต้องการฟอร์มของซิมเพล็กซ์ตามรูปจะเป็น 123,234,245,456,467,478,348,234 สังเกตได้ว่าวนกลับมาที่ 234 อีกครั้ง วิธีแก้ไขในกรณีนี้เราจะต้องตั้งค่าที่สูงรองลงมาเป็นจุดยอดแทนตั้งต้นใหม่

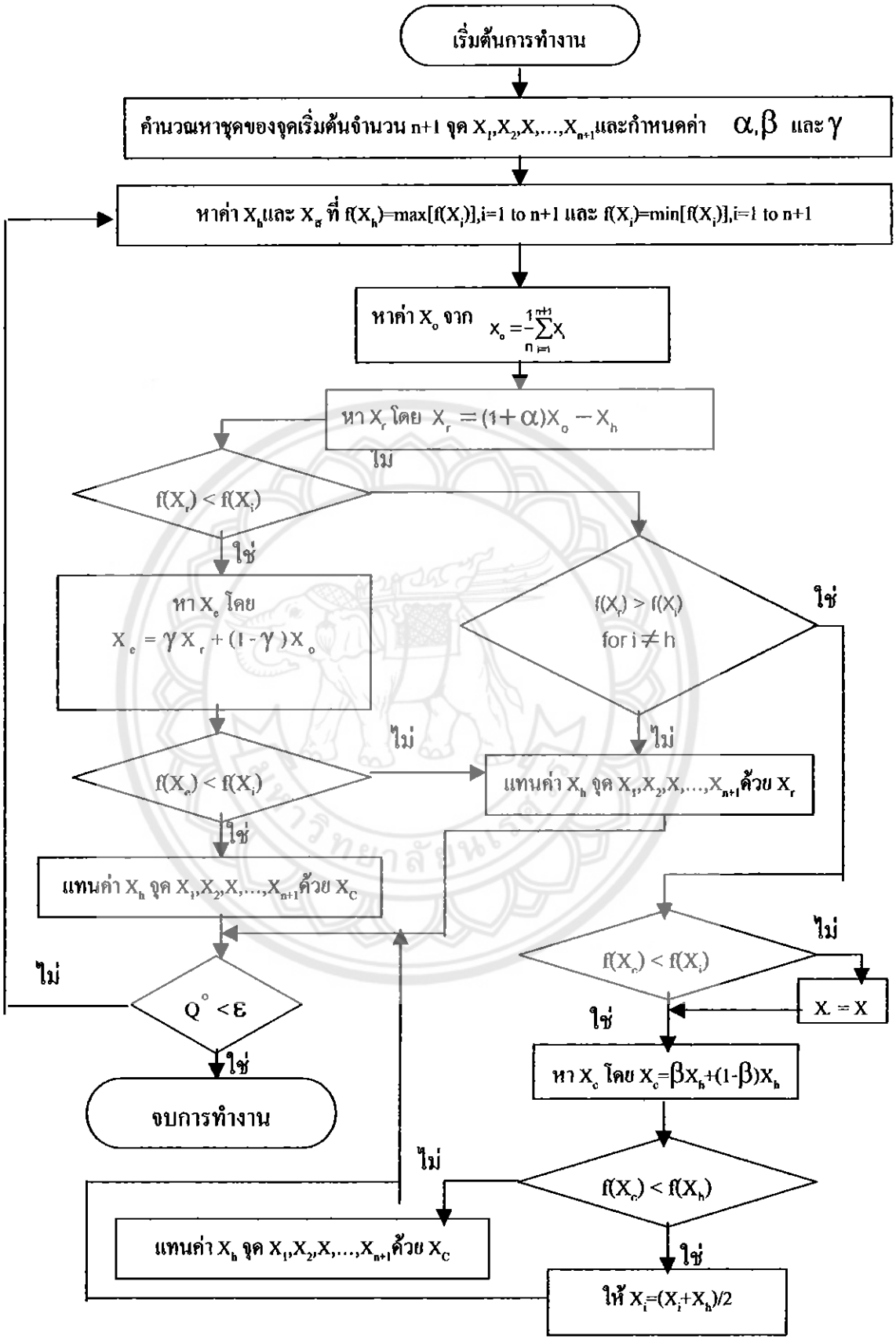


รูปที่ 3.4 การสะท้อนวนเป็นวงกลม

2) Expansion เป็นกระบวนการหาจุดใหม่มาทดแทนจุด X_h อีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นการขยายขนาดรูปเรขาคณิตไปในทิศทางที่ต้องการจึงทำให้เข้าถึงค่าที่ต้องการเร็วยิ่งขึ้น กล่าวคือเมื่อเราคำนวณหาจุด X_r มาแทนจุด X_h ได้แล้ว ให้ทำการตรวจสอบหาจุดที่มีค่าน้อยที่สุด (X_L) ถ้าหากจุดที่น้อยที่สุดเป็นจุด ให้ขยายระยะ (Expansion) ที่ จากจุด X_r ไปถึง X_0 เป็น 2 เท่าเพื่อเข้าถึงจุดที่ต้องการเร็วขึ้น

การใช้กระบวนการ Reflection อย่างเดียวในบางครั้งอาจจะต้องทำการวนซ้ำหลายรอบมาก หากว่าเรารวมการบวนการ Expansion เข้าไปด้วยก็จะทำให้มีการวนซ้ำน้อยรอบลง

3) Contraction คล้ายกับการ Expansion แต่เป็นการย่อระยะทางจาก X_r ถึง X_0 ลงครึ่งหนึ่ง ในกรณีที่ทำการ Reflection ได้จุด X_r ที่หลังจากตรวจสอบค่าแล้วพบว่าจุด X_r เลยค่าต่ำสุดไปเมื่อรวม 3 กระบวนการเข้าด้วยกัน จะทำการหาค่าที่ต้องการมีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาสั้น



รูปที่ 3.5 โฟลว์ชาร์ท วิธีซิมเพล็ก

3.4.2 เงื่อนไข(Constraints)

เงื่อนไขคือข้อกำหนดที่กำหนดไว้เพื่อให้ฟังก์ชั่นเป้าหมาย(Objective Function) อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดโดยเงื่อนไขสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) เงื่อนไขที่เป็นสมการ (Equality Constraints)

$h_i(\phi) = 0$ โดยที่ i เป็นเงื่อนไขที่ 1,2,3,...m ตามลำดับ

2) เงื่อนไขที่เป็นอสมการ (Inequality Constraints)

$g_i(\phi) > 0$ โดยที่ i เป็นเงื่อนไขที่ 1,2,3,...n ตามลำดับ

การแก้ปัญหาที่ศึกษาโดยไม่มีเงื่อนไขอาจทำให้คำตอบของการคำนวณอยู่ในช่วงที่ไม่ต้องการ ดังนั้นการจัดการกับเงื่อนไขจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้เพื่อให้ฟังก์ชั้นเป้าหมายเข้าสู่จุดที่เหมาะสมโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดซึ่งโครงงานนี้เลือกใช้วิธี Penalty Function Method มาเป็นวิธีการจัดการกับเงื่อนไข

Penalty Function Method คือ การจัดการกับค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดจะเพิ่มค่า Penalty Function เข้าไปในฟังก์ชั่นเป้าหมาย ทำให้ค่าฟังก์ชั่นเป้าหมายใหม่ มีค่ามากกว่าฟังก์ชั่นเป้าหมายเดิมแต่ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมจะเป็นคาที่ได้จากคาฟังชั่นเป้าหมายที่แท้จริง ดังสมการ

$$P(\phi) = f(\phi) + \sum_{i=1}^{m} u_i h_i(\phi) + \sum_{i=1}^{n} w_i g_i(\phi) \qquad (3\text{-}29)$$

โดยที่ $P(\phi)$ คือฟังก์ชั่นเป้าหมายใหม่ที่รวมเงื่อนไข

$f(\phi)$ คือฟังก์ชั่นเป้าหมาเดิมที่ทำการหาค่าที่เหมะสม

u_i, w_i คือ Weighting Factor

โดยโครงงานนี้แสดงเงื่อนไข

$$0\,\text{MW} \le P_{G1} \le 300\,\text{MW}$$

$$0\,\text{MW} \le P_{G2} \le 300\,\text{MW}$$

$$0\,\text{MW} \le P_{G3} \le 300\,\text{MW}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

ป
ก27ก
2546
1718745
25
สำนักหอส
25 ก.ย. 2

3.5 การใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้แก้ปัญหา

การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์มักจะเกี่ยวข้องกับระบบสมการเชิงเส้นหลายๆ สมการซึ่งประกอบด้วยสมการย่อยและตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมากในบางครั้งถ้าระบบสมการมีขนาดใหญ่มากก็ไม่สามารถที่จะหาคำตอบหรือแก้ระบบของสมการนั้นได้ ดังนั้นการศึกษาระเบียบวิธีการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงเส้นจึงต้องมีการใช้ MATLAB program มาเป็นเครื่องมือในการคำนวณ

บทที่ 4

ผลการคำนวณ

4.1 ผลโหลดโฟลว์

ตารางที่ 4.1 ผลโหลดโฟลว์

Parameter	Bus	ผล
Voltage (pu V,Radain)	1	$1.0500 \angle 0^{\circ}$
	2	$1.0500 \angle -0.0641^{\circ}$
	3	$1.0700 \angle -0.0746^{\circ}$
	4	$0.9894 \angle -0.0732^{\circ}$
	5	$0.9854 \angle -0.0921^{\circ}$
	6	$1.0044 \angle -0.1038^{\circ}$
$P_{\text{บัส}}$ (MW)	1	107.8688
	2	50.00000
	3	60.00000
	4	-70.00000
	5	-70.00000
	6	-70.00000
$Q_{\text{บัส}}$ (MVAR)	1	15.95540
	2	74.35070
	3	89.62370
	4	-70.00000
	5	-70.00000
	6	-70.00000

4.2 ผลการคำนวณหาค่า Matrix B และกำลังการสูญเสีย

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0.06760 & 0.00953 & -0.00507 \\ 0.00953 & 0.05210 & 0.00901 \\ -0.00507 & 0.09010 & 0.02940 \end{bmatrix}$$

$$B_{io} = \begin{bmatrix} -0.0766 & -0.00342 & 0.0189 \end{bmatrix}$$

$$B_{00} = 0.0006$$

$$P_{loss} = \begin{bmatrix} 1.07 & 0.5 & 0.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0676 & 0.00953 & -0.00507 \\ 0.00953 & 0.0521 & 0.00901 \\ -0.00507 & 0.0901 & 0.0294 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.5 \\ 0.6 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 1.07 & 0.5 & 0.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0766 \\ -0.00342 \\ 0.0189 \end{bmatrix} + 0.0006$$

P_{loss}=0.0781 pu = 7.81 MW

4.3 ผลการ Run Optimal Power Flow Program

ตารางที่ 4.2 ผลการ Run Optimal Power Flow Program

ค่าเริ่มต้น				ผลการคำนวณ				
Step Size (pu)	P_{G1} (pu)	P_{G2} (pu)	P_{G3} (pu)	P_{G1} (pu)	P_{G2} (pu)	P_{G3} (pu)	P_{Loss} (MW)	เปอร์เซ็นต์การลดของการสูญเสีย
0.010	1.70	0.50	0.60	1.4893	0.3424	0.3668	5.8725	25.4470 %
0.010	1.50	0.60	0.60	1.3320	0.4507	0.4064	4.9338	37.3640 %
0.010	1.20	0.70	0.60	1.1072	0.6020	0.4741	4.3576	44.6795 %
0.010	1.00	0.80	0.70	0.9146	0.7004	0.5695	4.4660	43.3027 %
0.010	1.10	0.60	0.50	1.0839	0.6046	0.4942	4.2935	45.4933 %
0.010	0.90	0.50	0.50	0.9912	0.6079	0.5818	4.1227	47.6616 %
0.010	0.90	0.40	0.40	1.0521	0.5869	0.5421	4.1383	47.4639 %
0.010	1.10	0.60	0.60	1.0578	0.5332	0.5883	3.9591	49.7380 %
0.010	1.10	0.50	0.60	1.0855	0.4980	0.5954	3.9088	50.3775 %
0.010	1.20	0.50	0.60	1.1499	0.4640	0.5658	3.9941	49.2938 %
0.010	1.10	0.55	0.65	1.0615	0.5014	0.6156	3.8696	50.8744 %
0.010	1.15	0.55	0.70	1.0879	0.4808	0.6096	3.8649	50.9339 %
0.010	1.15	0.55	0.85	1.0425	0.4321	0.7201	3.6849	53.2190 %
0.010	1.15	0.55	0.95	1.0265	0.3847	0.7647	3.6106	54.1626 %
0.010	1.20	0.55	0.95	1.0495	0.3745	0.7517	3.6073	54.2048 %
0.010	1.20	0.55	1.05	1.0150	0.3531	0.8075	3.5874	52.0984 %
0.010	1.20	0.55	1.07	1.0162	0.3401	0.8193	3.5814	54.5331 %
0.010	1.18	0.55	1.07	1.0243	0.3302	0.8210	3.6065	54.2147 %
0.010	**1.18**	**0.53**	**1.07**	**1.0120**	**0.3231**	**0.8365**	**3.5550**	**54.8689 %**
0.005	1.18	0.53	1.07	1.0094	0.3295	0.8367	3.5824	54.5202 %
0.015	1.18	0.53	1.07	1.0209	0.3130	0.8416	3.5745	54.6215 %

บทที่ 5
สรุปผลและแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

5.1 สรุปผล

โครงงานวิศวกรรมนี้ได้นำเสนอการนำวิธีที่เหมาะสมมาใช้คำนวณหาค่ากำลังสูญเสียในสายส่งน้อยที่สุดเท่าที่ระบบทำได้ หลังจากที่ได้นำโปรแกรม MATLAB มาใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆ เช่น ผลโหลดโฟลว์ และเมตริกซ์ B โดยนำค่าดังกล่าวมาใช้คำนวณหากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดด้วยวิธีซิมเพล็ก ในการคำนวณวิธีซิมเพล็กได้ลองใช้ค่าเริ่มต้นหลายๆค่า เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

จากตารางที่ 4.2 หลังจากการทดลองเปลี่ยนค่าเริ่มต้นหลายๆค่าพบว่าหลังการทำ Optimal Power Flow พบว่าสามารถลดกำลังการสูญเสียจาก 7.877 MW เหลือ 3.555 MW หรือลดลงได้ 54.8689 %

โดยปรับปรุงกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator)ดังนี้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ลดกำลังการผลิตจาก 107 MW เป็น	101.2 MW
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 ลดกำลังการผลิตจาก 50 MW เป็น	32.31 MW
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เพิ่มกำลังการผลิตจาก 60 MW เป็น	83.65 MW

ผลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกำลังการผลิตของระบบ 6 บัสเพื่อให้ระบบมีกำลังการสูญเสียในสายส่งน้อยที่สุด และโปรแกรมยังสามารถนำไปพัฒนาแก้ไขให้ใช้กับระบบที่ใหญ่กว่าระบบ 6 บัส ต่อไปได้

5.2 แนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

โครงงานนี้สามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมได้โดยปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้กับระบบที่ใหญ่กว่านี้หรือนำไปศึกษาเพิ่มเติมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอาจนำความรู้และข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ต้นทุนการผลิต และราคาวัตถุดิบมาตั้งเป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมและเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ตัวโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

[1] S.S. Rao, " Optimization Theory and Application ", Wiley Eastern Limmited, 1978, pp.292-300,pp.390-409

[2] John,J.Grainger, and William, D.Stevenson,Jr., " Power System Analysys ", Magraw-Hill,1994,pp.543-552

[3] Allen, J.Woods, and Bruce, F.Wollenberge, " Powergeneration operation and control ", John Wiley and Sons, 1996, pp.123-124

[4] สุรชัย ลิ้มเจริญ, " การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ", มหาวิทยาลัยขอนแก่น,พิมพ์ครั้งที่ 1,2534, หน้า48-52

[5] รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, " คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์ " อินโฟเพรสมพิมพ์ครั้งที่1,2543.หน้า 17-501

ภาคผนวก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมการถ่ายเทกำลังไฟฟ้า โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

File:kong01.m

```
clc;clear;
%Line data
%        Bus   Bus   R       X       1/2 B     Transformer data
%        nl    nr    pu      pu      pu        Tap setting
linedata=[ 1     2    0.10    0.20    0.02        1
           1     4    0.05    0.20    0.02        1
           1     5    0.08    0.30    0.03        1
           2     3    0.05    0.25    0.03        1
           2     4    0.05    0.10    0.01        1
           2     5    0.10    0.30    0.02        1
           2     6    0.07    0.20    0.025       1
           3     5    0.12    0.26    0.025       1
           3     6    0.02    0.10    0.01        1
           4     5    0.20    0.40    0.04        1
           5     6    0.10    0.30    0.03        1];
nl=linedata(:,1);
nr=linedata(:,2);
R=linedata(:,3);
X=linedata(:,4);
BSH=linedata(:,5);
TS=linedata(:,6);
nbr=length(nl);
nbus=max(max(nl),max(nr));

 Z = R + j*X; y= ones(nbr,1)./Z;       %branch admittance
for n = 1:nbr
if TS(n) <= 0
   TS(n) = 1;
end
Ybus=zeros(nbus,nbus);    % initialize Ybus to zero
          % formation of the off diagonal elements
for k=1:nbr;
     Ybus(nl(k),nr(k))=Ybus(nl(k),nr(k))-y(k)/TS(k);
     Ybus(nr(k),nl(k))=Ybus(nl(k),nr(k));
   end
end
          % formation of the diagonal element
for  n=1:nbus
```

```
    for k=1:nbr
      if nl(k)==n
      Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(TS(k)^2) + BSH(k)*i;
      elseif nr(k)==n
      Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +BSH(k)*i;
      else, end
    end
end
%Ybus(9,9)=Ybus(9,9)+0.19*i;
Ybus;
Yb=abs(Ybus);
A=angle(Ybus);
real(Ybus);
imag(Ybus);
G=real(Ybus);
B=imag(Ybus);
basemva=100; accuracy=0.001; accel=1.8; maxiter=100;
% Initial bus voltages and scheduled bus power
%                Voltage      Demand        Generation      QG limits     Injection
      %bus type p.u.|V|  deg  p.u.PD  p.u.QD  p.u.PG  p.u.QG    min   max     Mvar
busdata=[   1  1    1.05     0.0   0.00     0.00     0.00      0.0     0.0      0.0      0
            2  2    1.05     0.0   0.00     0.00     50        0.00    0.0      0.0      0
            3  2    1.07     0.0   0.00     0.00     50        0.0     0.0      0.0      0
            4  0    1.00     0.0   70       70       0.00      0.00    0.0      0.0      0
            5  0    1.00     0.0   70       70       0.00      0.00    0.0      0.0      0
            6  0    1.00     0.0   70       70       0.00      0.00    0.0      0.0      0  ];

ns=0; ng=0; Vm=0; delta=0; yload=0; deltad=0;
nbus = length(busdata(:,1));
for k=1:nbus
n=busdata(k,1);
kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k, 4);
Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) = busdata(k,8);
Qmin(n)=busdata(k, 9); Qmax(n)=busdata(k, 10);
Qsh(n)=busdata(k, 11);
  if Vm(n) <= 0  Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
  else delta(n) = pi/180*delta(n);
     V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
     P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
     Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
     S(n) = P(n) + j*Q(n);
  end
```

```
end
for k=1:nbus
if kb(k) == 1, ns = ns+1; else, end
if kb(k) == 2 ng = ng+1; else, end
ngs(k) = ng;
nss(k) = ns;
end
Ym=abs(Ybus); t = angle(Ybus);
m=2*nbus-ng-2*ns;
maxerror = 1; converge=1;
iter = 0;
% Start of iterations
clear A DC J DX
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter % Test for max. power mismatch
for i=1:m
for k=1:m
  A(i,k)=0;     %Initializing Jacobian matrix
end, end
iter = iter+1;
for n=1:nbus
nn=n-nss(n);
lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
J11=0; J22=0; J33=0; J44=0;
  for i=1:nbr
   if nl(i) == n | nr(i) == n
     if nl(i) == n,  l = nr(i); end
     if nr(i) == n,  l = nl(i); end
     J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
     J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
     if kb(n)~=1
     J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
     J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
     else, end
     if kb(n) ~= 1  & kb(l) ~=1
     lk = nbus+l-ngs(l)-nss(l)-ns;
     ll = l -nss(l);
    % off diagonalelements of J1
     A(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
        if kb(l) == 0  % off diagonal elements of J2
        A(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
        if kb(n) == 0  % off diagonal elements of J3
        A(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n)+delta(l)); end
```

```
            if kb(n) == 0 & kb(l) == 0  % off diagonal elements of  J4
            A(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));end
          else end
        else , end
      end
      Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;
      Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
      if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end   % Swing bus P
       if kb(n) == 2  Q(n)=Qk;
         if Qmax(n) ~= 0
          Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
          if iter <= 7                % Between the 2th & 6th iterations
            if iter > 2               % the Mvar of generator buses are
             if Qgc  < Qmin(n),       % tested. If not within limits Vm(n)
             Vm(n) = Vm(n) + 0.01;    % is changed in steps of 0.01 pu to
             elseif Qgc  > Qmax(n),   % bring the generator Mvar within
             Vm(n) = Vm(n) - 0.01;end % the specified limits.
            else, end
          else,end
         else,end
       end
      if kb(n) ~= 1
       A(nn,nn) = J11;  %diagonal elements of J1
       DC(nn) = P(n)-Pk;
      end
      if kb(n) == 0
       A(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22;  %diagonal elements of J2
       A(lm,nn)= J33;       %diagonal elements of J3
       A(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44;  %diagonal of elements of J4
       DC(lm) = Q(n)-Qk;
      end
    end
    DX=A\DC';
    for n=1:nbus
     nn=n-nss(n);
     lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
      if kb(n) ~= 1
      delta(n) = delta(n)+DX(nn);
      end
      if kb(n) == 0
      Vm(n)=Vm(n)+DX(lm);
      end
```

```
 end
 %Vm
 %delta
  maxerror=max(abs(DC));
    if iter == maxiter & maxerror > accuracy
   fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged after ')
   fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
   fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print the results \n')
   converge = 0; pause, else, end

end
Vmm=Vm'
Del=delta'
if converge ~= 1
   tech= ('ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE'); else,
   tech=('Power Flow Solution by Newton-Raphson Method');
end
V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
deltad=180/pi*delta
i=sqrt(-1);
k=0;
for n = 1:nbus
    if kb(n) == 1
    k=k+1;
    S(n)= P(n)+j*Q(n);
    Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
    Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
    Pgg(k)=Pg(n);
    Qgg(k)=Qg(n);
    elseif kb(n) ==2
    k=k+1;
    S(n)=P(n)+j*Q(n);
    Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
    Pgg(k)=Pg(n);
    Qgg(k)=Qg(n);
  end
yload(n) = (Pd(n)- j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
end
busdata(:,3)=Vm';
busdata(:,4)=deltad';
Pgt = sum(Pg);
Qgt = sum(Qg);
```

```
Pdt = sum(Pd);
Qdt = sum(Qd);
Qsht = sum(Qsh);

Pg_1=Pg';
Qg_1=Qg';
Pd_1=Pd';
Qd_1=Qd';


Pflow=Pg_1-Pd_1;
Qflow=Qg_1-Qd_1;

disp ('-====Load Flow Result=====');
;
disp ('Magnitude V = ')
disp (Vmm')
disp ('Angle V = ')
disp (delta)
disp ('P flow = ')
disp (Pg_1'-Pd_1')
disp ('Q flow = ')
disp (Qg_1'-Qd_1')
```

โปรแกรมวิธีทำให้เหมาะสม

File : sample03.m

```
%optimal power flow
%written By นายกฤษฎาพงษ์ ฤาปัญญา and นายเหรียญชัย เหรียญทอง
%July 19,2003
%=============================================
%Clear variables and clear all figures
clear all
close all
clc;
a =input ('enter strp size of MW =');
b =input ('enter generation 1 =');
c =input ('enter generation 2 =');
d =input ('enter generation 3 =');
O1 =[b c d];
K=3;
p= (a./(K*sqrt(2)))*((sqrt(K+1))+K-1);
q= (a./(K*sqrt(2)))*((sqrt(K+1))-1);
Uo1 = f1(O1(1),O1(2),O1(3));
O2 =[b+p c+q d+q];
Uo2 = f1(O2(1),O2(2),O2(3));
O3 =[b+q c+p d+q];
Uo3 = f1(O3(1),O3(2),O3(3));
O4 =[b+p c+p d+p];
Uo4 =  f1(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);

%simplex method
E=0.0000001;
Tol=0.5;
count=0;
while Tol>E
   count=count+1;
   Oz=(Ol+Os+Oa)/K;
   Uz= f1(Oz(1),Oz(2),Oz(3));
   Or=(2*Oz)-Oh;
   Ur= f1(Or(1),Or(2),Or(3));
   if Ur<Ul
```

```
Oe=(2*Or)-Oz;
Ue= f1(Oe(1),Oe(2),Oe(3));
if Ue<Ul
  Oh=Oe;
  O1=Oh;
  Uo1= f1(O1(1),O1(2),O1(3));
  O2 = Os;
  Uo2= f1(O2(1),O2(2),O2(3));
  O3 = Ol;
  Uo3 = f1(O3(1),O3(2),O3(3));
  O4 =Oa;
  Uo4 =  f1(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);

 else
    Oh=Or;
    O1=Oh;
    Uo1= f1(O1(1),O1(2),O1(3));
    O2 = Os;
    Uo2= f1(O2(1),O2(2),O2(3));
    O3 = Ol;
    Uo3 =f1(O3(1),O3(2),O3(3));
    O4 =Oa;
    Uo4 =f1(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);

   end
 else
   if (Ur>Us)&(Ur>Ul)&(Ur>Ua);
     if Ur>Uh
       Oc= (0.5*Oz)+(0.5*Oh);
       Uc =f1(Oc(1),Oc(2),Oc(3));
     else
       Oh=Or;
       Uh =f1(Oh(1),Oh(2),Oh(3));
       Oc= (0.5*Oz)+(0.5*Oh);
       Uc =f1(Oc(1),Oc(2),Oc(3));

     end
     if Uc>Uh
```

```
        Oh=0.5*(Oh+Ol);
        Os=0.5*(Os+Ol);
        Oa=0.5*(Oa+Ol);
      O1=Oh;
      U1 =fl(O1(1),O1(2),O1(3));
      O2=Os;
      U2 =fl(O2(1),O2(2),O2(3));
      O3=Ol;
      U3 =fl(O3(1),O3(2),O3(3));
      O4=Oa;
      U4 =fl(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);

    else
      Oh=Oc;
      O1=Oh;
      U1 =fl(O1(1),O1(2),O1(3));
      O2=Os;
      U2 =fl(O2(1),O2(2),O2(3));
      O3=Ol;
      U3 =fl(O3(1),O3(2),O3(3));
      O4=Oa;
      U4 =fl(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);

    end
    else
      Oh=Or;
      O1=Oh;
      U1 =fl(O1(1),O1(2),O1(3));
      O2=Os;
      U2 =fl(O2(1),O2(2),O2(3));
      O3=Ol;
      U3 =fl(O3(1),O3(2),O3(3));
      O4=Oa;
      U4 =fl(O4(1),O4(2),O4(3));

[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua]=subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);
      end
    end
```

```
    Ul=f1(Ol(1),Ol(2),Ol(3));
    Ua=f1(Oa(1),Oa(2),Oa(3));
    Us=f1(Os(1),Os(2),Os(3));
    Uh=f1(Oh(1),Oh(2),Oh(3));

  Ol=Ol;
  Ul=Ul;
    Tol=((((Ul-Uz).^2)+((Us-Uz).^2)+((Uh-Uz).^2))/3).^0.5;
 end
 X=Ol';
 B=  [0.0676   0.00953  -0.00507   -0.0766;
   0.00953   0.0521   0.00901   -0.00342;
  -0.00507   0.00901   0.0294   0.0189;
   -0.0766  -0.00342   0.0189  0.0006];

T2 =[B(1,1) B(1,2) B(1,3);
   B(2,1) B(2,2) B(2,3)
   B(3,1) B(3,2) B(3,3)];
T1 = [B(4,1);B(4,2);B(4,3)];
T0 = B(4,4);
P2 = X'*T2*X;
P1 = T1'*X;
P0 = T0;
 disp ('Iteration = ')
 disp (count)
Ploss = P2+P1+P0;
C = sum(X)-2.1-Ploss;
PlossMW = Ploss*100;
disp('Power loss(MW)')
disp(PlossMW)
disp('Generator 1')
disp(O1(1))
disp('Generator 2')
disp(O1(2))
disp('Generator 3')
disp(O1(3))
perc=((0.07877-Ploss)/0.07877)*100;
disp('Percentage of Loss Decrement')
disp(perc)
```

File : supob73a.m

```
function[Ol,Os,Oh,Oa,Ul,Us,Uh,Ua] = subop73a(O1,O2,O3,O4,Uo1,Uo2,Uo3,Uo4);
Uo =[Uo1 Uo2 Uo3 Uo4];
Uq = sort(Uo);
if Uq(1) == Uo1;
   Ul=Uo1; Ol=O1;
elseif Uq(1) == Uo2;
   Ul=Uo2; Ol=O2;
elseif Uq(1) == Uo3;
   Ul=Uo3; Ol=O3;
elseif Uq(1) == Uo4;
   Ul=Uo4; Ol=O4;
end
if Uq(2) == Uo1;
   Ua=Uo1; Oa=O1;
elseif Uq(2) == Uo2;
   Ua=Uo2; Oa=O2;
elseif Uq(2) == Uo3;
   Ua=Uo3; Oa=O3;
elseif Uq(2) == Uo4;
   Ua=Uo4; Oa=O4;
end
if Uq(3) == Uo1;
   Us=Uo1; Os=O1;
elseif Uq(3) == Uo2;
   Us=Uo2; Os=O2;
elseif Uq(3) == Uo3;
   Us=Uo3; Os=O3;
elseif Uq(3) == Uo4;
   Us=Uo4; Os=O4;
end
if Uq(4) == Uo1;
   Uh=Uo1; Oh=O1;
elseif Uq(4) == Uo2;
   Uh=Uo2; Oh=O2;
elseif Uq(4) == Uo3;
   Uh=Uo3; Oh=O3;
elseif Uq(4) == Uo4;
   Uh=Uo4; Oh=O4;

end
```

File : f1.m

```
function P = f1(x1,x2,x3)
X =[x1;x2;x3];
g1 = 3.0-x1;
g2 = 3.0-x2;
g3 = 3.0-x3;
g4 = x1-0;
g5 = x2-0;
g6 = x3-0;
g = [g1 g2 g3 g4 g5 g6];

Bij =  [0.0676   0.00953   -0.00507;
        0.00953   0.0521   0.00901;
       -0.00507   0.00901   0.0294];
Bi0 =[-0.0766   -0.00342   0.0189];
B00 = 0.040357;

B=  [0.0676   0.00953   -0.00507   -0.0766;
     0.00953   0.0521   0.00901   -0.00342;
    -0.00507   0.00901   0.0294   0.0189;
     -0.0766   -0.00342   0.0189  0.040357];

 T2 =[B(1,1) B(1,2) B(1,3);
     B(2,1) B(2,2) B(2,3)
     B(3,1) B(3,2) B(3,3)];
 T1 = [B(4,1);B(4,2);B(4,3)];
 T0 = B(4,4);

P2 = X'*T2*X;
P1 = T1'*X;
P0 = T0;
  Ploss = P2+P1+P0;
h=x1+x2+x3-2.1-Ploss;
u=100000000;
ie = 0;
  for i=1:6;
    w = 1000000000000;
    ie = w*(g(i))^2*H(g(i))+ie;
end
P = Ploss+ie+(u*h.^2);
```

File : h.m

```
function H = H(i)
if i>=0
   H=0;
else
   H=1;
end
```

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นายกฤษฎาพงษ์ ฦาปัญญา

ภูมิลำเนา 56/1 หมู่ 1 ต.บ้านเป้า อ.เกษตรสมบูรณ์ จ.ชัยภูมิ

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิยาลัยขอนแก่น
- ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

email : papukong@yahoo.com

ชื่อ นายเหรียญชัย เหรียญทอง

ภูมิลำเนา 480 หมู่ 1 ต.อุ้มผาง อ.อุ้มผาง จ.ตาก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโรงเรียนสรรพวิทยาคม
- ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

email : reanchai_nk@thaimail.com