

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยเจเนติกอัลกอริทึม

Power System Stability Using Genetic Algorithm

โดย

นายรัชชะ สัตยสมบูรณ์ 39014428

นายวรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล 39014458

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

อ.เชาว์ ชมภูอินไหว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมึก.....
เลขทะเบียน..... 37013
วัน, เดือน, ปี..... 30 ต.ค. 2543

ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2542

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเจเนติกอัลกอริทึม


ผู้จัดทำ



1. นายรัชชะ สัตย์สมบูรณ์

2. นายวรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.มณฑล สิตาจินดาไกรฤกษ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.เชาว์ ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยเจเนติกอัลกอริทึม

นาย รัชชะ สัตยสมบุญ  
 นาย วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล  
 รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
 อ. เซาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2542

### บทคัดย่อ

เจเนติกอัลกอริทึม เป็นวิธีการจำลองวิวัฒนาการทางธรรมชาติในทางชีววิทยา โดยนำตัวแปรที่เราสนใจของอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ จัดให้อยู่ในรูปของโครงสร้างโครโมโซม แล้วนำเข้าสู่กระบวนการคัดเลือก และ กระบวนการทางพันธุกรรม โครโมโซมที่เหมาะสมจะคัดเลือกจากโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด และ ถูกนำไปใช้เป็นรูปแบบของของตัวรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป ปริมาณพันธุกรรมนี้เป็นการนำเสนอ การใช้อุปกรณ์ควบคุมชนิดไฮบริดเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีการของ เจเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของอุปกรณ์ควบคุมแต่ละชนิด

## Power System Stability Using Genetic Algorithm

Ratcha Sattayasomboon

Worawat Thawornphisankul

Assc.Prof. Monthol Leelajindakraierk Advisor

Lecturer Chow Chompoo-inwai Advisor

1999

### Abstract

The Genetic Algorithm emulate the natural biological evolution. In this application the tuning parameters from the controllers are coded into the chromosome structure. The best elitist chromosome are selected from a high fitness chromosome which is used to be the uniform of power system stabilizers. This pre-thysis present the method to design Hybrid-type Controller to improving Power System Stability using Genetic Algorithm. The result of proposed method make the system converge to stability more powerful and faster than the old one.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา	3
<b>บทที่ 2 เจเนติกอัลกอริทึม</b>	<b>5</b>
2.1 เจเนติกอัลกอริทึมเบื้องต้น	5
2.2 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม	7
2.3 รูปแบบโครโมโซม	7
2.4 วิจัยกรเจเนติกอัลกอริทึม	8
2.5 เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย	9
<b>บทที่ 3 ระบบจำลอง</b>	<b>16</b>
3.1 ระบบจำลอง	16
3.2 สมการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส	20
3.3 นิยามสภาวะการรบกวนและการวิเคราะห์โครงข่ายอิมพีแดนซ์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ระบบควบคุม	33
4.1 SPID	33
4.2 อุปกรณ์ควบคุมแบบฟัซซี่ ( Fuzzy control : FL)	36
4.3 อุปกรณ์ควบคุมแบบ $\Delta P$ -PSS ( $\Delta P$ -PSS for small disturbance )	39
4.4 อุปกรณ์กลไกช่วยการตัดสินใจแบบฟัซซี่ ( Fuzzy Judgement Mechanism : FJ)	43
บทที่ 5 การออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบและโปรแกรมเจเนติก	45
5.1 การออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบ	45
5.2 การออกแบบโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม	52
บทที่ 6 การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง	57
6.1 การทดลองที่ 1	57
6.2 การทดลองที่ 2	60
6.3 การทดลองที่ 3	79
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
7.1 สรุปผลการทดลอง	80
7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	80
7.3 ข้อดีข้อจำกัดของโปรแกรม	81
7.4 ข้อเสนอแนะ	81
กิตติกรรมประกาศ	ณ
เอกสารอ้างอิง	ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.2	64
6.2 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.3	64
6.3 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.4	71
6.4 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.5	72
6.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 3 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรม เจเนติกอัลกอริทึมและวิธีไฮเทอร์เรชัน	79
6.6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 9 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรม เจเนติกอัลกอริทึมและวิธีไฮเทอร์เรชัน	79

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรเจนตிகัลกอร์ทิม	9
2.2 การคัดเลือกแบบวงล้อเลข	11
2.3 การครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด	12
2.4 การครอสโอเวอร์แบบหลายจุด	12
2.5 การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม	12
2.6 การมิวเทชัน	13
2.7 โพลีชาร์ทของโปรแกรม เจนตிகัลกอร์ทิม	15
3.1 ระบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์	16
3.2 Block Diagram ของ AVR	16
3.3 Block Diagram ของ AVR ที่จัดรูปส่วนป้อนกลับใหม่	18
3.4 Block Diagram ของ GOV	19
3.5 ระบบบัสอนันต์ที่ลดเหลือรูปอย่างง่าย	22
3.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีส่งกำลังไฟฟ้าสู่โครงข่ายไฟฟ้ากำลัง	26
3.7 การลดรูปวงจรสมมูลย์	32
4.1 ระบบควบคุม	33
4.2 Block Diagram ของ SPID	33
4.3 เฟสเพลน ( phase plane ) ที่มีการเลื่อนแกน	38
4.4 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ $\theta_r$	38
4.5 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ $D_r$	38
4.6 Block Diagram ของ $\Delta P$ -PSS	39
4.7 Block Diagram ของ $\Delta P$ -PSS ที่ทำการปรับปรุง	39
4.8 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ FJ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 Block Diagram ของ SPID	45
5.2 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ $\theta_r$	46
5.3 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ $D_r$	46
5.4 Block Diagram ของ $\Delta P$ -PSS	47
5.5 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ FJ	48
5.6 โฟลว์ชาร์ตการหาค่ามุม $\theta$	49
5.7 โฟลว์ชาร์ตการหาค่า $\mu_n$	50
5.8 โฟลว์ชาร์ตการหาค่า $\mu_g$	51
5.9 การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม	52
5.10 การมิวเทชัน	53
5.11 โฟลว์ชาร์ตของการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม	55
5.12 โฟลว์ชาร์ตของการมิวเทชัน	56
6.1 กราฟของ $\Delta V$ ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย	58
6.2 กราฟของ $\Delta \omega$ ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	58
6.3 กราฟของ $\Delta V$ ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	59
6.4 กราฟของ $\Delta P$ ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	59
6.5 กราฟของ $\Delta \omega$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย	61
6.6 กราฟของ $\Delta V$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย	61
6.7 กราฟของ $\Delta P$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย	62
6.8 กราฟของ $\Delta \omega$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	62
6.9 กราฟของ $\Delta V$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	63
6.10 กราฟของ $\Delta P$ ของ3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง	63
6.11 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2	65
6.12 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.13 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2	67
6.14 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3	68
6.15 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3	69
6.16 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3	70
6.17 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4	73
6.18 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4	74
6.19 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4	75
6.20 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5	76
6.21 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5	77
6.22 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5	78

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้มีการนำเอาอุปกรณ์หลายชนิดและวิธีการควบคุมแบบต่างๆมาใช้เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถเข้าสู่เสถียรภาพได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ตัวอย่างของการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังก็เช่น การใช้อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้า เสมือนแบบสถิตย์ (Static Var Compensator : SVC) ในการควบคุมสายส่งระยะไกล การใช้ตัวรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer : PSS) แบบต่างๆ การใช้ทฤษฎีฟuzzy เพื่อช่วย ในการหาสัญญาณควบคุม ให้กับอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอุปกรณ์ควบคุมของการรักษาเสถียรภาพแบบเดิมนั้นจะใช้วิธีการแทนค่าทุกค่าในช่วงของค่าตัวแปรนั้นๆแล้วนำค่าที่ดีที่สุดมาใช้ ทำให้ใช้เวลานาน ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม

เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งวิธีการหาค่าตัวแปรโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมนั้น ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีอื่นๆและยังมีความหลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นวิธีการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในอนาคต

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การนำเอาเจเนติกอัลกอริทึมมาช่วยในการออกแบบหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรสำหรับแต่ละอุปกรณ์ควบคุม โดยทดลองกับระบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลัง มีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อการพัฒนาและการออกแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมแบบต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ภายใต้สภาวะการรบกวนแบบเล็กน้อย และการ รบกวนแบบรุนแรง
3. เพื่อเปรียบเทียบการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้วิธีที่ดีที่สุดที่จะ นำไปใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันและอนาคตได้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซิงโครนัสเดียวต่ออยู่กับบัสอนันต์ระบบสายส่งคู่ โดยใช้อุปกรณ์ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแบบไฮบริด (Hybrid) และใช้เทคนิคอัลกอริทึมในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ ตัวแปรของแต่ละอุปกรณ์ควบคุม เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการรบกวนแบบเล็กน้อยและ การรบกวนแบบรุนแรง

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาต่างๆ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อ ได้ดังนี้

1. ศึกษาระบบจำลองและระบบควบคุม ซึ่งประกอบด้วย
  - (1.1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเดียวต่อกับบัสอนันต์ระบบสายส่งคู่
  - (1.2) อุปกรณ์ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน ไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR) และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GOV)
  - (1.3) อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริด ประกอบด้วย  $\Delta P$ -PSS , SPID , Fuzzy Logic Control (FJ) และ Fuzzy Judgement (FJ)
2. ศึกษาหลักการของการรักษาเสถียรภาพโดยวิธีการต่างๆ
3. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและการใช้เทคนิคอัลกอริทึม
4. ศึกษาและทดลองการใช้โปรแกรมภาษาC และ C++
5. สรุปหลักการ
6. ออกแบบโปรแกรม
7. ทดสอบโปรแกรม
8. เปรียบเทียบผลการทดลอง
9. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การใช้เทคนิคอัลกอริทึมทำให้ลดเวลาในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งวิธีเดิมจะใช้การแทนค่าทุกค่าของตัวแปรทำให้เสียเวลามากและยุ่งยาก
2. การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริด ทำให้สามารถควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง ให้เข้าสู่เสถียรภาพได้ทั้งการรบกวนแบบเล็กน้อยและการรบกวนแบบรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การจำลองระบบไฟฟ้ากำลังและการรบกวน ลงบนคอมพิวเตอร์ทำให้เราสามารถรู้ถึงปัญหาและสามารถแก้ไขได้ง่าย อีกทั้งนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังในความเป็นจริงได้

## 1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

### 1.6.1 สัญลักษณ์

- $\delta$  = มุมถ่ายโอนกำลัง (Power angle : rad)
- $\theta_m$  = มุมทางกลของ โรเตอร์ (Mechanical angle of Rotor : rad)
- $\omega$  = ความเร็ว (Speed : rad/s)
- $\omega_0$  = ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed : rad/s)
- $\omega_m$  = ความเร็วเพลารอเตอร์ (Rotor shaft velocity : rad/s)
- $\phi_d$  = ฟลักซ์แม่เหล็กในแกน d (d-axis flux)
- $\phi_q$  = ฟลักซ์แม่เหล็กในแกน q (q-axis flux)
- $\phi_f$  = ฟลักซ์แม่เหล็กในขดลวดฟิลด์ (field flux)
- B = ซัสเซปแตนซ์ (susceptance)
- D = สัมประสิทธิ์แดมป์ (Damping coefficient)
- $i_d$  = กระแสในแกน d (d-axis current)
- $i_q$  = กระแสในแกน q (q-axis current)
- I = โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia)
- J = ดัชนีการทำงาน (Performance index)
- $K_A$  = เกนของเอ็กซไซเตอร์ (Exciter gain)
- $K_r$  = เกนของลูปป้อนกลับสำหรับควบคุมแรงดัน (voltage control feedback loop gain)
- $K_s$  = เกนของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์ (SVC gain)
- M = ค่าคงที่ความเฉื่อย (inertia constant : pu-s<sup>2</sup> / elec.degree)
- $P_e$  = กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Electrical power output : pu)
- $P_i$  = กำลังไฟฟ้าอินพุต (Electrical power input : pu)
- $P_0$  = กำลังกลเอาต์พุต (Mechanical power output ; pu)
- $T_a$  = ทอร์กเร่ง (Accelerating torque ; pu)
- $T_A$  = ค่าคงที่เวลาเอ็กซไซเตอร์ (exciter time constant : s)
- $T_c$  = ค่าคงที่เวลาตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์ (SVC time constant : s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ค่าคงที่เวลาเปิดวงจรถดลวดฟิลด์ (open circuit time constant of the field) ไม่ควรถูกแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $T_c$  = ทอร์กไฟฟ้าเอาต์พุต(electrical torque output : pu)  
 $T_i$  = ทอร์กไฟฟ้าอินพุต(electrical torque : pu)  
 $T_r$  = ค่าคงตัวเวลาป้อนกลับควบคุมแรงดัน(voltage control feedback loop time constant : s)  
 $T_g$  = ค่าคงตัวเวลาเกต(gate time constant : s)  
 $T_m$  = ค่าคงตัวเวลาวงจรวัด (measuring circuit time constant : s)  
 $T_r$  = ค่าคงตัวเวลาวงจรีเซ็ต(reset circuit time constant : s)  
 $T_t$  = ค่าคงตัวเวลาเทอร์ไบน์(turbine time constant : s)  
 $T_v$  = ค่าคงตัวเวลาวงจรวัดของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์(measuring circuit time constant of SVC : s)  
 $V_c$  = แรงดันที่ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์(SVC voltage)  
 $V_d$  = แรงดันในแกน d (d-axis voltage)  
 $V_q$  = แรงดันในแกน q (q-axis voltage)  
 $V_f$  = แรงดันขดลวดฟิลด์(field voltage)  
 $V_0$  = แรงดันที่บัสอนันต์(Infinite bus voltage)  
 $V_t$  = แรงดันที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Terminal voltage)  
 $X_d$  = ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ในแกน d(Synchronous reactance d-axis : pu)  
 $X_q$  = ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ในแกน q(Synchronous reactance q-axis : pu)  
 $X_d'$  = ทรานเซียนท์รีแอกแตนซ์ในแกน d (Transient reactance d-axis : pu)  
 $X_q'$  = ทรานเซียนท์รีแอกแตนซ์ในแกน q (Transient reactance q-axis : pu)

### 1.6.2 คำย่อ

- AVR = ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator)  
 GA = เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)  
 GOV = ตัวควบคุมความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Governor)  
 PSS = ตัวควบคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Stabilizer)  
 FL = อุปกรณ์ควบคุมแบบฟัซซี่(Fuzzy Controller)  
 FJ = กลไกการตัดสินใจแบบฟัซซี่(Fuzzy Judgement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### เจเนติกอัลกอริทึม

ในปัจจุบัน ปัญหาที่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด(Optimum Solution)ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์ หรือแม้การทำงานต่างๆที่เกิดขึ้นนั้น คำตอบที่ต้องการสามารถหาได้หลายหลากวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปัญหา ความคิด เทคนิค วิธีการวิเคราะห์ของปัญหานั้นๆและเพราะความเจริญก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน และศักยภาพของคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้ในการช่วยมนุษย์หาคำตอบต่างๆได้หรือช่วยมนุษย์ตัดสินใจในขั้นต้นมีมากขึ้น โดยในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มนำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติมาช่วยในการศึกษาวิจัย เช่น ฟัซซีลอจิก(Fuzzy Logic) หรือ นิวรอลเน็ตเวิร์ค(Neural Network) เป็นต้น เจเนติกอัลกอริทึมเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จำลองรูปแบบวิธีการทางชีววิทยา ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่หรือขยายเผ่าพันธุ์ในรุ่นลูก รุ่นหลานต่อไป ซึ่งอาศัยพื้นฐานความคิดของของวิวัฒนาการทางวิวัฒนาการทางธรรมชาติถ่ายทอดลักษณะต่างๆทางพันธุกรรม โดยปฏิบัติตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดของปัญหา โดยคอมพิวเตอร์

#### 2.1 เจเนติกอัลกอริทึมเบื้องต้น

John Holland เป็นผู้เริ่มศึกษาและสนใจในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติในการกำเนิดประชากรของสิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไป โดยกระบวนการธรรมชาติทางชีววิทยาประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ(Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใดมีความแข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสในการมีชีวิตอยู่รอดมากกว่า นั่นหมายถึงการมีโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยยีนส์ต่างๆ ที่มีลักษณะที่ดีนั้นย่อมมีโอกาสอยู่รอดมากกว่า โครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ก็就会被ถ่ายทอดยีนส์ที่มีลักษณะเด่นๆเหล่านั้น ไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และกระบวนการทางพันธุศาสตร์(Genetic Operation) คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนส์จากการครอสโอเวอร์หรือกลายพันธุ์จากมิวเทชัน

จากความเชื่อในเรื่องการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่แสดงถึงลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต โดยการถ่ายทอดลักษณะต่างๆบน โครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติที่ทั้งนั้นมีคุณสมบัติที่ยอมรับกันคือ

1. วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครโมโซม ที่เป็นอยู่ซึ่งแสดงของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ

2. ธรรมชาติทางการคัดเลือกคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดี ที่คัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี
3. การถ่ายทอดในลักษณะที่เกิดวิวัฒนาการขึ้น โครโมโซมพ่อ-แม่นั้นมีการเปลี่ยนส่วนของโครงสร้างกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูก และเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซมแตกต่างกันออกไปคือกระบวนการผ่าเหล่า
4. วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากการจดจำ แต่เป็นกระบวนการที่เกิดจากโครงสร้างต่างในโครโมโซมที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าจากคุณสมบัติต่างเหล่านี้ น่าจะนำมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ในการช่วยแก้ไขปัญหายากๆ — เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เขาจึงได้ทำการวิจัย โดยจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษากระบวนการประมวลผล (self adaptive process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบุผู้เชี่ยวชาญ (artificial system software) เพื่อแก้ปัญหา โดยการอาศัยแนวความคิดของระบบทางธรรมชาติ และค้นพบวิธีใหม่ซึ่งเรียกว่า เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) หรือ GA

หลักการเบื้องต้นของการใช้ GA ในการแก้ปัญหานั้น จะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอ GA ในลักษณะที่เหมาะสม เพราะ GA เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือการสลับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ อันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบ คีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นถัดไป วิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้นคำตอบรุ่นถัดไปเกิดจากการสร้างความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่างๆ ที่ประกอบด้วยค่าตัวแปรที่เหมาะสมดีในรุ่นก่อน ดังนั้นจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของ GA เป็นแบบการสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีทั่วไปดังนี้

1. GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (Coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากกลุ่มของตัวแปรนั้นๆ
2. GA ค้นคำตอบจากการพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
3. ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่ฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. GA ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆ

##### 2.2 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของ GA มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของ GA จะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ไขปัญหา แต่จะพิจารณาโดยการตัดสินใจว่าคำตอบใหม่ที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function,  $f$ ) เนื่องจากแต่ละปัญหาสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์แต่ละตัวแปร เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆของปัญหานั้นๆที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าตัวแปร เงื่อนไข หรือข้อกำหนดดังกล่าวสำหรับฟังก์ชันเหมาะสม (Fitness Function,  $F$ ) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดความเหมาะสม (fitness) แต่ละโครโมโซมเปรียบเสมือนค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซมและฟังก์ชันที่กำหนดโอกาส หรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมเหมาะสมที่จะถูกคัดเลือกมากขึ้นเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซมนั้นดีเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอ GA เป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

##### 2.3 รูปแบบโครโมโซม

เราทราบกันดีแล้วว่าวิวัฒนาการทางชีววิทยานั้นเป็นความเปลี่ยนแปลงต่างๆของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นใน โครโมโซม ดังนั้นจุดเริ่มต้นของการจำลองแบบทางธรรมชาติของ GA เพื่อใช้แก้ปัญหาจึงเริ่มจากการมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนส์ลักษณะต่างๆซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่างๆที่แปลความหมายแล้วให้ค่าคำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนส์ของ GA ให้เสมือนยีนส์ทางพันธุกรรมที่แสดงความหมายคือเป็นตัวแทนคำตอบใดคำตอบหนึ่งหรือลักษณะใดลักษณะหนึ่งทางพันธุกรรม ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับ GA นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนส์หมายถึงตัวแปร เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบต่างๆของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบของโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆให้อยู่ในลักษณะของยีนส์บนโครโมโซมหรือเรียกว่าสตริง (string) อันประกอบด้วยบิต (bit) หรือเรียกว่าอักขระ (character) ซึ่งลักษณะต่างๆที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิต (bit value) หรือค่าตัวแปร ตัวแปรต่างๆที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

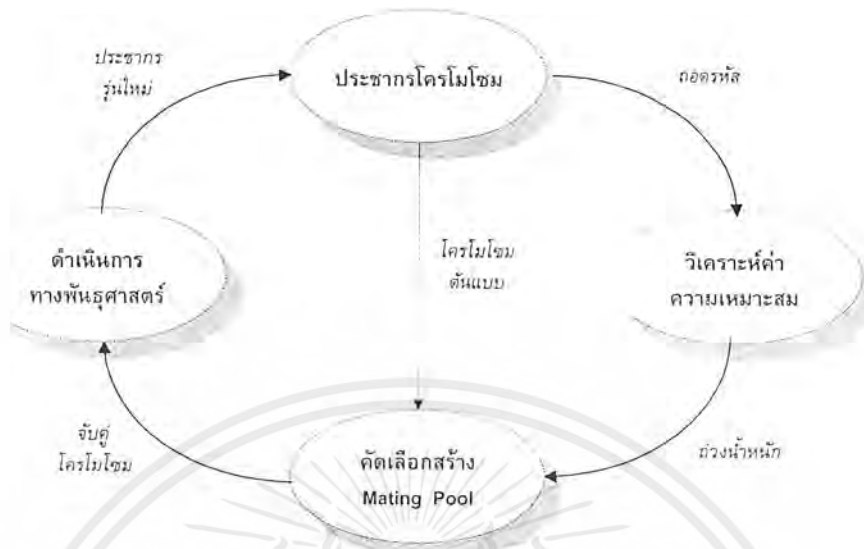
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จัดเรียงกันอยู่บนโครโมโซมคือ จีโนไทป์ (Genotype) ที่แสดงถึงค่าตัวแปร ตัวแปรต่างๆที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือฟีโนไทป์ (Phenotype) นั้นเอง การกำหนดรูปแบบของโครโมโซมของปัญหาให้เป็นธรรมชาติ โดยการกำหนดรหัสในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรในช่วงจำกัด ค่าตัวแปรหรือตัวแปรประกอบรวมกันในจำนวนยีนส์หรือความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาคำตอบของ  $y = x^2$  ที่  $x$  เป็นจำนวนเต็มในช่วง  $[0,31]$  แล้ว วิธีการของ GA ก็คือ กำหนดรูปแบบของโครโมโซมจากการกำหนดรหัสของตัวแปร  $x$  เป็นตัวแปรไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง  $x$  จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 เป็นค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการเป็นต้น

#### 2.4 วัฏจักรเจเนติกอัลกอริทึม

เมื่อกำหนดรูปแบบของโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว GA จะสามารถ ประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของ GA (Genetic Algorithm) ดังรูปที่ 2.1 โดยมี 4 ขั้นตอน

1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่าตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม
2. วิเคราะห์ความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมโดยถอดรหัสค่าตัวแปร ตัวแปรต่างๆของแต่ละบิตในโครโมโซมและการคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้
3. สร้าง mating pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาจากค่าถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดดีมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก
4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน mating pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมขึ้นมาใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ โดยแลกเปลี่ยนค่าบิตบางส่วน of โครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือ มิวเทชัน โดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิตบางบิตของโครโมโซมเป็นต้น



รูปที่ 2.1 วัฏจักรเจเนติกอัลกอริทึม

## 2.5 เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย

ขั้นตอนพื้นฐานมีกระบวนการไม่มากนักและง่ายในการศึกษาทำความเข้าใจ แต่ละขั้นตอนการทำงาน ของ GA เพื่อทำการหาคำตอบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนเตรียมการ และ ขั้นตอนการทำงาน

### 2.5.1 ขั้นตอนเตรียมการ

สำหรับในส่วนของการเตรียมการนั้นเป็นส่วนของการปรับปรุงรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมสำหรับการนำเสนอ GA เพื่อใช้แก้ปัญหาที่นั้นๆ ประกอบด้วย

1. กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจในขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกำหนดตัวอย่าง ปัญหาสำหรับอธิบายรายละเอียดในการหาคำตอบของ GA คือ ปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน  $y = x^2$  ที่  $x$  มีค่าระหว่างจำนวนเต็ม  $[0,31]$  ดังนั้น

ตัวอย่าง : ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ  $f = x^2$

และกำหนดให้ฟังก์ชันความเหมาะสม คือ  $y = x^2$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด คือ ค่า  $x$  ที่มีความเหมาะสมสูงสุด (MAX(F))

2. กำหนดรูปแบบโครโมโซม รูปแบบของโครโมโซม GA เป็นแบบไบนารี โดยค่าแปรหรือ ตัวแปรปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม คือ ประกอบด้วยบิตที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเป็นค่าในตัวเลขฐานสอง และมีความยาว (lchrom) ตามแต่จะกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การกำหนดเป็นรูปของไบนารีจะมีปัญหาในเรื่องของความเร็ว จึงเปลี่ยนมาใช้การกำหนดเป็นรูปของรหัสเกรย์แทน

รหัสเกรย์ คือ รหัสไบนารีที่มีการจัดลำดับใหม่ ให้มีตำแหน่งข้างเคียงต่างกันเพียง 1 บิต เช่น รหัสไบนารี ของ  $[0...7]$  คือ  $\{000,001,010,011,100,101,110,111\}$  ในขณะที่รหัสเกรย์ คือ  $\{000,001,011,010,110,111,101,100\}$  จะสังเกตได้ว่า การที่เปลี่ยนค่าจาก 0 เป็น 7 สำหรับรหัสแบบไบนารีจะต้องเปลี่ยนบิตถึง 3 ครั้ง แต่ สำหรับรหัสเกรย์จะเปลี่ยนบิตเพียงครั้งเดียว ทำให้รหัสมีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการมีวทชนค่าที่อยู่ข้างเคียงได้ โดยจะแปลงจากเลขฐานสิบเป็นไบนารีก่อน แล้วจึงแปลงเป็นรหัสเกรย์อีกครั้งหนึ่ง ส่วนการถอดรหัสจะทำขั้นตอนเดียวกันย้อนกลับขึ้นไป โดยแปลงจากเกรย์เป็นไบนารี แล้วจึงเป็นฐานสิบ

## 2.5.2 ขั้นตอนการทำงาน

ในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ GA จะเป็นขั้นตอนพื้นฐานแบบง่ายประกอบด้วย

1. ประชากรรุ่นเก่า เป็นชุดโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ ในวิวัฒนาการรุ่นต่อไป โดยประชากรเริ่มต้นที่  $gen = 0$  จะถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นที่กำหนด

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม เป็นขั้นตอนการถอดรหัสจากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาของแต่ละโครโมโซม

3. การคัดเลือก เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง matingpool โดยการเลือกชุดโครโมโซมเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้สร้างโครโมโซมลูกเป็นรุ่นต่อไป สำหรับการคัดเลือกของ GA แบบง่าย เป็นแบบอ้างอิงความเหมาะสม โดยพิจารณาค่าความเหมาะสมเป็นตัวตัดสินว่า โครโมโซมใดในรุ่นเก่ามีโอกาสจะถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่มากขึ้นน้อยเพียงใด โครโมโซมที่มีความเหมาะสมที่ดีจะถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มเลือกในแต่ละครั้ง (pselect) ของแต่ละโครโมโซมโดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังสมการ

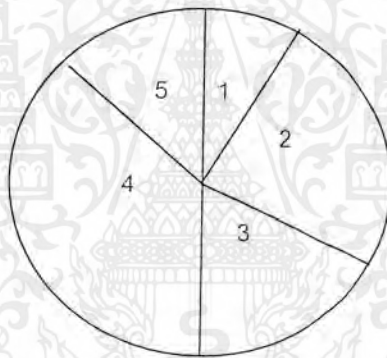
$$pselect_i = \frac{F_i}{\sum F} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถคำนวณค่าความคาดหวังว่าจะสุ่มได้ ( $E$ ) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นดังสมการ

$$E_i = p_{select} * popsize = \frac{F_i}{F} \quad (2.2)$$

การคัดเลือกด้วยวงล้อรูเลต เป็นวิธีการคัดเลือกตามส่วน โดยพิจารณาค่าฟิตเนสแต่ละตัว โดยแบ่งพื้นที่ของวงล้อตามสัดส่วนของค่าฟิตเนสแต่ละตัว โดยให้ผลรวมของวงล้อรูเลต คือผลรวมของค่าฟิตเนสของประชากรแต่ละตัว จากนั้นสุ่มค่าตั้งแต่ 0-sumfitness ถ้าตัวเลขที่สุ่มนั้นไปหยุดอยู่บนส่วนพื้นที่ใด ประชากรตัวนั้นก็จะมีสิทธิถูกเลือก ดังนั้นประชากรที่มีค่าฟิตเนสสูงก็จะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าประชากรที่มีค่าฟิตเนสต่ำ

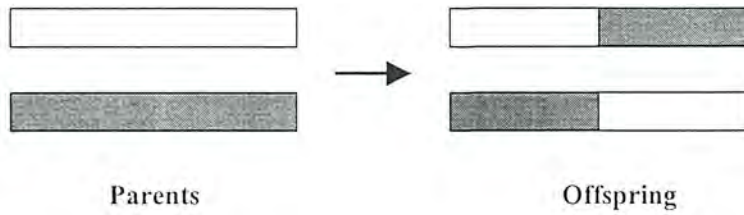


รูปที่ 2.2 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลต

4.ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ GA คือ ครอสโอเวอร์ และมิวเทชัน มีรายละเอียดดังนี้

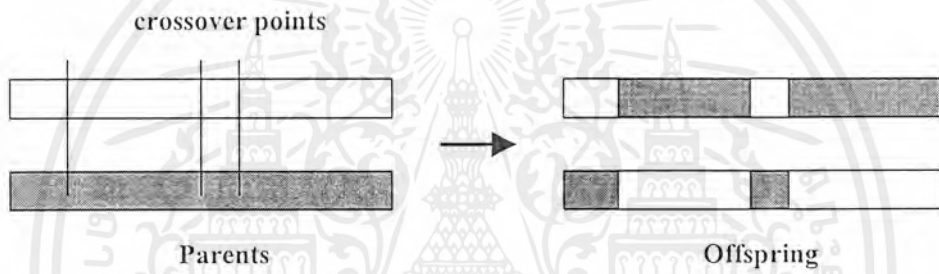
4.1.ครอสโอเวอร์ เป็นตัวดำเนินการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อ-แม่ ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Pc) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมใหม่ หรือโครโมโซมลูก โดยมีการทำครอสโอเวอร์ 3 ประเภทคือ

(1.) การครอสโอเวอร์ 1 จุด คือมีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมกันเพียง 1 จุดเท่านั้น โดยตำแหน่งของการครอสโอเวอร์จะถูกเลือกโดยการสุ่ม และความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ประมาณ 0.6 - 1.0



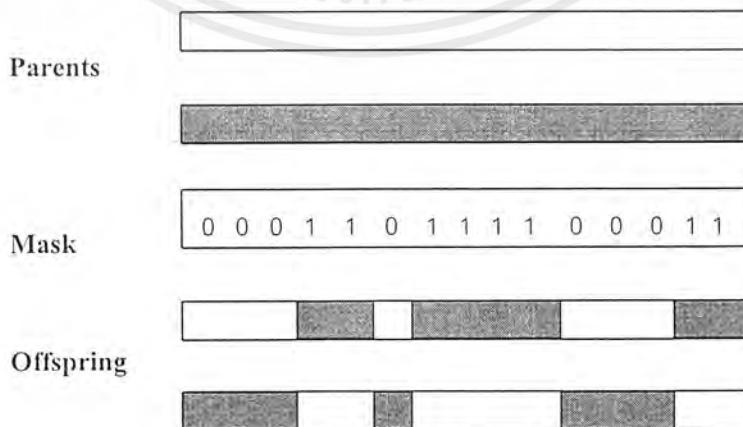
รูปที่ 2.3 การครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด

(2.) การครอสโอเวอร์แบบหลายจุด คือมีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมหลายจุด โดยตำแหน่งในการครอสโอเวอร์จะถูกเลือกโดยการสุ่ม



รูปที่ 2.4 การครอสโอเวอร์แบบหลายจุด

(3.) การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม คือมีการแลกเปลี่ยนกันโดยจะแลกเปลี่ยนเป็นบิตต่อบิต มากกว่าจะเป็นการแลกเปลี่ยนเป็นส่วนๆ



รูปที่ 2.5 การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. การมิวเทชัน เป็นสร้างความหลากหลายให้แก่โครโมโซม แต่โดยทั่วไปแล้วการมิวเทชันจะออกแบบไว้สำหรับโครโมโซมที่เข้ารหัสแบบไบนารีไว้เท่านั้น โดยจะถูกนำมาใช้หลังจากทำการครอสโอเวอร์ โดยจะทำการแปลงค่าบิตโดยสุ่ม ด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน (Pm) ที่มีค่าน้อยๆซึ่งปกติไม่เกิน 0.1



รูปที่ 2.6 การมิวเทชัน

4.3. การตั้งอัตราการทำงาน หรือความน่าจะเป็นของตัวดำเนินการ โดยส่วนใหญ่ยังเป็นข้อโต้แย้งกันอยู่ว่าควรตั้งอัตราการทำงานเท่าไรจึงจะพอเหมาะ โดยสรุปแบ่งได้ 2 ประเด็น

สำหรับประชากรขนาดใหญ่ (100)

- อัตราครอสโอเวอร์ควรเป็น 0.6
- อัตรามิวเทชันควรเป็น 0.001

สำหรับประชากรขนาดเล็ก (30)

- อัตราครอสโอเวอร์ควรเป็น 0.9
- อัตรามิวเทชันควรเป็น 0.01

โดยเมื่อเริ่มต้นของเจเนอชันแรกๆต้องการความหลากหลายสูง จึงต้องมีการครอสโอเวอร์สูงและมิวเทชันต่ำ แต่เมื่อเจเนอชันสูงๆแล้วผลของการครอสโอเวอร์อาจทำให้ลู่อู่เข้าก่อนกำหนดได้จึงให้มีการครอสโอเวอร์ต่ำๆ และมิวเทชันสูงๆ

4.4. การจัดลำดับใหม่ เพื่อหาการพัฒนาลำดับของยีนส์ที่ทำให้การพัฒนาค่าตอบที่ดีที่สุด หรือ กระบวนการอินเวอร์ชัน

4.5. การแทนที่ คือเมื่อหลังจากที่สร้างประชากรลูกหลานแล้วจะมีการแทนที่โครโมโซมในประชากร ในเจเนอชันปัจจุบันด้วยโครโมโซมลูกหลานทุกตัว

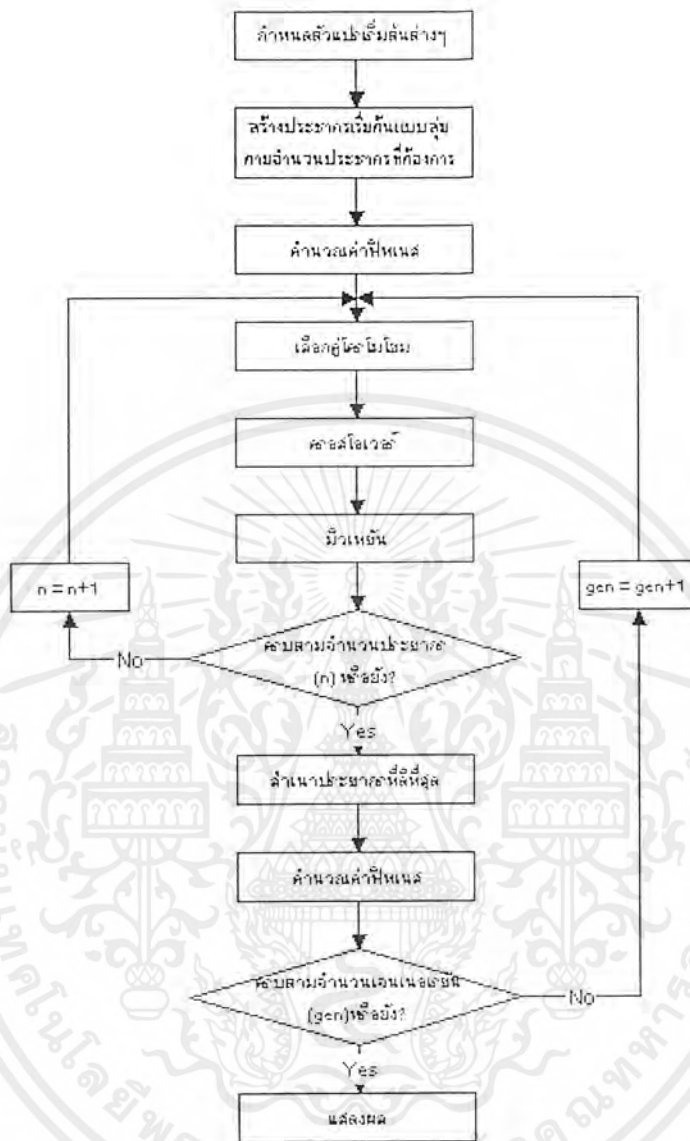
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6. การเก็บรักษาโครโมโซมที่ดีที่สุด (Etilism) เป็นการเก็บรักษาโครโมโซมที่ดีที่สุดของแต่ละเจนอเมอร์ไว้เพื่อประกันไว้ว่าโครโมโซมเจนอเมอร์ชั้นถัดไปต้องดีขึ้นมาเสมอ

4.7. การทำสเกลลิง เพื่อป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนด อันเกิดจากพื้นที่วงล้อรูปเลขของประชากรบางตัวมีค่าสูงเกินไปมากๆ ทำให้ประชากรที่มีค่าฟิเทเนสน้อยไม่มีโอกาสถูกเลือกโดยมี 2 ประเภทที่จะช่วยให้ประชากรที่มีค่าฟิเทเนสน้อยๆมีโอกาสถูกเลือกก่อนเข้าวงล้อรูปเลขคือ

- (1.) แบบเชิงเส้น จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าฟิเทเนสใหม่โดยใช้สมการเชิงเส้นเข้าช่วย
- (2.) แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล สามารถแก้ไขปัญหากลุ่มลู่เข้าจุดที่เหมาะสมเฉพาะที่ ซึ่งไม่ใช่จุดที่มีค่าฟิเทเนสดีที่สุดก็ได้

5. ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะถูกถ่ายทอดไปเป็นประชากรรุ่นเก่าในอนาคต ซึ่งเรียกการวิวัฒนาการแบบนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไปหรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป กระบวนการต่างๆเหล่านี้จะถูกปฏิบัติซ้ำๆกันไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุดเท่าที่ต้องการ



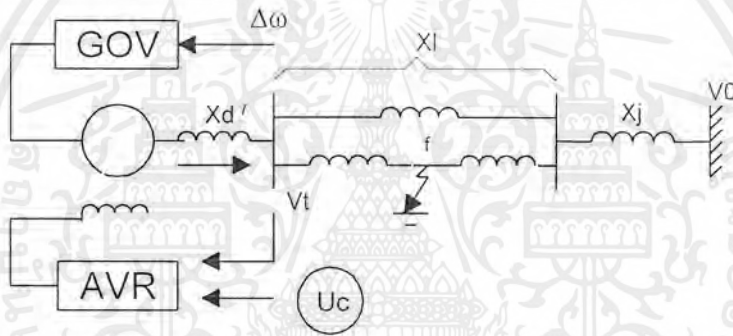
รูปที่ 2.7 Flow Chart ของโปรแกรม เจนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 ระบบจำลอง

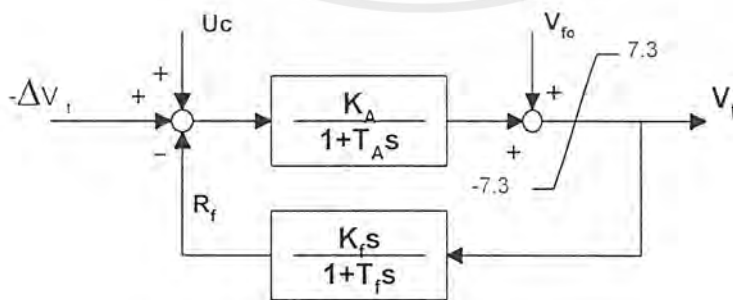
#### 3.1 ระบบจำลอง

ระบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเดี่ยวตัว ต่ออยู่กับบัสอนันต์ระบบสายส่งคู่ ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสมีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GOV) และมีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (AVR) โดยมีอุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดอยู่ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 ระบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

#### 3.1.1 แบบจำลอง AVR



รูปที่ 3.2 Block Diagram ของ AVR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์สมการจากแบบจำลอง รูปที่ 3.2 ได้ดังนี้

$$V_f = \frac{K_A}{1+T_A S} (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) + V_{fo} \quad (3.1)$$

$$V_f - V_{fo} = \frac{K_A}{1+T_A S} (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) \quad (3.2)$$

$$(V_f - V_{fo}) + T_A S (V_f - V_{fo}) = K_A (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) \quad (3.3)$$

$$T_A S (V_f - V_{fo}) = K_A (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) - (V_f - V_{fo}) \quad (3.4)$$

$$T_A S V_f = K_A (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) - (V_f - V_{fo}) + T_A S V_{fo} \quad (3.5)$$

$$S V_f = S V_{fo} + \frac{K_A}{T_A} (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) - \frac{(V_f - V_{fo})}{T_A} \quad (3.6)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (3.6) ได้ดังนี้

$$\frac{dV_f}{dt} = \frac{dV_{fo}}{dt} + \frac{K_A}{T_A} (U_{pss} - \Delta V_t - R_f) - \frac{(V_f - V_{fo})}{T_A} \quad (3.7)$$

วิเคราะห์สมการส่วนป้อนกลับจากแบบจำลอง รูปที่ 3.2 ได้ดังนี้

$$R_f = \frac{K_f S}{1+T_f S} V_f \quad (3.8)$$

$$R_f + T_f S R_f = K_f S V_f \quad (3.9)$$

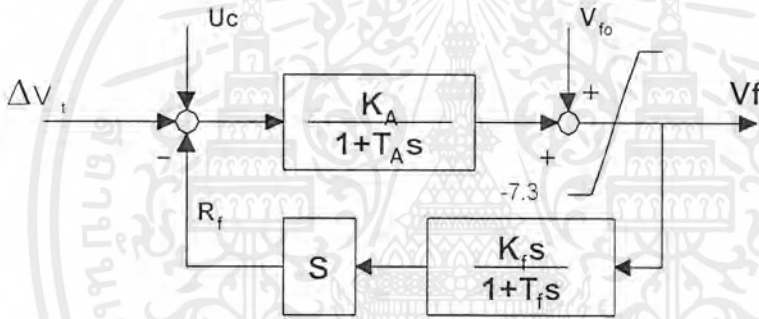
$$T_f S R_f = K_f S V_f - R_f \quad (3.10)$$

$$SR_f = \frac{K_f}{T_f} SV_f - \frac{R_f}{T_f} \quad (3.11)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (3.11) ได้ดังนี้

$$\frac{dR_f}{dt} = \frac{K_f}{T_f} \frac{dV_f}{dt} - \frac{R_f}{T_f} \quad (3.12)$$

ทำการจัดรูปส่วนป้อนกลับใหม่ ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Block Diagram ของ AVR ที่จัดรูปส่วนป้อนกลับใหม่

วิเคราะห์สมการจากแบบจำลอง รูปที่ 3.3 ได้ดังนี้

$$X = \frac{K_f}{1 + T_f S} V_f \quad (3.13)$$

$$X + T_f SX = K_f V_f \quad (3.14)$$

$$T_f SX = K_f V_f - X \quad (3.15)$$

$$SX = \frac{K_f V_f - X}{T_f} \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (3.16) ได้ดังนี้

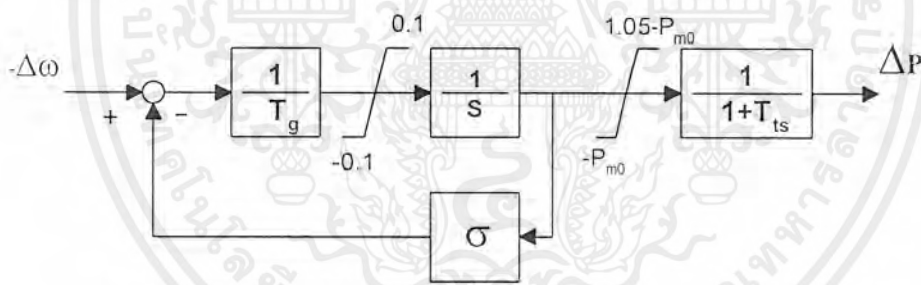
$$\frac{dX}{dt} = \frac{K_f V_f - X}{T_f} \tag{3.17}$$

วิเคราะห์สมการส่วนป้อนกลับจากแบบจำลอง รูปที่ 3.3 ได้ดังนี้

$$R_f = SX \tag{3.18}$$

$$R_f = \frac{K_f V_f - X}{T_f} \tag{3.19}$$

### 3.1.2 แบบจำลอง GOV



รูปที่ 3.4 Block Diagram ของ GOV

วิเคราะห์สมการจากแบบจำลอง รูปที่ 3.4 ได้ดังนี้

$$g = \left( \frac{\frac{1}{T_g S}}{1 + \frac{\sigma}{T_g S}} \right) (-\Delta\omega) \tag{3.20}$$

$$g = \frac{1}{T_g S} \frac{T_g S}{T_g S + \sigma} (-\Delta\omega) \tag{3.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$gT_g S + \sigma g = -\Delta\omega \quad (3.22)$$

$$gT_g S = -\Delta\omega - \sigma g \quad (3.23)$$

$$Sg = \frac{1}{T_g}(-\Delta\omega - \sigma g) \quad (3.24)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (3.24) ได้ดังนี้

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{T_g}(-\Delta\omega - \sigma g) \quad (3.25)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$\Delta P_i = \frac{g}{1 + T_i S} \quad (3.26)$$

$$\Delta P_i + T_i S \Delta P_i = g \quad (3.27)$$

$$T_i S \Delta P_i = g - \Delta P_i \quad (3.28)$$

$$S \Delta P_i = \frac{1}{T_i} (g - \Delta P_i) \quad (3.29)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (3.29) ได้ดังนี้

$$\frac{d\Delta P_i}{dt} = \frac{1}{T_i} (g - \Delta P_i) \quad (3.30)$$

### 3.2 สมการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ ที่สร้างเป็นแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส โดยจะพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดฟิลด์ , ค่าความเสียดทานต่างๆ เป็นต้น แต่เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลองคณิตศาสตร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส จึงจำเป็นที่จะต้องตัดผลจากปัจจัยบางตัวที่มีผลกระทบน้อยมาต่อความละเอียดแม่นยำของแบบจำลอง เช่น ความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์ เป็นต้น ดังนั้นจึงเชื่อได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มีความน่าเชื่อถือสูงและสามารถนำมาอธิบายปรากฏการต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสได้เป็นอย่างดี

สมการต่างๆ ของแบบจำลองคณิตศาสตร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสที่จะทำการวิเคราะห์ได้แก่ สมการกระแสและแรงดันในแกน d-q , สมการฟลักซ์ขดลวดฟิลด์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส , สมการสวิง , สมการกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส และสมการแรงดันที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

### 3.2.1 สมการกระแสและแรงดันในแกน d-q

สมการแรงดัน  $V_t$  ที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการแรงดันในแกน d-q โดยการใช้การแปลงของ Park ถ้าไม่คิดผลของความต้านทาน R ในอาร์เมเจอร์ ศิริเวทไฟของฟลักซ์เกี่ยวคล้อง  $p\phi_d$  ,  $p\phi_q$  และค่าคงตัวเวลาซบทรานส์เซียน สมการแรงดันในแกน d-q สามารถลดเหลือรูปอย่างง่ายดังต่อไปนี้

$$V_d = -\omega\phi_q \quad (3.31)$$

$$V_q = \omega\phi_d \quad (3.32)$$

$$V_f = \frac{d\phi_f}{dt} + V_{fr} \quad (3.33)$$

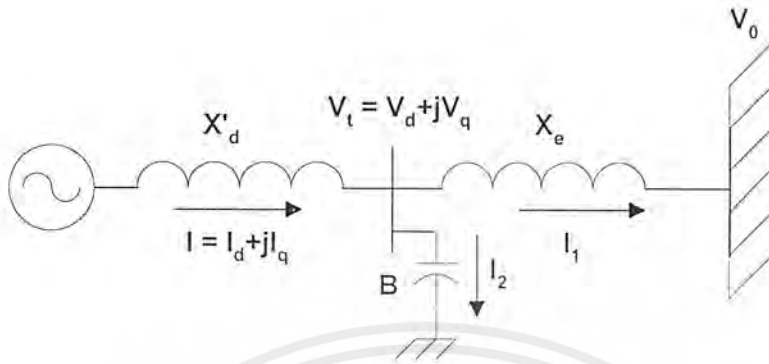
เมื่อ

$$\omega\phi_q = -x_q i_q \quad (3.34)$$

$$\omega\phi_d = V_{fr} - x_d i_d \quad (3.35)$$

$$\phi_f = T'_{d0} [V_{fr} - (x_q - x'_d) i_d] \quad (3.36)$$

พิจารณารูปที่ 3.5 เป็นวงจรที่ลดเหลือรูปอย่างง่ายของระบบบัสอนันต์ โดยตัดตัวควบคุมออกจากระบบทั้งหมด



รูปที่ 3.5 ระบบบัสอนันต์ที่ลดเหลือรูปอย่างง่าย

จากทิศทางกระแสที่กำกับในรูปที่ 3.5 สามารถเขียนสมการกระแสได้ดังต่อไปนี้

$$I = i_d + ji_q = I_1 + I_2 \quad (3.37)$$

$$i_d + ji_q = V_1(jB) + (V_1 - V_0)jx_e \quad (3.38)$$

โดยที่

$$V_1 = V_d + jV_q \quad (3.39)$$

$$V_0 = V_0 \sin \delta + jV_0 \cos \delta \quad (3.40)$$

แทนค่า  $V_1$  และ  $V_0$  จากสมการที่ (3.39) และ (3.40) ลงในสมการที่ (3.38)

$$i_d + ji_q = (V_d + jV_q)(jB) + \frac{V_d + jV_q - V_0 \sin \delta - jV_0 \cos \delta}{jx_e} \quad (3.41)$$

$$i_d + ji_q = jV_d B - V_q B + \frac{-jV_d + V_q + jV_0 \sin \delta - V_0 \cos \delta}{x_e} \quad (3.42)$$

จากสมการที่ (3.42) เทียบสัมประสิทธิ์ของส่วนจริงจะได้

$$i_d = -V_q B + \frac{V_q - V_0 \cos \delta}{x_e} \quad (3.43)$$

$$i_d = \frac{-V_q B + V_q - V_0 \cos \delta}{x_e} \quad (3.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_d x_e = (1 - x_e B) V_q - V_0 \cos \delta \quad (3.45)$$

$$i_d = \frac{(1 - x_e B) V_q - V_0 \cos \delta}{x_e} \quad (3.46)$$

จากสมการที่ (3.32) และ (3.35)

$$V_q = V_{fr} - x_d i_d \quad (3.47)$$

จากสมการที่ (3.36) ทำการย้ายข้างใหม่เพื่อหา  $V_{fr}$  จะได้

$$V_{fr} = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} + (x_d - x'_d) i_d \quad (3.48)$$

แทนค่า  $V_{fr}$  จากสมการที่ (3.48) ลงในสมการที่ (3.47)

$$V_q = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} - x'_d i_d \quad (3.49)$$

แทนค่า  $V_q$  จากสมการที่ (3.49) ลงในสมการที่ (3.46)

$$i_d = \frac{(1 - x_e B) \phi_f}{x_e T'_{d0}} - \frac{(1 - x_e B) x_d i_d}{x_e} - \frac{V_0 \cos \delta}{x_e} \quad (3.50)$$

$$i_d x_e = \frac{(1 - x_e B) \phi_f}{T'_{d0}} (1 - x_e B) x'_d i_d - V_0 \cos \delta \quad (3.51)$$

$$i_d = \frac{(1 - x_e B) \phi_f}{T'_{d0} [(1 - x_e B) x'_d + x_e]} - \frac{V_0 \cos \delta}{[(1 - x_e B) x'_d + x_e]} \quad (3.52)$$

เมื่อกำหนดให้

$$X'_d = (1 - x_e B) x'_d + x_e \quad (3.53)$$

สมการที่ (3.52) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_d = \frac{(1-x_e B)\phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.54)$$

จากสมการที่ (3.49)

$$V_q = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} - x'_d i_d$$

แทนค่า  $i_d$  จากสมการที่ (3.54) ลงในสมการที่ (3.49)

$$V_q = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} - \frac{(1-x_e B)x'_d \phi_f}{X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.55)$$

$$V_q = \frac{[X'_d - (1-x_e B)x'_d]\phi_f}{X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.56)$$

แทนค่า  $X'_d$  จากสมการที่ (3.53) ลงในสมการ (3.56)

$$V_q = \frac{[(1-x_e B)x'_d + x_e - (1-x_e B)x'_d]\phi_f}{X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.57)$$

$$V_q = \frac{x_e \phi_f}{X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.58)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ส่วนจินตภาพจากสมการที่ (3.42) จะได้

$$i_q = V_d B + \frac{-V_d + V_0 \sin \delta}{x_e} \quad (3.59)$$

$$i_q = i_q x_q B + \frac{(-i_q x_q + V_0 \sin \delta)}{x_e} \quad (3.60)$$

$$i_q x_q = i_q x_q x_e B - i_q x_q + V_0 \sin \delta \quad (3.61)$$

$$[(1-x_e B)x_q + x_e] i_q = V_0 \sin \delta \quad (3.62)$$

$$i_q = \frac{V_0 \sin \delta}{(1-x_e B)x_q + x_e} \quad (3.63)$$

เมื่อกำหนดให้

$$X_q = (1-x_e B)x_q - x_e \quad (3.64)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $X_q$  จากสมการที่ (3.64) ลงในสมการที่ (3.63) จะได้

$$i_q = \frac{V_0 \sin \delta}{X_q} \quad (3.65)$$

จากสมการที่ (3.31) และ (3.34)

$$V_d = x_q i_q \quad (3.66)$$

$$V_d = \frac{x_q V_0 \sin \delta}{X_q} \quad (3.67)$$

### 3.2.2 สมการฟลักซ์ลวดฟลัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

จากสมการที่ (3.48)

$$V_{fr} = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} + (x_d - x'_d) i_d$$

แทนค่า  $i_d$  จากสมการที่ (3.54) ลงในสมการที่ (3.48)

$$V_{fr} = \frac{\phi_f}{T'_{d0}} + \frac{(x_d - x'_d)(1 - x_e B) \phi_f}{X_d T'_{d0}} - \frac{(x_d - x'_d) V_0 \sin \delta}{X_d} \quad (3.68)$$

แทนค่า  $X'_d$  เฉพาะที่เศษของสมการที่ (3.68)

$$V_{fr} = \frac{[(1 - x_e B)x'_d + x_e + (1 - x_e B)x_d - (1 - x_e B)x'_d] \phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{(x_d - x'_d) V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.69)$$

$$V_{fr} = \frac{[(1 - x_e B)x_d + x_e] \phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{(x_d - x'_d) V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.70)$$

$$V_{fr} = \frac{x_d \phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{(x_d - x'_d) V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.71)$$

จากสมการที่ (3.33) ทำการย้ายข้างเพื่อจัดรูปแบบใหม่จะได้

$$\frac{d\phi_f}{dt} = V_f - V_{fr} \quad (3.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $V_f$  จากสมการที่ (3.71) ในสมการที่ (3.72)

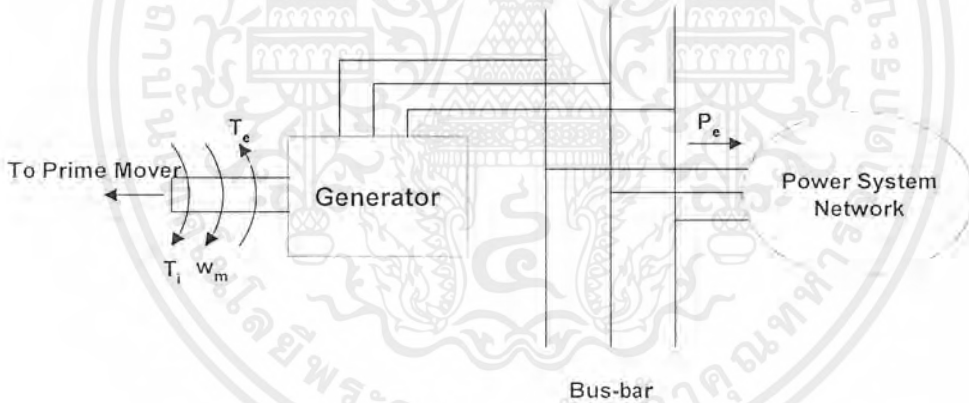
$$\frac{d\phi_f}{dt} = V_f - \frac{Xd\phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{(x_d - x'_d)V_0 \cos \delta}{X'_d} \quad (3.73)$$

เมื่อ

$$X'_d = (1 - X_e B)x_d + x_e \quad (3.74)$$

### 3.2.3 สมการสวิง

พิจารณารูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสได้รับพลังงานกลอินพุต  $P_i$  จากเทอร์ไบน์ด้วยทอร์ค  $T_i$  และจ่ายพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต  $P_e$  โดยทำให้เกิดทอร์คทางแม่เหล็กไฟฟ้า  $T_e$  ซึ่งมีทิศทางสวนกับทอร์ค  $T_i$



รูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่โครงข่ายไฟฟ้ากำลัง

เมื่อเกิดสิ่งรบกวน จะเกิดการเร่งหรือหน่วงของโรเตอร์โดยขึ้นกับทอร์คเร่ง  $T_a$  ซึ่งกำหนดโดยสมการที่ (3.75)

$$T_a = T_i - T_e \quad (3.75)$$

$$T_a = I \frac{d^2\theta_m}{dt^2} + D \frac{d\theta_m}{dt} \quad (3.76)$$

$$T_a = I \frac{d\omega_m}{dt} + D\omega_m \quad (3.77)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D\omega_m$  คือ ทอร์กหน่วง ซึ่งมีสาเหตุจาก ความเสียดทานที่แบร์ริง (Bearing) ของโรเตอร์ , ความเสียดทานจากแรงลม , ความสูญเสียทางแม่เหล็ก และทอร์กอื่นๆ ที่มีทิศทางสวนทางกับทิศทางการหมุนของโรเตอร์

สมการ (3.75) และ (3.77) เมื่อคูณด้วย  $\omega_m$  ทั้งสองข้างจะได้

$$P_a = P_i - P_e \quad (3.78)$$

$$P_a = \omega_m I \frac{d\omega_m}{dt} + D\omega_m \quad (3.79)$$

$$P_a = M' \frac{d\omega_m}{dt} + D\omega_m \quad (3.80)$$

เมื่อ  $M'$  มีหน่วยเป็น pu-sec<sup>2</sup>/mech.radian มุม  $\theta_m$  จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถเขียนสมการการขจัดเชิงมุม  $\delta_m$  ซึ่งวัดจากแกนอ้างอิงที่หมุนไปด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส  $\omega_{0m}$  (mech.rad/sec) ได้ดังสมการที่ (3.81)

$$\delta_m = \theta_m - \omega_{0m} t \quad (3.81)$$

$$\frac{d\delta_m}{dt} = \frac{d\theta_m}{dt} - \omega_{0m} = \omega_m - \omega_{0m} \quad (3.82)$$

$$\frac{d\delta_m}{dt} = \omega_m - \omega_{0m} = \Delta\omega_m \quad (3.83)$$

สมการที่ (3.82) จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \frac{d\delta_m}{dt} + \omega_{0m} \quad (3.84)$$

จะเป็นการสะดวกกว่าถ้าการวัดมุมต่างๆ เป็นมุมทางไฟฟ้า ดังนั้นการแปลงมุมทางกลเป็นมุมทางไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้สมการ

$$\delta = \frac{P}{2} \delta_m \quad (\text{electrical radian}) \quad (3.85)$$

$$\omega = \frac{P}{2} \omega_m \quad (\text{electrical radian/s}) \quad (3.86)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคูณ  $P/2$  ทั้งสองข้างในสมการที่ (3.63) และ (3.84) จะได้

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt} \quad (3.87)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega \quad (3.88)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_0 + \Delta\omega \quad (3.89)$$

สมการที่ (3.80) เมื่อคูณทั้งสองข้างด้วย  $P/2$  แล้วจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$M \frac{d^2\delta}{dt^2} + \frac{Dd\delta}{dt} = P_i - P_e \quad (3.90)$$

เมื่อ

$$M = \frac{M'}{P/2} \quad (\text{pu} \cdot \text{sec}^2 / \text{elect} \cdot \text{rad}) \quad (3.91)$$

สมการ (3.90) เขียนใหม่ได้เป็น

$$M \frac{d^2\delta}{dt^2} + D\Delta\omega = P_i - P_e \quad (3.92)$$

จากความสัมพันธ์

$$P_i - P_e = (P_0 + \Delta P_i) - (P_0 + \Delta P_e) \quad (3.93)$$

$$P_i - P_e = \Delta P_i - \Delta P_e \quad (3.94)$$

แทนค่า  $P_i - P_e$  จากสมการที่ (3.94) ลงในสมการที่ (3.92) แล้วจัดรูปใหม่ จะได้

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} (\Delta P_i - D\Delta\omega - \Delta P_e) \quad (3.95)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 สมการกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.96)

$$P_e = i_d V_d + i_q V_q \quad (3.96)$$

แทนค่า  $V_d, i_d, V_q, i_q$  จากสมการที่ (3.67), (3.46), (3.58), (3.65) ลงในสมการที่ (3.96)

$$P_e = \left( \frac{(1-x_c B)\phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{V_0 \cos \delta}{X'_d} \right) \frac{x_q V_0 \sin \delta}{X_q} + \frac{V_0 \sin \delta}{X_q} \left( \frac{x_c \phi_f}{X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0 \cos \delta}{X_q X'_d} \right) \quad (3.97)$$

$$P_e = \frac{(1-x_c B)x_q \phi_f V_0 \sin \delta}{X_q X'_d T'_{d0}} - \frac{x_q V_0^2 \sin \delta \cos \delta}{X_q X'_d} + \frac{x_c \phi_f V_0 \sin \delta}{X_q X'_d T'_{d0}} + \frac{x'_d V_0^2 \sin \delta \cos \delta}{X_q X'_d} \quad (3.98)$$

ทำการจัดพจน์ในสมการ (3.98) ใหม่จะได้

$$P_e = \frac{V_0 \sin \delta \phi_f [(1-x_c B)x_q + x_c]}{X_q X'_d T'_{d0}} - \frac{V_0^2 \sin \delta \cos \delta (x'_d - x_q)}{X_q X'_d} \quad (3.99)$$

$$P_e = \frac{V_0 \sin \delta \phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{2V_0^2 \sin \delta \cos \delta (x'_d - x_q)}{2X_q X'_d} \quad (3.100)$$

สมการที่ (3.100) จัดให้เหลือในรูปอย่างง่ายจะได้

$$P_e = \frac{V_0 \sin \delta \phi_f}{X'_d T'_{d0}} - \frac{(x'_d - x_q)V_0^2 \sin 2\delta}{2X_q X'_d} \quad (3.101)$$

### 3.2.5 สมการแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกับแรงดันในแกน d-q ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเขียนได้ดังนี้

$$V_t = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (3.102)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $V_d$ ,  $V_q$  จากสมการที่ (3.67) , (3.58) ลงในสมการที่ (3.102)

$$V_r = \sqrt{\left(\frac{x_q V_0 \sin \delta}{X_q}\right)^2 + \left(\frac{x_c \phi_f}{X_d T_{d0}} + \frac{x_d V_0 \sin \delta}{X_d}\right)^2} \quad (3.103)$$

### 3.3 นิยามสถานะการรบกวนและการวิเคราะห์โครงข่ายอิมพีแดนซ์

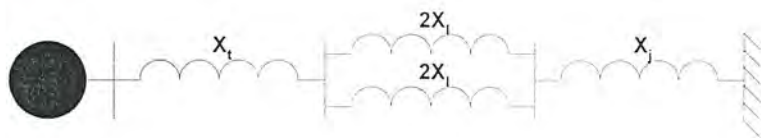
#### 3.3.1 นิยามสถานะการรบกวน

การรบกวนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

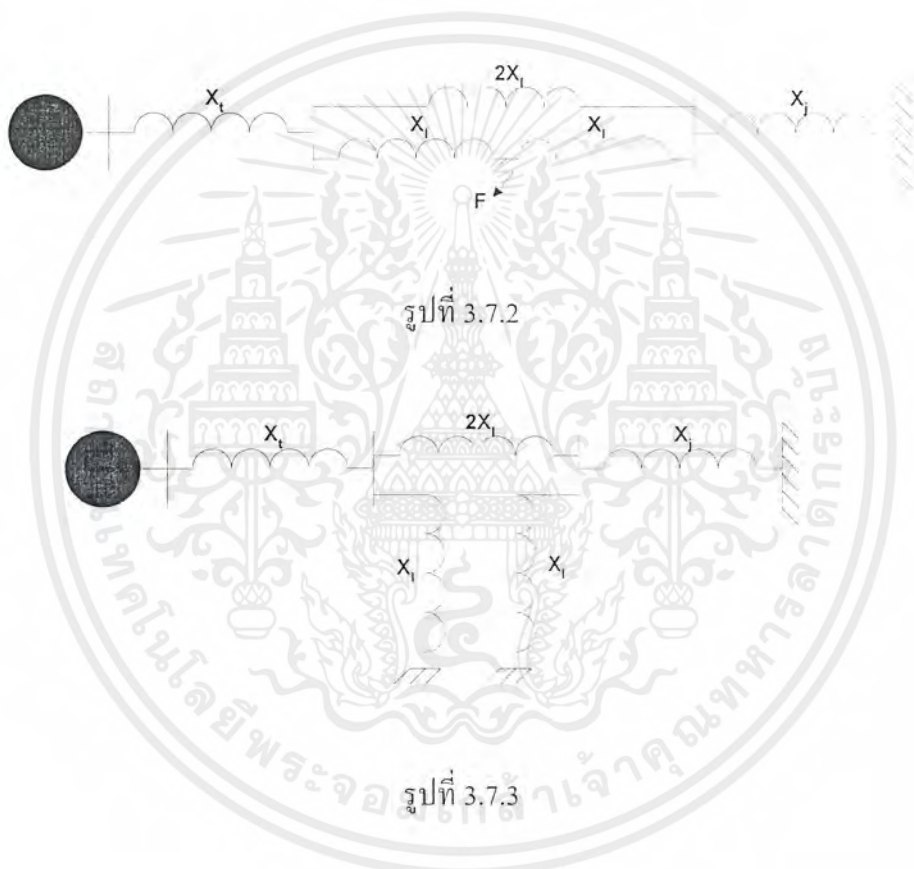
- (1.) การรบกวนแบบเล็กน้อย คือ การรบกวนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.05 [pu]
- (2.) การรบกวนแบบรุนแรง เช่น การเกิดฟอลต์ 3 เฟส หรือ สายส่งขาด

#### 3.3.2 การวิเคราะห์โครงข่ายอิมพีแดนซ์

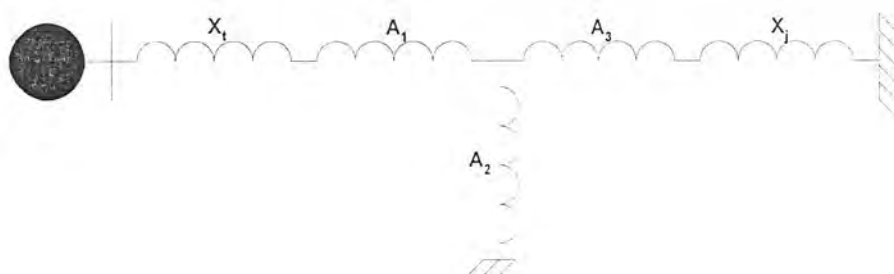
วงจรสมมูลที่ใช้ในการคำนวณจะลดรูปสุดท้ายในรูปแบบการต่อแบบ  $\Delta$  เนื่องจากง่ายในการคำนวณ ในการจำลองจะมีการสมมติให้เกิดการรบกวนแบบรุนแรงด้วยการัดวงจรในตำแหน่ง F การลดรูปของวงจรสมมูลแสดงเป็นขั้นตอน ได้ดังรูปที่ 3.7



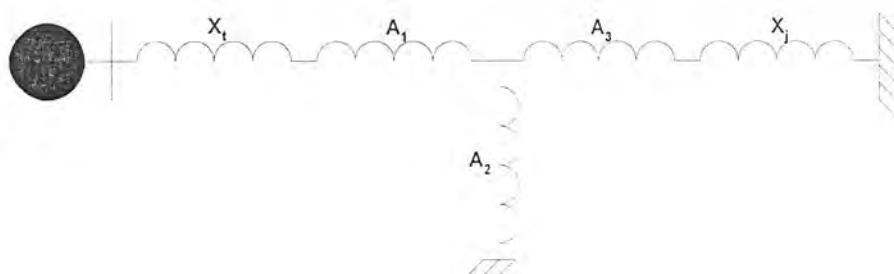
รูปที่ 3.7.1



รูปที่ 3.7.2

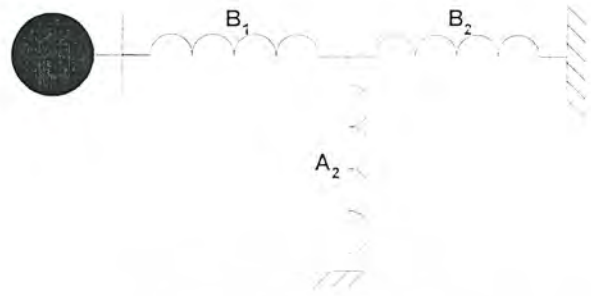


รูปที่ 3.7.3



รูปที่ 3.7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7.5



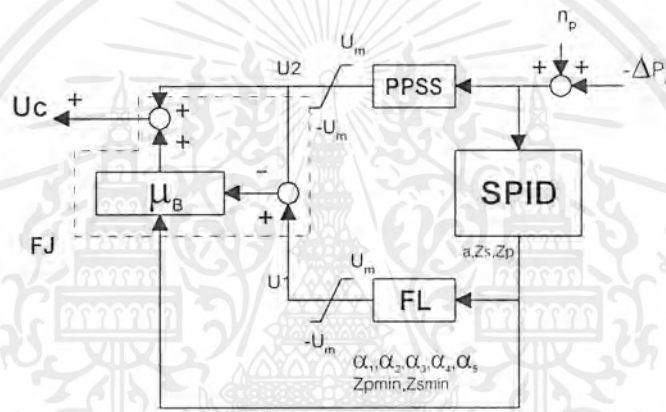
รูปที่ 3.7.6

รูปที่ 3.7 การลดรูปวงจรสมมูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

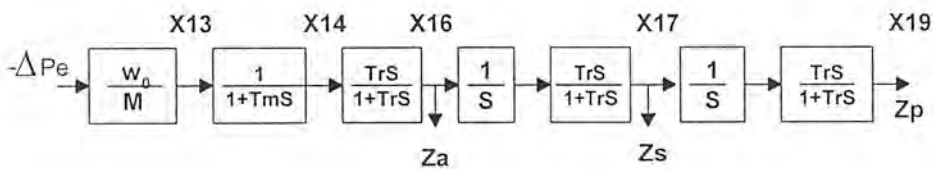
### บทที่ 4 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมเสถียรภาพที่นำเสนอ จะประกอบด้วยทั้งหมด 4 ส่วนดังรูปที่ 4.1 คือ SPID , อุปกรณ์ควบคุมแบบพีซีซี (FL) สำหรับการรบกวนแบบรุนแรง ซึ่งจะใช้อัตราพิพัตของ SPID เป็นอินพุต ,  $\Delta P$ -PSS(PPSS) สำหรับการรบกวนแบบเล็กน้อยและอุปกรณ์กลไกการตัดสินใจแบบพีซีซี (FJ)



รูปที่ 4.1 ระบบควบคุม

#### 4.1 SPID



รูปที่ 4.2 Block Diagram ของ SPID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์สมการจากแบบจำลอง รูปที่ 4.2 ได้ดังนี้

$$X_{14} = \frac{X_{13}}{1 + T_m S} \quad (4.1)$$

$$X_{14} + T_m S X_{14} = X_{13} \quad (4.2)$$

$$T_m S X_{14} = X_{13} - X_{14} \quad (4.3)$$

$$S X_{14} = \frac{X_{13} - X_{14}}{T_m} \quad (4.4)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.4) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_{14}}{dt} = \frac{X_{13} - X_{14}}{T_m} \quad (4.5)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_{16} = \frac{T_{r1} S}{1 + T_{r1} S} X_{14} \quad (4.6)$$

$$X_{16} + T_{r1} S X_{16} = T_{r1} S X_{14} \quad (4.7)$$

$$T_{r1} S X_{16} = T_{r1} S X_{14} - X_{16} \quad (4.8)$$

$$S X_{16} = S X_{14} - \frac{X_{16}}{T_{r1}} \quad (4.9)$$

$$S X_{16} = \left( \frac{X_{13} - X_{14}}{T_m} \right) - \frac{X_{16}}{T_{r1}} \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.10) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_{16}}{dt} = \left( \frac{X_{13} - X_{14}}{T_{r1}} \right) - \frac{X_{16}}{T_{r1}} \quad (4.11)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_{17} = \frac{T_{r2}}{1 + T_{r2}S} X_{16} \quad (4.12)$$

$$X_{17} + T_{r2}SX_{17} = T_{r2}X_{16} \quad (4.13)$$

$$T_{r2}SX_{17} = T_{r2}X_{16} - X_{17} \quad (4.14)$$

$$SX_{17} = X_{16} - \frac{X_{17}}{T_{r2}} \quad (4.15)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.15) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_{17}}{dt} = X_{16} - \frac{X_{17}}{T_{r2}} \quad (4.16)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_{19} = \frac{T_{r3}}{1 + T_{r3}S} X_{17} \quad (4.17)$$

$$X_{19} + T_{r3}SX_{19} = T_{r3}X_{17} \quad (4.18)$$

$$T_{r3}SX_{19} = T_{r3}X_{17} - X_{19} \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SX_{19} = X_{17} - \frac{X_{19}}{T_{r3}} \quad (4.20)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.20) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_{19}}{dt} = X_{17} - \frac{X_{19}}{T_{r3}} \quad (4.21)$$

#### 4.2 อุปกรณ์ควบคุมแบบฟัซซี่ ( Fuzzy control : FL)

ระบบควบคุมนี้ใช้ทฤษฎีฟัซซี่นำมาช่วยในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง จากสัญญาณ  $\Delta P_e$  ซึ่งจะผ่านเข้าไปในส่วนของ SPID ( PID information of generation speed ) จะได้ออกที่พหุเป็น  $Z_a$ ,  $Z_s$  และ  $Z_p$  ซึ่งค่า  $Z_a(k)$  เป็นค่าใกล้เคียงความเร่ง,  $Z_s(k)$  เป็นค่าใกล้เคียงความเบี่ยงเบนความเร็ว และ  $Z_p(k)$  เป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความต่างเฟส FL ได้นำเฟสเพลนเข้ามาช่วยโดยให้นำเอาค่า  $Z_s$  ให้อยู่ในแกนนอน ค่า  $\alpha$ ,  $Z_a$  อยู่ในแกนตั้งดังในรูปที่ 4.3

ในการปรับปรุงตัวรักษาเสถียรภาพของฟัซซี่นั้น ได้มีการเพิ่มในภาคของการควบคุมการลดความเร่งของระบบโดยใช้  $ZAA(k)$  และ  $ZSS(k)$  ซึ่งจะเป็นการเลื่อนแกนเพื่อให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพ ได้เร็วขึ้น

การเลื่อนขนาดของ  $ZSS(k)$  เป็นการปรับเพื่อเร่งเข้าสู่แกนในแนวตั้ง เมื่อ  $Z_p(k)$  เป็นบวก กำหนดให้

$$ZSS(k) = \alpha_p Z_p(k) \quad \text{เมื่อ} \quad Z_p(k) \geq Z_{pmin} \quad (4.22)$$

$$ZSS(k) = 0.0 \quad \text{เมื่อ} \quad Z_p(k) < Z_{pmin} \quad (4.23)$$

การเลื่อนขนาดของ  $ZAA(k)$  เป็นการปรับเพื่อเร่งเข้าสู่แกนนอน เมื่อ  $Z_s(k)$  เป็นลบ กำหนดให้

$$ZAA(k) = -\alpha_s Z_s(k) \quad \text{เมื่อ} \quad Z_s(k) \leq Z_{smin} \quad (4.24)$$

$$ZAA(k) = 0.0 \quad \text{เมื่อ} \quad Z_s(k) > Z_{smin} \quad (4.25)$$

ซึ่ง  $Z_{pmin}$  และ  $Z_{smin}$  เป็นช่วงกว้างตายตัว ( Dead Bands ) ที่พิจารณา การหาค่า  $Pr(k)$  ของระบบจากรูปที่ 4.3 สามารถหาได้โดย

$$Pr(k) = Dr(k) \angle \theta_r(k) \quad (4.26)$$

$$Dr(k) = [ ( Z_s(k) + ZSS(k) )^2 + ( \alpha_p Z_a(k) + ZAA(k) )^2 ]^{1/2} \quad (4.27)$$

$$\theta_r(k) = \text{Cos}^{-1} [ ( Z_s(k) + ZSS(k) ) / Dr(k) ] \quad (4.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

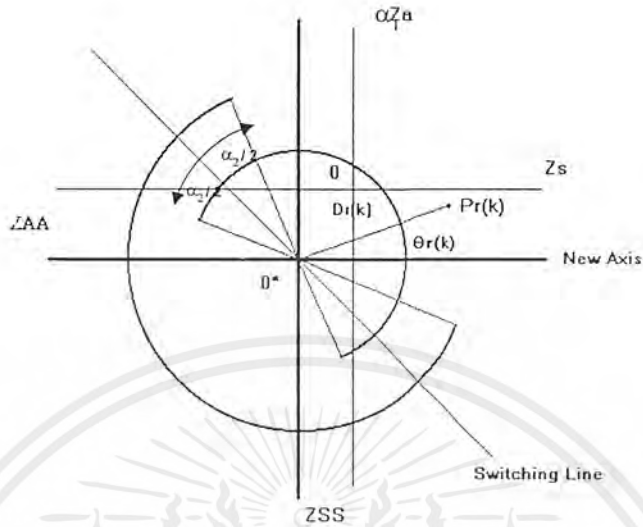
สัญญาณควบคุม  $U_1(k)$  ของ Fuzzy control หาได้จากวิธีการค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยของ Defuzzification โดยใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกตามรูปที่ 4.4 , 4.5

สัญญาณควบคุม

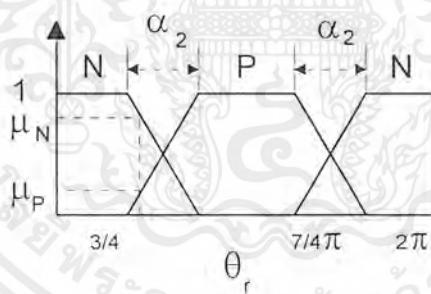
$$U_1(k) = \frac{\mu_N(k) - \mu_P(k)}{\mu_N(k) + \mu_P(k)} \mu_G(k) U_m \quad (4.29)$$

$$U_1(k) = [2\mu_N(k) - 1] \mu_G(k) U_m \quad (4.30)$$

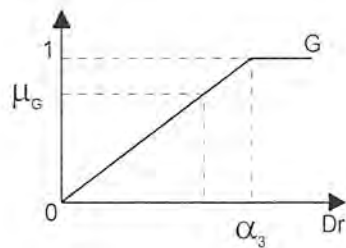
เมื่อกำหนดให้  $k$  เป็นเวลาสุ่ม(Sampling Time) ,  $\mu_P(k)$  ,  $\mu_N(k)$  ,  $\mu_G(k)$  เป็นฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก ,  $U_m$  เป็น ค่าจำกัดสูงสุดของสัญญาณควบคุม



รูปที่ 4.3 เฟสเพลน ( phase plane ) ที่มีการเลื่อนแกน



รูปที่ 4.4 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ  $\theta_r$

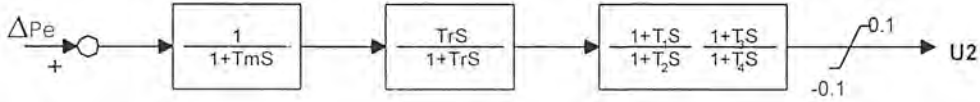


รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ  $D_r$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์ควบคุมแบบ  $\Delta P$ -PSS ( $\Delta P$ -PSS for small disturbance)

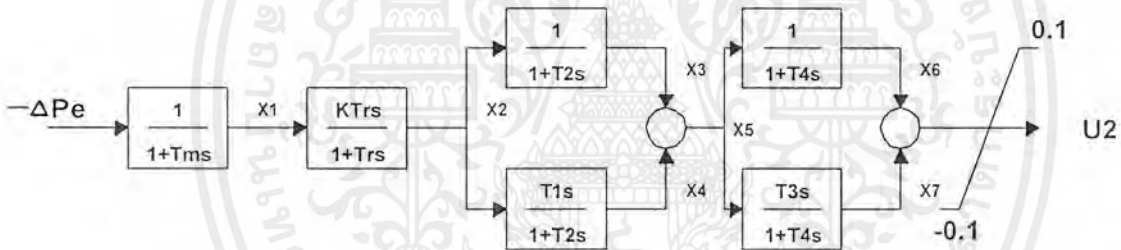
เป็นการวัดสัญญาณความเปลี่ยนแปลงไปของ  $\Delta P$  และ เป็นการออกแบบ PSS แบบอนาล็อก ใช้ในส่วนของกรควบคุมการเกิดความผิดปกติในระบบสายส่งแบบเล็กน้อย ( Small Disturbance )



( Disturbance )

รูปที่ 4.6 Block Diagram ของ  $\Delta P$ -PSS

เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการวิเคราะห์สมการ จึงทำการปรับปรุงแบบจำลองเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 Block Diagram ของ  $\Delta P$ -PSS ที่ทำการปรับปรุง

วิเคราะห์สมการจากแบบจำลอง รูปที่ 4.7 ได้ดังนี้

$$X_1 = \frac{-\Delta P_e}{1+T_m S} \tag{4.31}$$

$$X_1 + T_m S X_1 = -\Delta P_e \tag{4.32}$$

$$T_m S X_1 = -\Delta P_e - X_1 \tag{4.33}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SX_1 = \frac{-\Delta P_c - X_1}{T_m} \quad (4.34)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.34) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{-\Delta P_c - X_1}{T_m} \quad (4.35)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_2 = \frac{KT_r S}{1 + T_r S} X_1 \quad (4.36)$$

$$X_2 + T_r SX_2 = KT_r SX_1 \quad (4.37)$$

$$T_r SX_2 = KT_r SX_1 - X_2 \quad (4.38)$$

$$SX_2 = KSX_1 - \frac{X_2}{T_r} \quad (4.39)$$

$$SX_2 = \frac{K(-\Delta P_c - X_1)}{T_m} - \frac{X_2}{T_r} \quad (4.40)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.40) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_2}{dt} = \frac{K(-\Delta P_c - X_1)}{T_m} - \frac{X_2}{T_r} \quad (4.41)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_3 = \frac{X_2}{1+T_2S} \quad (4.42)$$

$$X_3 + T_2SX_3 = X_2 \quad (4.43)$$

$$T_2SX_3 = X_2 - X_3 \quad (4.44)$$

$$SX_3 = \frac{X_2 - X_3}{T_2} \quad (4.45)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.45) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_3}{dt} = \frac{X_2 - X_3}{T_2} \quad (4.46)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_4 = \frac{T_1S}{1+T_2S} X_2 \quad (4.47)$$

$$X_4 + T_2SX_4 = T_1SX_2 \quad (4.48)$$

$$T_2SX_4 = T_1SX_2 - X_4 \quad (4.49)$$

$$SX_4 = \frac{T_1SX_2}{T_2} - \frac{X_4}{T_2} \quad (4.50)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.50) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_4}{dt} = \frac{T_1SX_2}{T_2} - \frac{X_4}{T_2} \quad (4.51)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_5 = X_3 + X_4 \quad (4.52)$$

$$X_6 = \frac{X_5}{1+T_4S} \quad (4.53)$$

$$X_6 + T_4SX_6 = X_5 \quad (4.54)$$

$$T_4SX_6 = X_5 - X_6 \quad (4.55)$$

$$SX_6 = \frac{X_5 - X_6}{T_4} \quad (4.56)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.56) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_6}{dt} = \frac{X_5 - X_6}{T_4} \quad (4.57)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$X_7 = \frac{T_3S}{1+T_4S} X_5 \quad (4.58)$$

$$X_7 + T_4SX_7 = T_3SX_5 \quad (4.59)$$

$$T_4SX_7 = T_3SX_5 - X_7 \quad (4.60)$$

$$SX_7 = \frac{T_3SX_5 - X_7}{T_4} \quad (4.61)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.61) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dX_7}{dt} = \frac{T_3 SX_5}{T_4} - \frac{X_7}{T_4} \quad (4.62)$$

วิเคราะห์สมการส่วนที่เหลือจากแบบจำลองได้ดังนี้

$$SX_7 = \frac{T_3}{T_4} \left[ \left( \frac{X_2 - X_3}{T_2} \right) + \left( \frac{T_1 K (-\Delta P_c - X_1)}{T_m T_2} - \frac{T_1 X_2}{T_r T_2} - \frac{X_4}{T_2} \right) \right] - \frac{X_7}{T_4} \quad (4.63)$$

ทำการแปลงอินเวอร์สลาปลาซสมการ (4.63) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_7}{dt} = \frac{T_3}{T_4} \left[ \left( \frac{X_2 - X_3}{T_2} \right) + \left( \frac{T_1 K (-\Delta P_c - X_1)}{T_m T_2} - \frac{T_1 X_2}{T_r T_2} - \frac{X_4}{T_2} \right) \right] - \frac{X_7}{T_4} \quad (4.64)$$

ผลรวมสุดท้ายของสัญญาณ U2 คือ

$$U_2 = X_6 + X_7 \quad (4.65)$$

#### 4.4 อุปกรณ์กลไกช่วยการตัดสินใจแบบฟัซซี่ ( Fuzzy Judgement Mechanism : FJ )

กลไกการตัดสินใจของฟัซซี่ FJ จะพิจารณาขนาดสัญญาณรบกวนและส่วนของระบบ ลักษณะเฉพาะของการแกว่ง โดยการใช้นาฬิกาของสัญญาณรบกวน ซึ่งกำหนดให้

$$Dd = \sqrt{Z_o^2 + Z_s^2} \quad (4.66)$$

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Dd แสดงในรูปที่ 4.8 ได้ประยุกต์ใช้ข้อวินิจฉัยของฟัซซี่บนพื้นฐานหลักการที่ว่า

ถ้า Dd(k) มีขนาดใหญ่ U1(k) จะถูกนำมาพิจารณา

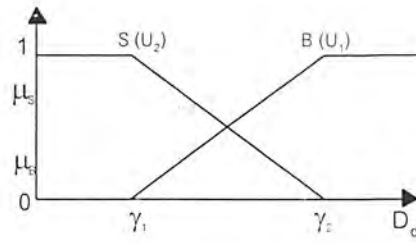
ถ้า Dd(k) มีขนาดเล็ก U2(k) จะถูกนำมาพิจารณา

ถ้า Dd(k) อยู่ในส่วนกลางระหว่างทั้งสอง การรวมกันของทั้ง U1(k) และ U2(k) ถูกนำมาพิจารณาโดยที่

$$Uc(k) = U2(k) + \mu_b(k) [ U1(k) - U2(k) ] \quad (4.67)$$

เมื่อ Uc(k) เป็นสัญญาณควบคุมของการรักษาเสถียรภาพแบบไฮบริด (Hybrid Type) ที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ FJ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## การออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบและโปรแกรมเจเนติก

เนื้อหาของบทนี้เป็นการอธิบายขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบและโปรแกรมเจเนติกโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบซึ่งได้แก่โปรแกรมจำลองที่ควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริด (กรณีการควบคุมแบบผสมผสาน) ส่วนที่สอง เป็นการออกแบบโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมแบบพื้นฐาน

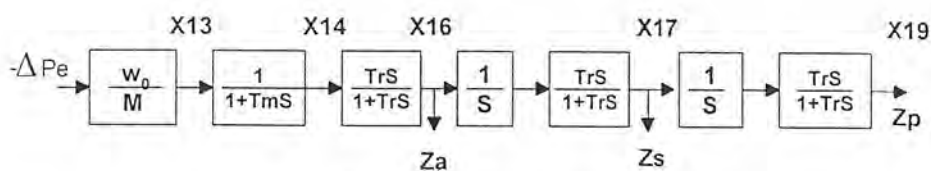
## 5.1 การออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบ

โปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบเป็นการจำลองระบบโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดหรือ การควบคุมแบบผสมผสาน โดยใช้ระบบควบคุม 4 ชนิด คือ

1. PID information of generator speed (SPID)
2. Fuzzy Control for large disturbance (FL)
3.  $\Delta P$  - type PSS for small disturbance (PPSS)
4. Fuzzy Judgement mechanism (FJ)

1. ในกรณีของการควบคุม SPID จำเป็นต้องใช้ค่าตัวแปรที่สำคัญทั้งหมด 3 ตัวแปรได้แก่  $Z_a$ ,  $Z_s$ ,  $Z_p$

ซึ่งในกรณีนี้ ค่าตัวแปรทั้ง 3 ค่า จะสามารถหาได้จาก Block Diagram ในรูปที่ 5.1 และในส่วนค่าตัวแปรเวลาต่าง ๆ นั้น เรากำหนดให้เป็นค่าคงที่



รูปที่ 5.1 Block Diagram ของ SPID

2. ในกรณีของการควบคุม FL จำเป็นต้องใช้ค่าตัวแปรที่สำคัญทั้งหมด 7 ตัว  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$

,  $\alpha_4$ ,  $\alpha_5$ ,  $Z_{smin}$  และ  $Z_{pmin}$  โดยค่าตัวแปรเหล่านี้เราจะใช้โปรแกรมเจเนติกเป็นตัวช่วยหาค่าที่

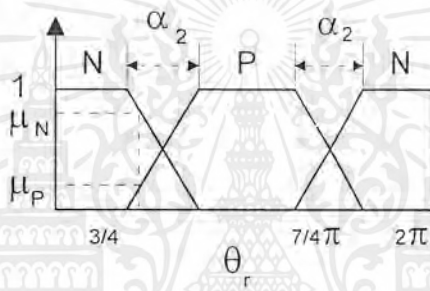
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของ SPID ร่วมกับ FL นั้น ต้องการให้ได้สัญญาณ U1 ออกมา ทำให้ต้องมีการเพิ่มเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาค่า U1 ออกมาโดยจะต้องมีการหาค่า  $\theta$ ,  $\mu_n$ ,  $\mu_g$  ดังนี้

2.1 การหาค่ามุม  $\theta$

ข้อมูล  $Z_s$  และ  $\alpha_1 Z_a$  เป็นตัวกำหนดจุด  $P(r)$  บนเฟสเพลน มุม  $\theta$  สามารถหาได้ตามขั้นตอนของโพลีซาร์ดังรูปที่ 5.6

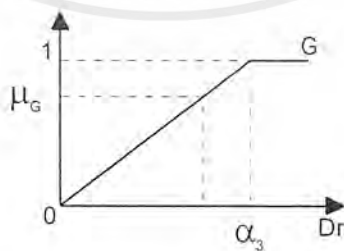
2.2 การหาค่า  $\mu_n$



รูปที่ 5.2 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ  $\theta_r$

ในการหาค่าของ  $\mu_n$  นั้น จะพิจารณาตามเงื่อนไขของ  $\theta$  ที่คำนวณได้ มาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขดังโพลีซาร์รูปที่ 5.7

2.3 การหาค่า  $\mu_g$



รูปที่ 5.3 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ  $Dr$

ในการหาค่าของ  $\mu_g$  สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1  $0 \leq Dr \leq \alpha_3$

$$\mu_g(Dr) < 1.0 \quad (5.1)$$

$$\mu_g(Dr) = Dr/\alpha_3 \quad (5.2)$$

กรณีที่ 2  $Dr \geq \alpha_3$

$$\mu_g(Dr) > 1.0 \quad (5.3)$$

$$\mu_g(Dr) = 1.0 \quad (5.4)$$

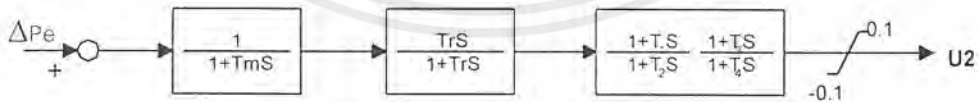
ดังนั้นลำดับขั้นตอนของการคำนวณหาค่าสัญญาณ  $U_1$  จากการควบคุมของ SPID และ FL จะเป็นไปตามโฟลว์ชาร์ทรูปที่ 5.8

และในส่วนการคำนวณค่า  $U_1$  สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$U_1(k) = \frac{\mu_N(k) - \mu_p(k)}{\mu_N(k) + \mu_p(k)} \mu_G(k) U_m \quad (5.5)$$

$$U_1(k) = [2\mu_N(k) - 1] \mu_G(k) U_m \quad (5.6)$$

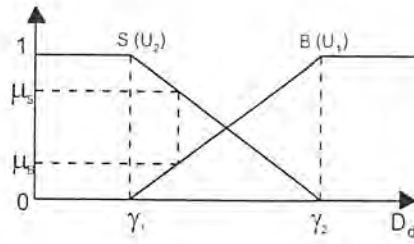
3. ในกรณีของการควบคุมแบบ PPSS มีจุดมุ่งหมายในการหาค่าสัญญาณควบคุม  $U_2$  สำหรับการควบคุมแบบ Small Disturbance โดยกำหนดให้ค่าคงที่ทางเวลาเป็นค่าคงที่ ส่วนค่าตัวแปร T1-T4 สามารถใช้โปรแกรมเจนเนติกอัลกอริทึมช่วยในการคัดเลือกได้ ตาม Block Diagram ดังรูปที่ 5.4 ดังนี้



รูปที่ 5.4 Block Diagram ของ  $\Delta P$ -PSS

4. ในกรณีการควบคุมโดยFNนั้นเป็นการตัดสินใจขั้นสุดท้ายในการเลือกสัญญาณควบคุมระหว่างสัญญาณ  $U_1$  และ  $U_2$  ในการควบคุมระบบ ตามรูปที่ 5.5 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิกของ FJ

โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1. ถ้า  $\gamma_1 = \gamma_2$  และ ถ้า  $D(r) < \gamma_1$

แล้วค่า  $\mu_b = 0$

(5.7)

กรณีที่ 2. ถ้า  $\gamma_1 = \gamma_2$  และ ถ้า  $D(r) \geq \gamma_1$

แล้วค่า  $\mu_b = 1.0$

(5.8)

กรณีที่ 3. ถ้า  $\gamma_1 \neq \gamma_2$

$$\mu_s = (D(r) - \gamma_2) / (\gamma_1 - \gamma_2)$$

(5.9)

ถ้า  $\mu_s > 1.0$  แล้ว  $\mu_s = 1.0, \mu_b = 0.0$

(5.10)

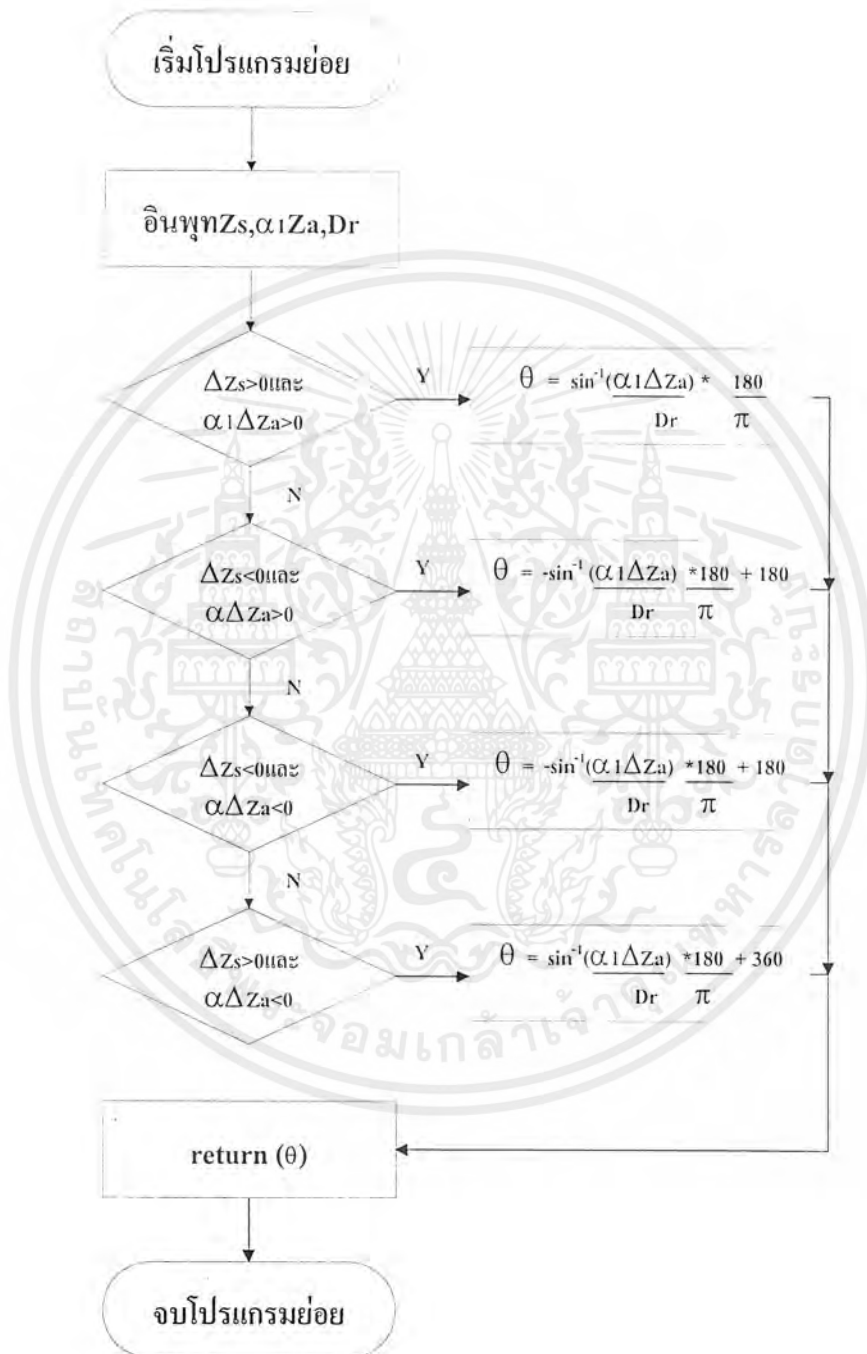
ถ้า  $\mu_s < 0.0$  แล้ว  $\mu_s = 0.0, \mu_b = 1.0$

(5.11)

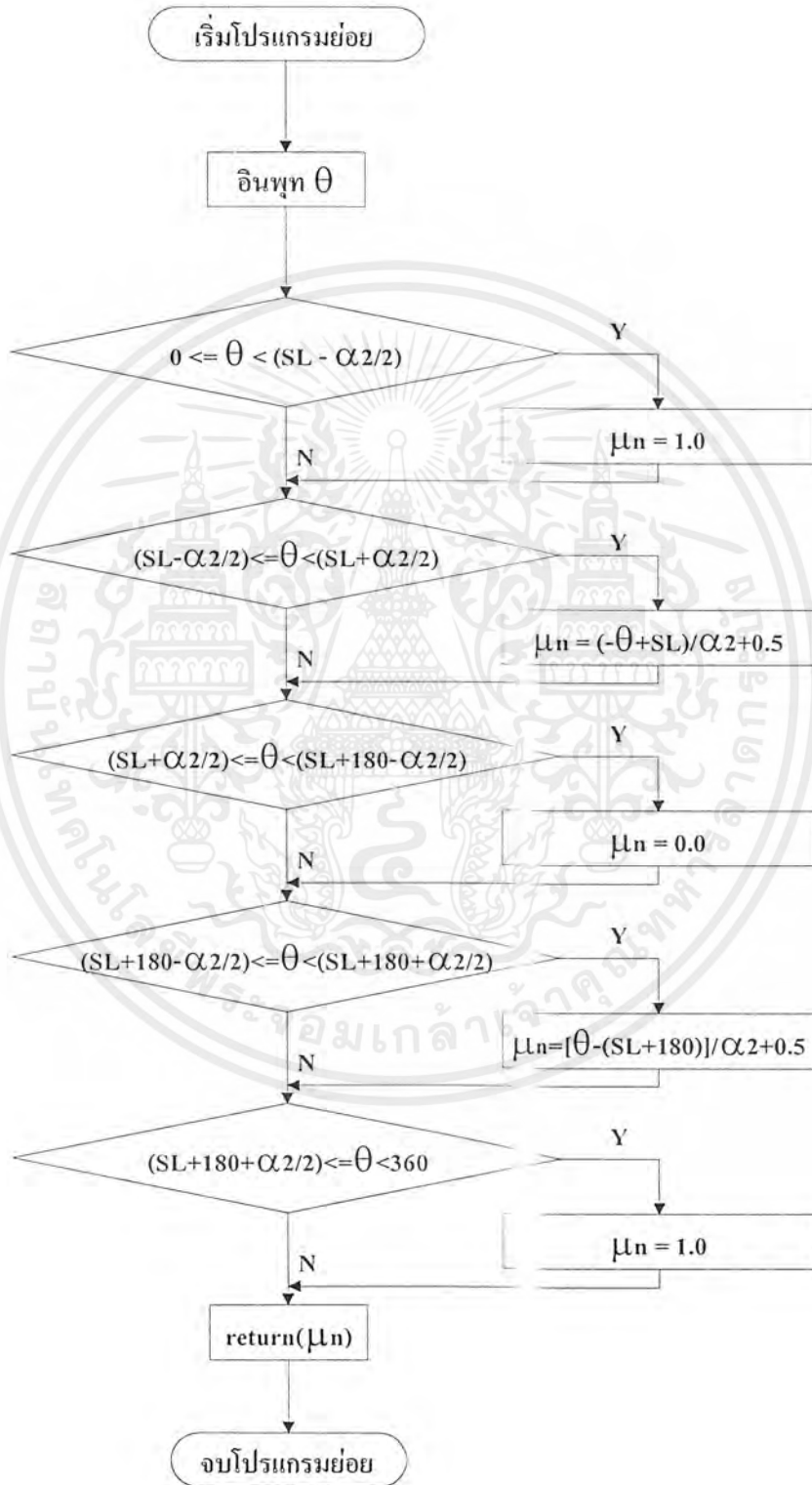
หลังจากได้ค่าตัวแปรทั้งหมดที่ใช้การควบคุมทั้ง 4 แบบแล้ว จะต้องทำการคำนวณค่าสัญญาณสุดท้ายเพื่อนำไปทำการควบคุมค่า Voltage Field ของ AVR โดยการคำนวณค่าสัญญาณสุดท้าย ( $U_c$ ) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$U_c(k) = U_2(k) + \mu_s(k) [U_1(k) - U_2(k)] \quad (5.12)$$

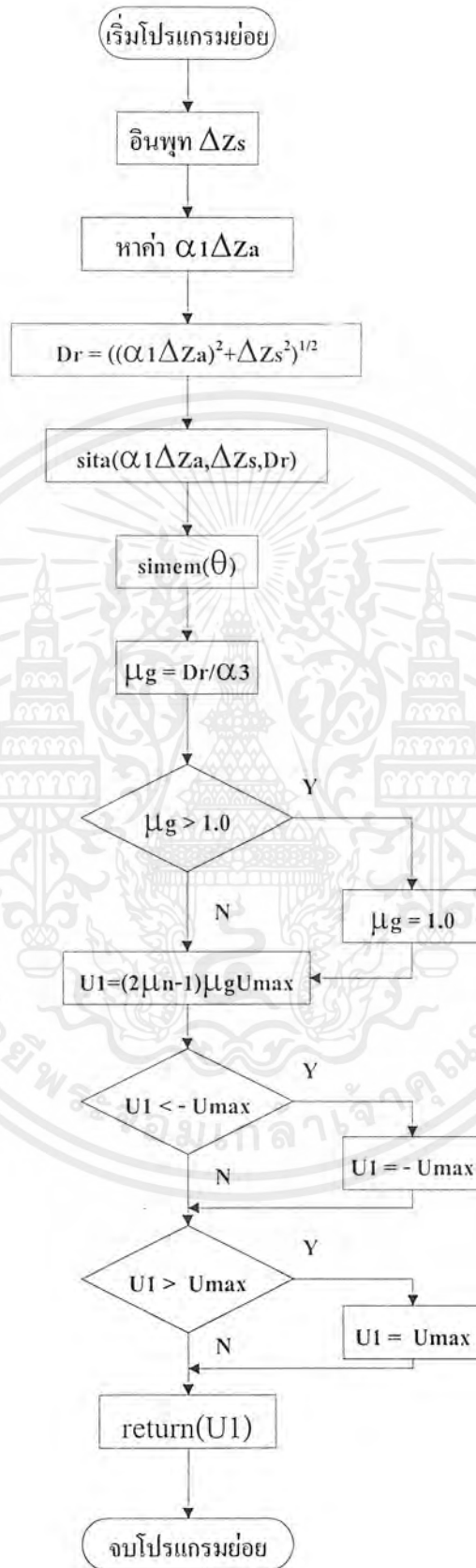
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 โพลีชาร์ทการหาค่ามุม  $\theta$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 โฟลว์ชาร์ทการหาค่า  $\mu_n$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.8 โฟลว์ชาร์ทการหาค่า  $\mu_g$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคลังข้อมูลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การออกแบบโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะเกี่ยวกับการออกแบบเจเนติกอัลกอริทึมและการใช้เจเนติกอัลกอริทึมในโปรแกรมรวมกับการควบคุมระบบโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริด

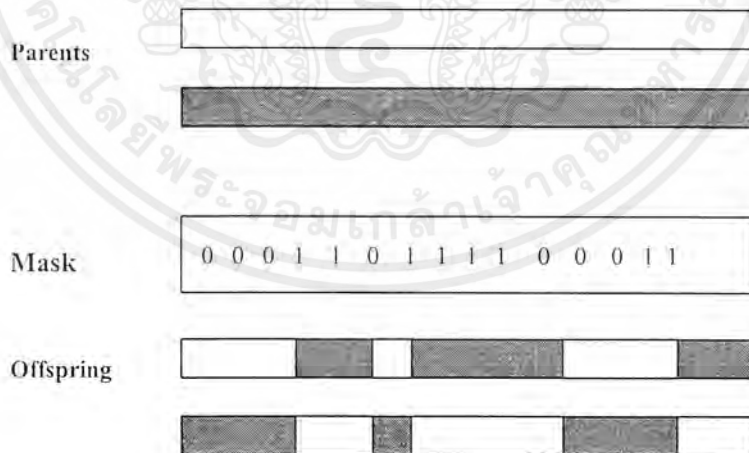
โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้นั้น ใช้โปรแกรมเจเนติกแบบพื้นฐาน หรือ Simple Genetic ซึ่งเป็นโปรแกรมเจเนติกที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและพัฒนาต่อไปโดยวัตถุประสงค์ของโปรแกรมเจเนติกนั้นเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการคัดเลือกค่าตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการควบคุมโดยใช้ลักษณะของการคัดเลือกทางพันธุกรรมเป็นต้นแบบซึ่งจะใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมเป็นตัวที่ทำให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงและพัฒนาของค่าตัวแปร โดยค่าตัวแปรในรุ่นต่อไปนั้นอาจจะมีคุณภาพที่ดีขึ้นหรือคุณภาพด้อยลงได้

ขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมเจเนติกพื้นฐานที่ได้ออกแบบไว้ มีลักษณะดังนี้

### 1. การ Cross Over

การทำครอสโอเวอร์ที่ใช้ในโปรแกรมที่นำเสนอนี้เป็นการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.9



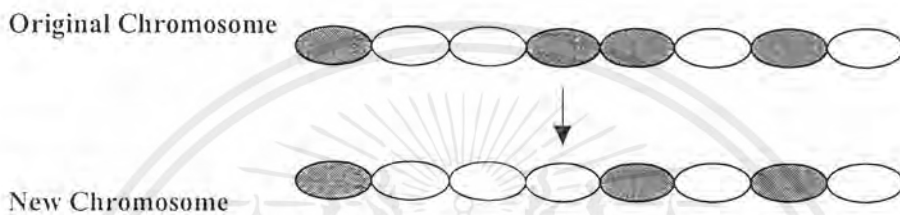
รูปที่ 5.9 การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม

โดยจะเริ่มจากการสร้าง mask ด้วยการสุ่มตามจำนวนบิตของประชากรเริ่มต้น สำหรับ C1 บิตที่เป็น 0 ของ mask จะสำเนาโครโมโซม P1 บางส่วน บิตที่เป็น 1 ของ mask จะสำเนาโครโมโซม P2 บางส่วน สำหรับ C2 บิตที่เป็น 0 ของ mask จะสำเนาโครโมโซม P2 บางส่วน บิตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็น 1 จะสำเนาโครโมโซม P1 บางส่วน โพลีเมอร์ของโครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม แสดงดังรูปที่ 5.11

## 2. การมิวเทชัน

การทำการมิวเทชัน แสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 การมิวเทชัน

ขั้นตอนการมิวเทชันที่แสดงไว้ โดยเริ่มจากการสร้าง mask โดยทำการสุ่มค่าตามจำนวนบิตของประชากรเริ่มต้น ตำแหน่งบิตที่ 1 ของ mask จะทำการกลับค่าของ P1 จาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 โพลีเมอร์ของการมิวเทชัน แสดงดังรูปที่ 5.12

## 3. การคัดเลือก

การคัดเลือกที่ใช้ในโปรแกรมนี้ เป็นการคัดเลือกแบบวงล้อรูเลต (Roulette wheel selection) ซึ่งเหตุผลในการใช้การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลตนั้นเพราะว่าโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมที่ออกแบบนั้นมุ่งประเด็นไปที่ค่าของ Performance index โดยเปรียบเทียบกันระหว่าง เจเนอเรชันว่า เจเนอเรชันใดมีค่า Performance index ค่าที่สุด โดยพิจารณาค่าตัวแปรหลายๆตัว เท่านั้นทำให้การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลตสามารถใช้ได้โดยครอบคลุมเพียงพอแล้ว

โดยวิธีการนี้จะเป็นการคัดเลือกตามส่วน โดยพิจารณาค่าฟิตเนสของประชากรแต่ละตัว โดยพิจารณาแบ่งอัตราส่วนของพื้นที่รูเลตตามสัดส่วนของค่าฟิตเนส โดยให้เส้นรอบวงของวงล้อรูเลต คือ ผลรวมของค่าฟิตเนสของประชากรแต่ละตัว จากนั้นสุ่มค่าตั้งแต่ 0 – sumfitness ถ้าตัวเลขที่สุ่มนั้นไปหยุดอยู่ในส่วนพื้นที่ใด ประชากรตัวนั้นก็จะถูกเลือก

โดยค่า performance index ที่ใช้ในการคัดเลือกนั้นมีค่าตามสมการที่ (5.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J = \sum \{ [Z_s(k)^2 + 10 \times U_c(k)^2] [kT]^2 \} \quad (5.13)$$

#### 4. อีลิทิสซึม (Elitism)

อีลิทิสซึมเป็นการเก็บรักษาโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้ในแต่ละเจเนอเรชันเพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละเจเนอเรชันถัดไปจะดีกว่าเจเนอเรชันก่อนหน้าเสมอ

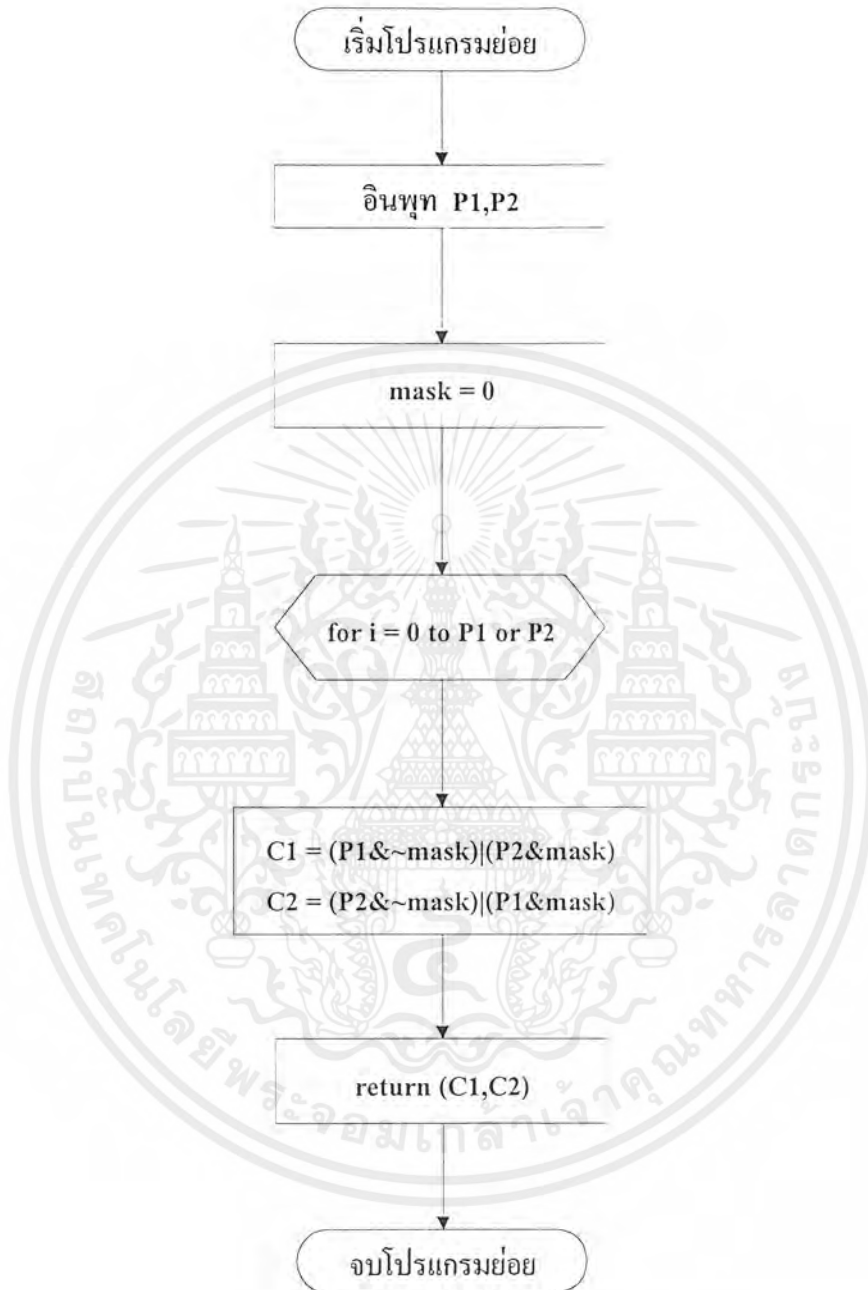
#### 5. การปรับค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเทชัน

โดยปกติแล้วความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์จะอยู่ในช่วง 0.6 – 0.9 และความน่าจะเป็นในการมิวเทชันจะไม่เกิน 0.1 ในตอนเริ่มต้นของเจเนอเรชันแรกๆ นั้นต้องการความหลากหลายของประชากร ดังนั้นความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ควรมีค่าสูงและความน่าจะเป็นในการมิวเทชันควรมีค่าต่ำ แต่เมื่อเจเนอเรชันสูงๆ ผลของการครอสโอเวอร์จะน้อยลงและอาจนำไปสู่การลู่เข้าก่อนกำหนดได้ ดังนั้นความหลากหลายในช่วงนี้สามารถปรับได้โดยเพิ่มความน่าจะเป็นในการมิวเทชันให้สูงขึ้น และลดความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ให้ลดลง

ในโปรแกรมที่เขียนขึ้นจะปรับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นจนถึง 0.6 และความน่าจะเป็นของการมิวเทชันจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจนถึง 0.1 โดยเป็นไปตามสมการ (5.14) และ (5.15) โดย  $P_c(0)$  คือค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นของการครอสโอเวอร์  $P_m(0)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นของการมิวเทชัน ซึ่งสามารถกำหนดได้จากค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

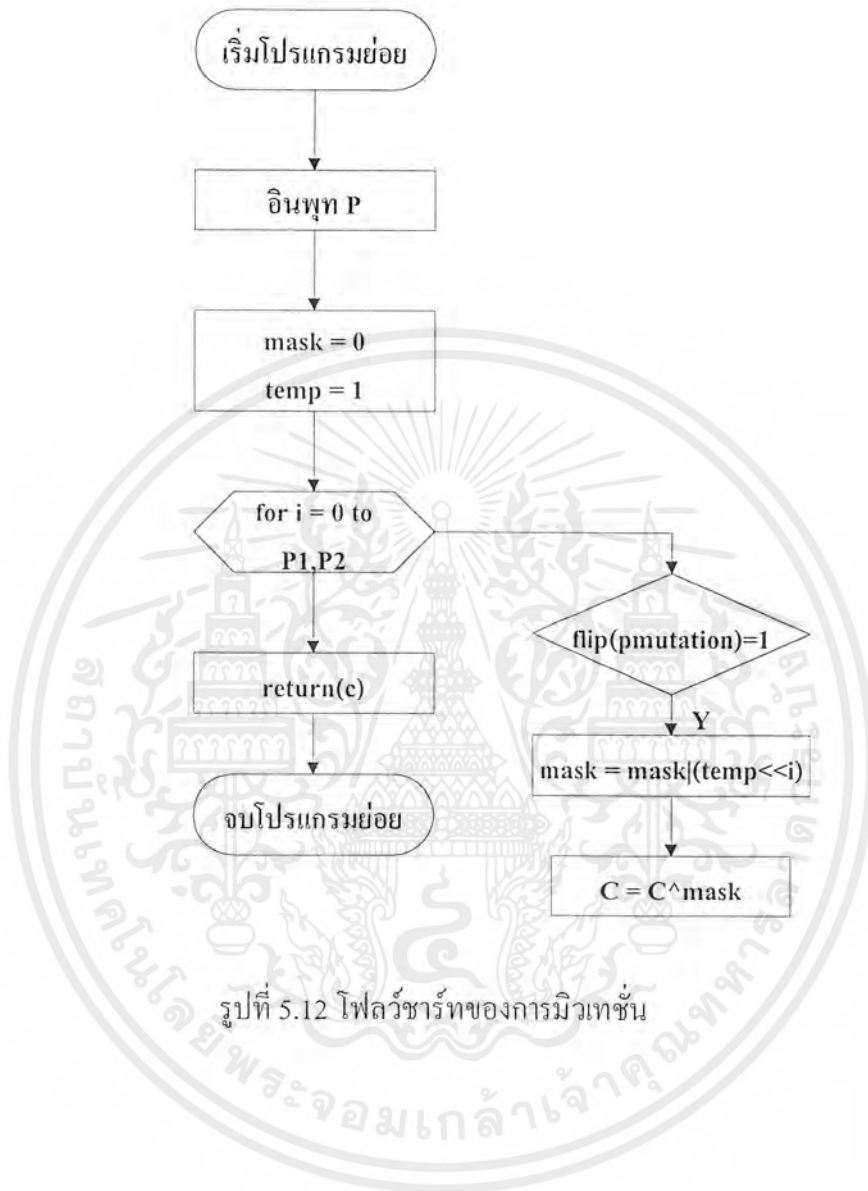
$$P_c(t) = \frac{P_c(t-1) - [P_c(0) - 0.6]}{MaxGen} \quad (5.14)$$

$$P_m(t) = \frac{P_m(t-1) + [0.1 - P_m(0)]}{MaxGen} \quad (5.15)$$



รูปที่ 5.11 โฟลว์ชาร์ทของการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 โฟลว์ชาร์ตของการมีเวชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับฉากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

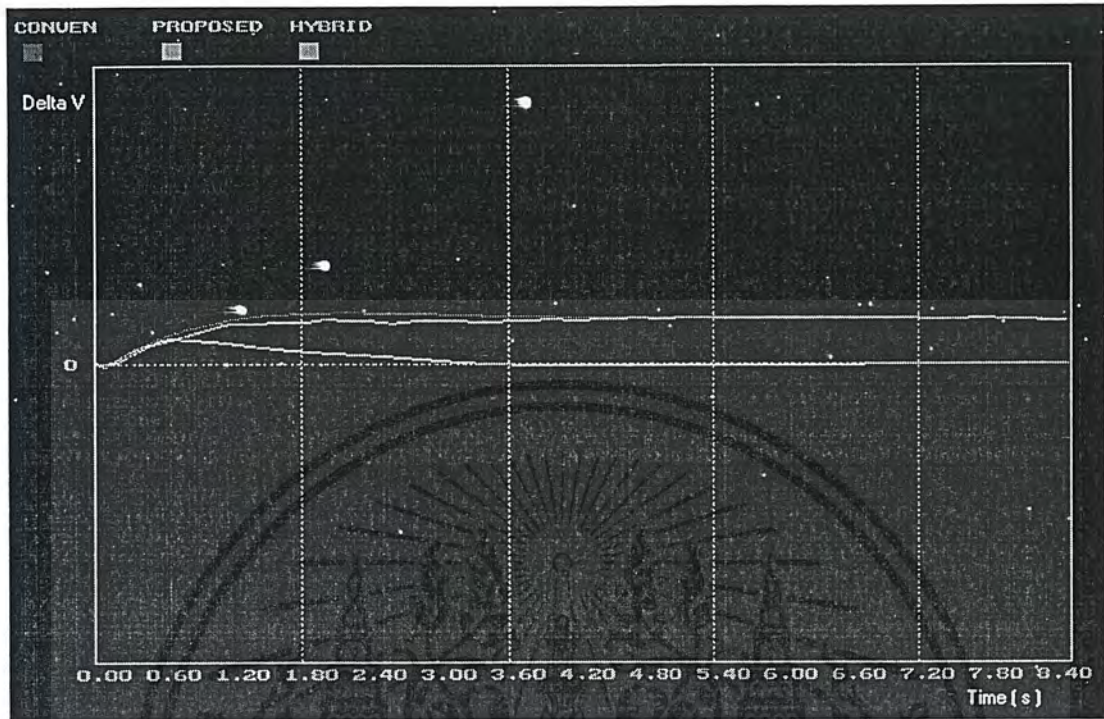
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองการทดลองซึ่งได้แบ่งประเด็นใหญ่ๆในการพิจารณาไว้ 2 ประเด็น ได้แก่

1. การนำระบบควบคุมแบบไฮบริดมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพ มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบควบคุมแบบเดิม
2. การนำเทคนิคอัลกอริทึมมาใช้ในการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ควบคุม นั้นจะช่วยทำให้ประหยัดเวลาการแทนค่าตัวแปรในทุกๆค่า

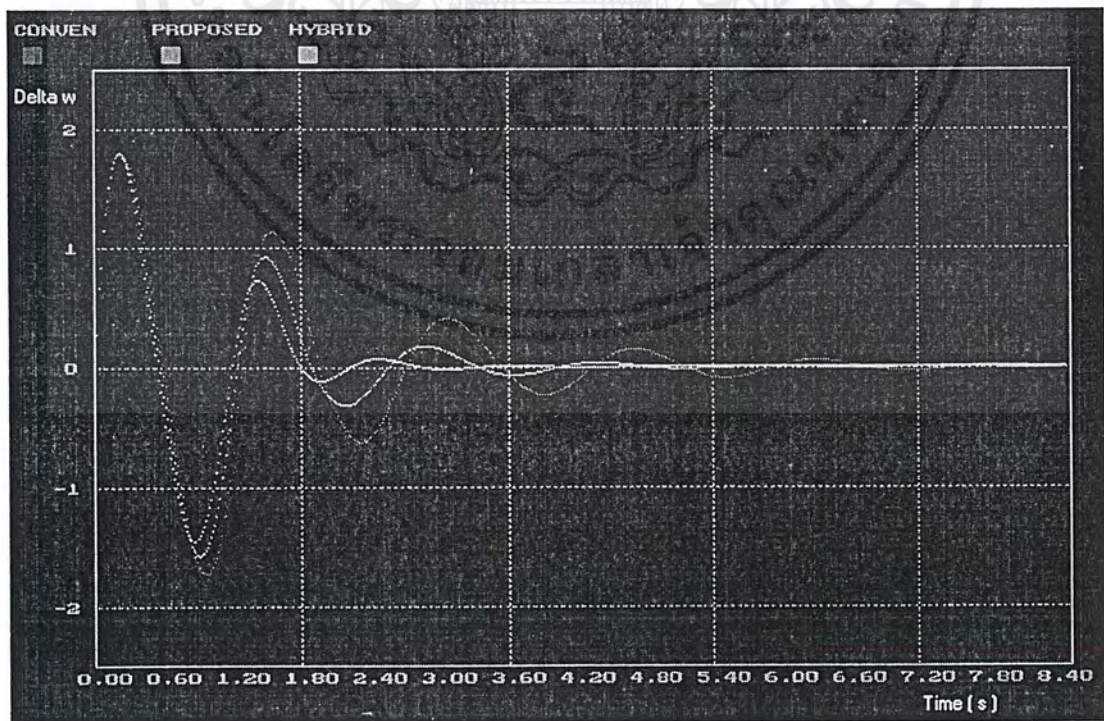
#### 6.1 การทดลองที่ 1

เพื่อให้เห็นว่าการนำระบบควบคุมแบบไฮบริดมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพ มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบควบคุมแบบเดิม การทดลองนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลจากการรักษาเสถียรภาพ โดยระบบควบคุมต่างๆดังนี้

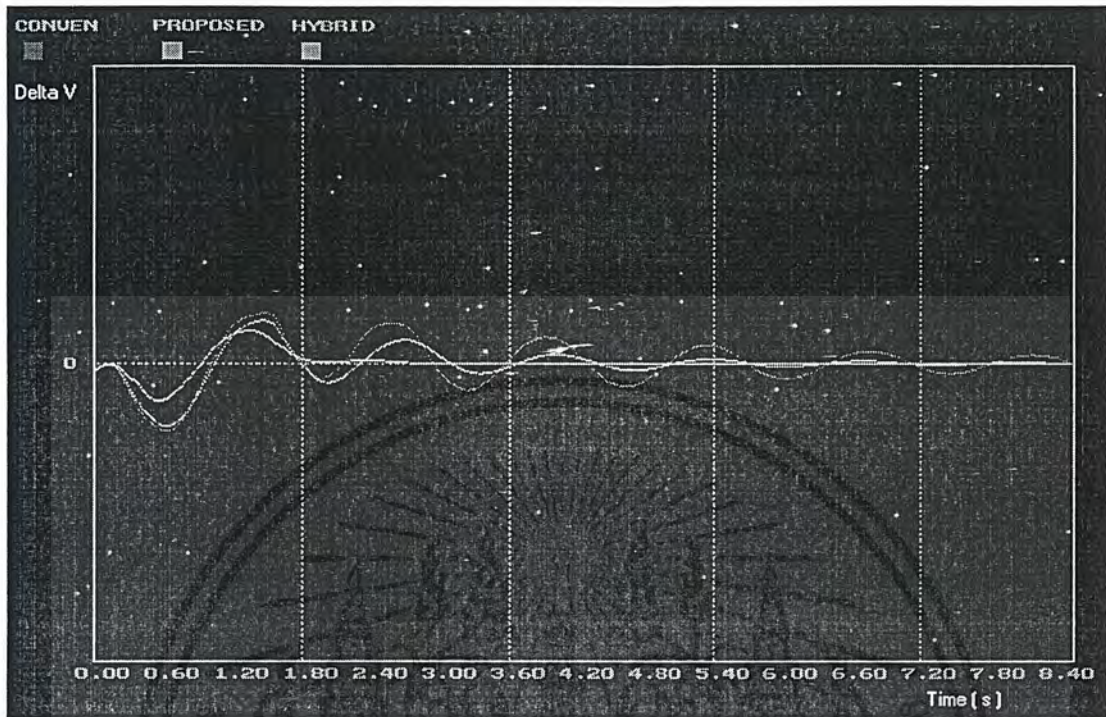
1. ระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ Conventional Controlled ( กราฟสีน้ำเงิน ( CONVEN ))
2. ระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ FPSS Controlled ( กราฟสีเขียว ( PROPOSED ))
3. ระบบควบคุมแบบไฮบริด ( กราฟสีฟ้า ( HYBRID ))



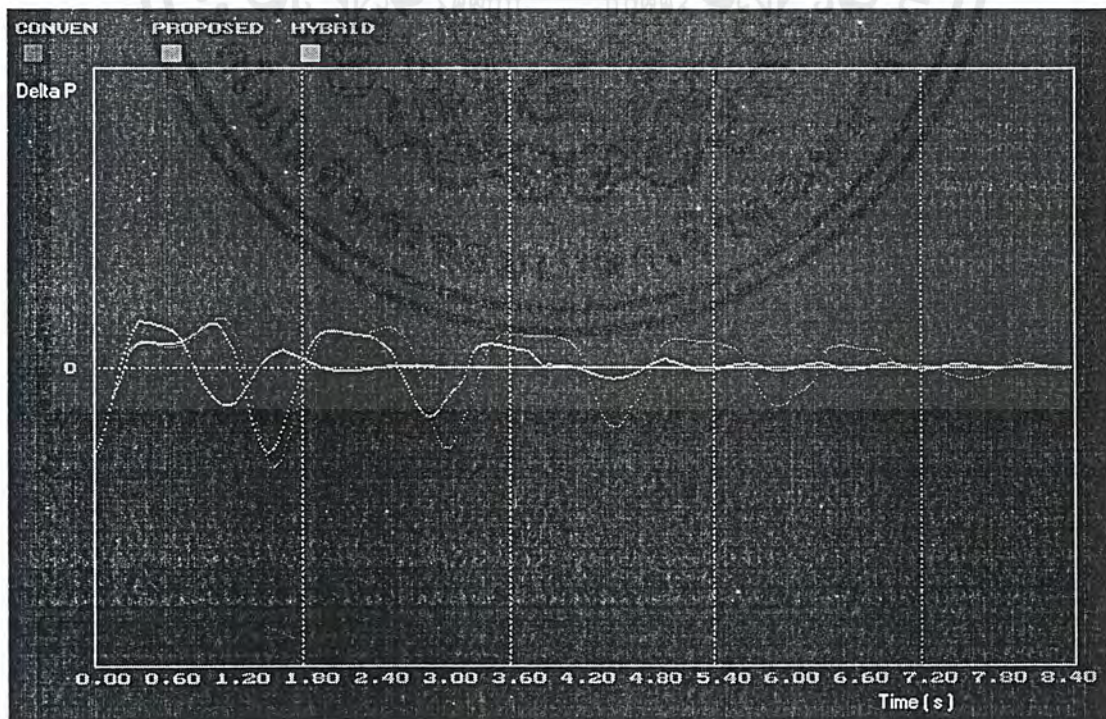
รูปที่ 6.1 กราฟของ  $\Delta V$  ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง 3 แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย



รูปที่ 6.2 กราฟของ  $\Delta \omega$  ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง 3 แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 กราฟของ  $\Delta V$  ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง



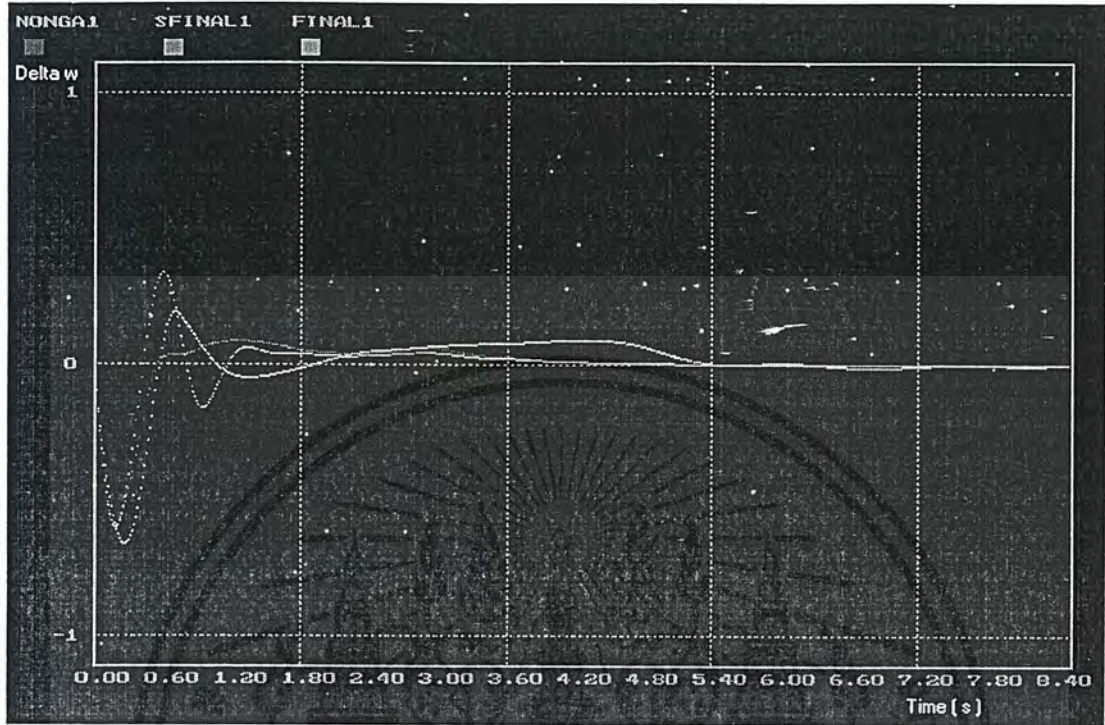
รูปที่ 6.4 กราฟของ  $\Delta P$  ควบคุมโดยระบบควบคุมทั้ง3แบบ เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 การทดลองที่ 2

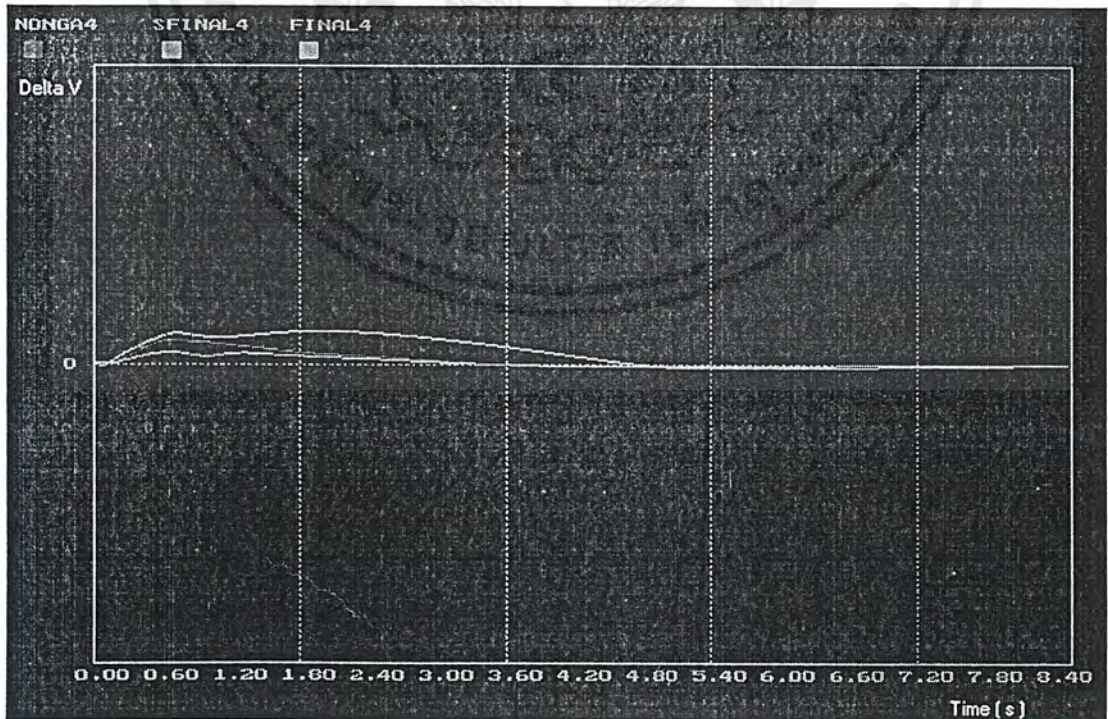
เพื่อให้เห็นว่าการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมนั้น ทำให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพโดยใช้เวลาใกล้เคียงกับการที่ใช้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดมาป้อนให้กับระบบควบคุม ซึ่งการที่จะหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดได้นั้นต้องทำการแทนค่าตัวแปรในทุกๆค่าทำให้ใช้เวลามาก การทดลองนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลจากการรักษาเสถียรภาพ โดยการหาค่าตัวแปร โดยวิธีต่างๆดังต่อไปนี้

1. การนำชุดค่าตัวแปรที่ดีที่สุดป้อนให้กับระบบควบคุม
2. การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าตัวแปร (3 ตัวแปร :  $\alpha_1$  ,  $\alpha_2$  ,  $\alpha_3$ )
3. การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าตัวแปร (9 ตัวแปร :  $\alpha_1$  ,  $\alpha_2$  ,  $\alpha_3$  ,  $T_1$  ,  $T_2$  ,  $T_3$  ,  $T_4$  ,  $\gamma_1$  ,  $\gamma_2$ )

การทดลองที่ 2.1 เพื่อให้เห็นว่าการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมนั้น ทำให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพโดยใช้เวลาใกล้เคียงกับการที่ใช้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดมาป้อนให้กับระบบควบคุม  
แสดงผลดังกราฟรูปที่ 6.5 – รูปที่ 6.10

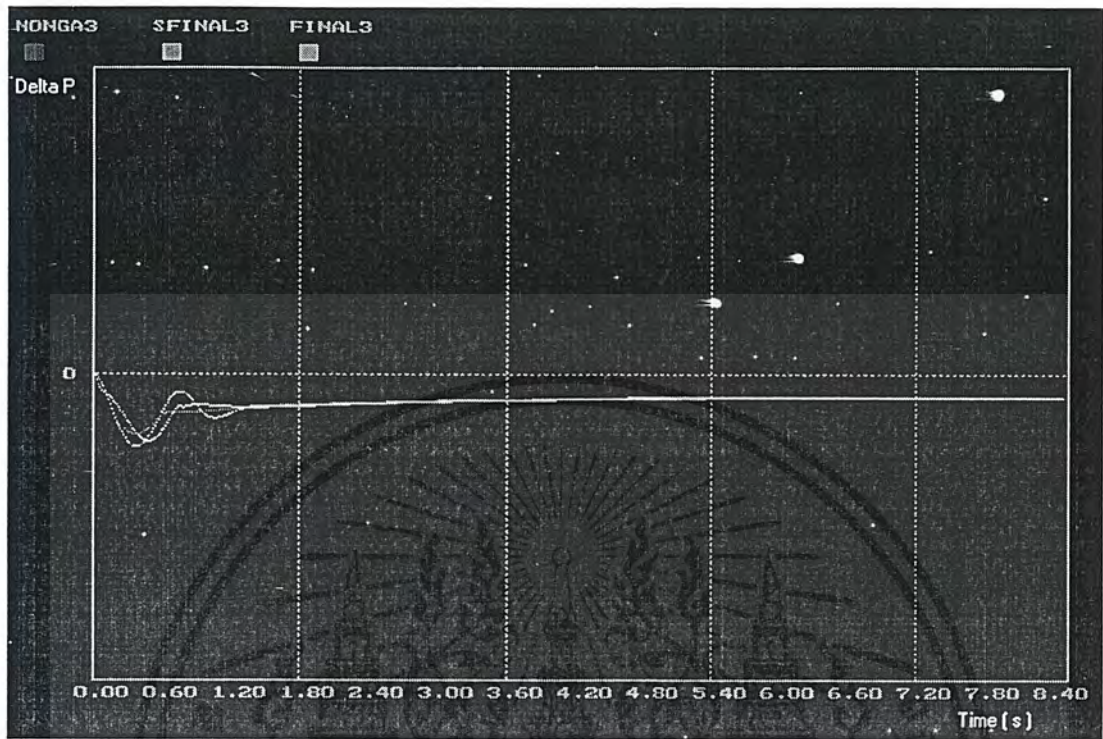


รูปที่ 6.5 กราฟของ  $\Delta\omega$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย

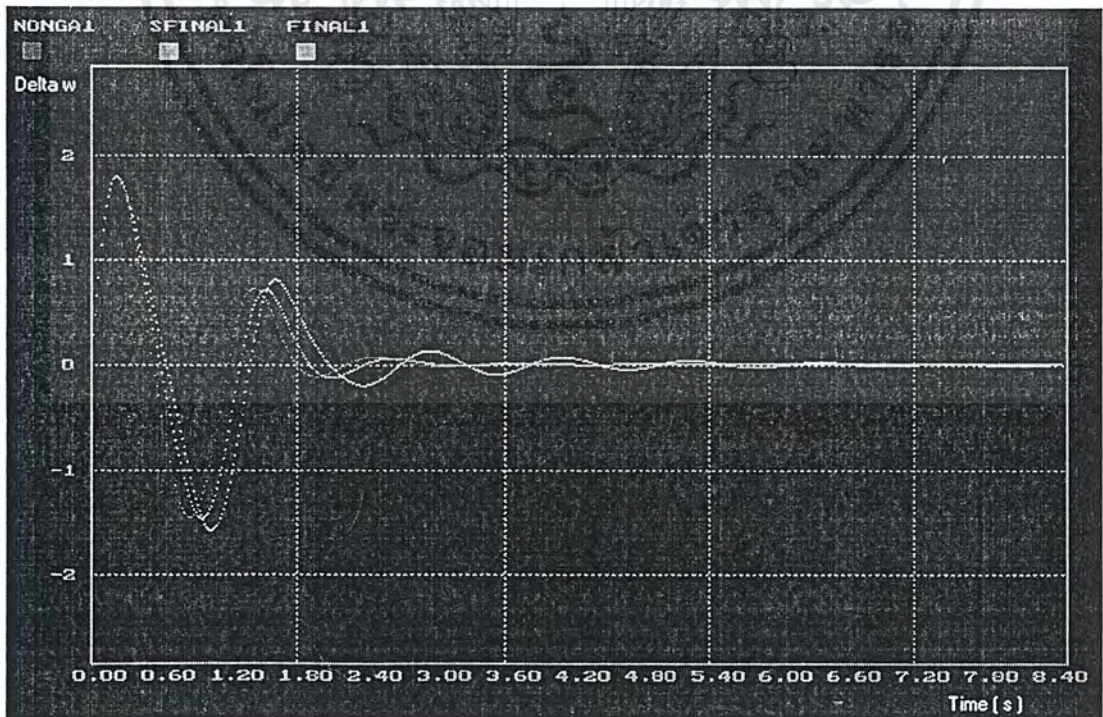


รูปที่ 6.6 กราฟของ  $\Delta V$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยกรมการขนส่งทางบก ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาทั้งหมด ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

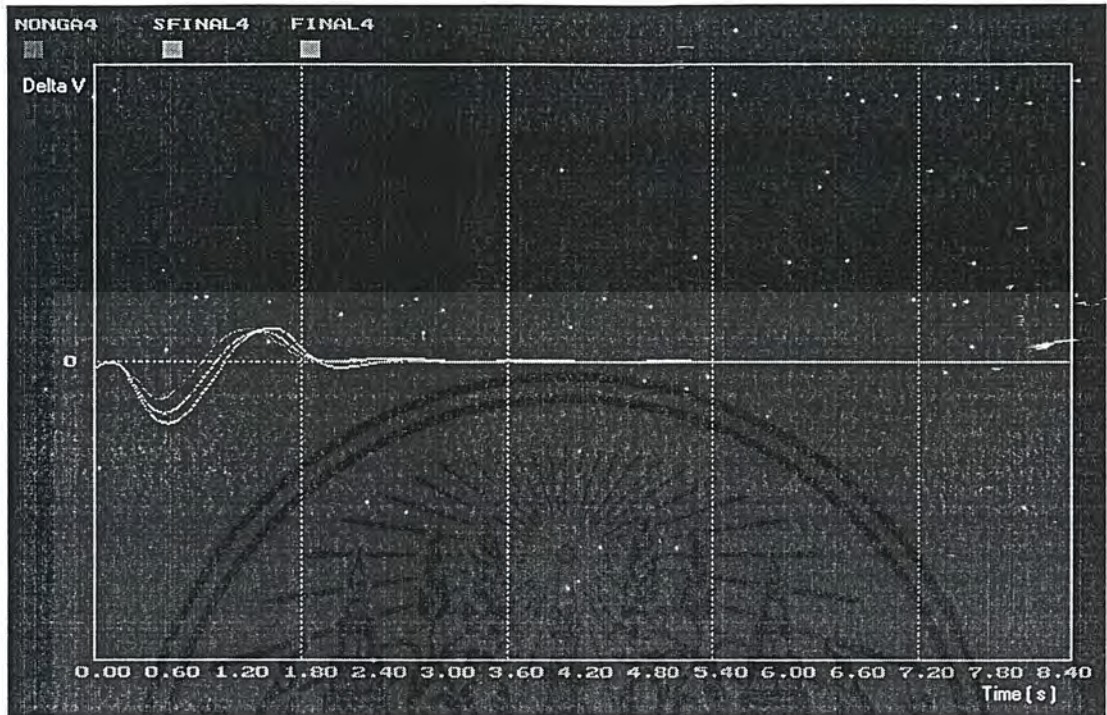


รูปที่ 6.7 กราฟของ  $\Delta P$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบเล็กน้อย

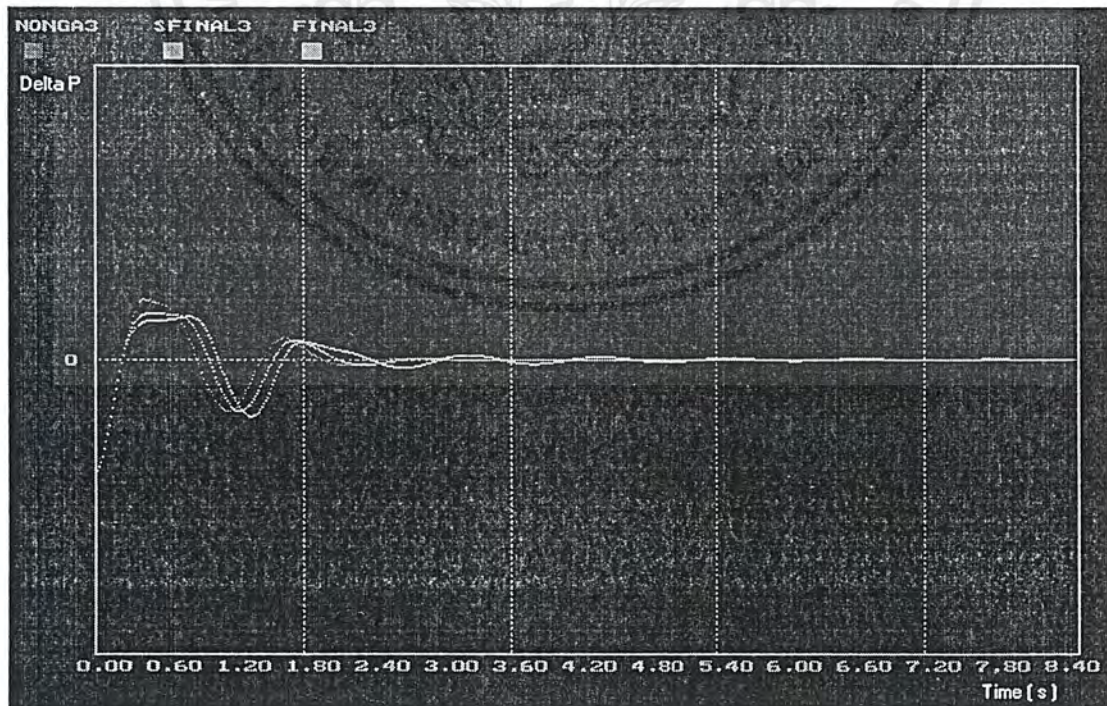


รูปที่ 6.8 กราฟของ  $\Delta \omega$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 กราฟของ  $\Delta V$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง



รูปที่ 6.10 กราฟของ  $\Delta P$  ของ 3 โปรแกรม เมื่อเกิดการรบกวนแบบรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 2.2

การทดลองที่ใช้ GA คัดเลือก 3 ตัวแปร แบบ Large disturbance แบบ One line trip โดยใช้ค่า

$p_{Cross} = 0.7$   $p_{Mu} = 0.05$  และทำการทดลอง 10 generation

ตัวแปร	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	การทดลอง ครั้งที่ 4	การทดลอง ครั้งที่ 5
Jn3	303.6505	262.5921	214.6911	321.2274	303.66
Alpha 1	0.5683	0.561	0.3996	3.3771	0.8558
Alpha 2	6.8293	44.313	46.1334	33.344	2.8381
Alpha 3	2.375	2.0699	1.2179	3.8516	2.1413

แสดงผลดังกราฟรูปที่ 6.11 – รูปที่ 6.13

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.2

### การทดลองที่ 2.3

การทดลองที่ใช้ GA คัดเลือก 3 ตัวแปร แบบ Small disturbance โดยใช้ค่า  $p_{Cross} = 0.7$   $p_{Mu} =$

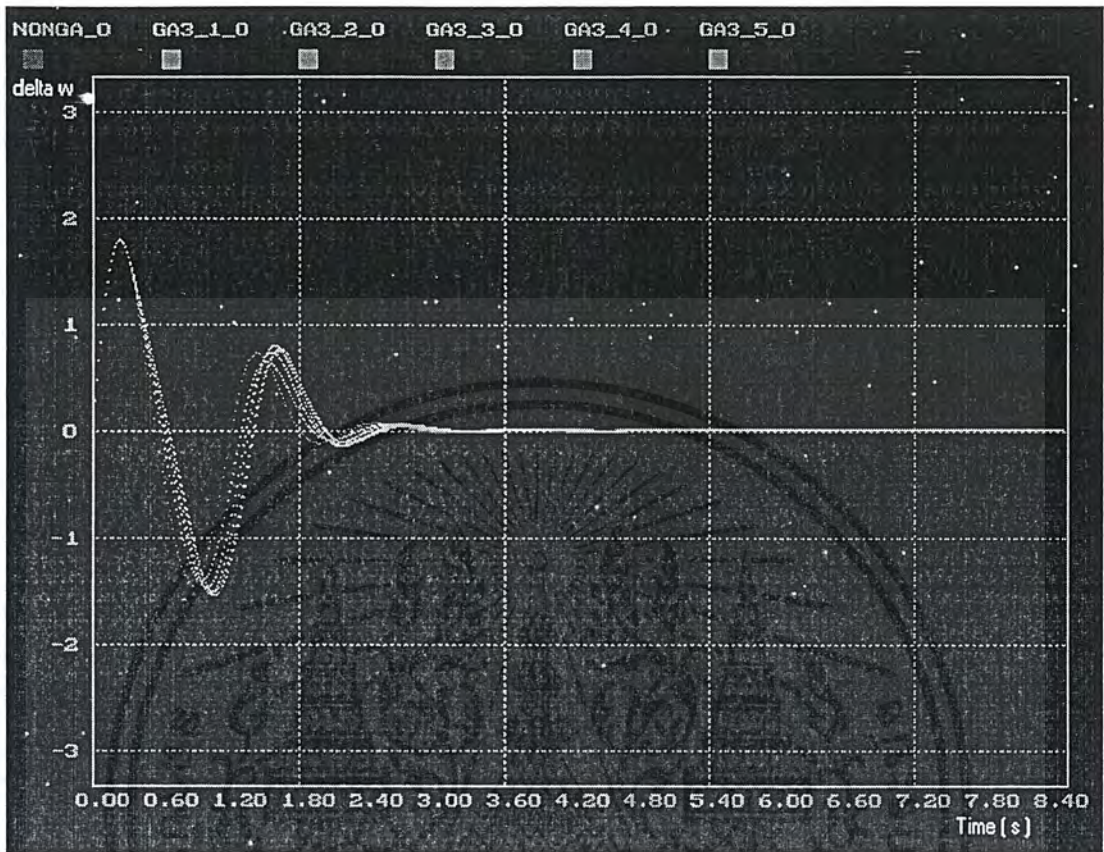
0.05 10 generation

ตัวแปร	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	การทดลอง ครั้งที่ 4	การทดลอง ครั้งที่ 5
Jn3	10610.91	9056.198	11092.87	10914.22	10193.8
Alpha 1	1.426	0.339	4.8608	2.9111	2.2769
Alpha 2	7.3325	0.6226	8.2585	12.7643	59.0174
Alpha 3	3.1521	2.2357	1.6881	3.194	4.8106

แสดงผลดังกราฟรูปที่ 6.14 – รูปที่ 6.16

ตารางที่ 6.2 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.3

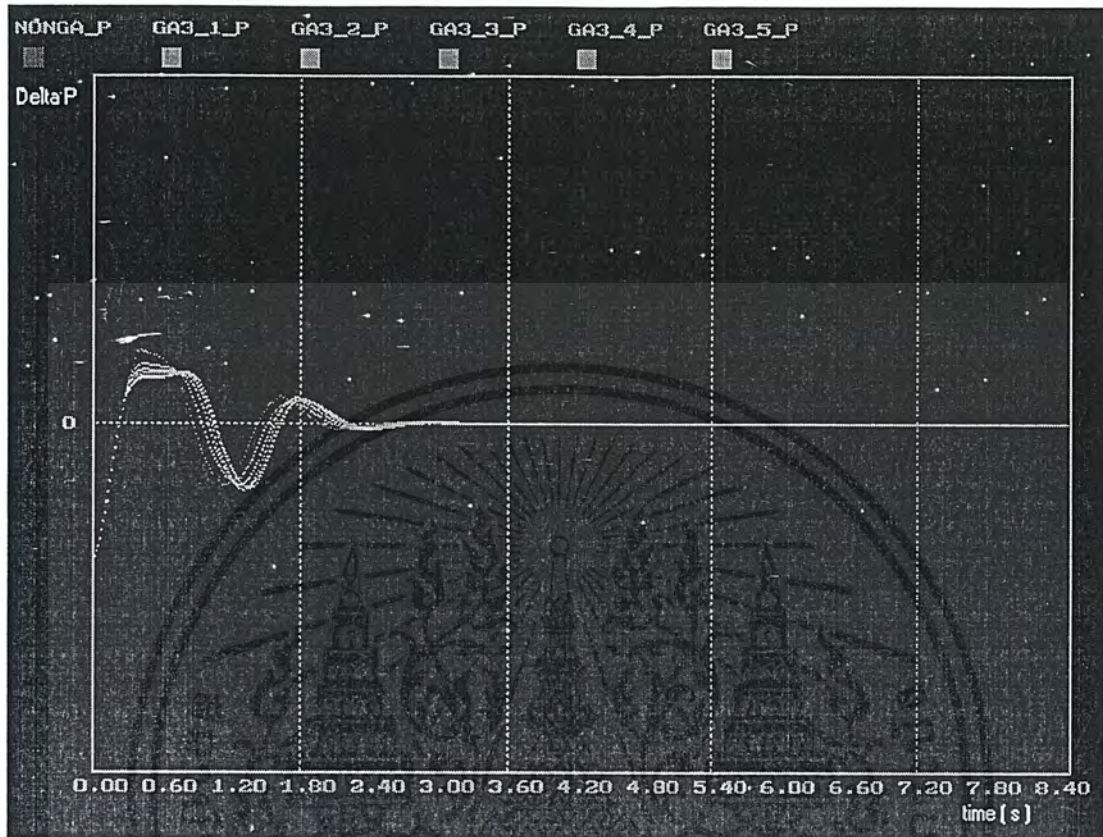
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2

- NONGA\_0 = กราฟ Delta Omega ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

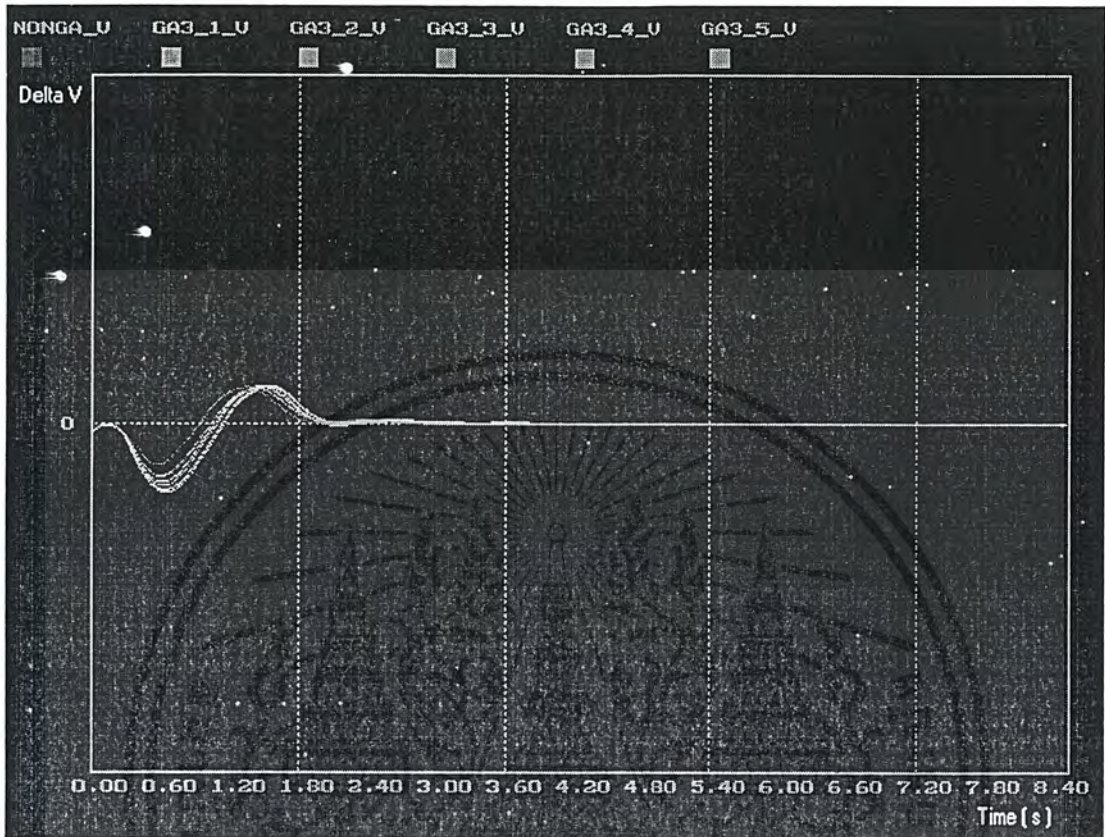
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2

- NONGA\_P = กราฟ Delta P ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

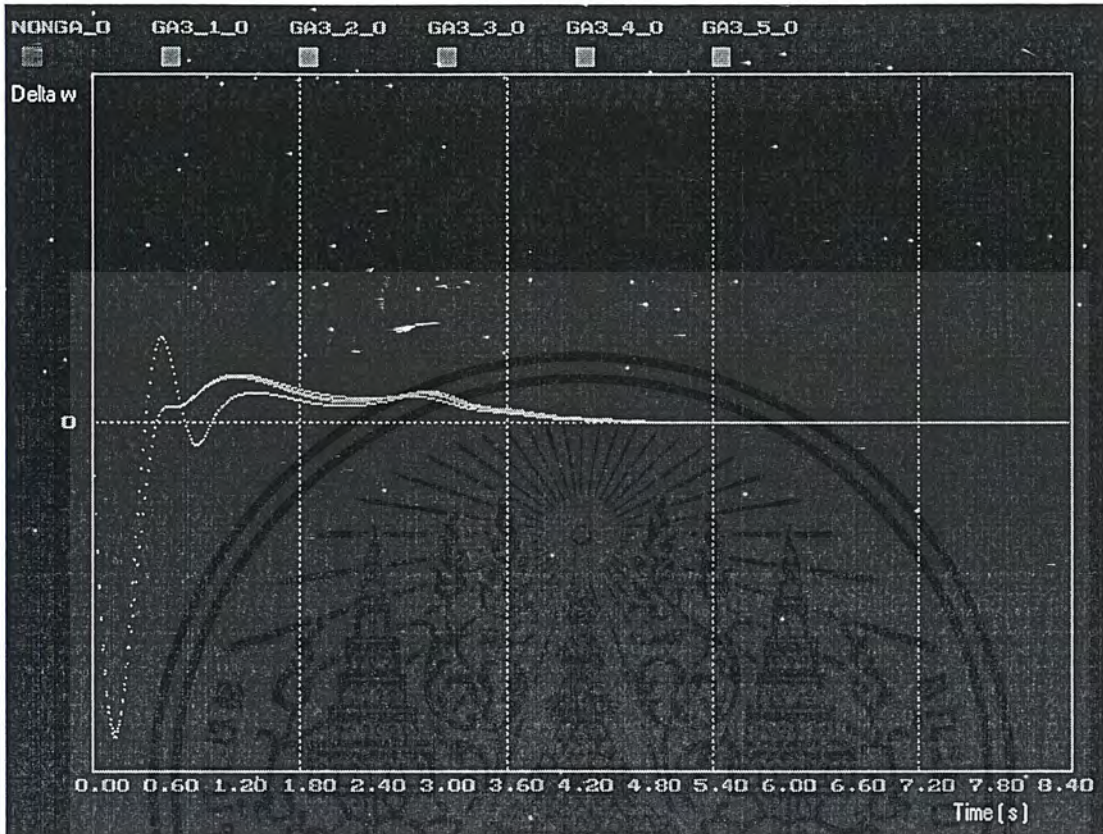
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.2

- NONGA\_V = กราฟ Delta V ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_V = กราฟ Delta V ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_V = กราฟ Delta V ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_V = กราฟ Delta V ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_V = กราฟ Delta V ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_V = กราฟ Delta V ในการสุ่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

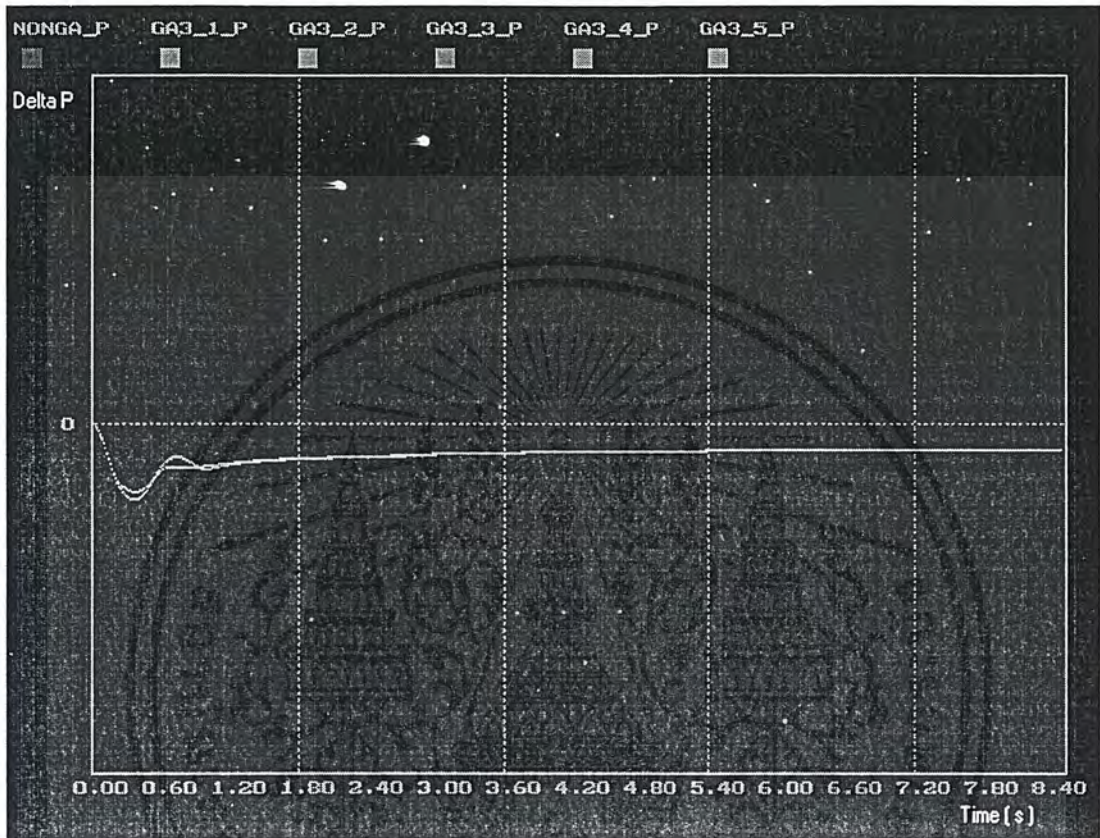
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3

- NONGA\_0 = กราฟ Delta Omega ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

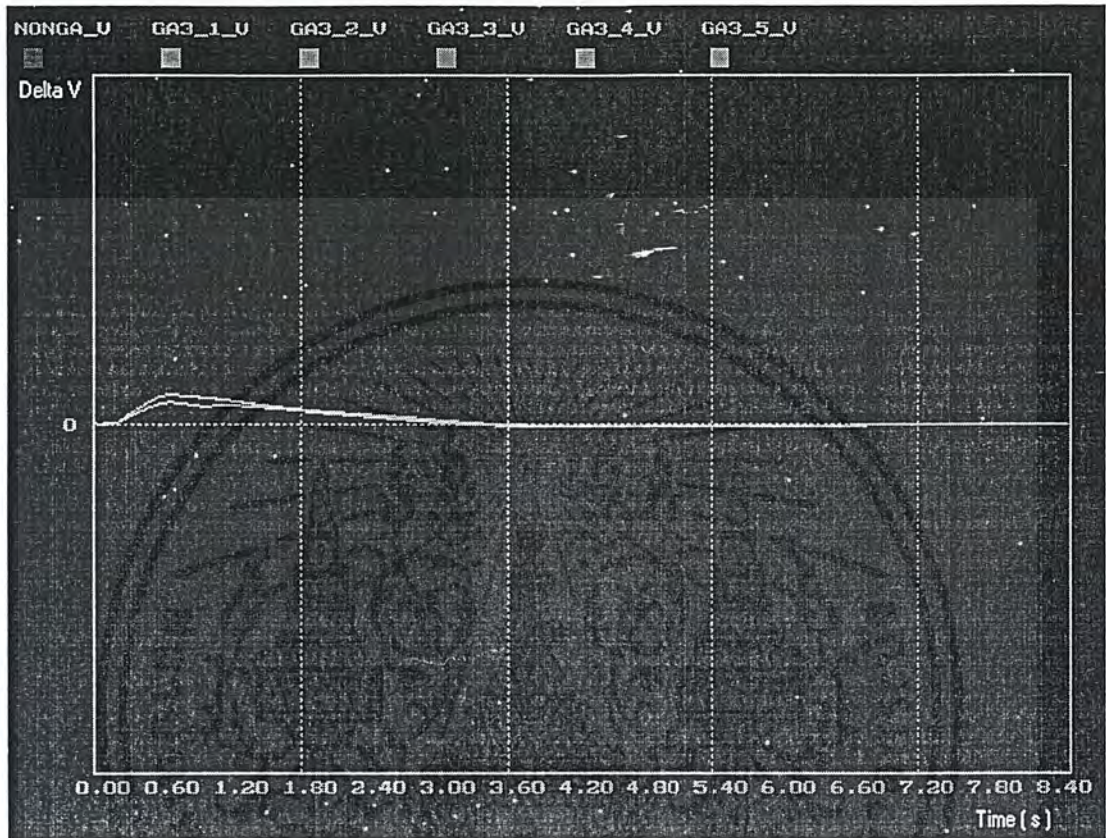
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3

- NONGA\_P = กราฟ Delta P ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_P = กราฟ Delta P ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.16 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.3

- NONGA\_V = กราฟ Delta V ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA3\_1\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA3\_2\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA3\_3\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA3\_4\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA3\_5\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 2.4

การทดลองที่ใช้ GA คัดเลือก 9 ตัวแปร แบบ Large disturbance แบบ One line trip โดยใช้ค่า

$p_{Cross} = 0.7$   $p_{Mu} = 0.05$  ทำการทดลอง 10 generation

ตัวแปร	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	การทดลอง ครั้งที่ 4	การทดลอง ครั้งที่ 5
Jn3	471.8044	415.6913	490.3642	380.4075	409.5436
Alpha 1	2.9374	2.3008	1.4134	2.0279	4.5822
Alpha 2	1.989	78.3364	80.7451	76.889	88.8786
Alpha 3	0.8463	3.7054	4.3622	2.3331	3.1322
Gamma 1	0.0732	2.1777	0.7866	1.5593	1.2691
Gamma 2	2.3104	2.6648	2.0992	2.1552	2.3575
T 1	0.0049	0.002	0.0087	0.0022	0.0007
T 2	0.016	0.0718	0.0964	0.0636	0.0606
T 3	0.0451	0.0272	0.6878	0.2488	0.1419
T 4	0.0499	0.0216	0.1176	0.1671	0.1576

แสดงผลดังกราฟรูปที่ 6.17 – รูปที่ 6.19

ตารางที่ 6.3 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.4

### การทดลองที่ 2.5

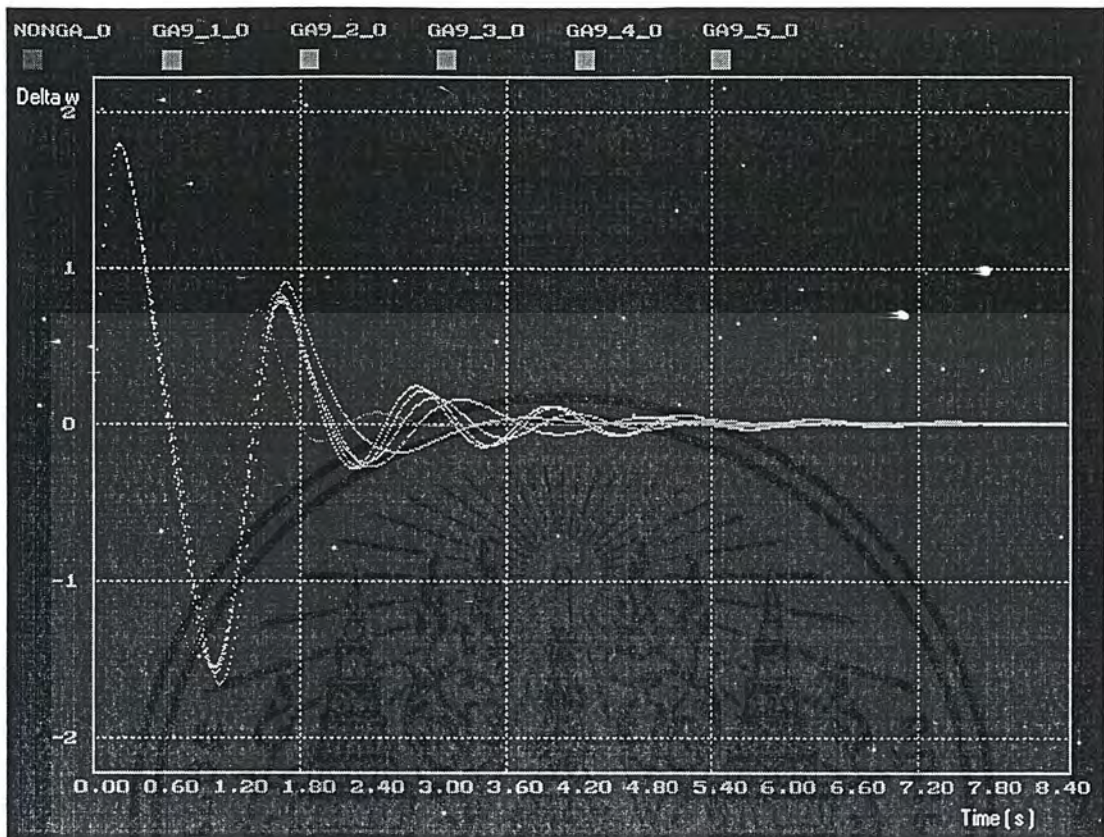
การทดลองที่ใช้ GA คัดเลือก 9 ตัวแปร แบบ Small disturbance โดยใช้ค่า

$p_{\text{Cross}} = 0.7$   $p_{\text{Mu}} = 0.05$  10 generation

ตัวแปร	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 4	การทดลอง ครั้งที่ 5
Jn3	9113.256	10516.72	10464.13	8549.83
Alpha 1	21.5964	0.382	1.3659	1.3466
Alpha 2	4.5621	36.2883	9.1143	17.509899
Alpha 3	2.3027	2.7614	3.2935	2.4087
Gamma 1	2.7234	2.1644	2.2202	2.7393
Gamma 2	0.0073	2.8138	2.5736	2.8261
T 1	0.0832	0.0007	0.0027	0.0036
T 2	0.0832	0.032	0.0584	0.0248
T 3	0.6412	0.7202	0.179	0.1041
T 4	0.0232	0.079	0.1567	0.0717

แสดงผลดังกราฟรูปที่ 6.20 - รูปที่ 6.22

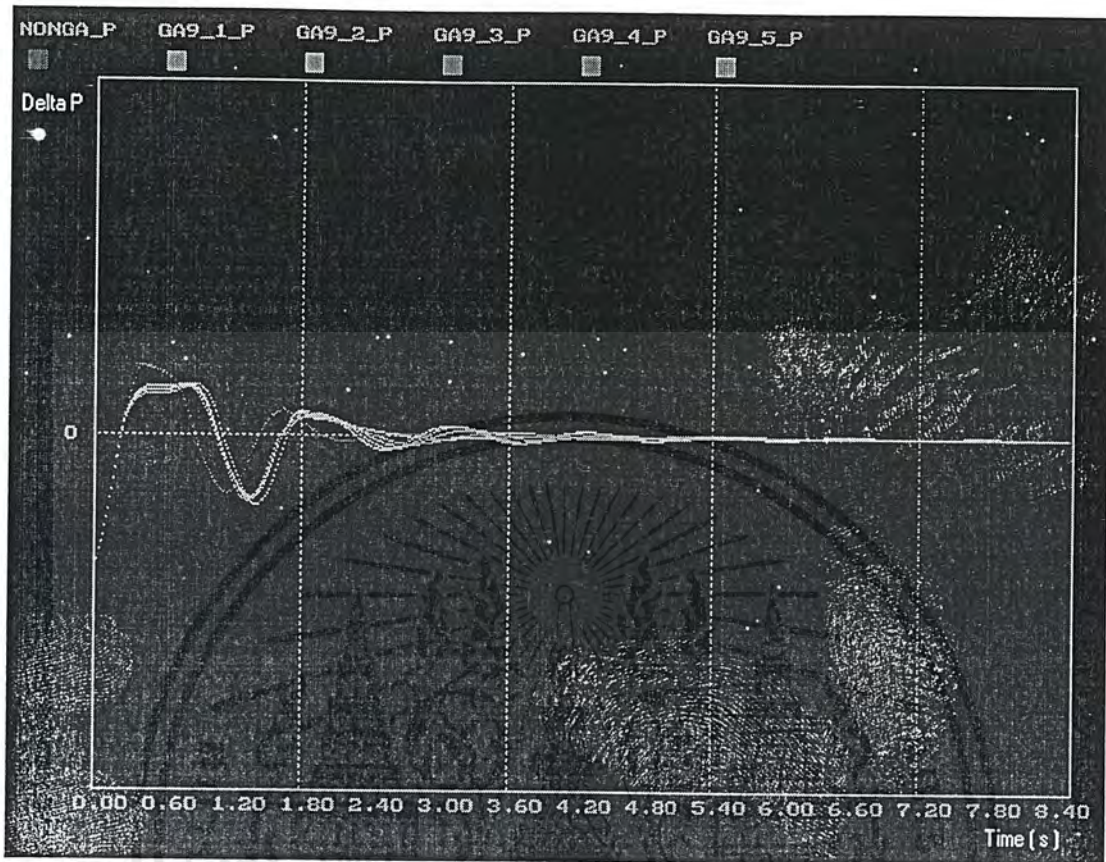
ตารางที่ 6.4 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2.5



รูปที่ 6.17 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4

- NONGA\_0 = กราฟ Delta Omega ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA9\_1\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA9\_2\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA9\_3\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA9\_4\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA9\_5\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 5

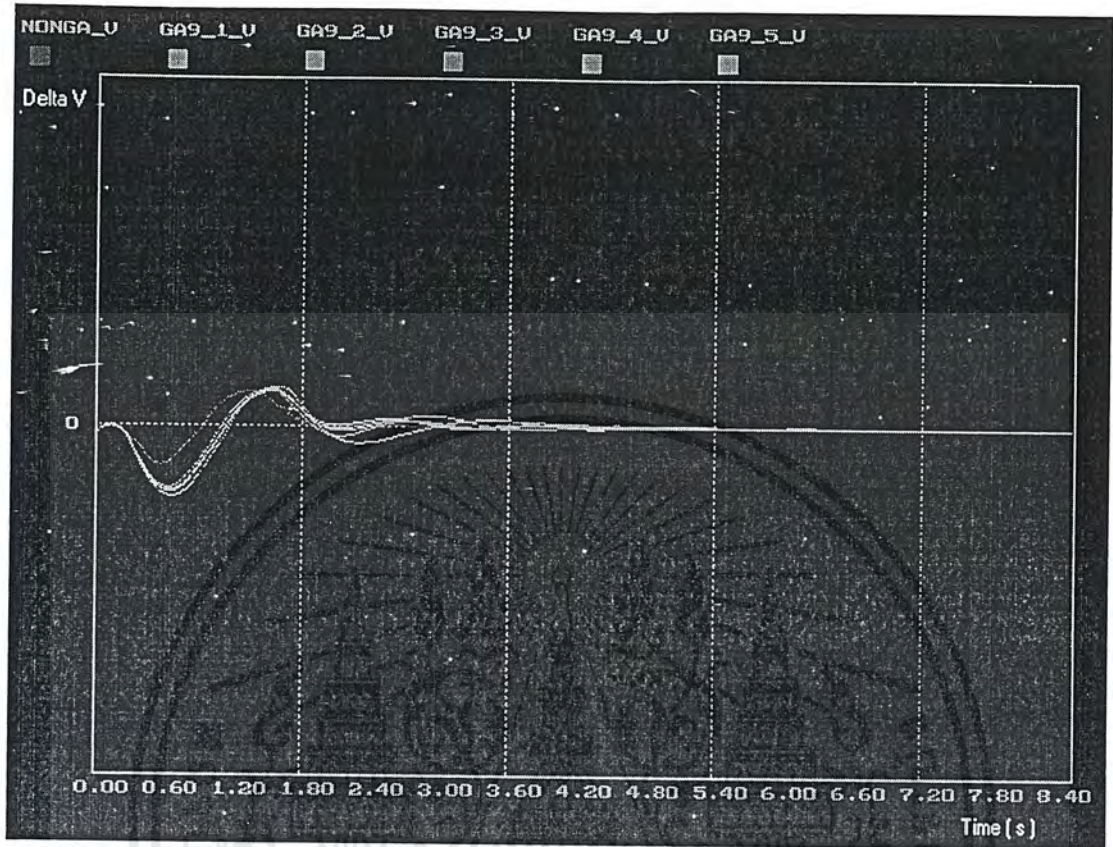
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.18 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4

- NONGA\_P = กราฟ Delta P ที่มีการกำหนดค่าที่ตีดีที่สุด
- GA9\_1\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 3 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA9\_2\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 3 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA9\_3\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 3 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA9\_4\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 3 ตัวแปร ครั้งที่ 4
- GA9\_5\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 3 ตัวแปร ครั้งที่ 5

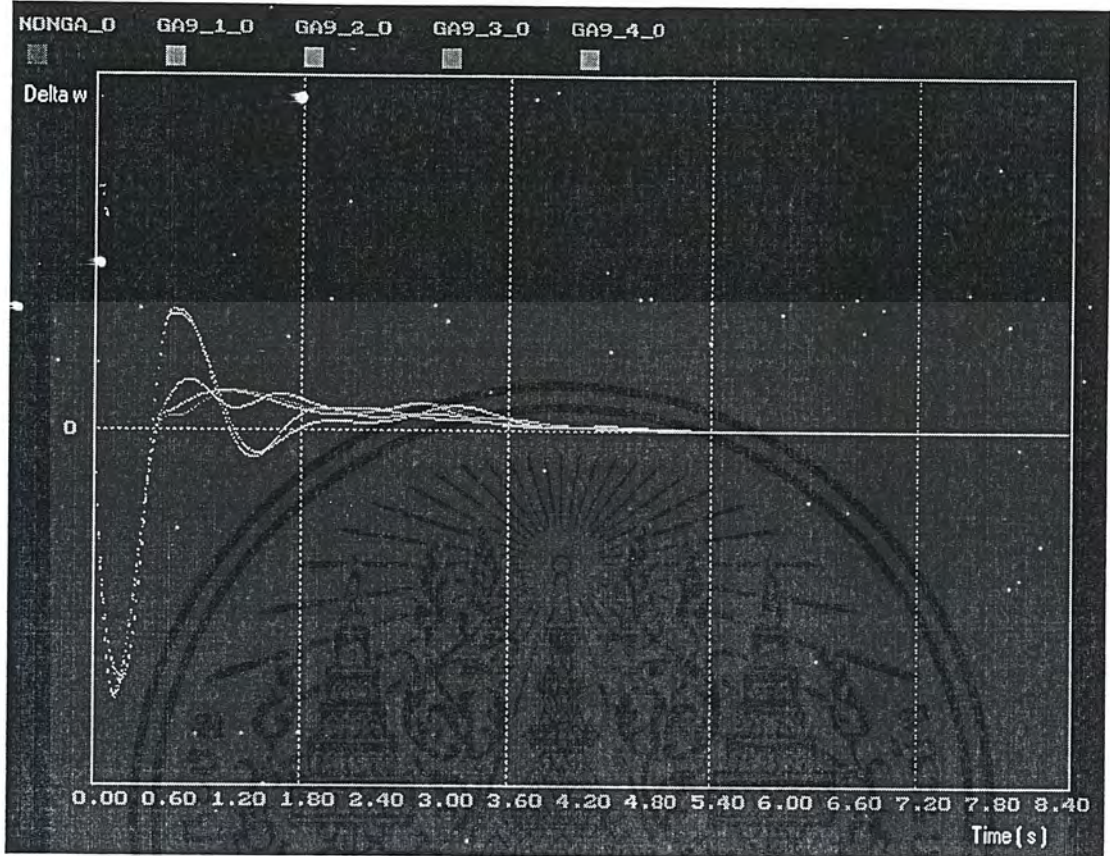
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.4

- NONGA\_V = กราฟ Delta V ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด  
 GA9\_1\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 1  
 GA9\_2\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 2  
 GA9\_3\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 3  
 GA9\_4\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 4  
 GA9\_5\_V = กราฟ Delta V ในการสู่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 5

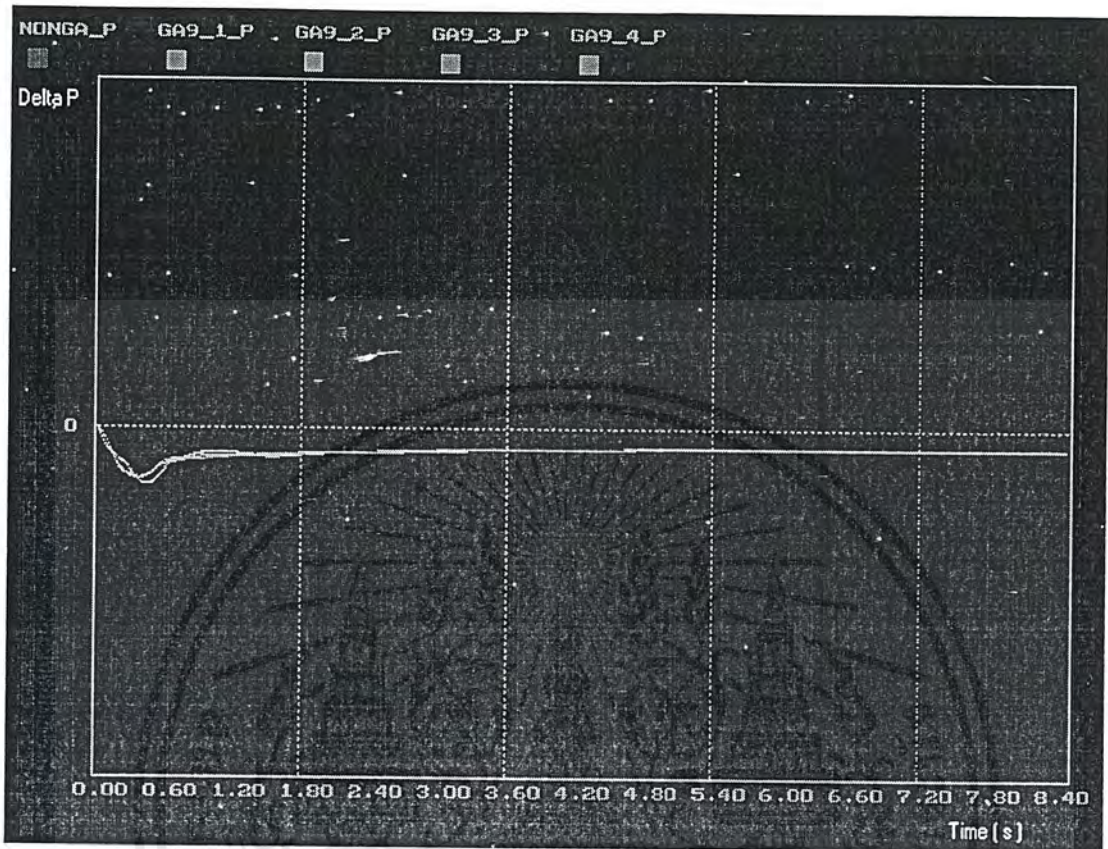
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta Omega) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5

- NONGA\_0 = กราฟ Delta Omega ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA9\_1\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA9\_2\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA9\_3\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA9\_4\_0 = กราฟ Delta Omega ในการสุ่มค่า 9 ตัวแปร ครั้งที่ 4

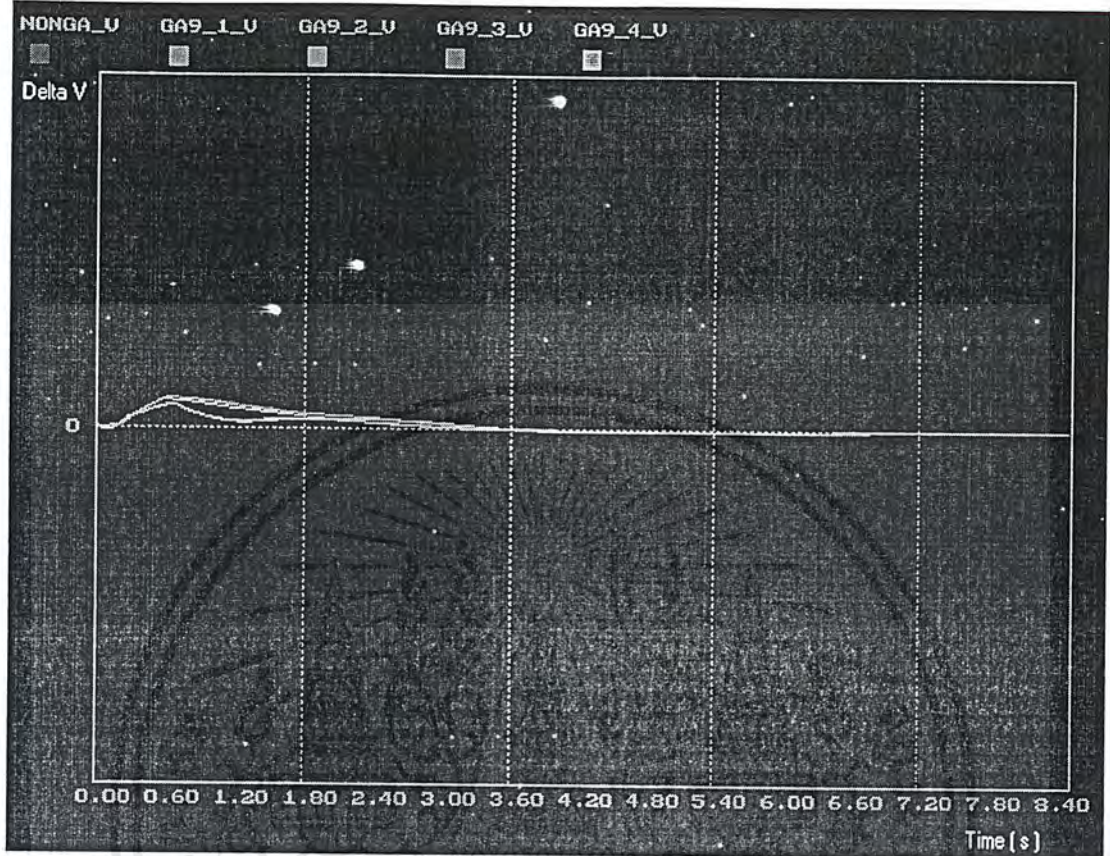
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta P) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5

- NONGA\_P = กราฟ Delta P ที่มีค่ากำหนดค่าที่ดีที่สุด
- GA9\_1\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 1
- GA9\_2\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 2
- GA9\_3\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 3
- GA9\_4\_P = กราฟ Delta P ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.22 กราฟเปรียบเทียบผล (Delta V) ที่ได้จากการทดลองที่ 2.5

- NONGA\_V = กราฟ Delta V ที่มีการกำหนดค่าที่ดีที่สุด  
 GA9\_1\_V = กราฟ Delta V ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 1  
 GA9\_2\_V = กราฟ Delta V ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 2  
 GA9\_3\_V = กราฟ Delta V ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 3  
 GA9\_4\_V = กราฟ Delta V ในการสูบลำ 9 ตัวแปร ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 การทดลองที่ 3

เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาตัวแปรที่เหมาะสมทั้ง 3 ตัวแปรและ 9 ตัวแปร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน และเปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมเจเนติก อัลกอริทึมและวิธีไอเทอร์เรชั่น

การทดลองที่ 3.1 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 3 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม(60 เจเนอเรชั่น)และวิธีไอเทอร์เรชั่น

ประเภทการคัดเลือก	เวลาที่ใช้โดยการคัดเลือกแบบ Iteration ( คัดเลือกจากทุกค่า )	เวลาที่ใช้โดยการคัดเลือกแบบ Genetic Algorithm
ความละเอียดที่ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	2.14 E7	60
ความละเอียดที่ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	3.52 E11	60

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 3 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมและวิธี ไอเทอร์เรชั่น

การทดลองที่ 3.2 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 9 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีไอเทอร์เรชั่น

ประเภทการคัดเลือก	เวลาที่ใช้โดยการคัดเลือกแบบ Iteration ( คัดเลือกจากทุกค่า )	เวลาที่ใช้โดยการคัดเลือกแบบ Genetic Algorithm
ความละเอียดที่ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	1.23 E18	60
ความละเอียดที่ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	1.66 E33	60

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม 9 ตัวแปร ระหว่างโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมและวิธี ไอเทอร์เรชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการที่นำเอาโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ร่วมกับ โปรแกรมการคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้าจำลองโดยการควบคุมด้วยอุปกรณ์แบบไฮบริดนั้น โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมีส่วนช่วยในการคัดเลือกตัวแปรต่างๆ ในเงื่อนไขของระบบควบคุมแบบไฮบริด โดยจากผลของโปรแกรมที่ได้ทำการทดลองนั้น โปรแกรม เจเนติกอัลกอริทึมสามารถคัดเลือกตัวแปรที่มีค่าที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด หรือ มีค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำลองที่ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการรักษาเสถียรภาพระบบ ปรับปรุงและพัฒนาาระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดที่นำเสนอ นั้น สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ทั้งในระบบที่มีการรบกวนแบบเล็กน้อยและการรบกวนแบบรุนแรงแบบ one line trip ได้ แสดงให้เห็นว่าระบบการควบคุมแบบไฮบริดมีความสามารถที่จะรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้อย่างดี
2. จากการทดลองที่1 เมื่อเปรียบเทียบผลของการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีการควบคุมที่ต่างกัน คือ แบบ Conventional Controller , แบบ FPSS Controller และ แบบไฮบริด จะเห็นได้ว่า การควบคุมแบบ ไฮบริด สามารถรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้าได้ดีกว่าทั้งสองแบบแรก
3. โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาค่าตอบหรือค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดให้กับอุปกรณ์ระบบควบคุมแบบต่างๆ ได้ดี โดยค่าตัวแปรที่ได้จากโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดเป็น อย่างมาก แต่ใช้เวลาในการประมวลผลหาค่าตัวแปรได้เร็วกว่าการประมวลค่าตัวแปรทุกค่า และสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ดี
4. จากผลการทดลองที่2 ผลจากการใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมหาค่าตัวแปรต่างๆนั้น แสดงให้เห็นว่า ค่าตัวแปรแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกัน แต่เมื่อนำมาประกอบกันเป็นเงื่อนไขในการควบคุมระบบไฟฟ้าผลปรากฏ ว่ามีผลลัพธ์ในการควบคุมเสถียรภาพได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม สามารถใช้งานได้ดี

#### 7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในกรณีที่ใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมเป็นเครื่องช่วยประมวลหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดนั้น ผลจากการทดลองในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ไฮบริดที่ใช้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่าเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่ใช้โปรแกรมเจเนติกยังมีค่ามากกว่าค่าตัวแปรที่ดีที่สุดที่คงที่ไว้ และยังไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการรบกวนแบบรุนแรงได้

### 7.3 ข้อดีและข้อจำกัด

#### ข้อดี

1. การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไฮบริดสามารถให้ผลการรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้ดีกว่าวิธีการควบคุมแบบ Conventional และ FPSS Control
2. การใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมาช่วยในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมนั้น สามารถหาค่าตัวแปรที่มีค่าใกล้เคียงค่าความเหมาะสมที่สุด และสามารถรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้ดี
3. เวลาในการประมวลผลหาค่าตัวแปรของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมมีค่าน้อยกว่าวิธีการแทนค่าโดยตรงเป็นอย่างมาก

#### ข้อจำกัด

1. โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมไม่สามารถแก้ปัญหาที่ไม่มีจุดประสงค์ หรือ ข้อจำกัดได้
2. หากช่วงของตัวแปรที่ใช้หาค่าตัวแปรในโปรแกรมเจเนติกไม่เหมาะสม จะทำให้คำตอบจากโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร หรือ ไม่สามารถทำได้เลย
3. ยังไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการรบกวนแบบรุนแรง(Phase to Ground Fault) ได้
4. ผลการตอบสนองยังคงเป็นแค่แนวโน้ม อาจจะไม่เข้าสู่เสถียรภาพที่แท้จริง

### 7.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรสามารถรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการรบกวนแบบรุนแรง (Phase to Ground Fault) ให้ได้
2. ควรสามารถใช้กับระบบที่เป็นแบบ Multi Machine
3. อุปกรณ์ควบคุมแต่ละชนิดมีขีดความสามารถจำกัด ควรเลือกให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการควบคุม
4. โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมสามารถช่วยแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์ทั่วไปที่มีจุดประสงค์หรือข้อจำกัดในเรื่องได้ดี โดยสามารถหาค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาการหาที่เร็วกว่าการหาจากการไล่หาค่าตัวแปรทุกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ เอื้อเฟื้อและช่วยเหลือในการจัดทำโครงการนี้ ซึ่งคณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คุณพ่อ คุณแม่ที่เคารพรักของเราที่เป็นผู้ให้โอกาส ให้ความรัก ให้ความเข้าใจและให้กำลังใจตลอดมา

อาจารย์มงคล สิตาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่างๆกับคณะผู้จัดทำ

Prof..Dr.Yoshibumi Mizutani อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโตเกียว ที่เอื้อเฟื้อ เอกสารและข้อมูลต่างๆ ที่ช่วยแก้ไขปัญหาค้างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างทำปริญญานิพนธ์นี้

อาจารย์เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้โอกาสในทุกเรื่อง ให้ความรู้ คำปรึกษาดีๆในทุกเรื่อง รวมทั้งอุปการณ์ต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

คุณคมสันต์ หงษ์สมบัติ สำหรับคำแนะนำดีๆเกี่ยวกับการทำปริญญานิพนธ์นี้

Takashi Hiyama, Senior Member IEEE สำหรับเอกสารอ้างอิงที่เป็นพื้นฐานสำหรับปริญญานิพนธ์นี้

คุณเสาวฤทธิ์ ฤทธิรัตน์ สำหรับทุกอย่างที่ทุ่มเทร่วมกันมาตลอด รวมทั้งความรู้และคำปรึกษาต่างๆที่ผลักดันให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ เป็นเรี่ยวแรงที่ช่วยในการทำปริญญานิพนธ์

ขอบคุณเพื่อนรักที่ร่วมทำงานและร่วมแรงร่วมใจกันเสมอมา

นายรัชชะ สัตยสมบูรณ์

นายวรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า-ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [ 1 ] Y.Mizutani,M.Leelajindakrirerk,T.Okabe,Y.Kinoshita,"A Study on High Speed Genetic Algorithm for Power system StabiliZer Considering Stability Limit", Japan, 1998.
- [ 2 ] Y.Mizutani,M.Leelajind akrairerk,K.Yamasaki,S.Naniyo,T.Okabe,Y.Kinoshita, S.Matoba , M.Ishiseki "Hybrid Type Power System stability Control Method Based on Combination of Conventional PSS and Fuzzy control Using PID Information",ICEE Trans, August 12,15,1996,Beijing,China.
- [ 3 ] Takashi Hiyama,Senior Member IEEE,"Integrated Fuzzy Logic Stabilizing Controller for Power Systems",35<sup>th</sup> Conference on Decision and Control Kobe,Japan,December 1996
- [ 4 ] Katsuhito Okata,"Modern Control Engineering : ,2 ed,Prentice Hall,International Edition ,New Jersey,1990
- [ 5 ] คมสันต์ หงษ์สมบัติ,มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์," เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับช่วยออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง",ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [ 6 ] คงเกียรติ กุลกลางคอน,ถวิล ภูมิฐาน,ทรงศักดิ์ ม่วงงาม,"การรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม",ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง