การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

A STUDY ON OPTIMIZATION FOR MANAGING ELECTRIC POWER AND NATURAL GAS SYSTEM

โดย

นายกวิน ไกรญาณสม
นายกันตภณ จินากุล
นายเกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
นายคมกฤช ปานผาสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

A STUDY ON OPTIMIZATION FOR MANAGING ELECTRIC POWER AND NATURAL GAS SYSTEM

โดย

นายกวิน ไกรญาณสม

นายกันตภณ จินากุล

นายเกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี

นายคมกฤช ปานผาสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON OPTIMIZATION FOR MANAGING ELECTRIC POWER AND NATURAL GAS SYSTEM

KAWIN KRAIYANSOM

KANTAPON JINAKUN

KIATSORN PROMPAKDEE

KOMKRIS PANPASUK

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด เพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

A STUDY ON OPTIMIZATION FOR MANAGING ELECTRIC POWER AND NATURAL GAS SYSTEM

โดย

นาย กวิน ไกรญาณสม
นาย กันตภณ จินากุล
นาย เกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
นาย คมกฤช ปานผาสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วรวรรธน์ นาคะวิโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด เพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

ผู้จัดทำ

1. นายกวิน ไกรญาณสม
2. นายกันตภณ จินากุล
3. นายเกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
4. นายคมกฤช ปานผาสุข

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วรวรรธน์ นาคะวิโร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด เพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

นาย กวิน ไกรญาณสม
นาย กันตภณ จินากุล
นาย เกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
นาย คมกฤช ปานผาสุข
ผศ.ดร.วรวรรธน์ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านั้นมีความสำคัญมากเพราะจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่การที่จะผลิตไฟฟ้าต้องมีต้นทุนและต้องใช้ทรัพยากรมาเป็นเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติเป็นทรัพยากรที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีราคาถูก ทำให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติปริมาณมากและอาจหมดไปในอนาคตอันใกล้ ถ้าขาดการจัดการทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้า

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบแก๊สภายใต้ข้อจำกัดของระบบไฟฟ้าและระบบแก๊ส มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ราคาต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดด้วยการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) โดยทำการศึกษาจากระบบไฟฟ้าตัวอย่างจำลอง IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline ซึ่งมีข้อจำกัดของระบบแก๊สและระบบไฟฟ้า คือ ข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ramp) เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากสมการปัญหาของระบบมีความซับซ้อนและหาค่าคำตอบได้ยาก จึงเลือกใช้วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้กระบวนการ Genetic Algorithm เป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบที่ชุดข้อมูลไม่ต่อเนื่องและมีขอบเขตที่จำกัดมากได้ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบแต่ละคำตอบทำให้การค้นหาด้วยคำตอบที่ดีที่สุด Global Minima หรือ Global Maxima

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON OPTIMIZATION FOR MANAGING ELECTRIC POWER AND NATURAL GAS SYSTEM

KAWIN KRAIYANSOM
KANTAPON JINAKUN
KIATSORN PROMPAKDEE
KOMKRIS PANPASUK
Asst.Prof.Dr.Worawat Nakawiro
Advisor

ABSTRACT

At present electrical energy is very significant because it's necessary for human life. But producing electricity is depend on capital and fuel resources. Natural gas is one of the most widely used sources of electricity.Natural gas will be depleted in the near future,If lack of resource management in producing electricity.

This thesis presents Genetic Algorithm to analyze relationship of power system that connected to gas system. The aim is to achieve the lowest cost of production with Economic Dispatch by using electrical system IEEE 14 buses that connected to gas system 15 nodes 16 pipeline.There are limited by gas constraints and electrical constraints.Ramp limit of generator is used as a case study.Because the system problem equation is complex and difficult to find the answer.So we use Genetic Algorithm process to solve the problem. Genetic Algorithm can find the answer of discrete data and have very constraints by using compare the answers between each answer makes searching with the best answer possible Global Minima or Global Maxima

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือสนับสนุนจาก ผศ.ดร.วรวรรธน์ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาวิชาต่างๆที่ได้ร่ำเรียนมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน กระทั่งสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้และพัฒนาเพื่อประกอบจัดทำเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในห้องโปรเจค ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้ที่มีพระคุณต่อคณะผู้จัดทาทุกท่าน ผู้ที่สนับสนุนในด้านการเงิน การให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
สัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า	4
2.2 ระบบการส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติ	5
2.3 การไหลของแก๊สอย่างเหมาะสม (Optimal Gas Flow: OGF)	7
2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้าเบื้องต้น (Power Flow)	8
2.4.1 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Solution)	8
2.5 การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow : OPF)	10
2.6 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)	11
2.7 คุณลักษณะของโหลด	12
2.7.1 กราฟของโหลด (Load Curve)	13
2.7.2 กราฟช่วงเวลาของโหลด (Load Duration Curve)	13
2.8 หลักการทางพันธุกรรมเบื้องต้น	14
2.1.1 ขั้นตอนการสร้างโครโมโซม	15
2.1.2 ขั้นตอนกระบวนการทางพันธุกรรม	15
2.1.3 ขั้นตอนการคำนวณค่าความเหมาะสม	16
2.1.4 ขั้นตอนการคัดเลือก	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ขั้นตอนตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงาน 17
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบระบบจำลอง 18
3.1 การออกแบบระบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายแก๊ส 18
3.2 หลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมกับระบบแก๊ส 21
บทที่ 4 ผลการทดลอง 22
4.1 ผลลัพธ์จากการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด 22
4.2 กรณีศึกษาระบบจำลอง 43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 45
5.1 สรุปผลการทดลอง 45
5.2 ข้อเสนอแนะ 45
เอกสารอ้างอิง 46
ภาคผนวก 47
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ 48
ภาคผนวก ข ข้อมูลรับเข้าของระบบต่างๆ 53
ประวัติผู้เขียน 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แบบจำลองระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติ 5

รูปที่ 2.2 ความสมดุลของระบบแก๊สที่โนด i ใดๆ 7

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป 9

รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่ราบเรียบ 12

รูปที่ 2.5 กราฟของโหลด 13

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแสดงการหากราฟช่วงเวลาของโหลด 14

รูปที่ 2.7 แผนภูมิสายงานแสดงกระบวนการเจเนติกอัลกอริทึม 15

รูปที่ 2.8 การคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย 17

รูปที่ 3.1 ระบบตัวอย่างระบบไฟฟ้า IEEE 14บัส 20

รูปที่ 3.2 แผนผังหลักการทำงานของคำสั่ง Genetic Algorithm ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา 21

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความต้องการใช้โหลดในแต่ละชั่วโมง 22

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 23

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยคิด ramp 39

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงที่โหลดมีการเพิ่มขึ้น 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำโครงงาน	3
ตารางที่ 4.1.1	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	24
ตารางที่ 4.1.2	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	25
ตารางที่ 4.1.3	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	26
ตารางที่ 4.1.4	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	27
ตารางที่ 4.1.5	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	28
ตารางที่ 4.1.6	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)	29
ตารางที่ 4.2	ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในแต่ละสายส่ง (ไม่คิด ramp)	30
ตารางที่ 4.3	ค่าตัวแปรต่างๆในระบบแก๊ส (ไม่คิด ramp)	31
ตารางที่ 4.4	ปริมาณแก๊สที่ไหลในแต่ละท่อส่งแก๊ส (ไม่คิด ramp)	32
ตารางที่ 4.5.1	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	33
ตารางที่ 4.5.2	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	34
ตารางที่ 4.5.3	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	35
ตารางที่ 4.5.4	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	36
ตารางที่ 4.5.5	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	37
ตารางที่ 4.5.6	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)	38
ตารางที่ 4.6	ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (คิด ramp)	39
ตารางที่ 4.7	ค่าตัวแปรต่างๆของระบบแก๊ส (คิด ramp)	40
ตารางที่ 4.8	ปริมาณแก๊สที่ไหลในแต่ละท่อแก๊ส (คิด ramp)	41
ตารางที่ 4.9	ค่าตัวแปรต่างๆในระบบไฟฟ้าจำลอง	43
ตารางที่ 4.10	พิกัดสูงสุด-พิกัดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Ψ_i	ค่ากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ไหลเข้าบัส i
P_i	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าบัส i
Q_i	ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลเข้าบัส i
V_i	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
I_i	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส i
Y_{bus}	แอตมิตแตนซ์เมทริกซ์
N_B	จำนวนบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้า
θ_{ij}	มุมของแอตมิตแตนซ์เมทริกซ์ที่แถว i หลัก j
δ_i	มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
a_i, b_i, c_i	ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ของราคาเชื้อเพลิงในการผลิตที่บัส i
$P_{G,i}$	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
$P_{L,i}$	ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i
$Q_{G,i}$	ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
$Q_{L,i}$	ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i
N_G	จำนวนของบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$N_{\Omega e}$	จำนวนของบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ ยกเว้น เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ
N_N	จำนวนโนดทั้งหมดในระบบแก๊ส
N_S	จำนวนโนดที่เป็นแหล่งผลิตแก๊ส
α	ตัวเร่งการลู่เข้าของคำตอบ
p_i	ความดันที่โนด i
s_i	พลังงานที่จัดหาได้ที่โนด i
g_i	ราคาต้นทุนการผลิตแก๊สต่อลูกบาศก์เมตรที่โนด i
f_{ij}	อัตราการไหลของแก๊สจากโนด i ไปยังโนด j
C_{ij}	ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อส่ง
A_p	จำนวนท่อส่งแก๊สที่มีลักษณะการส่งจ่ายแก๊สแบบ passive
A_a	จำนวนท่อส่งแก๊สที่มีลักษณะการส่งจ่ายแก๊สแบบ active
e_i	ความสัมพันธ์ของการบริโภคแก๊สของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับโนด i
$\varnothing$	เซตของลักษณะการเชื่อมต่อท่อส่งมีมิติ $N_N \mathrm{x} N_N$
$K_{2,i}, K_{1,i}, K_{0,i}$	ค่าสัมประสิทธิ์ของแก๊สที่โนด i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ถึงร้อยละ 64 [1] ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

ในอนาคตต้องมีการปรับลดอัตราส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติลงเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (Power Development Plan: PDP2015) [1] ในด้านของความมั่นคงทางพลังงาน คือ จัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าและใช้เชื้อเพลิงหลากหลายชนิด รวมทั้งมีความเหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไปเพราะจะทำให้เมื่อมีเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้นอาจจะทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตและราคาในการผลิตที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญปริญญานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับก๊าซธรรมชาติและร่วมกับเชื้อเพลิงที่ไม่ใช่ก๊าซธรรมชาติโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบ Genetic Algorithm เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการหาค่าความเหมาะสมแบบไม่จำเฉพาะรูปแบบของสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีการนี้สามารถรับรองค่าความต่างของผลคำตอบได้ เนื่องมีการผสมของชุดคำตอบที่มีความเหมาะสมและคัดเลือกคำตอบที่ดีกว่าเพื่อสร้างชุดคำตอบที่ดีกว่า นอกจากนี้สามารถหาคำตอบที่ชุดข้อมูลไม่ต่อเนื่องและมีขอบเขตที่จำกัดมากได้ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบแต่ละคำตอบทำให้การค้นหาด้วยคำตอบที่ดีที่สุด Global Minima หรือ Global Maxima โดยไม่ใช้ Local Minima หรือ Local Maxima ใน MATLAB เพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบการส่งจ่ายก๊าซและระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบการส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติ
2. เพื่อเป็นแบบจำลองสำหรับการวางแผนพัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษาระบบทดสอบ IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่อกับระบบจ่ายก๊าซ 15 node 16 pipeline เป็นกรณีศึกษา
2. ศึกษาแบบจำลองของระบบโดยใช้ Genetic Algorithm ใน MATLAB ในการแก้ปัญหาการหาค่า ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบจ่ายก๊าซ
3. ศึกษาหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้ากับการจ่ายแก๊สธรรมชาติโดยกระบวนการ Genetic Algorithm

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. หาข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงพลังงานต่างๆของประเทศไทย
2. ศึกษาทฤษฎีของ power system และ economic dispatch
3. ศึกษาและเขียนโปรแกรมหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ MATLAB และกระบวนการ Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหา
4. ศึกษาเป็น 2 กรณีคือ มีขอบเขตการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไม่มีขอบเขตการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2559					พ.ศ. 2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบจ่ายก๊าซ	→	→								
2. ศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ GA			→	→						
3. เขียนโปรแกรมการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบก๊าซโดยใช้ MATLAB					→	→	→			
4. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								→	→	→

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1. ทราบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบ Genetic Algorithm ในการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส
2. ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการขอบเขตการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นอัตราส่วนที่มากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นดังนั้นจึงต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดเราจึงศึกษาการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้า ในส่วนของทฤษฎีนี้เราจึงกล่าวถึงแบบจำลองของระบบจ่ายแก๊สธรรมชาติ และรายละเอียดของวิธีการต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมที่จัดทำขึ้น เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมมีลักษณะการทำงานเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยหลักการคัดเลือกตามธรรมชาติของดาร์วิน (Darwin's theory of natural selection) ซึ่งแนวคิดดั่งกล่าวนี้ ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดย John Holland ในปี ค.ศ. 1975 ได้ชื่อว่า"วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm)" แต่วิธีการนี้เป็นนิยมโดยหลังจาก David Goldberg ได้ตีพิมพ์หนังสือที่อธิบายรายละเอียดต่างของ Genetic Algorithm [2]

2.1 การใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า

กระบวนการการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ผลิตไฟฟ้าเริ่มจากการแยกก๊าซธรรมชาติ คือการการแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งปะปนกันอยู่หลายชนิดตามธรรมชาติออกจากก๊าซธรรมชาติมาเป็นก๊าซชนิดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณค่าของคุณสมบัติของก๊าซนั้นๆ โรงแยกก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย เกิดขึ้นหลักจากที่มีการนำก๊าซธรรมชาติซึ่งถูกค้นพบในอ่าวไทยมาใช้ประโยชน์ โดยการสร้างท่อส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิตในทะเลอ่าวไทยมาขึ้นฝั่งตามโรงแยกก๊าซ จากนั้นจึงนำก๊าซธรรมชาติที่ได้ไปเข้ากระบวนการในโรงไฟฟ้าต่างๆ เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าต่อไป

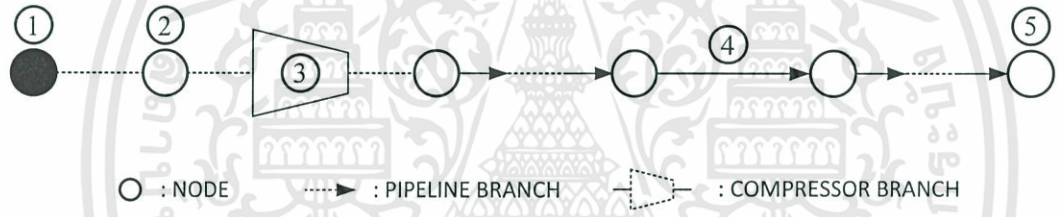
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบการส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติ

แก๊สธรรมชาติจะถูกส่งมาจากผู้ผลิตแก๊สให้กับลูกค้าในสถานที่ต่างๆระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยผู้ผลิตแก๊ส ลูกค้า สถานีคอมเพรสเซอร์ และท่อส่ง

ระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติโดยทั่วไป การส่งจ่ายไปยังผู้บริโภคจะสอดคล้องกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละวัน ในการส่งจ่ายจะต้องมีการเพิ่มความดันภายในท่อ เพราะในขณะที่มีการไหลภายในท่อส่งจะเกิดสูญเสียความดันแก๊สอันเนื่องมาจากการเกิดแรงเสียดทานระหว่างแก๊สและผนังภายในท่อ นอกจากนี้พลังงานจะสูญเสียไปจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊สและสภาพแวดล้อม เพื่อชดเชยการสูญเสียของพลังงานและเพื่อรักษาอัตราการไหลของแก๊สธรรมชาติ จึงได้มีการติดตั้งสถานีคอมเพรสเซอร์เข้าไปในระบบ

วัตถุประสงค์ คือการสร้างแบบจำลองพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติ ดังรูป 2.1 โดยพิจารณาสมการการไหลของแก๊ส ส่วนสถานีคอมเพรสเซอร์จะเป็นตัวที่ใช้กำหนดทิศทางการไหลของแก๊สธรรมชาติ ซึ่งจะไม่ขึ้นกับความดันระหว่างโนด แต่ปริญญานิพนธ์นี้จะศึกษาแบบจำลองอย่างง่าย โดยไม่พิจารณาลักษณะการวางท่อแก๊สและสมการคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 2.1 แบบจำลองระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติ

สิ่งที่นำมาพิจารณาในการสร้างแบบจำลองระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติ นั้นจะประกอบด้วย

หมายเลข 1 แสดงแหล่งผลิตแก๊สธรรมชาติ

หมายเลข 2 แสดงผู้ผลิต หรือผู้ส่งจ่ายแก๊ส

หมายเลข 3 แสดงท่อส่งแก๊สที่มีการติดตั้งสถานีคอมเพรสเซอร์เข้าไปเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการ ไหลของแก๊ส ซึ่งจะไม่ขึ้นกับความดันระหว่างโนดโดยการไหลของแก๊สจะมีทิศทางที่แน่นอนกว่า การส่งจ่ายแก๊สแบบ active

หมายเลข 4 แสดงท่อส่งแก๊สที่ไม่มีการติดตั้งสถานีคอมเพรสเซอร์เข้าไปโดยทิศทางการไหลของแก๊สขึ้นอยู่กับความดันระหว่างโนดเรียกว่า การส่งจ่ายแก๊สแบบ passive

หมายเลข 5 แสดงผู้บริโภคแก๊ส

สำหรับอัตราการไหลของแก๊สที่ไหลผ่านในแต่ละท่อส่ง ค่าอัตราการไหลของแก๊สจะขึ้นอยู่กับความดันแก๊สระหว่างโนด 2 โนดซึ่งมีเงื่อนไขว่า การส่งจ่ายแก๊สจากผู้ผลิตไม่สามารถที่จะส่งจ่ายแก๊สที่มีแรงดันสูงเกินกว่าที่ตนผลิตได้ ในทางกลับกันการส่งจ่ายแก๊สไปยังลูกค้าก็ต้องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันแก๊สไม่ให้มีค่าต่ำกว่าปลายทางไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถส่งจ่ายไปยังปลายทางแบบปกติได้ ดังนั้นค่าความดันแก๊สที่เลือกใช้ควรมีค่าสอดคล้องกับผู้รับและผู้จ่ายดังนี้

$$p_{i,\min} \le p_i \le p_{i,\max}; \forall i \in N_N \quad (2.1)$$

ซึ่งลักษณะการส่งจ่ายแก๊สผ่านท่อส่งจ่ายจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะดังที่ได้กล่าวไว้ คือ แบบ passive และแบบ active โดยแบบ passive จะเปรียบเสมือนกับท่อส่งจ่ายแก๊สธรรมดาทั่วไปไม่สามารถบังคับทิศทางการไหลของแก๊สได้ โดยจะขึ้นอยู่กับความดันระหว่างโนด ส่วนแบบ active ลักษณะการส่งจ่ายแก๊สจะเสมือนมีสถานีคอมเพรสเซอร์ติดตั้งอยู่ที่ท่อส่งจ่ายทำให้การไหลมีทิศทางที่แน่นอน ซึ่งคอมเพรสเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อเพิ่มความดันแก๊ส

ในกรณีที่ลักษณะการไหลของแก๊สผ่านท่อส่งแบบ passive ค่าของอัตราการไหลจากโนด i ไปยังโนด j ใดๆ จะอยู่ในรูปของสมการกำลัง 2 ของความดันแก๊สที่โนดนั้นๆ

$$f_{ij}^2 = C_{ij}^2(p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_p \quad (2.2)$$

ค่า C_{ij} คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อส่ง (ความยาวท่อ,เส้นผ่านศูนย์กลาง) และขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแก๊ส สำหรับลักษณะการไหลของแก๊สแบบ passive จะไม่สนใจเครื่องหมาย ถ้า $f_{ij} \ge 0$ แก๊สจะไหลจากโนด i ไปยังโนด j แต่ถ้า $f_{ij} \le 0$ แก๊สจะไหลจากโนด j ไปยังโนด i

ถ้าลักษณะการไหลของแก๊สผ่านท่อส่งเป็นแบบ active สมการความสัมพันธ์ของอัตราไหลยังเป็นสมการกำลัง 2 ของความดันเช่นเดียวกับ แบบ passive แต่กรณีนี้ความดันที่สูโนด i $i(orj)$ จะต่ำกว่าความดันที่ออกจากโนด $j(p_i < p_j)$ และแก๊สที่ไหลจากโนด i ไปยังโนด j จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

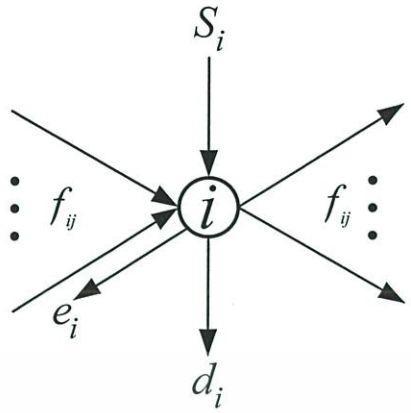
$$f_{ij}^2 \ge C_{ij}^2(p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_a \quad (2.3)$$

เมื่อค่าคงที่ C_{ij} ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ(ความยาวท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง) และขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแก๊สกับคุณลักษณะของคอมเพรสเซอร์ที่ต่อเข้ากับท่อส่งจ่ายสำหรับทิศทางการไหลจะมีทิศทางที่แน่นอน

$$f_{ij} \ge 0; \forall (i,j) \in A_a \quad (2.4)$$

สำหรับความสมดุลของระบบแก๊สที่โนด i ใดๆ นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความสมดุลของระบบแก๊สที่โนด i ใดๆ

จากรูปที่ 2.2 สามารถเขียนสมการการไหลของแก๊สได้ดังนี้

$$s_i + \sum_{j/(j,i)\in\phi}' f_{ji} = d_i + e_i(P_{G,i}) + \sum_{j/(j,i)\in\phi}' f_{ij}; \forall (i,j) \in N_N \tag{2.5}$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า ความต้องการพลังงานที่โนด i กับผลรวมอัตราการไหลของแก๊สจากโนด j ไปยังโนด i ใดๆมีค่าเท่ากับความต้องการพลังงานที่โนด i การบริโภคแก๊สของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับโนด i และผลรวมอัตราการไหลของแก๊สจากโนด i ไปยังโนด j ใดๆโดยค่าความสัมพันธ์ของการบริโภคแก๊สของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (e_i) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$e_i(P_{G,i}) = K_{2,i}P_{G,i}^2 + K_{1,i}P_{G,i} + K_{0,i}; \forall i \in N_N \tag{2.6}$$

2.3 การไหลของแก๊สอย่างเหมาะสม (Optimal Gas Flow: OGF)

การไหลของแก๊สอย่างเหมาะสม (Optimal Gas Flow) นั้นได้แนวคิดจากปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) และได้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบส่งจ่ายแก๊ส เพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างโนดต่างๆที่เหมาะสมที่สุดในการส่งจ่ายแก๊สจากจุดหนึ่งโดยวิเคราะห์ทิศทางการไหลของแก๊ส อัตราการไหลของแก๊ส ความดัน และพลังงานที่จัดหาได้ในแหล่งผลิต โดยอาศัยแนวคิดเบื้องต้นคือ การหาวิธีการส่งจ่ายแก๊สที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ราคาต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตต่างๆของระบบส่งจ่ายแก๊ส

ดังนั้นสมการที่ใช้ทั้งหมดในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก. สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์(Objective function)

$$\sum_{i=1}^{n} g_i s_i \tag{2.7}$$

ข. สมการขอบเขตของตัวแปรควบคุม

$$s_{i,\min} \le s_i \le s_{i,\max} \tag{2.8}$$

กับสมการที่ (2.1) และ (2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สมการข้อจำกัดของปัญหา

นำเสนอด้วยสมการที่ (2.5) เป็นสมการที่ส่งผลให้ตัวแปรต่างๆในระบบมีความสอดคล้องกันและสมการที่ (2.2),(2.3) และ (2.6) จะใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆในระบบส่งจ่ายแก๊ส

2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้าเบื้องต้น (Power Flow)

ระบบไฟฟ้ากำลัง [4] ประกอบด้วย ระบบกำเนิดไฟฟ้าส่งผ่านกำลังไฟฟ้ายังโหลดผ่านระบบสายส่งเมื่อระบบได้มีการกำหนดขนาดโหลดที่จุดต่างๆในระบบมาให้ ก่อนจะศึกษาเกี่ยวกับการไหลของกำลังไฟฟ้าควรผ่านการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของการจ่ายแรงดันจากกระบวนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) เพื่อหาว่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรมีค่าเท่าใดเพื่อให้ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงรวมทั้งระบบให้มีค่าต่ำที่สุด

เมื่อได้ขนาดกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องที่ประหยัดที่สุดแล้วก็นำมาคำนวณว่าค่าความสูญเสียจากระบบสายส่งที่เกิดขึ้นมีค่ามากน้อยเพียงใดและระบบไฟฟ้าดังกล่าวต้องมีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของบัสที่ต่อเครื่องกำเนิดอยู่ เพื่อพิจารณาว่ามีค่าเกินกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายให้ได้หรือไม่อีกทั้งยังทำให้ทราบค่าตัวแปรต่างๆของระบบที่พิจารณา

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าประโยชน์ของการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ข้อใหญ่ คือ ทำให้ทราบตัวแปรสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยขนาดและมุมเฟสของแรงดันทุกๆบัสในระบบ ซึ่งจะนำไปสู่การหาตัวแปรระบบอื่นๆได้ เช่น กำลังที่ไหลในสายส่ง กำลังสูญเสีย เป็นต้น นอกจากนั้นการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้ายังเป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผนการขยายระบบไฟฟ้าในอนาคต เพื่อสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

2.4.1 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Solution)

พิจารณาที่บัสของระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 2.1 โดยสายส่งแสดงอยู่ในรูปแบบวงจรสมมูลแบบ Pi(π) และแสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งหมดอยู่ในรูปของตัวผกผันหรือแอตมิตแตนซ์โดยมีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิต ซึ่งอยู่ภายใต้ฐานกำลังไฟฟ้าเดียวกัน จะได้สมการกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Q) ดังนี้

$$S_i = P_i - jQ_i = V_i I_i^* \tag{2.9}$$

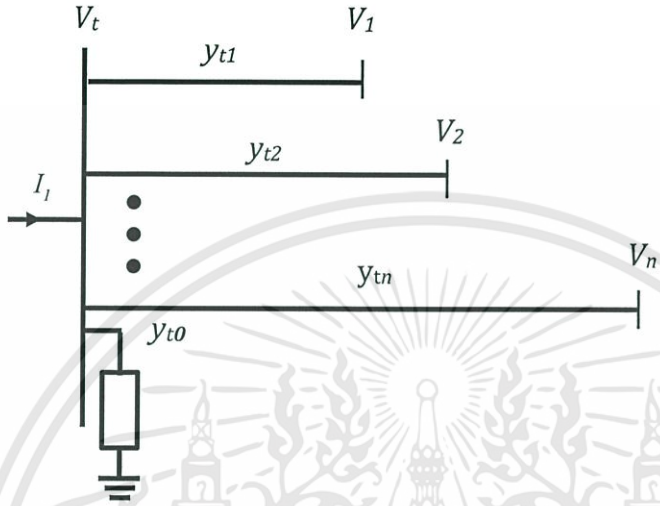
$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \tag{2.10}$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเมตริกซ์ $[I_{bus}]=[Y_{bus}][V_{bus}]$ สามารถนำมาเขียนสมการกระแสไฟฟ้าที่บัส i ใดๆ คือ I_i ได้สำหรับระบบไฟฟ้าที่มี n บัส

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \ldots + Y_{ii}V_i + \ldots + Y_{in}V_n = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}V_j \qquad (2.12)$$



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป

จากรูปที่ 2.3 จะได้สมการกระแสที่บัส i ใดๆ จากสมการที่ (2.12) สามารถนำมาเขียนในรูปของสมการเชิงขั้วได้ดังนี้

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| = \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \qquad (2.13)$$

เมื่อ θ_{ij} คือ มุมของเวกเตอร์ Y_{bus} ที่แถว i คอลัมน์ j หน่วยเป็นเรเดียน

δ_j คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j ใดๆ

จากสมการที่ (2.9)

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i$$

จะได้สมการของกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในรูปเชิงขั้วดังนี้

$$P_i - jQ_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \qquad (2.14)$$

เมื่อแยกพิจารณาในส่วนของจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ จะได้ว่า

$$P_i = -\sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \qquad (2.15)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow : OPF)

เมื่อมาพิจารณาการแก้ปัญหากำลังไฟฟ้าด้วยวิธี Power Flow Solution จะพบว่าวิธีข้างต้นเป็นเพียงการหาค่าสถานะของตัวแปรต่างๆในระบบ ให้มีค่าสอดคล้องกับค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่ากำลังการผลิตในแต่ละบัสที่กำหนดให้ โดยไม่ได้พิจารณาถึงราคาต้นทุนในการผลิต เพราะฉะนั้นจึงมีกระบวนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch : ED) เข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรสถานะที่เหมาะสมของทั้งระบบ ที่ส่งผลให้ค่าราคาต้นทุนผลิตค่าต่ำที่สุด แต่กระบวนการดังกล่าวไม่ได้มีการพิจารณาถึงข้อจำกัดของตัวแปรควบคุมในระบบดังนั้นจึงมีกระบวนการ OPF เข้ามารองรับข้อบกพร่องดังกล่าว โดยเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหากำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการ ED และ OPF มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าค่ากำลังสูญเสียและต้นทุนการผลิตที่ได้จากวิธีที่สองจะมีค่าที่ต่ำกว่า ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงดังบทที่ 4

จากข้อความข้างต้นจะพบว่าการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) นั้นมุ่งเน้นไปเพื่อต้องการให้ค่าต้นทุนการผลิตมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจะนิยามฟังก์ชันที่ต้องการทำให้มีค่าต่ำที่สุดว่า ฟังก์ชันจุดประสงค์ อีกทั้งการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวผลลัพธ์ของการคำนวณจะถูกควบคุมโดยสมการขอบเขตของตัวแปรควบคุมและสมการข้อจำกัดต่างๆ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีความสอดคล้องกันในระบบและมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
ดังนั้นสมการที่ใช้ทั้งหมดในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก. สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\sum_{i\in N_B}(a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2) \tag{2.17}$$

เมื่อ a_i , b_iและ c_i คือค่าสัมประสิทธ์คงที่ของราคาเชื้อเพลิงในการผลิตที่บัส i

ข. สมการขอบเขตของตัวแปรควบคุม

$$V_{G_{i,\min}} \le V_{G_i} \le V_{G_{i,\max}} \tag{2.18}$$

$$\delta_{G_{i,\min}} \le \delta_{G_i} \le \delta_{G_{i,\max}} \tag{2.19}$$

$$P_{G_{i,\min}} \le P_{G_i} \le P_{G_{i,\max}} \tag{2.20}$$

$$Q_{G_{i,\min}} \le Q_{G_i} \le Q_{G_{i,\max}} \tag{2.21}$$

ค. สมการข้อจำกัดด้วยปัญหา

นำเสนอด้วยสมการที่ (2.15) และ (2.16) ซึ่งเป็นสมการที่ส่งผลให้ตัวแปรต่างๆในระบบมีความสอดคล้องกันจากสมการที่ (2.15) และ (2.16) จะเป็นสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณสำหรับกระบวนการ Optimization เพื่อหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวแปรต่างๆในระบบให้เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สมการวัตถุประสงค์หรือสมการที่ (2.17) นั้นมีค่าต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตของสมการ (2.18) , (2.19) , (2.20) และ (2.21)

2.6 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้นมีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการต่างๆ มากมาย เช่น ในปี ค.ศ. 1993 Walters และ Sheble ได้นำเอาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) [3] มาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์ว

ปัญหาของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ ปัญหาที่ต้องการหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของระบบโดยมีค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ดังนั้นปัญหาการจ่ายโหลดประหยัดจึงเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Problem) โดยมีฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.22)

$$F_T = \sum_{i=1}^{N} F_i(P_i) \qquad (2.22)$$

เมื่อ

P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

F_T คือ ฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงรวมมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

$F_i(P_i)$ คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

โดยจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการผลิตกำลังไฟฟ้าให้ตรงกับความต้องการและข้อจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้าดังสมการที่ (2.23) และ (2.24)

$$\sum_{i=1}^{N} P_i = P_D + P_{loss} \qquad (2.23)$$

$$P_{i,\min} \le P_i \le P_{i,\max} \qquad (2.24)$$

เมื่อ

P_D คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ

P_{loss} คือ ค่าความสูญเสียของระบบ

N คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

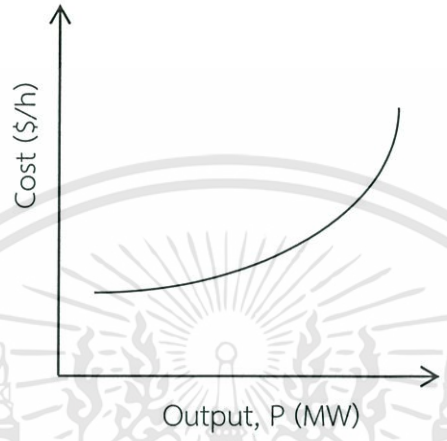
$P_{i,min}$ คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

$P_{i,max}$ คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งเป็นฟังก์ชันราคาที่ราบเรียบ (Smooth Cost Function) จะอยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียล (Polynomial) ดังแสดงในรูปที่ 2.6.1

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \tag{2.25}$$



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่ราบเรียบ

2.7 คุณลักษณะของโหลด

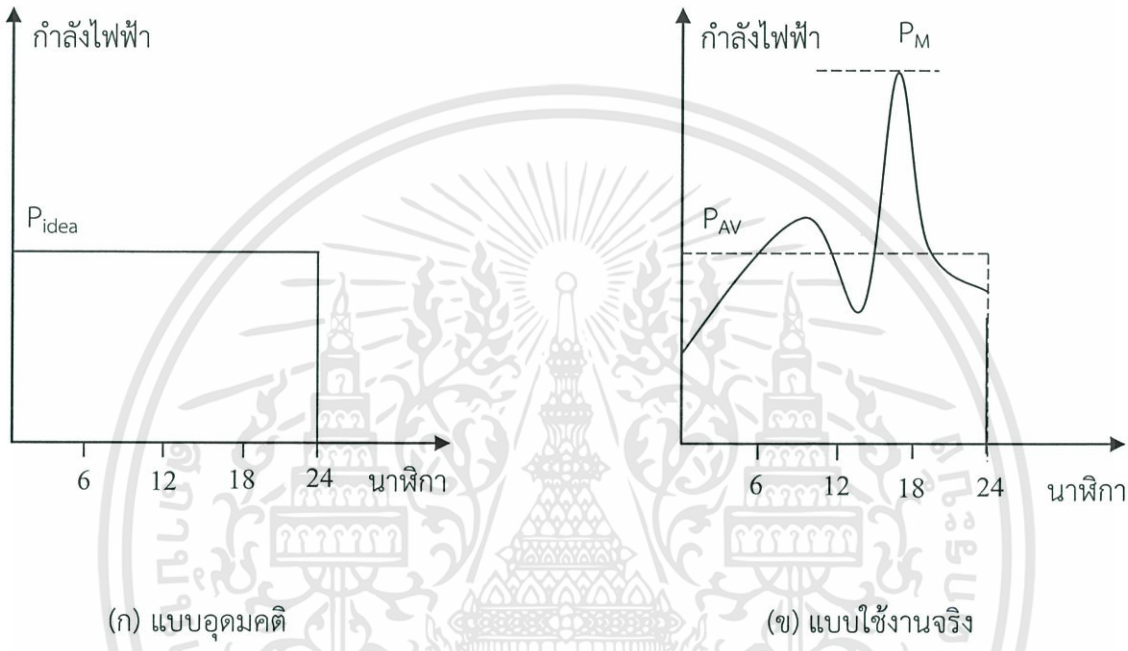
เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกจากระบบกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถกักเก็บได้ทันที และความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบกำเนิดไฟฟ้าต้องผลิตไฟฟ้าตามที่ผู้ใช้ไฟต้องการ การศึกษาคุณลักษณะของโหลดในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการจึงมีความสำคัญในการขยายระบบไฟฟ้ากำลัง

การศึกษาคุณลักษณะของโหลดสามารถทำได้โดยพิจารณาจากการใช้กำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ และกราฟที่แสดงคุณลักษณะของโหลดที่นิยมใช้กันคือ กราฟของโหลด (Load Curve) และ กราฟช่วงเวลาของโหลด (Load Duration Curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กราฟของโหลด (Load Curve)

กราฟของโหลด หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้และวันเวลา ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.7.1



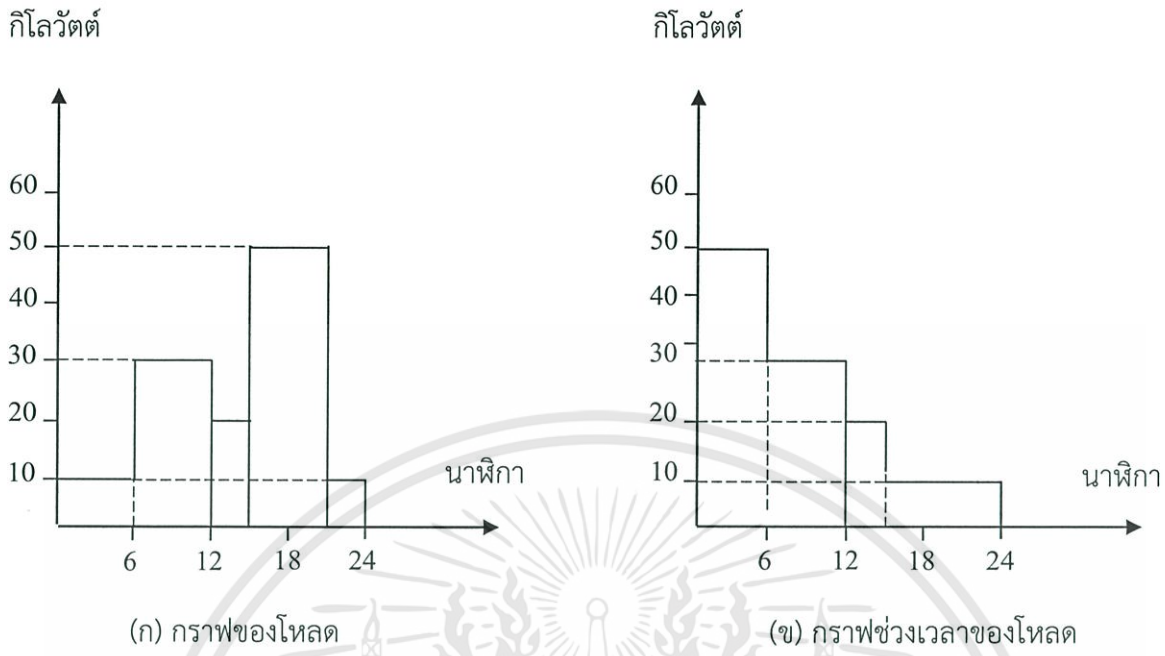
(ก) แบบอุดมคติ (ข) แบบใช้งานจริง

รูปที่ 2.5 กราฟของโหลด

2.7.2 กราฟช่วงเวลาของโหลด (Load Duration Curve)

กราฟช่วงเวลาโหลด หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับช่วงเวลาที่เกิดของโหลดกราฟช่วงเวลาของโหลดได้มาจากกราฟของโหลด (Load Curve) โดยแยกคิดตั้งแต่ช่วงเวลาของการใช้สูงสุดไปจนถึงช่วงเวลาการใช้ต่ำที่สุด ตัวอย่างแสดงการหากราฟช่วงเวลาของโหลดแสดงไว้ในรูปที่ 2.7.2 โดยสมมุติให้กราฟของโหลดเป็นดังรูป 2.7.2 (ก) และเขียนกราฟช่วงเวลาของโหลดได้ดังรูปที่ 2.7.2 (ข) โดยเรียงกำลังไฟฟ้าและปริมาณที่ใช้งานจากสูงสุดมาต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



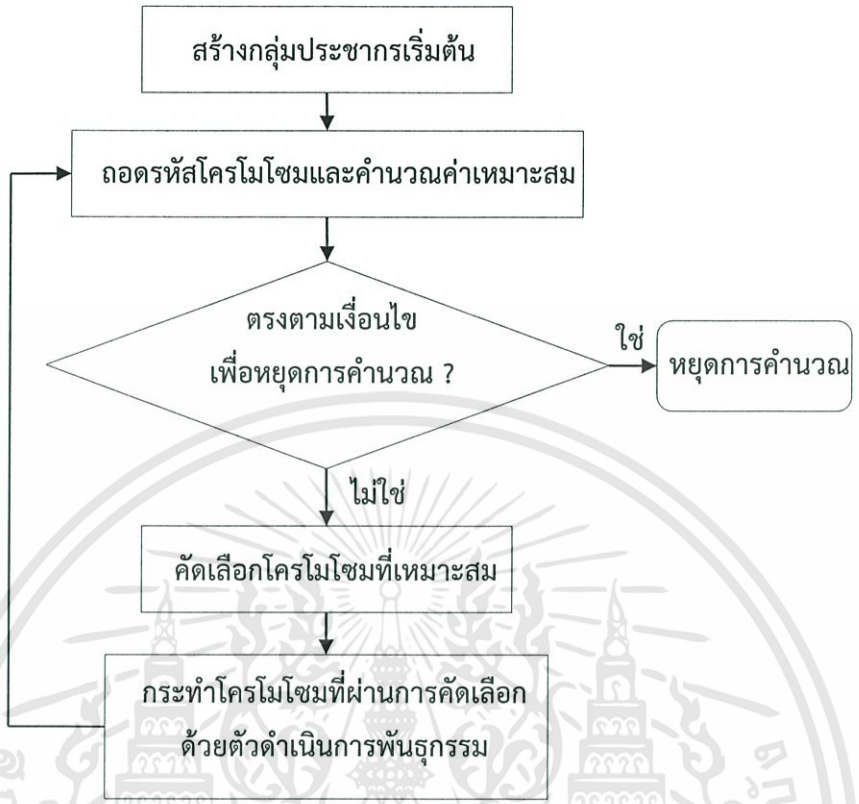
(ก) กราฟของโหลด (ข) กราฟช่วงเวลาของโหลด

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแสดงการหากราฟช่วงเวลาของโหลด

2.8 หลักการทางพันธุกรรมเบื้องต้น

หลักการทำงานของ Genetic Algorithm จะมีวิธีการในการหาค่าคำตอบที่ต้องการ โดยอาศัยรูปแบบกลไกการคัดเลือกพันธุกรรมจากธรรมชาติซึ่งสามารถอยู่รอดและถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ จุดเด่นของ Genetic Algorithm จะต่างจากวิธีการอื่น คือ Genetic Algorithm จะเก็บผลเฉลยเป็นเซตในขณะที่วิธีการอื่นจะเป็นการเก็บและเปลี่ยนแปลงทีละผลเฉลย (Goldberg,1989) ในปัจจุบัน Genetic Algorithm ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปจามงานวิจัยนั้นๆ โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างมาจาก Genetic Algorithm ต้นแบบที่เรียกว่า “วิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Sample Genetic Algorithm : SGA)” โครงสร้างของ Sample Genetic Algorithm สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ขั้นตอนของ Sample Genetic Algorithm จากรูปที่ 2.1 สามารถสรุปได้เป็น 5 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome encoding) ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic operation) ขั้นตอนที่ 3การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness computation) ขั้นตอนที่ 4 การคัดเลือก (Selection) และ ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบ (Termination condition) ซึ่งสามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แผนภูมิสายงานแสดงกระบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

2.1.1 ขั้นตอนการสร้างโครโมโซม

เริ่มต้นโดยการสุ่มคำตอบซึ่งเป็นค่าคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของคำตอบ (Solution space) ขึ้นมาตามจำนวนของประชากรที่กำหนดไว้แล้วทำการเข้ารหัส (Encoding) ค่าคำตอบให้เป็น “โครโมโซม (Chromosome)” ซึ่งโครโมโซมแต่ละตัวจะประกอบไปด้วยยีนเรียงต่อกัน โดยรูปแบบการเข้ารหัสของโครโมโซมเป็นเลขฐานสอง (Binary bit string) และเรียกกลุ่มของ โครโมโซมเหล่านี้ “ประชากร (Population)”

2.1.2 ขั้นตอนกระบวนการทางพันธุกรรม

กระบวนการทางพันธุกรรมนั้น ประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ การสลับสายพันธุกรรม (Crossover) และการกลายพันธุกรรม (Mutation) โดยการสลับสายพันธุ์นั้น จะทำการสุ่มโครโมโซมจากประชากรมาสองโครโมโซม ซึ่งการจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนในโครโมโซม สำหรับวิธีการในการแลกเปลี่ยนยีนนั้นวิธีการที่ง่ายที่สุด คือ การสลับสายพันธุ์แบบจุดเดียว (One point crossover) ซึ่งจะใช้วิธีการสุ่มจุดที่จะทำการแลกเปลี่ยนยีน ดังแสดงในรูปที่ 3

ส่วนกระบวนการกลายพันธุ์นั้นจะสุ่มโครโมโซมมาหนึ่งค่า แล้วทำการสุ่มเปลี่ยนค่าของยีน ซึ่งจะทำให้เกิดโครโมโซมใหม่อีกหนึ่งโครโมโซมโดยการกลายพันธุ์ที่แสดงในรูปที่ 4 นั้นเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลายพันธุ์แบบจุดเดียว (One point mutation) และโครโมโซมใหม่ที่เกิดขึ้นจะเรียกว่า "โครโมโซมลูก (Offspring)"

ในแต่ละรอบของกระบวนการ Genetic Algorithm นั้น มีตัวแปรสองตัวที่ใช้ในการตัดสินใจว่าแต่ละรอบจะเกิดการสลับสายพันธุ์ หรือการกลายพันธุ์ หรือไม่ คือ ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (Probabilities of crossover Pc) ซึ่งควรจะกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.0 (Yang, 2008) และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Probabilities of mutation: Pm) ซึ่งควรจะกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0.02-0.18 (Pongcharoen et al., 2002) โดยความน่าจะเป็นทั้งสองตัวนี้จะมีผลต่อค่าคำตอบ ดังนั้น จึงควรกำหนดค่าให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหา

2.1.3 ขั้นตอนการคำนวณค่าความเหมาะสม

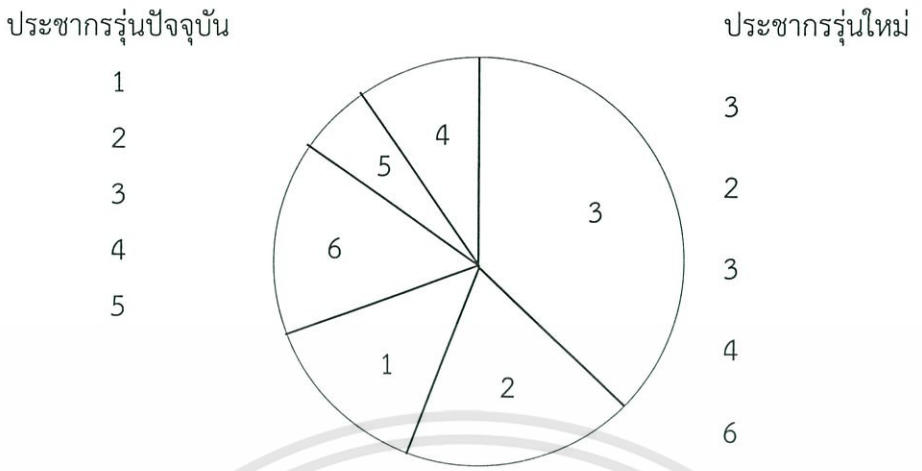
เมื่อผ่านกระบวนการทางพันธุกรมแล้วโครโมโซมทั้งหมดจะถูกประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม (Probabilities of selection) ซึ่งปกติแล้วจะใช้สมการเป้าหมายเป็นตัววัดค่าความน่าจะเป็นในการอยู่รอดของโครโมโซม โดยค่าความเหมาะสมหาได้จากสมการที่ (1)

$$Fitness(i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} f(x_i)}, i = 1,2,3,...,n \qquad (2.26)$$

2.1.4 ขั้นตอนการคัดเลือก

กลไกการคัดเลือกของ Genetic Algorithm นั้นจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมในการอยู่รอด ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมในการอยู่รอดสูง โอกาสที่จะถูกเลือกให้เป็นประชากรในรุ่นต่อไป จะมีโอกาสรอดสูงตามไปด้วย ในทางตรงข้าม ถ้าค่าความเหมาะสมในการอยู่รอดต่ำมาก โครโมโซมนั้นก็ไม่มีโอกาสอยู่รอดเป็นประชากรรุ่นถัดไป วิธีการคัดสรรโครโมโซมเพื่อเป็นประชากรในรุ่นใหม่นั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น การคัดเลือกแบบแบ่งเป็นช่วง (Truncation selection) การคัดเลือกด้วยการสุ่มอย่างทั่วถึง (Stochastic universal sampling) การคัดเลือกแบบแข่งขัน (Tournament selection) และการคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection) เป็นต้น สำหรับวิธีการคัดสรรที่กล่าวมานั้นการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทายได้รับความนิยมมากที่สุด (Goldberg, 1989) รูปที่ 2.2 แสดงการแบ่งพื้นที่ในวงล้อเสี่ยงทายซึ่งจะถูกแบ่งโดยค่าความเหมาะสม และการเลือกประชากรกลุ่มใหม่ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมตัวที่ 3 ถูกเลือกถึงสองครั้ง ในขณะที่โครโมโซมตัวที่ 5 ไม่ถูกเลือกเลยเนื่องจากค่าความเหมาะสมในการอยู่รอดมีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย

2.1.5 ขั้นตอนตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงาน

เงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงานนั้น Genetic Algorithm จะสิ้นสุดการทำงานก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการจนครบตามจำนวนรุ่นของประชากร (Number of generation) ตามที่ผู้ใช้กำหนด หรือผู้ใช้อาจจะกำหนดให้สิ้นสุดการทำงานเมื่อค่าคำตอบในหลายๆรอบที่ผ่านมาไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงานและการออกแบบระบบจำลอง

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบจำลองในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานร่วมกันของระบบผลิตไฟฟ้ากับระบบส่งจ่ายแก๊ส ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชั่นหลายตัวแปรแบบมีข้อจำกัด (constraint problem) จากคำสั่งหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Genetic Algorithm) ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งระบบตัวอย่างที่ใช้ คือ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า IEEE 14 บัส ที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline

3.1 การออกแบบระบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายแก๊ส

การทดลองจากระบบจำลองส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า IEEE 14 บัสเชื่อมต่อกับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline แสดงในรูปที่ 3.1 กรณีศึกษา โดยระบบดังกล่าวประกอบไปด้วยบัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 5 บัส ได้แก่บัสที่ 1 2 3 6 และ 8 โดยที่บัส 2 และ 3 เชื่อมต่ออยู่กับระบบแก๊สที่โนด 2 และ 5 ตามลำดับ โดยระบบแก๊สจะประกอบไปด้วยแหล่งผลิตแก๊สธรรมชาติทั้งหมด 2 โนด ได้แก่ โนดที่ 1 และ 2 มีลักษณะการไหลของแก๊สผ่านท่อส่งเป็นแบบ active 4 ท่อและแบบ passive 12 ท่อ

เมื่อพิจารณาระบบดังกล่าวตามรูป 3-1 โดยระบบส่งจ่ายแก๊สอยู่ภายใต้เงื่อนไขไม่พิจารณาสมการคอมเพรสเซอร์และลักษณะการวางท่อส่งจ่ายจะได้สมการวัตถุประสงค์ดังนี้

ก.ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$Min \sum_{i \in N_{\Omega e}} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) + \sum_{i \in N_s} g_i s_i \tag{3.1}$$

สมการที่ (3.1) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เมื่อต้องการหาค่าต้นทุนผลิตต่ำที่สุด ส่วนแรกคือต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ไม่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลง ส่วนที่สองต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง

ข.ขอบเขตของตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุมในส่วนของระบบไฟฟ้ามีข้อจำกัดดังนี้

$$V_{i,\min} \le V_i \le V_{i,\max}; \forall i \in N_B \tag{3.2}$$

$$\delta_{i,\min} \le \delta_i \le \delta_{i,\max}; \forall i \in N_B \tag{3.3}$$

$$P_{G_{i,\min}} \le P_{G_i} \le P_{G_{i,\max}}; \forall i \in N_G \tag{3.4}$$

$$Q_{G_{i,\min}} \le Q_{G_i} \le Q_{G_{i,\max}}; \forall i \in N_G \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อสมการเหล่านี้จะกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของแรงดันและมุมเฟสของแรงดันของแต่ละบัสกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละส่วน

ตัวแปรควบคุมในส่วนของระบบส่งจ่ายแก๊สมีข้อจำกัดดังนี้

$$S_{i,\min} \le S_i \le S_{i,\max}; \forall i \in N_s \tag{3.6}$$

$$P_{i,\min} \le P_i \le P_{i,\max}; \forall i \in N_N \tag{3.7}$$

$$0 \le f_{ij} \le f_{ij,\max}; \forall (i,j) \in A_a \tag{3.8}$$

$$-f_{ij,\max} \le f_{ij} \le f_{ij,\max}; \forall (i,j) \in A_p \tag{3.9}$$

อสมการเหล่านี้จะกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของปริมาณแก๊สที่ไหลออกจากแหล่งผลิต ความดันแก๊สที่แต่ละโนด ปริมาณแก๊สที่ไหลในท่อส่วน active pipeline และปริมาณแก๊สที่ไหลในท่อส่วน passive pipeline ตามลำดับ

ค.ข้อจำกัดของปัญหา

$$P_{G_i} - \mathrm{Re}(\psi_i(V,\delta)) = P_{L_i}; \forall i \in N_B \tag{3.10}$$

$$Q_{G_i} - \mathrm{Im}(\psi_i(V,\delta)) = Q_{L_i}; \forall i \in N_B \tag{3.11}$$

$$\left|P_{ij}(V,\theta)\right| \le P_{ij,\max}; \forall i \in N_B \tag{3.12}$$

$$s_i + \sum_{j/(j,i)\in\phi}` f_{ji} - \sum_{j/(j,i)\in\phi}` f_{ij} - e_i(P_{G,i}) = d_i; \forall (i,j) \in N_N \tag{3.13}$$

$$sign(f_{ij}) f_{ij}^2 = C_{ij}^2 (p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_p \tag{3.14}$$

$$sign(f_{ij}) f_{ij}^2 \ge C_{ij}^2 (p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_a \tag{3.15}$$

สมการและอสมการ (3.10),(3.11),(3.12) เป็นข้อจำกัดของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (3.13),(3.14),(3.15) เป็นข้อจำกัดของระบบส่งจ่ายแก๊ส

(3.10) และ (3.11) เป็นสมการอนุรักษ์พลังงานของระบบไฟฟ้าและ (3.12) เป็นข้อจำกัดของพิกัดกำลังไฟฟ้าของสายส่ง

(3.14) และ (3.15) เป็นสมการแสดงการไหลของแก๊สผ่านท่อส่งในลักษณะ passive และ active ตามลำดับ ซึ่งเครื่องหมายแสดงทิศทางการไหลของแก๊สธรรมชาติ ซึ่งจะมีเพียง 1 หรือ -1 เท่านั้น

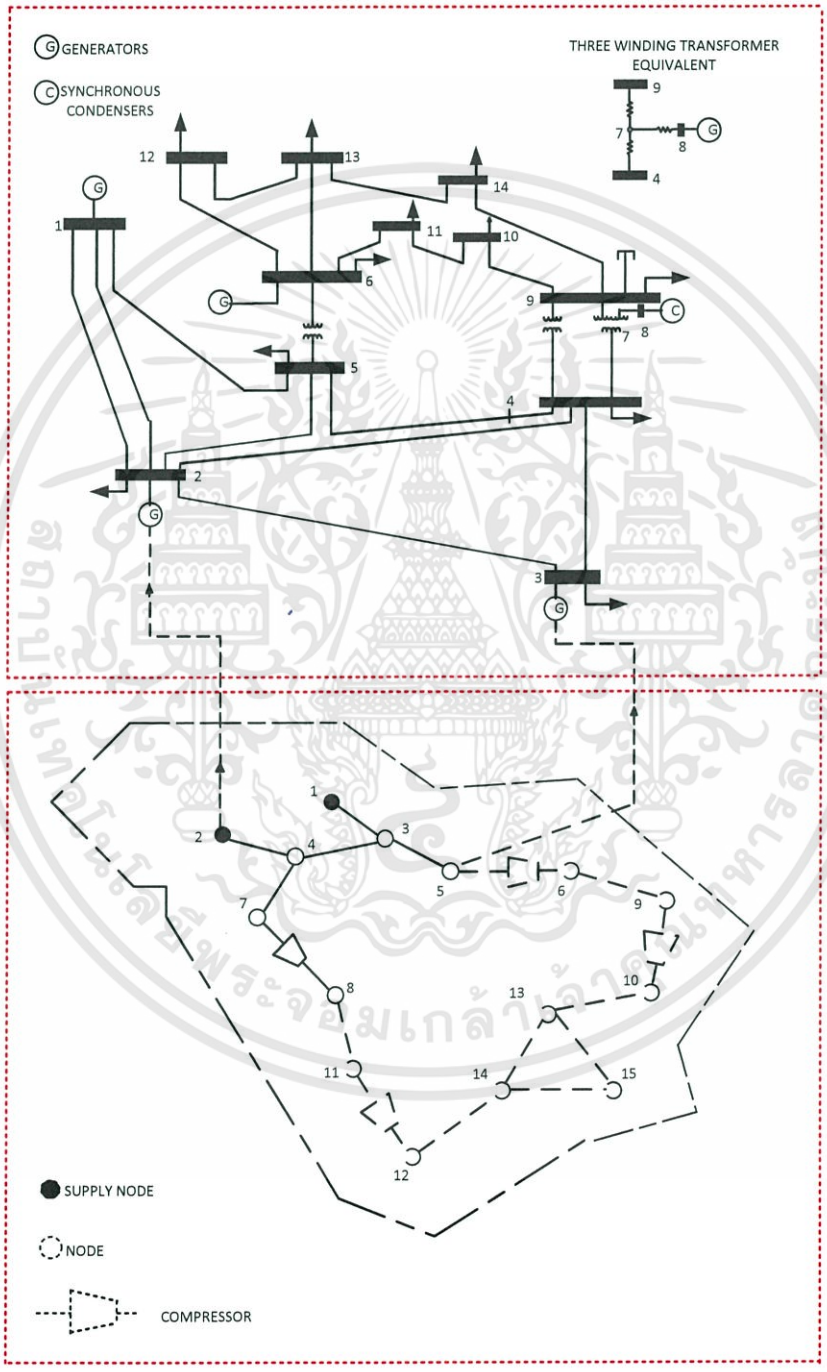
(3.13) เป็นสมการอนุรักษ์การไหลของระบบจ่ายแก๊สธรรมชาติและยังเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของทั้งสองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathrm{Re}(\psi_i(V,\delta)) = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{3.16}$$

$$\mathrm{Im}(\psi_i(V,\delta)) = -\sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \tag{3.17}$$

สมการ (3.16) และ (3.17) เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าบัส และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลเข้าบัส กับค่าตัวแปรต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง ตามลำดับ

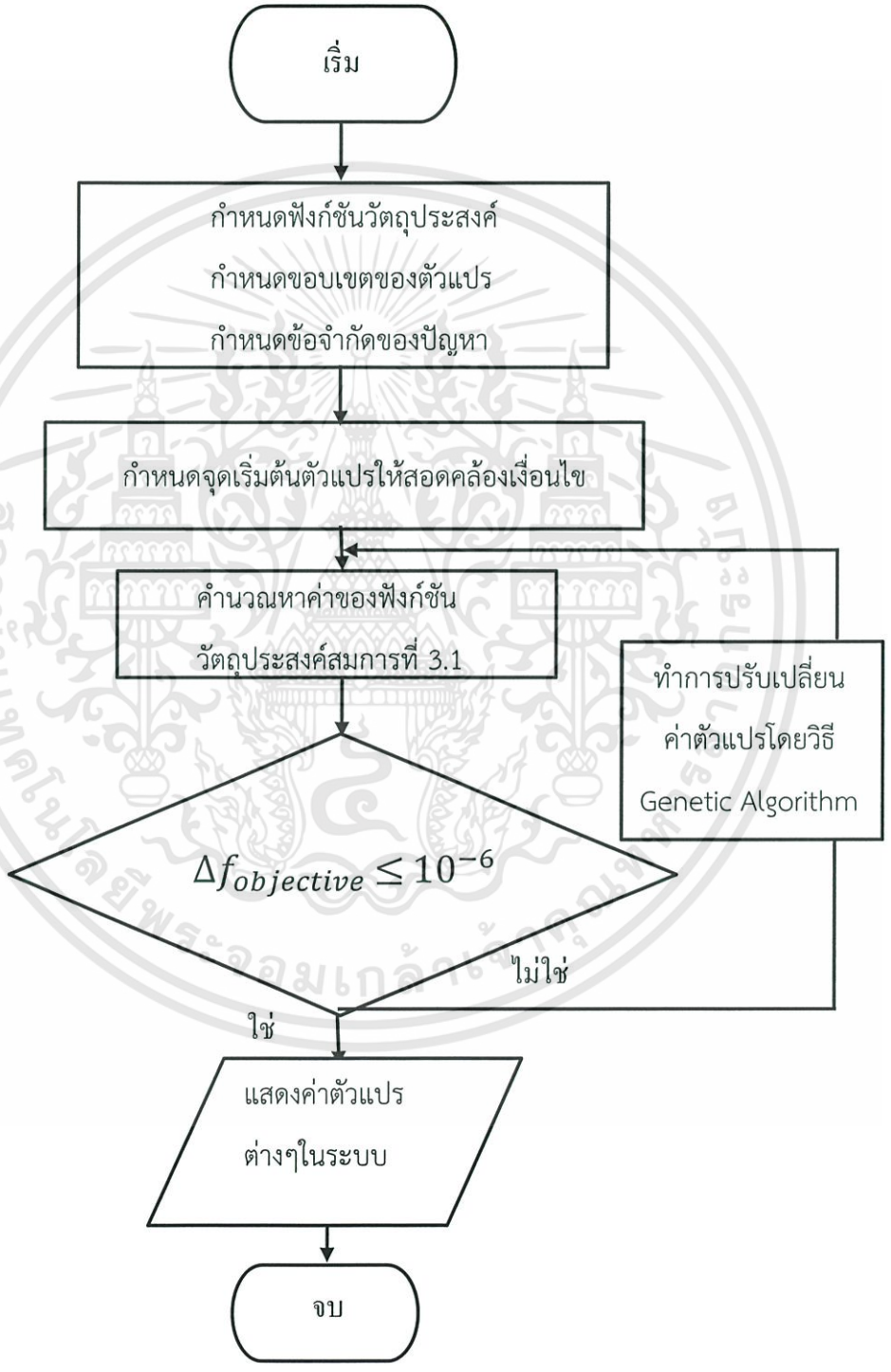


รูปที่ 3.1 ระบบตัวอย่างระบบไฟฟ้า IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมกับระบบแก๊ส

โปรแกรมที่ใช้จัดทำขึ้นใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชั่นหลายตัวแปรแบบมีข้อจำกัด โดยคำสั่งหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ Genetic Algorithm ในโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดสมการ



รูปที่ 3.2 แผนผังหลักการทำงานของคำสั่ง Genetic Algorithm ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา

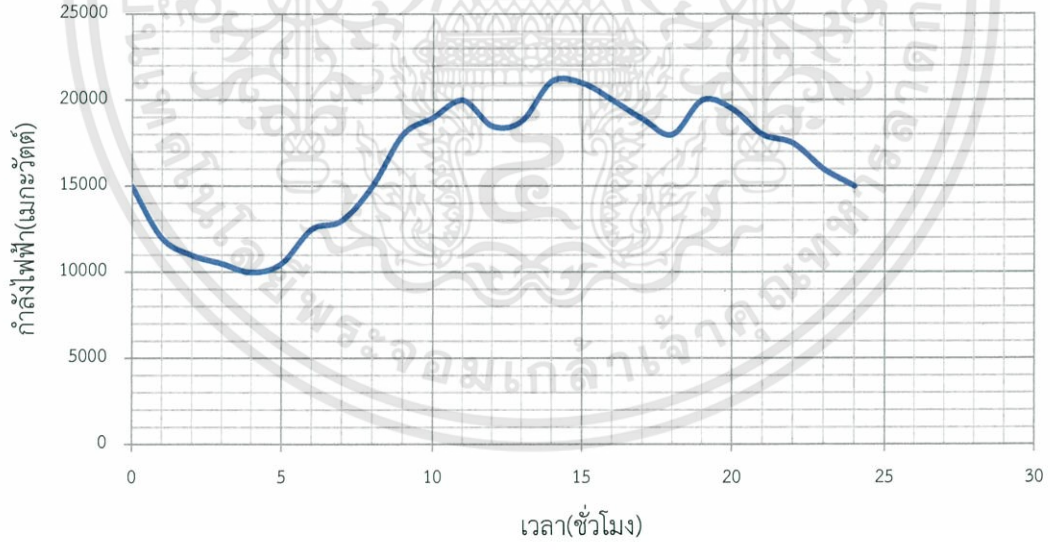
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการทดลองทำการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊สซึ่งจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดก็คือจุดที่มีค่าต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่จัดทำขึ้นซึ่งประกอบด้วย ผลลัพธ์จากการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด

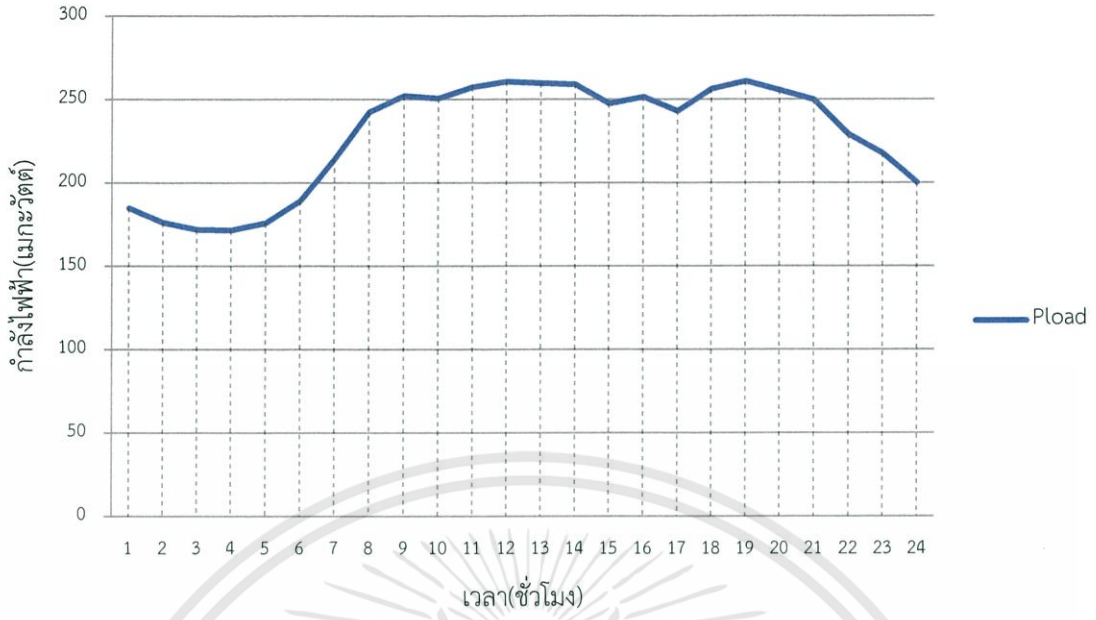
4.1 ผลลัพธ์จากการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด

นำโปรแกรมที่จัดทำขึ้นมาใช้กับระบบตัวอย่างระบบไฟฟ้า IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline โดยใช้สมการที่ (3.1) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ผลลัพธ์ราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดที่ได้จากโปรแกรมที่จัดทำขึ้น ค่าตัวแปรต่างๆในระบบไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ส่วนค่าตัวแปรต่างๆในระบบแก๊สแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 แบ่งเป็น 2 กรณี คือ คิด ramp และไม่คิด ramp ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีความต้องการโหลดในแต่ละชั่วโมงของประเทศไทยดังรูปที่ 4.1 [8] เป็นแบบอ้างอิงในการจำลองโหลดขึ้นซึ่งได้จำลองตามแนวโน้มจะได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความต้องการใช้โหลดในแต่ละชั่วโมงของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความต้องการใช้โหลดในแต่ละชั่วโมงในระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Voltage (pu)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
2	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
3	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
6	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
8	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
9	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
10	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98
11	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
12	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99
13	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
14	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

ตารางที่ 4.1.2 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Generation angle (rad)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.05	0.02	0.03	0.05	0.50	0.02	-0.01	0.00	0.00	0.02
2	-0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05	0.07	0.05	0.03	0.03	0.05	0.50	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
3	-0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.46	-0.01	-0.03	-0.01	-0.01	0.02
4	-0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.45	-0.02	-0.05	-0.04	-0.04	0.00
5	-0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.46	-0.01	-0.04	-0.03	-0.03	0.00
6	-0.08	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.03	-0.05	-0.05	-0.03	0.42	-0.05	-0.08	-0.07	-0.08	-0.04
7	-0.06	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	0.00	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02	0.42	-0.05	-0.07	-0.05	-0.05	-0.02
8	-0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.45	-0.02	-0.04	-0.02	-0.01	0.02
9	-0.09	-0.03	-0.03	-0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.07	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.07	-0.07	-0.05	0.39	-0.08	-0.10	-0.09	-0.08	-0.05
10	-0.09	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.07	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.07	-0.07	-0.06	0.39	-0.08	-0.10	-0.09	-0.09	-0.05
11	-0.09	-0.03	-0.03	-0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.07	-0.06	-0.04	0.40	-0.07	-0.09	-0.08	-0.08	-0.05
12	-0.09	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.07	-0.06	-0.04	0.40	-0.07	-0.09	-0.09	-0.09	-0.05
13	-0.09	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.05	-0.03	-0.05	-0.07	-0.07	-0.05	0.40	-0.07	-0.10	-0.09	-0.09	-0.05
14	-0.10	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.08	-0.07	-0.08	-0.07	-0.06	-0.07	-0.05	-0.07	-0.09	-0.09	-0.07	0.37	-0.10	-0.12	-0.10	-0.10	-0.07

ตารางที่ 4.1.3 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Generation Power (MW)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	17.70	22.60	23.88	23.77	24.66	25.15	25.03	24.93	23.60	22.82	22.42	24.48	25.24	24.38	22.41	20.24	18.47	15.84
2	61.52	57.27	55.29	55.09	57.11	62.29	76.91	96.78	101.96	101.53	105.14	107.11	106.64	106.21	100.83	97.66	96.03	104.40	107.46	103.99	96.01	87.21	80.07	69.27
3	75.01	71.29	69.56	69.38	71.15	75.68	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	16.32	27.43	30.45	30.21	32.30	33.44	33.17	32.92	29.80	27.94	26.99	31.87	33.64	31.63	26.98	21.78	17.52	15.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	18.44	17.61	17.22	17.18	17.57	18.59	21.47	17.40	16.06	16.17	15.23	14.71	14.83	14.95	16.35	17.18	17.60	15.42	14.62	15.53	17.60	19.86	21.66	19.97
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	184.96	176.17	172.08	171.65	175.83	186.57	212.40	244.22	252.35	251.68	257.33	260.41	259.67	259.00	250.58	245.59	243.04	256.17	260.95	255.52	243.01	229.09	217.72	200.08

ตารางที่ 4.1.4 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Generation Reactivepower (MWAR)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	33.45	33.90	34.12	34.15	33.92	33.36	31.41	28.84	28.24	28.29	27.89	27.67	27.72	27.77	28.37	28.74	28.93	27.97	27.64	28.01	28.93	30.01	30.95	32.57
2	-13.79	-13.86	-13.89	-13.89	-13.86	-13.77	-11.73	-7.41	-6.26	-6.35	-5.54	-5.10	-5.20	-5.30	-6.51	-7.22	-7.58	-5.71	-5.02	-5.80	-7.58	-9.51	-11.06	-13.26
3	-8.96	-9.36	-9.54	-9.56	-9.37	-8.89	-7.99	-8.41	-8.50	-8.49	-8.55	-8.57	-8.57	-8.56	-8.48	-8.42	-8.39	-8.54	-8.58	-8.53	-8.39	-8.18	-7.97	-8.28
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.64	1.43	1.34	1.33	1.42	1.68	2.31	3.26	3.53	3.51	3.70	3.81	3.78	3.76	3.47	3.31	3.22	3.66	3.83	3.64	3.22	2.79	2.45	2.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	12.33	12.12	12.03	12.02	12.11	12.38	13.99	16.28	17.02	16.95	17.50	17.81	17.73	17.66	16.85	16.40	16.18	17.38	17.87	17.32	16.18	15.11	14.37	13.03

ตารางที่ 4.1.5 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Load Power (MW)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	15.33	14.60	14.26	14.23	14.57	15.46	17.60	20.22	20.88	20.83	21.29	21.54	21.48	21.43	20.74	20.33	20.12	21.20	21.59	21.14	20.12	18.98	18.04	16.58
3	66.54	63.38	61.91	61.76	63.26	67.12	76.41	87.77	90.66	90.42	92.42	93.51	93.25	93.01	90.03	88.26	87.35	92.01	93.70	91.78	87.34	82.38	78.32	71.97
4	33.77	32.16	31.42	31.34	32.10	34.06	38.77	44.54	46.00	45.88	46.90	47.45	47.32	47.20	45.68	44.79	44.32	46.69	47.55	46.57	44.32	41.80	39.74	36.52
5	5.37	5.11	4.99	4.98	5.10	5.42	6.16	7.08	7.31	7.29	7.46	7.54	7.52	7.50	7.26	7.12	7.05	7.42	7.56	7.40	7.05	6.65	6.32	5.81
6	7.91	7.54	7.36	7.34	7.52	7.98	9.08	10.44	10.78	10.75	10.99	11.12	11.09	11.06	10.70	10.49	10.39	10.94	11.14	10.91	10.38	9.79	9.31	8.56
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	20.84	19.85	19.39	19.34	19.81	21.02	23.93	27.49	28.39	28.32	28.94	29.28	29.20	29.13	28.19	27.64	27.36	28.81	29.34	28.74	27.35	25.80	24.53	22.54
10	6.36	6.06	5.92	5.90	6.04	6.41	7.30	8.39	8.66	8.64	8.83	8.93	8.91	8.89	8.60	8.43	8.35	8.79	8.95	8.77	8.34	7.87	7.48	6.88
11	2.47	2.35	2.30	2.29	2.35	2.49	2.84	3.26	3.37	3.36	3.43	3.47	3.46	3.46	3.35	3.28	3.25	3.42	3.48	3.41	3.25	3.06	2.91	2.67
12	4.31	4.10	4.01	4.00	4.10	4.35	4.95	5.68	5.87	5.86	5.98	6.06	6.04	6.02	5.83	5.72	5.66	5.96	6.07	5.94	5.66	5.33	5.07	4.66
13	9.54	9.08	8.87	8.85	9.07	9.62	10.95	12.58	12.99	12.96	13.25	13.40	13.36	13.33	12.90	12.65	12.52	13.19	13.43	13.15	12.52	11.81	11.22	10.31
14	10.53	10.03	9.79	9.77	10.01	10.62	12.09	13.88	14.34	14.30	14.62	14.79	14.75	14.71	14.24	13.96	13.82	14.55	14.82	14.52	13.81	13.03	12.39	11.38
total	182.96	174.27	170.22	169.80	173.93	184.55	210.08	241.32	249.26	248.61	254.11	257.10	256.39	255.73	247.53	242.66	240.17	252.98	257.63	252.35	240.14	226.51	215.33	197.89

ตารางที่ 4.1.6 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (ไม่คิด ramp)

Bus	Load Reactivepower (MVAR)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70
3	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
4	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90
5	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
6	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60
10	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
11	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
12	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
13	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
14	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
total	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในแต่ละสายส่ง (ไม่คิด ramp)

ตำแหน่งสายระหว่างบัส	พิกัด (MW)	กำลังที่ไหลในสายส่ง (MW)																							
		ชั่วโมงการทำงาน																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 และ 3	120	29.170	28.952	28.857	28.847	28.944	29.212	29.267	28.893	28.805	28.812	28.754	28.723	28.730	28.737	28.824	28.878	28.906	28.766	28.717	28.772	28.906	29.067	29.206	29.391
1 และ 5	65	26.849	26.466	26.294	26.276	26.452	26.920	28.290	30.183	30.729	30.683	31.076	31.294	31.241	31.193	30.608	30.273	30.105	30.994	31.333	30.949	30.103	29.229	28.568	27.613
2 และ 3	36	23.942	23.952	23.958	23.958	23.952	23.941	24.266	27.001	28.084	27.990	28.812	29.283	29.169	29.065	27.837	27.174	26.855	28.639	29.368	28.542	26.851	25.373	24.529	23.948
2 และ 4	65	28.919	28.109	27.742	27.704	28.078	29.070	31.848	36.201	37.422	37.320	38.186	38.662	38.548	38.443	37.153	36.404	36.026	38.007	38.748	37.907	36.021	34.015	32.455	30.464
2 และ 5	50	26.005	25.271	24.940	24.906	25.243	26.143	28.467	31.275	32.054	31.989	32.542	32.848	32.774	32.707	31.882	31.405	31.164	32.428	32.902	32.364	31.161	29.886	28.896	27.382
3 และ 4	65	15.854	15.112	14.772	14.736	15.084	15.990	15.062	11.460	10.564	10.638	10.020	9.686	9.766	9.839	10.759	11.308	11.590	10.146	9.627	10.217	11.594	13.144	14.421	16.516
4 และ 5	45	13.033	12.651	12.473	12.455	12.636	13.103	15.557	23.275	25.405	25.228	26.717	27.528	27.334	27.156	24.939	23.633	22.967	26.411	27.673	26.240	22.958	19.360	16.486	13.938
4 และ 7	55	14.763	14.698	14.674	14.671	14.696	14.776	14.898	17.062	17.826	17.761	18.322	18.637	18.561	18.491	17.655	17.187	16.956	18.205	18.694	18.139	16.953	15.798	14.998	14.888
4 และ 9	32	12.197	11.975	11.876	11.865	11.966	12.239	12.848	14.025	14.362	14.334	14.572	14.702	14.671	14.642	14.288	14.081	13.977	14.523	14.726	14.495	13.975	13.418	12.978	12.596
5 และ 6	45	38.012	37.683	37.543	37.529	37.671	38.077	38.924	37.588	37.209	37.240	36.980	36.839	36.873	36.904	37.291	37.524	37.644	37.033	36.814	37.063	37.645	38.307	38.858	38.681
6 และ 11	18	6.869	6.748	6.693	6.687	6.744	6.891	7.384	9.948	10.748	10.681	11.252	11.567	11.492	11.422	10.571	10.081	9.834	11.134	11.624	11.068	9.831	8.553	7.621	7.079
6 และ 12	32	6.141	5.919	5.816	5.805	5.910	6.182	6.869	7.995	8.296	8.271	8.482	8.598	8.570	8.545	8.231	8.046	7.951	8.439	8.618	8.415	7.950	7.441	7.033	6.528
6 และ 13	32	14.591	14.115	13.895	13.872	14.096	14.678	16.198	19.238	20.072	20.003	20.587	20.907	20.830	20.760	19.889	19.378	19.118	20.467	20.964	20.399	19.115	17.717	16.605	15.419
7 และ 8	32	18.515	17.665	17.271	17.230	17.632	18.670	21.597	17.706	16.442	16.547	15.669	15.193	15.307	15.412	16.718	17.493	17.889	15.849	15.108	15.950	17.895	20.050	21.798	20.071
7 และ 9	32	28.077	26.951	26.432	26.378	26.907	28.285	31.576	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	30.065
9 และ 10	32	4.931	4.726	4.636	4.627	4.718	4.969	5.478	4.580	4.443	4.452	4.393	4.376	4.379	4.382	4.467	4.553	4.606	4.402	4.374	4.408	4.607	5.002	5.435	5.311
9 และ 14	32	7.224	6.855	6.685	6.667	6.841	7.292	8.273	8.088	8.014	8.020	7.972	7.947	7.953	7.958	8.030	8.075	8.099	7.982	7.942	7.987	8.099	8.236	8.357	7.869
10 และ 11	12	3.748	3.712	3.696	3.694	3.710	3.755	3.971	6.072	6.780	6.721	7.228	7.508	7.441	7.379	6.623	6.189	5.972	7.123	7.558	7.064	5.970	4.868	4.125	3.815
12 และ 13	12	1.519	1.489	1.475	1.473	1.488	1.525	1.630	1.980	2.088	2.079	2.156	2.199	2.188	2.179	2.064	1.998	1.965	2.140	2.206	2.131	1.964	1.793	1.666	1.572
13 และ 14	12	4.665	4.559	4.510	4.505	4.555	4.684	5.103	6.977	7.534	7.487	7.881	8.097	8.045	7.997	7.411	7.070	6.898	7.800	8.135	7.754	6.895	5.984	5.290	4.849

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวแปรต่างๆในระบบแก๊ส (ไม่คิด ramp)

Node	P(bar)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
2	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63
3	894.00	900.50	908.95	906.49	896.34	873.34	877.12	856.61	850.64	848.30	852.51	851.29	854.73	871.01	867.42	865.82	856.38	847.98	831.02	817.42	819.83	830.73	856.43	878.14
4	899.34	906.38	915.71	912.77	902.13	880.02	883.26	862.93	857.19	855.01	858.87	857.66	861.03	876.66	873.24	871.69	862.73	854.65	835.09	820.38	829.23	840.63	863.18	884.38
5	833.66	840.15	847.62	846.42	835.16	800.46	806.93	777.75	768.36	764.47	771.59	769.77	774.79	799.61	794.34	792.06	777.31	764.06	755.21	744.37	713.32	726.34	776.40	808.14
6	1000.85	1006.71	1016.07	1007.83	1003.40	981.89	985.79	985.88	989.89	991.69	988.83	989.68	989.68	979.23	983.34	987.36	986.15	989.32	756.43	754.32	715.31	796.32	1003.88	986.81
7	862.98	876.45	894.23	888.19	868.75	832.97	838.97	805.62	796.74	793.28	799.64	797.78	803.60	829.47	823.14	820.11	805.27	792.94	742.33	702.34	754.20	775.74	805.07	840.34
8	1014.40	1009.79	1003.61	1005.11	1011.98	1001.64	995.02	1020.12	1027.31	1031.56	1024.73	1026.54	1023.87	1001.11	1008.80	1014.99	1020.26	1027.98	980.70	907.99	791.66	808.30	1038.33	996.47
9	939.12	944.86	953.23	945.91	940.80	907.76	914.35	907.78	909.44	910.16	909.41	909.89	911.05	906.60	909.69	913.52	907.90	907.53	658.45	661.45	568.69	668.64	926.24	915.57
10	1132.56	1132.73	1132.17	1130.42	1134.41	1127.64	1125.41	1160.10	1166.13	1168.10	1163.66	1164.92	1162.19	1115.89	1133.74	1147.88	1160.62	1168.46	917.60	819.92	896.68	1156.97	1162.61	1125.97
11	925.92	936.29	950.26	944.22	930.45	887.41	886.44	885.93	887.73	889.99	887.34	888.09	890.30	886.93	888.92	892.56	885.75	885.93	755.46	586.39	554.75	609.70	904.96	888.54
12	1089.30	1073.58	1048.65	1057.85	1082.23	1084.43	1080.95	1129.63	1136.31	1138.26	1133.68	1135.26	1130.10	1075.54	1097.44	1114.08	1130.13	1138.46	971.72	942.12	841.81	1097.42	1131.80	1081.32
13	1000.00	999.07	994.77	996.10	999.80	970.11	972.76	998.56	999.81	999.44	999.33	999.84	999.16	960.21	977.99	993.28	998.80	999.76	718.11	601.70	601.74	948.88	999.09	973.65
14	999.09	997.76	992.53	994.32	998.70	969.22	971.81	997.92	999.18	998.81	998.70	999.21	998.49	959.35	977.23	992.57	998.16	999.13	718.25	602.96	600.36	947.64	998.44	972.70
15	999.08	997.79	992.78	994.45	998.70	969.21	971.79	997.85	999.10	998.74	998.63	999.14	998.42	959.32	977.18	992.51	998.09	999.06	717.73	601.59	600.31	947.64	998.38	972.68
Node	S_i (Mm^3/day)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	4.78	4.64	4.44	4.50	4.73	5.19	5.12	5.50	5.60	5.64	5.57	5.59	5.53	5.24	5.30	5.33	5.50	5.65	5.93	6.14	6.10	5.93	5.50	5.10
2	4.12	3.94	3.68	3.77	4.05	4.57	4.50	4.93	5.04	5.08	5.01	5.03	4.96	4.64	4.71	4.75	4.93	5.09	5.45	5.69	5.55	5.35	4.92	4.47
total	8.89	8.57	8.13	8.27	8.77	9.76	9.62	10.43	10.64	10.73	10.58	10.62	10.50	9.88	10.02	10.08	10.43	10.74	11.37	11.83	11.65	11.28	10.42	9.57

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแก๊สที่ไหลในแต่ละท่อส่งแก๊ส (ไม่คิด ramp)

Pipeline	From	To	f_{ij} (Mm^3/day)																							
			ชั่วโมงการทำงาน																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	3	4.78	4.64	4.44	4.50	4.73	5.19	5.12	5.50	5.60	5.64	5.57	5.59	5.53	5.24	5.30	5.33	5.50	5.65	5.93	6.14	6.10	5.93	5.50	5.10
2	2	4	4.12	3.94	3.68	3.77	4.05	4.57	4.50	4.93	5.04	5.08	5.01	5.03	4.96	4.64	4.71	4.75	4.93	5.09	5.45	5.69	5.55	5.35	4.92	4.47
3	3	4	-1.25	-1.32	-1.42	-1.37	-1.30	-1.38	-1.33	-1.33	-1.35	-1.37	-1.33	-1.34	-1.33	-1.27	-1.29	-1.29	-1.34	-1.36	-1.05	-0.89	-1.59	-1.65	-1.38	-1.34
4	3	5	3.46	3.47	3.51	3.47	3.48	3.74	3.68	3.84	3.91	3.94	3.88	3.89	3.86	3.70	3.73	3.74	3.85	3.94	3.71	3.62	4.33	4.32	3.87	3.68
5	4	7	2.60	2.38	2.03	2.16	2.50	2.92	2.84	3.18	3.25	3.28	3.22	3.24	3.18	2.92	3.00	3.04	3.18	3.28	3.93	4.36	3.54	3.33	3.20	2.83
6	6	9	3.45	3.46	3.51	3.47	3.48	3.73	3.67	3.83	3.90	3.93	3.87	3.88	3.85	3.69	3.72	3.74	3.84	3.93	3.71	3.62	4.33	4.31	3.86	3.67
7	8	11	2.60	2.37	2.03	2.16	2.50	2.91	2.84	3.17	3.24	3.27	3.22	3.23	3.17	2.91	2.99	3.03	3.18	3.27	3.92	4.35	3.54	3.33	3.19	2.83
8	10	13	3.44	3.46	3.50	3.46	3.47	3.72	3.67	3.83	3.89	3.92	3.86	3.87	3.85	3.68	3.72	3.73	3.83	3.92	3.70	3.61	4.31	4.29	3.85	3.66
9	12	14	2.60	2.37	2.02	2.16	2.49	2.91	2.83	3.17	3.24	3.26	3.21	3.22	3.16	2.91	2.99	3.03	3.17	3.26	3.91	4.33	3.53	3.31	3.19	2.82
10	13	14	0.29	0.34	0.45	0.40	0.32	0.28	0.29	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	-0.10	-0.26	0.27	0.33	0.24	0.29
11	13	15	0.30	0.36	0.44	0.40	0.33	0.29	0.30	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.16	0.08	0.29	0.34	0.27	0.30
12	14	15	0.02	-0.05	-0.14	-0.11	-0.03	0.03	0.04	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.18	0.26	0.05	0.00	0.08	0.04
13	5	6	3.45	3.46	3.51	3.47	3.48	3.73	3.67	3.83	3.90	3.93	3.87	3.88	3.85	3.69	3.72	3.74	3.84	3.93	3.71	3.62	4.33	4.31	3.86	3.67
14	7	8	2.60	2.37	2.03	2.16	2.50	2.91	2.84	3.17	3.24	3.27	3.22	3.23	3.17	2.91	2.99	3.03	3.18	3.27	3.92	4.35	3.54	3.33	3.19	2.83
15	9	10	3.44	3.46	3.50	3.46	3.47	3.72	3.67	3.83	3.89	3.92	3.86	3.87	3.85	3.68	3.72	3.73	3.83	3.92	3.70	3.61	4.31	4.29	3.85	3.66
16	11	12	2.60	2.37	2.02	2.16	2.49	2.91	2.83	3.17	3.24	3.26	3.21	3.22	3.16	2.91	2.99	3.03	3.17	3.26	3.91	4.33	3.53	3.31	3.19	2.82

ตารางที่ 4.5.1 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Voltage (pu)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
2	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
3	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
6	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
8	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
9	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
10	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98
11	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
12	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99
13	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
14	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

ตารางที่ 4.5.2 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Generation angle (rad)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.05	0.36	-0.39	0.52	0.00	0.33	0.05	0.03	0.06	0.05	0.06	0.51	0.09	0.06	0.01	0.04	0.03	0.03
2	-0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.37	-0.39	0.52	0.00	0.33	0.05	0.03	0.06	0.06	0.06	0.51	0.09	0.07	0.02	0.05	0.04	0.03
3	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04	0.34	-0.42	0.48	-0.05	0.27	0.00	-0.01	0.03	0.03	0.03	0.47	0.06	0.04	-0.01	0.03	0.03	0.03
4	-0.05	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.32	-0.44	0.47	-0.05	0.27	-0.01	-0.02	0.02	0.01	0.01	0.46	0.04	0.02	-0.03	0.01	0.00	0.00
5	-0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.33	-0.43	0.48	-0.04	0.28	0.01	-0.01	0.03	0.02	0.02	0.47	0.05	0.03	-0.02	0.02	0.01	0.01
6	-0.08	-0.03	-0.04	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	0.28	-0.47	0.44	-0.08	0.25	-0.03	-0.05	-0.01	-0.02	-0.02	0.43	0.01	-0.01	-0.06	-0.02	-0.03	-0.03
7	-0.06	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.31	-0.45	0.45	-0.07	0.25	-0.03	-0.05	-0.01	-0.01	-0.01	0.43	0.01	-0.01	-0.05	-0.01	-0.01	-0.01
8	-0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.35	-0.42	0.49	-0.04	0.28	0.00	-0.02	0.02	0.02	0.02	0.46	0.04	0.02	-0.02	0.03	0.03	0.02
9	-0.09	-0.04	-0.04	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03	0.27	-0.49	0.42	-0.11	0.22	-0.06	-0.08	-0.04	-0.04	-0.04	0.40	-0.02	-0.04	-0.08	-0.04	-0.04	-0.04
10	-0.09	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	0.27	-0.49	0.42	-0.11	0.22	-0.06	-0.08	-0.04	-0.05	-0.04	0.40	-0.02	-0.04	-0.08	-0.04	-0.04	-0.04
11	-0.09	-0.04	-0.04	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03	0.27	-0.48	0.43	-0.10	0.23	-0.05	-0.06	-0.03	-0.04	-0.03	0.41	0.00	-0.03	-0.07	-0.03	-0.04	-0.04
12	-0.09	-0.04	-0.05	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	0.27	-0.49	0.43	-0.10	0.23	-0.05	-0.06	-0.03	-0.04	-0.03	0.41	0.00	-0.03	-0.07	-0.04	-0.04	-0.04
13	-0.09	-0.04	-0.05	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	0.27	-0.49	0.42	-0.10	0.23	-0.05	-0.07	-0.03	-0.04	-0.04	0.41	-0.01	-0.03	-0.08	-0.04	-0.04	-0.04
14	-0.10	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	0.25	-0.51	0.40	-0.12	0.20	-0.08	-0.09	-0.06	-0.06	-0.06	0.38	-0.03	-0.05	-0.10	-0.06	-0.06	-0.06

ตารางที่ 4.5.3 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Generation Power (MW)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	17.95	22.98	26.49	29.99	33.49	34.92	31.42	27.92	24.42	22.81	22.42	25.92	25.24	24.38	22.16	19.69	17.76	15.37
2	61.52	57.27	55.30	55.09	57.10	64.87	78.99	93.82	103.04	103.47	110.30	112.42	110.87	108.58	99.96	97.66	96.03	110.30	107.46	103.98	95.16	85.19	77.24	67.41
3	75.01	71.29	69.56	69.38	71.15	75.68	80.00	81.53	75.53	69.53	63.53	61.64	67.64	73.64	79.64	80.00	80.00	74.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	16.59	21.62	25.12	28.62	32.12	35.62	34.31	33.56	30.06	27.94	26.99	30.49	33.64	31.63	28.13	24.63	21.13	17.63
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	18.44	17.61	17.22	17.18	17.58	18.59	20.59	24.13	22.13	20.13	18.12	16.12	15.63	15.38	16.49	17.18	17.60	15.60	14.62	15.53	17.53	19.53	21.53	19.63
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	184.96	176.17	172.08	171.65	175.83	189.15	214.12	244.09	252.30	251.74	257.57	260.73	259.87	259.08	250.57	245.59	243.04	256.30	260.95	255.52	242.99	229.04	217.65	200.04

ตารางที่ 4.5.4 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Generation Reactivepower (MVAR)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	33.45	33.90	34.12	34.15	33.92	33.36	31.41	29.30	27.86	27.87	26.95	26.79	26.97	27.29	28.59	28.74	28.93	26.75	27.64	28.02	29.02	30.26	31.30	32.83
2	-13.79	-13.86	-13.89	-13.89	-13.86	-13.77	-11.68	-8.12	-5.10	-3.31	-0.50	0.61	-1.38	-3.37	-6.42	-7.22	-7.58	-3.78	-5.02	-5.80	-7.62	-9.61	-11.19	-13.34
3	-8.96	-9.36	-9.54	-9.56	-9.37	-8.89	-8.02	-7.51	-7.75	-8.40	-8.71	-9.10	-8.87	-8.73	-8.54	-8.42	-8.39	-8.33	-8.58	-8.53	-8.59	-8.69	-8.63	-8.76
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.64	1.43	1.34	1.33	1.42	1.68	2.32	3.16	3.39	3.41	3.62	3.77	3.76	3.74	3.47	3.31	3.22	3.64	3.83	3.64	3.23	2.81	2.48	2.03
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	12.33	12.12	12.03	12.02	12.11	12.38	14.02	16.83	18.41	19.57	21.37	22.08	20.48	18.94	17.10	16.40	16.18	18.28	17.86	17.32	16.04	14.77	13.96	12.76

ตารางที่ 4.5.5 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Load Power (MW)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	15.33	14.60	14.26	14.23	14.57	15.46	17.60	20.22	20.88	20.83	21.29	21.54	21.48	21.43	20.74	20.33	20.12	21.20	21.59	21.14	20.12	18.98	18.04	16.58
3	66.54	63.38	61.91	61.76	63.26	67.12	76.41	87.77	90.66	90.42	92.42	93.51	93.25	93.01	90.03	88.26	87.35	92.01	93.70	91.78	87.34	82.38	78.32	71.97
4	33.77	32.16	31.42	31.34	32.10	34.06	38.77	44.54	46.00	45.88	46.90	47.45	47.32	47.20	45.68	44.79	44.32	46.69	47.55	46.57	44.32	41.80	39.74	36.52
5	5.37	5.11	4.99	4.98	5.10	5.42	6.16	7.08	7.31	7.29	7.46	7.54	7.52	7.50	7.26	7.12	7.05	7.42	7.56	7.40	7.05	6.65	6.32	5.81
6	7.91	7.54	7.36	7.34	7.52	7.98	9.08	10.44	10.78	10.75	10.99	11.12	11.09	11.06	10.70	10.49	10.39	10.94	11.14	10.91	10.38	9.79	9.31	8.56
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	20.84	19.85	19.39	19.34	19.81	21.02	23.93	27.49	28.39	28.32	28.94	29.28	29.20	29.13	28.19	27.64	27.36	28.81	29.34	28.74	27.35	25.80	24.53	22.54
10	6.36	6.06	5.92	5.90	6.04	6.41	7.30	8.39	8.66	8.64	8.83	8.93	8.91	8.89	8.60	8.43	8.35	8.79	8.95	8.77	8.34	7.87	7.48	6.88
11	2.47	2.35	2.30	2.29	2.35	2.49	2.84	3.26	3.37	3.36	3.43	3.47	3.46	3.46	3.35	3.28	3.25	3.42	3.48	3.41	3.25	3.06	2.91	2.67
12	4.31	4.10	4.01	4.00	4.10	4.35	4.95	5.68	5.87	5.86	5.98	6.06	6.04	6.02	5.83	5.72	5.66	5.96	6.07	5.94	5.66	5.33	5.07	4.66
13	9.54	9.08	8.87	8.85	9.07	9.62	10.95	12.58	12.99	12.96	13.25	13.40	13.36	13.33	12.90	12.65	12.52	13.19	13.43	13.15	12.52	11.81	11.22	10.31
14	10.53	10.03	9.79	9.77	10.01	10.62	12.09	13.88	14.34	14.30	14.62	14.79	14.75	14.71	14.24	13.96	13.82	14.55	14.82	14.52	13.81	13.03	12.39	11.38
total	182.96	174.27	170.22	169.80	173.93	184.55	210.08	241.32	249.26	248.61	254.11	257.10	256.39	255.73	247.53	242.66	240.17	252.98	257.63	252.35	240.14	226.51	215.33	197.89

ตารางที่ 4.5.6 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบไฟฟ้า (คิด ramp)

Bus	Load Reactivepower (MVAR)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70
3	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
4	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90	-3.90
5	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
6	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60
10	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
11	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
12	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
13	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
14	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
total	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50	73.50

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น (คิด ramp)

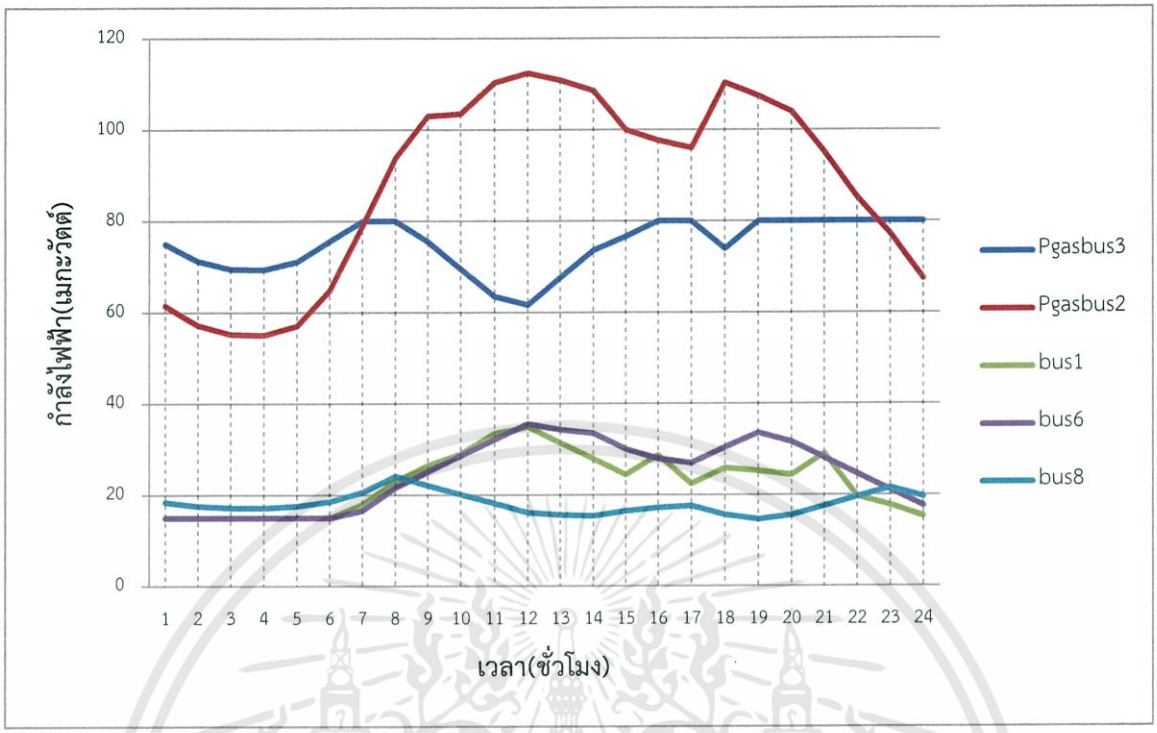
ตำแหน่งสายระหว่างบัส	พิกัด (MW)	กำลังที่ไหลในสายส่ง (MW)																							
		ชั่วโมงการทำงาน																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 และ 3	120	29.17	28.95	28.86	28.85	28.94	29.21	29.23	28.77	28.41	28.01	27.92	27.93	27.98	28.29	28.64	28.88	28.91	28.67	28.72	28.77	28.90	29.03	29.15	29.35
1 และ 5	65	26.85	26.47	26.29	26.28	26.45	26.92	28.37	30.13	31.13	31.38	32.25	32.51	32.09	31.58	30.63	30.27	30.10	31.57	31.33	30.95	29.93	28.85	28.08	27.32
2 และ 3	36	23.94	23.95	23.96	23.96	23.95	23.94	24.28	26.45	29.34	31.22	34.64	36.00	33.54	31.18	27.90	27.17	26.85	30.81	29.37	28.54	26.78	25.26	24.43	23.94
2 และ 4	65	28.92	28.11	27.74	27.70	28.08	29.07	32.01	35.41	37.39	37.67	39.26	39.85	39.47	38.90	37.07	36.40	36.03	39.04	38.75	37.91	35.78	33.49	31.75	30.04
2 และ 5	50	26.01	25.27	24.94	24.91	25.24	26.14	28.57	31.10	32.34	32.14	33.02	33.18	33.13	32.88	31.77	31.40	31.16	33.26	32.90	32.36	30.89	29.27	28.09	26.88
3 และ 4	65	15.85	15.11	14.77	14.74	15.08	15.99	15.14	11.91	8.34	5.54	2.29	2.27	3.90	6.80	10.53	11.31	11.59	7.61	9.63	10.22	11.47	12.85	14.01	16.25
4 และ 5	45	13.03	12.65	12.47	12.45	12.64	13.10	15.85	20.31	24.02	26.43	29.92	31.99	30.29	28.63	25.07	23.63	22.97	27.47	27.67	26.24	23.12	19.81	16.97	14.35
4 และ 7	55	14.76	14.70	14.67	14.67	14.70	14.78	15.12	15.17	15.95	16.36	17.11	17.78	18.07	18.22	17.58	17.19	16.96	18.24	18.69	18.14	16.89	15.74	14.90	14.88
4 และ 9	32	12.20	11.97	11.88	11.87	11.97	12.24	12.93	13.56	13.93	13.93	14.19	14.36	14.48	14.54	14.26	14.08	13.98	14.57	14.73	14.50	13.92	13.31	12.82	12.51
5 และ 6	45	38.01	37.68	37.54	37.53	37.67	38.08	38.89	39.03	38.57	37.62	37.06	36.38	36.65	36.77	37.22	37.52	37.64	37.46	36.81	37.06	37.32	37.51	37.82	37.95
6 และ 11	18	6.87	6.75	6.69	6.69	6.74	6.89	7.48	8.53	9.41	10.13	11.05	11.92	11.69	11.53	10.60	10.08	9.83	10.94	11.62	11.07	10.01	8.96	8.05	7.38
6 และ 12	32	6.14	5.92	5.82	5.80	5.91	6.18	6.88	7.81	8.13	8.20	8.46	8.64	8.59	8.56	8.23	8.05	7.95	8.42	8.62	8.41	7.97	7.50	7.10	6.57
6 และ 13	32	14.59	14.11	13.89	13.87	14.10	14.68	16.26	18.45	19.35	19.71	20.48	21.08	20.93	20.81	19.90	19.38	19.12	20.37	20.96	20.40	19.21	17.95	16.87	15.62
7 และ 8	32	18.51	17.67	17.27	17.23	17.63	18.67	20.72	24.33	22.39	20.41	18.48	16.56	16.08	15.83	16.85	17.49	17.89	16.22	15.11	15.95	17.83	19.73	21.67	19.73
7 และ 9	32	28.08	26.95	26.43	26.38	26.91	28.28	31.27	34.86	34.52	33.31	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	31.82	31.50	31.44	29.60
9 และ 10	32	4.93	4.73	4.64	4.63	4.72	4.97	5.37	5.58	5.13	4.69	4.47	4.41	4.39	4.38	4.46	4.55	4.61	4.44	4.37	4.41	4.54	4.73	5.03	4.99
9 และ 14	32	7.22	6.85	6.68	6.67	6.84	7.29	8.19	9.05	8.85	8.35	8.09	7.77	7.85	7.90	8.01	8.07	8.10	8.09	7.94	7.99	7.99	7.95	8.00	7.60
10 และ 11	12	3.75	3.71	3.70	3.69	3.71	3.75	4.05	4.69	5.43	6.16	7.03	7.87	7.64	7.49	6.66	6.19	5.97	6.93	7.56	7.06	6.15	5.27	4.51	4.06
12 และ 13	12	1.52	1.49	1.47	1.47	1.49	1.52	1.64	1.82	1.94	2.02	2.13	2.24	2.21	2.19	2.07	2.00	1.96	2.12	2.21	2.13	1.98	1.84	1.71	1.60
13 และ 14	12	4.66	4.56	4.51	4.50	4.55	4.68	5.17	6.01	6.64	7.12	7.75	8.33	8.17	8.07	7.43	7.07	6.90	7.67	8.14	7.75	7.01	6.27	5.60	5.07

ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรต่างๆของระบบแก๊ส (คิด ramp)

Node	P(bar)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
2	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63	978.63
3	894.00	900.49	908.89	906.45	896.34	873.39	877.17	857.81	852.06	851.24	854.90	852.89	855.76	871.45	867.53	865.77	856.36	849.08	828.17	813.80	819.06	832.12	856.69	878.39
4	899.34	906.40	915.75	912.80	902.13	879.99	883.16	863.01	857.58	855.22	860.11	859.14	861.89	877.08	873.38	871.76	862.75	854.65	836.91	823.48	830.03	840.03	863.53	884.54
5	833.66	839.99	847.16	846.05	835.08	800.85	807.63	784.67	775.76	783.13	781.40	773.30	777.45	800.52	794.39	791.49	777.10	771.23	726.95	702.97	704.83	737.78	776.48	809.02
6	1000.85	1006.95	1015.98	1010.00	1004.02	982.42	983.29	871.37	865.56	923.55	868.88	990.11	982.88	979.53	984.17	984.51	983.92	862.95	739.00	704.22	705.53	738.80	984.87	984.26
7	862.98	876.56	894.50	888.42	868.81	832.69	838.36	801.05	793.35	781.06	797.87	800.87	805.21	830.46	823.40	820.64	805.46	789.30	768.33	745.83	761.08	766.98	805.64	840.04
8	1014.40	1009.07	1001.96	1004.24	1011.83	1004.20	1002.57	917.36	913.13	930.72	915.15	1025.91	1015.61	1000.83	1009.58	1010.95	1016.92	911.18	780.50	745.83	762.55	806.87	1018.34	1003.25
9	939.12	944.98	952.73	947.89	941.40	908.68	912.32	790.42	778.66	851.48	785.22	912.05	905.15	907.35	910.52	909.91	905.29	774.32	603.91	549.66	545.07	612.44	905.34	913.43
10	1132.56	1133.42	1135.08	1132.43	1134.62	1120.28	1116.49	882.66	873.32	851.50	877.92	1161.92	1157.40	1115.96	1135.49	1139.77	1159.44	870.75	1058.56	903.49	912.74	1070.62	1161.56	1116.86
11	925.92	935.75	949.10	943.80	930.41	889.65	893.65	755.80	741.34	735.71	748.95	890.96	882.41	887.99	890.09	889.08	882.31	736.43	559.85	478.34	535.40	579.52	882.33	894.97
12	1089.30	1073.77	1050.29	1058.77	1082.17	1078.09	1074.19	870.83	858.07	882.29	864.11	1132.37	1126.64	1075.26	1098.86	1103.68	1128.19	854.75	1007.73	846.38	825.69	1043.10	1129.92	1074.18
13	1000.00	999.54	997.18	997.65	999.88	962.30	963.88	681.77	651.85	649.59	666.05	999.97	996.76	961.27	979.86	982.73	997.02	644.36	834.07	601.47	602.18	863.90	997.42	964.44
14	999.09	998.21	994.88	995.83	998.76	961.43	962.97	681.36	651.38	649.59	665.64	999.41	996.16	960.43	979.09	981.97	996.36	643.87	832.97	600.04	600.02	863.27	996.75	963.53
15	999.08	998.25	995.15	995.97	998.77	961.41	962.95	681.08	651.16	649.22	665.52	999.40	996.14	960.42	979.05	981.93	996.29	643.66	832.95	600.00	600.02	863.16	996.69	963.51
Node	S_i (Mm^3/day)																							
	ชั่วโมงการทำงาน																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	4.776	4.635	4.444	4.501	4.726	5.192	5.119	5.500	5.604	5.644	5.572	5.593	5.533	5.236	5.304	5.334	5.504	5.650	5.929	6.140	6.104	5.934	5.503	5.100
2	4.118	3.939	3.685	3.767	4.048	4.569	4.497	4.926	5.039	5.081	5.007	5.030	4.964	4.642	4.715	4.747	4.930	5.088	5.446	5.694	5.547	5.348	4.921	4.472
total	8.894	8.574	8.129	8.267	8.774	9.761	9.617	10.426	10.643	10.725	10.578	10.623	10.497	9.879	10.019	10.081	10.434	10.738	11.375	11.835	11.650	11.281	10.425	9.572

ตารางที่ 4.8 ปริมาณแก๊สที่ไหลในแต่ละท่อแก๊ส (คิด ramp)

Pipeline	From	To	f_{ij} (Mm^3/day)																						
			ชั่วโมงการทำงาน																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	3	4.78	4.64	4.45	4.50	4.73	5.19	5.12	5.48	5.58	5.59	5.53	5.57	5.51	5.23	5.30	5.33	5.50	5.63	5.97	6.19	6.12	5.91	5.50	5.09
2	2	4	4.12	3.94	3.68	3.77	4.05	4.57	4.50	4.92	5.03	5.08	4.98	5.00	4.95	4.63	4.71	4.75	4.93	5.09	5.41	5.64	5.53	5.36	4.91	4.47
3	3	4	-1.25	-1.32	-1.43	-1.38	-1.31	-1.38	-1.31	-1.21	-1.24	-1.05	-1.21	-1.32	-1.31	-1.27	-1.29	-1.30	-1.34	-1.25	-1.54	-1.61	-1.72	-1.47	-1.39	-1.33
4	3	5	3.46	3.47	3.53	3.48	3.49	3.73	3.66	3.71	3.77	3.57	3.71	3.85	3.83	3.69	3.73	3.76	3.85	3.80	4.25	4.39	4.47	4.12	3.88	3.66
5	4	7	2.60	2.37	2.02	2.16	2.50	2.93	2.86	3.30	3.35	3.58	3.30	3.20	3.16	2.90	2.99	3.02	3.18	3.37	3.41	3.59	3.41	3.52	3.20	2.85
6	6	9	3.45	3.47	3.52	3.48	3.48	3.72	3.66	3.66	3.77	3.57	3.71	3.84	3.82	3.68	3.73	3.75	3.84	3.80	4.25	4.39	4.47	4.12	3.87	3.66
7	8	11	2.60	2.37	2.01	2.15	2.49	2.92	2.85	3.26	3.34	3.58	3.30	3.19	3.15	2.90	2.99	3.02	3.17	3.37	3.41	3.59	3.41	3.52	3.19	2.84
8	10	13	3.44	3.46	3.51	3.47	3.47	3.72	3.65	3.63	3.77	3.57	3.71	3.83	3.81	3.67	3.72	3.74	3.83	3.79	4.22	4.37	4.44	4.10	3.86	3.65
9	12	14	2.60	2.37	2.01	2.15	2.49	2.92	2.85	3.24	3.34	3.57	3.29	3.18	3.15	2.89	2.98	3.01	3.16	3.36	3.39	3.57	3.39	3.50	3.18	2.84
10	13	14	0.29	0.35	0.46	0.41	0.32	0.28	0.28	0.16	0.17	0.00	0.16	0.22	0.23	0.27	0.26	0.26	0.24	0.17	0.29	0.28	0.34	0.22	0.24	0.28
11	13	15	0.30	0.36	0.45	0.41	0.33	0.29	0.30	0.22	0.21	0.15	0.19	0.24	0.25	0.28	0.28	0.28	0.27	0.21	0.30	0.30	0.36	0.25	0.27	0.30
12	14	15	0.02	-0.05	-0.15	-0.11	-0.03	0.03	0.04	0.13	0.11	0.14	0.08	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.07	0.11	0.04	0.05	-0.02	0.09	0.07	0.04
13	5	6	3.45	3.47	3.52	3.48	3.48	3.72	3.66	3.71	3.77	3.57	3.71	3.84	3.82	3.68	3.73	3.75	3.84	3.80	4.25	4.39	4.47	4.12	3.87	3.66
14	7	8	2.60	2.37	2.01	2.15	2.49	2.92	2.85	3.30	3.34	3.58	3.30	3.19	3.15	2.90	2.99	3.02	3.17	3.37	3.41	3.59	3.41	3.52	3.19	2.84
15	9	10	3.44	3.46	3.51	3.47	3.47	3.72	3.65	3.70	3.77	3.57	3.71	3.83	3.81	3.67	3.72	3.74	3.83	3.79	4.22	4.37	4.44	4.10	3.86	3.65
16	11	12	2.60	2.37	2.01	2.15	2.49	2.92	2.85	3.29	3.34	3.57	3.29	3.18	3.15	2.89	2.98	3.01	3.16	3.36	3.39	3.57	3.39	3.50	3.18	2.84



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 แสดงให้เห็นจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบจ่ายแก๊ส ซึ่งตัวแปรในระบบไฟฟ้าประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละบัส กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง และตัวแปรในระบบก๊าซประกอบด้วยปริมาณก๊าซที่ผลิตจากแหล่งผลิตแก๊ส ความต้องการก๊าซที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ความดันของก๊าซที่แต่ละโนด ปริมาณของก๊าซที่ไหลในท่อส่งก๊าซแต่ละท่อ ซึ่งตัวแปรต่างๆมีค่าอยู่ในขอบเขตและเป็นไปตามข้อจำกัดทั้งฝั่งระบบไฟฟ้าและฝั่งระบบก๊าซ และนำค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าแต่ละตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของก๊าซธรรมชาติจะทำงานมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ใช่ก๊าซธรรมชาติเพราะราคาการผลิตถูกกว่าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซที่บัส 3 จะทำงานมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซที่บัส 2 ในช่วงแรกเนื่องจากว่าราคาการผลิตของที่บัส 3 นั้นถูกกว่าและเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ทำงานถึงพิกัดสูงสุดจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นเดินเครื่องมากขึ้นส่วนในช่วงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ทำงานลดลงนั้นเนื่องจากข้อจำกัดของสายส่งซึ่งกระบวนการที่ทำสอดคล้องตามวิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดย่างประหยัด (Economic Dispatch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กรณีศึกษาระบบจำลอง

การจำลองเหตุการณ์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องผลิตไฟฟ้าจนถึงพิกัดสูงสุดจะเกิดผลกระทบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ โดยมีค่าตัวแปรต่างๆดังตาราง 4.5 เมื่อพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องเป็นดังตารางที่ 4.6

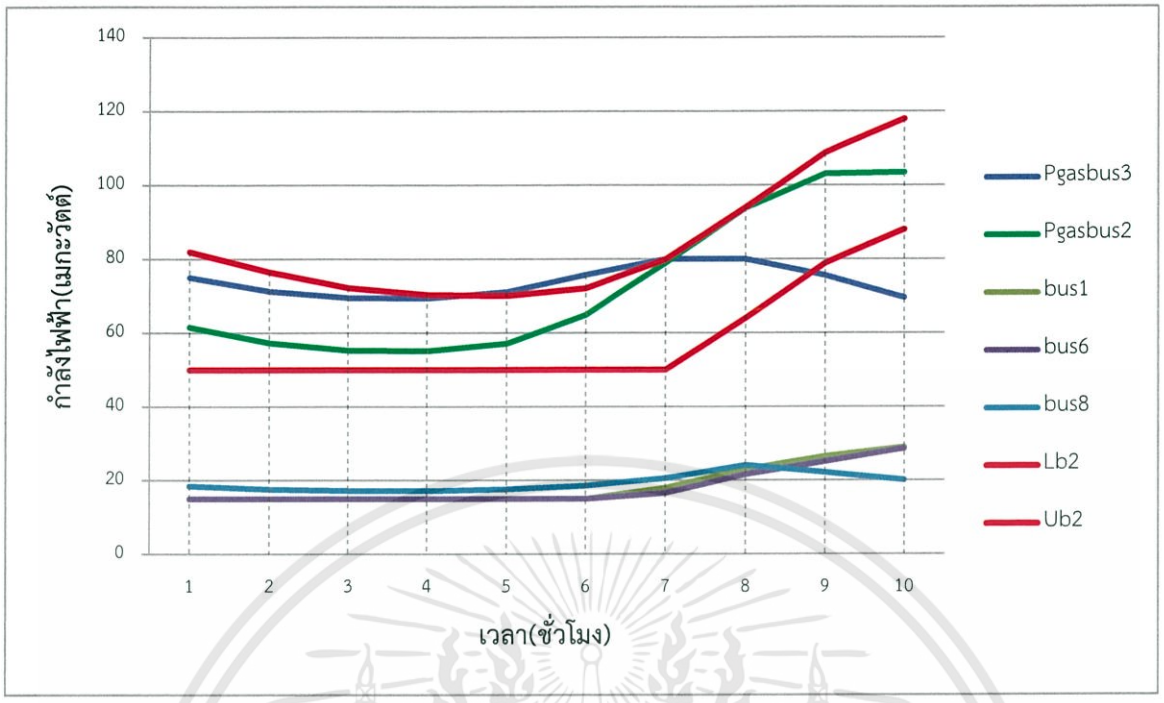
ตารางที่ 4.9 ค่าตัวแปรต่างๆในระบบไฟฟ้าจำลอง

	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า1 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 (MW)	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5 (MW)
hr.1	75.007	61.515	15	15	18.442
hr.2	71.29024	57.27067	15	15	17.607
hr.3	69.56205	55.3	15	15	17.216
hr.4	69.38099	55.086	15	15	17.179
hr.5	71.14666	57.105	15	15	17.575
hr.6	75.6838	64.873	15	15	18.594
hr.7	80	78.987	17.95	16.587	20.594
hr.8	80	93.824	22.984	21.62	24.128
hr.9	75.532	103.037	26.486	25.122	22.126
hr.10	69.531	103.473	29	28.623	20.125

ตารางที่ 4.10 พิกัดสูงสุด-พิกัดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 3	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 6	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 8
ค่าต่ำสุด (MW)	20	50	15	15	10
ค่าสูงสุด (MW)	80	200	50	50	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงที่โหลดมีการเพิ่มขึ้นมี ramp

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 นำมาพล็อตข้อมูลและหาขอบเขตการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 (ramp) จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อกราฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ทำงานถึงขอบเขตบนในช่วงเวลานั้นเป็นช่วงที่ความต้องการของโหลดมากขึ้นตามรูปที่ 4.2 และเป็นช่วงเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ทำงานถึงพิกัดสูงสุดของเครื่องตามตารางที่ 4.10 ในช่วงที่มีการทำงานจนถึงขอบเขตเกิดจากการที่ความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการที่มีขอบเขตการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ลดการ Shutdown losses เช่น Machine Breakdown, Process Setup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โปรแกรมที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบเจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อนำโปรแกรมที่จัดทำขึ้นไปหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่อกับระบบจ่ายแก๊ส 15 node 16 pipeline โปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถหาจุดทำงานที่เหมาะสมโดยมีการทำงานเป็น 24 ชั่งโง มีราคาในการดำเนินการทั้งหมดอยู่ในช่วง 1400 $ ถึง 2200 $ ต่อชั่วโมงตามการเปลี่ยนแปลงตามกราฟของโหลดตามรูปที่ 4.1

จากการวิเคราะห์ค่าตามรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อความต้องการไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาการผลิตไฟฟ้าต่ำจะทำงานมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาการผลิตไฟฟ้าต่ำจะทำงานจนถึงพิกัดเครื่องจึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆทำงานมากขึ้น ดังนั้นจะสอดคล้องกับนิยามของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ ต้องการหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของระบบโดยมีค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะเป็นผลดีกับในอนาคตเนื่องจากการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่านั้นจะทำให้มีทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตเหลือปริมาณที่มากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถปรับปรุงขอบเขตการทำงานของระบบแก๊สดังกล่าวให้มีการควบคุมปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยได้
2. สามารถนำวิธีการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายใต้ข้อจำกัดของตัวแปรสถานะระบบกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานได้เหมาะสมยิ่งขึ้น
3. สามารถนำกราฟของโหลดไฟฟ้าที่ปรับปรุงให้เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าในอนาคตมาประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **สำนักนโยบายพลังงาน, แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย [ออนไลน์], 30 มิถุนายน 2558. แหล่งที่มา** http://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/pdp

[2] **Goldberg, D.E. 1989.** "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", **Massachusetts, Addison-Wesley.**

[3] **ฐิติพร พงศ์กิดาการ และ ดุลพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์,** "Economic Dispatch using Cuckcoo Search Algorithm", **2557, หน้า 58-59**

[4] **รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,** "ระบบไฟฟ้ากำลัง Power System", **2552, หน้า 2-5 ถึง 2-7**

[5] **อภิรักษ์ ขัดวิลาศ,** "การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด Application of Genetic Algorithm for Optimization Problems", **2554, หน้า 1-11**

[6] **Clodomiro Unsihuay, J. W. Marangon Lima (SM), A. C. Zambroni de Souza (SM),** "Modeling the Integrated Natural Gas and Electricity Optimal Power Flow", **in Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1-7.**

[7] Daniel De Wolf, and Yves Smeers, "The gas transmission problem solved by and extension of the Simplex algorithm," **Management Science**, Vol. 46, 2000, pp. 1454-1465

[8] **สำนักนโยบายพลังงาน, การใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย [ออนไลน์], 2554.** แหล่งที่มา http://www2.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/(24).pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังร่วมกับระบบส่งก๊าซธรรมชาติ

A Study On Optimization For Managing Electric Power And Natural Gas System

กวิน ไกรญาณสม กันตภณ จินากุล เกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี และ คมกฤช ปานผาสุข
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: komkris.vs@gmail.com

บทคัดย่อ

พลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้เพิ่มมากขึ้นดังนั้นจึงต้องผลิตไฟฟ้าให้คุ้มค่ามากที่สุด ส่วนในประเทศไทยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีอัตราส่วนการใช้มากที่สุดดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊สเพื่อหาจุดเหมาะสมซึ่งในบทความฉบับนี้จะใช้กระบวนการ Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหาระบบทั้งสองเพื่อที่จะส่งผลให้ต้นทุนเชื้อเพลิงการผลิตมีค่าต่ำที่สุดภายใต้ขอบเขตของการศึกษาที่ระบุไว้

ABSTRACT

Electrical energy is necessary for human life and trend to be higher number of using in the future. For that reason, worthily produce electricity is required. Natural gas is the highest fuel usage ratio in Thailand. This paper presents Genetic Algorithm to analyze relationship of power system that connected with gas system for finding the most suitable point and solve problem of power and gas system to make capital fuel cost reach the lowest value.

1. บทนำ

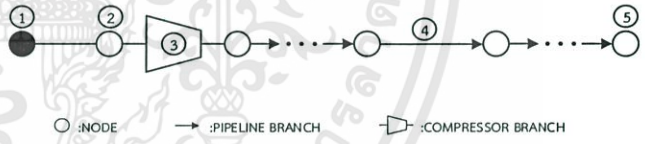
จากบทความข้างต้นจะพบว่าประเทศไทยมีการพึ่งพาแก๊สธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องมีโปรแกรมจำลองของทั้งสองระบบที่เชื่อมต่อกันสำหรับหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและการส่งจ่ายแก๊ส เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุด

โดยระบบตัวอย่างที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline ซึ่งในส่วนของระบบแก๊สจะถูกจำลองให้เป็นระบบอย่างง่ายไม่มีการนำสมการคอมเพรสเซอร์และลักษณะการวางท่อส่งจ่ายมาร่วมพิจารณา ซึ่งการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังกล่าวสามารถจะใช้กระบวนการGenetic Algorithm

2. หลักการทำงานและการออกแบบจำลอง

2.1 ระบบส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติ

แก๊สธรรมชาติจะถูกส่งมาจากผู้ผลิตแก๊สให้กับลูกค้าในสถานที่ต่างๆระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยผู้ผลิตแก๊ส ลูกค้า สถานีคอมเพรสเซอร์ และท่อส่ง ซึ่งแสดงเป็นแบบจำลองดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติ

แบบจำลองระบบส่งจ่ายแก๊สธรรมชาติประกอบไปด้วย หมายเลข 1 แสดง แหล่งผลิตแก๊สธรรมชาติหมายเลข 2 แสดง ผู้ผลิต หรือผู้ส่งจ่ายแก๊สหมายเลข 3 แสดง ท่อส่งแก๊สที่มีการติดตั้งสถานีคอมเพรสเซอร์เข้าไปเรียกว่า การส่งจ่ายแก๊สแบบ activeหมายเลข 4 แสดง ท่อส่งแก๊สที่ไม่มีการติดตั้งสถานีคอมเพรสเซอร์เข้าไป เรียกว่า การส่งจ่ายแก๊สแบบ passive หมายเลข 5 แสดง ผู้บริโภคแก๊ส

ลักษณะการส่งจ่ายแก๊สผ่านท่อส่งจ่ายจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ แบบ passive และแบบ active

แบบ passive ทิศทางการไหลจะขึ้นอยู่กับความดันระหว่างโนด ซึ่งสามารถหาค่าอัตราการไหลของแก๊สได้จากสมการ

$$f_{ij}^2 = C_{ij}^2(p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_p \qquad (1)$$

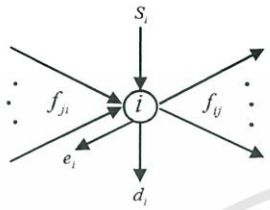
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ active ลักษณะการส่งจ่ายแก๊สจะเสมือนมีสถานีคอมเพรสเซอร์ติดตั้งอยู่ที่ท่อส่งจ่าย เพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลของแก๊ส ซึ่งจะไม่ขึ้นกับความดันระหว่างโนด ซึ่งสามารถหาค่าอัตราการไหลของแก๊สได้จากสมการ

$$f_{ij}^2 \geq C_{ij}^2(p_i^2 - p_j^2); \forall (i,j) \in A_a \quad (2)$$

$$f_{ij} \geq 0; \forall (i,j) \in A_a \quad (3)$$

ความสมดุลของระบบส่งจ่ายแก๊ส



รูปที่ 2 ความสมดุลของระบบส่งจ่ายแก๊สที่โนด i ใดๆ

จากรูปที่ 2 สามารถเขียนสมการการไหลของแก๊สได้ดังนี้

$$s_i + \sum_{j(j,i)\in\varnothing} f_{ji} = d_i + e_i(P_{G,k}) + \sum_{j(j,i)\in\varnothing} f_{ij}; \forall (i,j) \in N_N \quad (4)$$

ผลรวมของความต้องการพลังงานที่โนด i กับผลรวมอัตราการไหลของแก๊สจากโนด j ไปยังโนด i ใดๆ มีค่าเท่ากับ ผลรวมของความต้องการพลังงานที่โนด i การบริโภคแก๊สของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับโนด i และผลรวมอัตราการไหลของแก๊สจากโนด i ไปยังโนด j ใดๆ โดยค่าความสัมพันธ์ของการบริโภคแก๊สของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(e_i) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

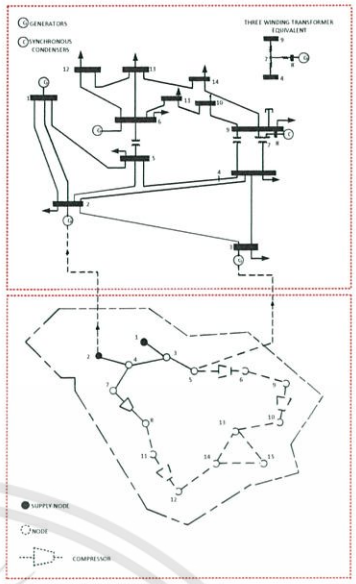
$$e_i(P_{G,i}) = K_{2,i}P_{G,i}^2 + K_{1,i}P_{G,i} + K_{o,i}; \forall i \in N_N \quad (5)$$

2.2 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ ปัญหาที่ต้องการหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของระบบโดยมีค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ดังนั้นปัญหาการจ่ายโหลดประหยัดจึงเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมโดยมีฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย

2.3 การไหลของกำลังไฟฟ้าและแก๊สอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส

จากรูปที่ 3 เป็นระบบตัวอย่างที่ใช้สำหรับกรณีศึกษา ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าIEEE 14 บัสที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline



รูปที่ 3 ระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊ส

รูปที่ 3 เมื่อนำมาพิจารณาภายใต้ขอบเขตการศึกษาที่ไม่มีการนำสมการคอมเพรสเซอร์มาคำนวณร่วม จะได้สมการสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้ราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงมีค่าต่ำที่สุดได้ดังต่อไปนี้

ก. สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์(Objective function)

$$f = (\sum_{i\in N_{Re}} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) + \sum_{i\in N_s} g_i s_i) \quad (6)$$

ข. สมการขอบเขตของตัวแปรควบคุม

$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad (7)$$

$$\delta_{i,\min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,\max} \quad (8)$$

$$P_{G_{i,\min}} \leq P_{G_i} \leq P_{G_{i,\max}} \quad (9)$$

$$Q_{G_{i,\min}} \leq Q_{G_i} \leq Q_{G_{i,\max}} \quad (10)$$

$$s_{i,min} \leq s_i \leq s_{i,\max}; \forall i \in N_s \quad (11)$$

$$p_{i,\min} \leq p_i \leq p_{i,\max}; \forall i \in N_N \quad (12)$$

ค. สมการข้อจำกัดของปัญหา

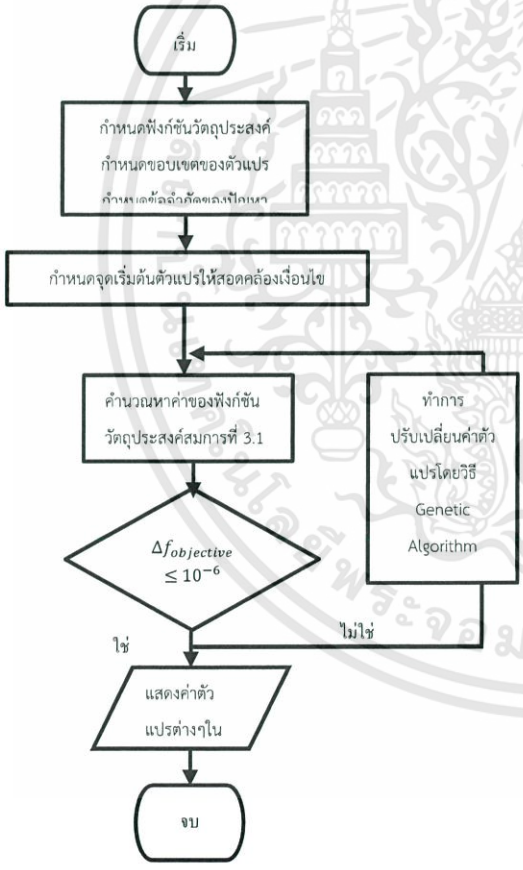
$$P_i = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (13)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \quad (14)$$

และสมการที่ (1), (2) และ (3) ส่วนสมการที่ (4) เป็นสมการแสดงกฎอนุรักษ์พลังงานของระบบแก๊สและเป็นสมการที่เชื่อมความสัมพันธ์ของระบบทั้งสองหลักการทำงานของโปรแกรมจำลองระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบแก๊สเริ่มจากการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งในแบบจำลองดังกล่าวจะกำหนดให้สมการราคาต้นทุนการผลิตเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อีกทั้งยังต้องกำหนดขอบเขตของตัวแปรควบคุมและกำหนดข้อจำกัดของปัญหาต่างๆ เพื่อให้ผลลัพธ์ของตัวแปรมีความสัมพันธ์กันตามสมการและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

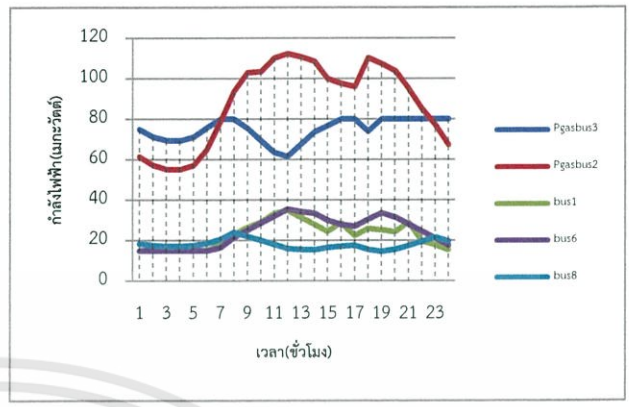
ขั้นต่อมาต้องกำหนดค่าตัวแปรควบคุมเริ่มต้นสำหรับกระบวนการคำนวณในรอบแรก หลังจากกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น โปรแกรมจะดำเนินการคำนวณเพื่อหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อนำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ในการคำนวณรอบต่อไปถ้าค่าผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์(Δf) มีค่าต่ำกว่า 10^{-6} โปรแกรมจะหยุดกระบวนการคำนวณซ้ำ และแสดงผลค่าตัวแปรต่างๆของระบบ เป็นอันจบขั้นตอนการคำนวณ แต่กรณีที่ผลลัพธ์จากผลต่างดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด โปรแกรมจะดำเนินกระบวนการทำซ้ำ โดยจะสุ่มค่าตัวแปรควบคุมเริ่มต้นค่าใหม่และทำการวนลูปเหมือนเดิมจนกว่าจะได้ค่าตัวแปรควบคุมที่ส่งผลให้ ผลต่างของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหา

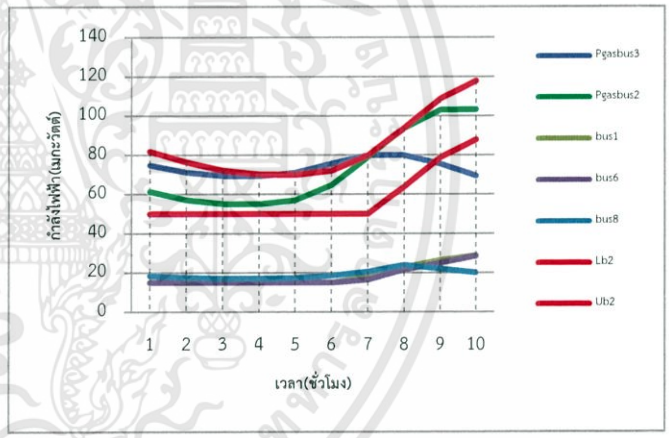
3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

นำโปรแกรมที่จัดทำขึ้นมาใช้กับระบบตัวอย่างระบบไฟฟ้าIEEE 14 บัสที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแก๊ส 15 node 16 pipeline โดยใช้สมการที่ (1) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดซึ่งจะได้ค่าตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การจำลองเหตุการณ์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องผลิตไฟฟ้าจนถึงพิกัดสูงสุดจะเกิดผลกระทบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจะได้ค่าตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยคิด ramp

4. สรุป

โปรแกรมที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบเจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อนำโปรแกรมที่จัดทำขึ้นไปหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสที่เชื่อมต่อกับระบบจ่ายแก๊ส 15 node 16 pipeline โปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดได้ จากนั้นวิเคราะห์ค่าที่ได้พบว่าเมื่อความต้องการไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาการผลิตไฟฟ้าต่ำจะทำงานมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาการผลิตไฟฟ้าต่ำจะทำงานจนถึงพิกัดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆทำงานมากขึ้น ดังนั้นจะสอดคล้องกับนิยามของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ ต้องการหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของระบบโดยมีค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะเป็นผลดีกับในอนาคตเนื่องจากการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่านั้นจะทำให้มีทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตเหลือปริมาณที่มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] **อภิรักษ์ ขัดวิลาศ**, "การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด Application of Genetic Algorithm for Optimization Problems", **2554, หน้า 1-11**

[2] **Goldberg, D.E. 1989.** "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", **Massachusetts, Addison-Wesley.**

[3] **Clodomiro Unsihuay, J. W. Marangon Lima (SM), A. C. Zambroni de Souza (SM),** "Modeling the Integrated Natural Gas and Electricity Optimal Power Flow", **in Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1-7.**

นายกวิน ไกรญาณสม
วัน/เดือน/ปีเกิด 6 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 101/77 หมู่ 3 ตำบลปากเกร็ด
อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
Email : kawinclusive@gmail.com

นายกันตภณ จินากุล
วัน/เดือน/ปีเกิด 16 กันยายน 2537
ที่อยู่ 37 ซอย 22 ถนนราเมศวร ตำบล
คูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
93000
Email :. Kanasdf1234@gmail com

นายเกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
วัน/เดือน/ปีเกิด 29 มีนาคม 2538
ที่อยู่ 40 หมู่บ้านยอดมนัส 3 ซอยบาง
พรม 37 ถนนบางพรม เขตตลิ่งชัน แขวง
บางพรม จังหวัดกรุงเทพ 10170
Email : fordd5420@hotmail.com

นายคมกฤช ปานผาสุข
วัน/เดือน/ปีเกิด 12 ธันวาคม 2537
ที่อยู่ 86-87 หมู่ 2 ตำบลวังขนาย อำเภอ
ท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี 71110
Email. Komkris.vs@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลรับเข้าของระบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากาลัง IEEE 14 Bus

```
%        IEEE 14-BUS TEST SYSTEM (American Electric Power)
%        Bus Bus  Voltage Angle   ---Load----  -------Generator----- Injected
%        No  code Mag.    Degree  MW    Mvar   MW    Mvar  Qmin Qmax  Mvar
busdata=[1   1    1.06    0.0     0.0   0.0    0.0   0.0   0    0     0   1   0
         2   2    1.045   0.0    21.70  12.7   40.0   0.0 -40   50     0   0   1
         3   2    1.0     0.0    94.2   19.0    0.0   0.0   0   40     0   0   1
         4   0    1.06    0.0    47.8   -3.9    0.0   0.0   0    0     0   0   0
         5   0    1.01    0.0     7.6    1.6    0.0   0.0   0    0     0   0   0
         6   2    1       0.0    11.2    7.5    0.0   0.0  -6   24     0   0   0
         7   0    1       0.0     0.0    0.0    0.0   0.0   0    0     0   0   0
         8   2    1       0.0     0.0    0.0    0.0   0.0  -6   24     0   0   0
         9   0    1       0.0    29.5   16.6    0.0   0.0   0    0    19   0   0
        10   0    1       0.0     9.0    5.8    0.0   0.0   0    0     0   0   0
        11   0    1       0.0     3.5    1.8    0.0   0.0   0    0     0   0   0
        12   0    1       0       6.1    1.6    0     0     0    0     0   0   0
        13   0    1       0      13.5    5.8    0     0     0    0     0   0   0
        14   0    1       0      14.9    5.0    0     0     0    0     0   0   0];
```

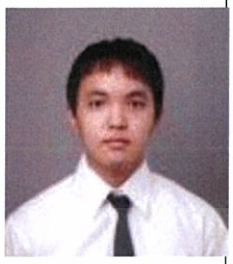
รูปที่ ก.1 ข้อมูลพื้นฐานในแต่ละบัส

```
%                    Line code
%       Bus Bus R          X          1/2 B     = 1 for lines
%       nl  nr  p.u.       p.u.       p.u.      > 1 or < 1 tr. tap at bus nl
linedata=[1  2   0.01938    0.05917    0.0528    1
          1  5   0.05403    0.22304    0.0492    1
          2  3   0.04699    0.19797    0.0438    1
          2  4   0.05811    0.17632    0.0374    1
          2  5   0.05695    0.17388    0.034     1
          3  4   0.06701    0.17103    0.0346    1
          4  5   0.01335    0.04211    0.0128    1
          4  7   0          0.20912    0         0.978
          4  9   0          0.55618    0         0.969
          5  6   0          0.25202    0         0.932
          6 11   0.09498    0.1989     0         1
          6 12   0.12291    0.25581    0         1
          6 13   0.06615    0.13027    0         1
          7  8   0          0.17615    0         1
          7  9   0          0.11001    0         1
          9 10   0.03181    0.08450    0         1
          9 14   0.12711    0.27038    0         1
         10 11   0.08205    0.19207    0         1
         12 13   0.22092    0.19988    0         1
         13 14   0.17093    0.34802    0         1];
```

รูปที่ ก.2 ข้อมูลลักษณะการเชื่อมต่อในแต่ละบัส ค่าความต้านทาน และอัตราส่วนรอบของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

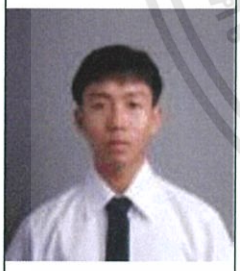
ประวัติผู้เขียน



นายกวิน ไกรญาณสม
วัน/เดือน/ปีเกิด 6 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 101/77 หมู่ 3 ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
Email : kawinclusive@gmail.com

นายกันตภณ จินากุล
วัน/เดือน/ปีเกิด 16 กันยายน 2537
ที่อยู่ 37 ซอย 22 ถนนราเมศวร ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000
Email : Kanasdf1234@gmail.com

นายเกียรติ์สรณ์ พรหมภักดี
วัน/เดือน/ปีเกิด 29 มีนาคม 2538
ที่อยู่ 40 หมู่บ้านยอดมนัส 3 ซอยบางพรม 37 ถนนบางพรม เขตตลิ่งชัน
แขวงบางพรม จังหวัดกรุงเทพ 10170
Email : fordd5420@hotmail.com



นายคมกฤช ปานผาสุข
วัน/เดือน/ปีเกิด 12 ธันวาคม 2537
ที่อยู่ 86-87 หมู่ 2 ตำบลวังขนาย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี 71110
Email. Komkris.vs@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้