การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม

DESIGNING FUZZY CONTROLLER FOR INDUSTRIAL PROCESS CONTROL

จักรพงษ์ เกาเทียน
JHAGGAPONG KAOTIEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-905-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม

DESIGNING FUZZY CONTROLLER FOR INDUSTRAIL PROCESS CONTROL

จักรพงษ์ เกาเทียน

JHAGGAPONG KAOTIEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-905-2

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37661
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGNING FUZZY CONTROLLER
FOR INDUSTRAIL PROCESS CONTROL

JHAGGAPONG KAOTIEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-905-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม

DESIGNING FUZZY CONTROLLER FOR INDUSTRIAL PROCESS CONTROL

ชื่อนักศึกษา นายจักรพงษ์ เกาเทียน

รหัสประจำตัว 36061195

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.พิพัฒน์	เลาหสังคราม	
ผศ.ดร.ปิติเขต	สู้รักษา	
รศ.ดร.วันชัย	ริ้วรุจา	
อาจารย์ประสิทธิ์	จุลเสรีวงศ์	
รศ.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 24 พฤษภาคม 2543 **เวลา** 12.00-13.00 น.

สถานที่สอบ ห้องสอบวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น 4 ห้อง (E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนต์ ถิ่นวิริศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 13 **เดือน** มิถุนายน **พ.ศ.** 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม
ชื่อนักศึกษา	นายจักรพงษ์ เกาเทียน
รหัสประจำตัว	36061195
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง โดยการเรียนรู้จากผลการควบคุม ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นดังกล่าวสามารถควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบ การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีจะใช้องค์ประกอบหลักเป็นส่วนของฟัซซี ประกอบด้วยฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy inference) กฎฐานควบคุมฟัซซี (Fuzzy rule base) ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) และใช้โครงข่ายประสาท (Neural network) ในส่วนวิธีการของแบ็คปรอบปะเกชั่น (Back-propagation) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent คือค่ากลาง (Center) และความกว้าง (Width) ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน และพารามิเตอร์ในส่วนของ Consequent คือค่าของจำนวนจริงของฟัซซี ส่วนของผลตอบสนองเอาท์พุตในเรื่องเวลาไรซ์ไทม์ โอเวอร์ชูต ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวใช้การเปลี่ยนแปลงค่า Scaling factor ตามจังหวะที่เหมาะสม ตัวควบคุมที่นำเสนอนี้ใช้ควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำและกระบวนการควบคุมอัตราการไหลโดยเทียบสมรรถนะในด้านผลตอบสนองกับตัวควบคุมมาตราฐาน ซึ่งมีสมรรถนะที่ดีในด้านผลตอบสนองสัญญาณอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Designing Fuzzy Controller for Industrial Process Control
Student	Mr. Jhaggapong Kaotien
Student ID	36061195
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Vitraya Tippayasuwannaporn

ABSTRACT

This thesis proposes the design and implement of a fuzzy controller for tuning the fuzzy logic parameter using back-propagation neural network. The controller is implemented to control the unknown system transfer function of real plants. The controller consists of 2 parts which are fuzzy logic and back-propagation neural network. As the main part, the fuzzy logic components are fuzzification, fuzzy inference, fuzzy rule base and defuzzification. The fuzzy parameters consist of 2 parts which are antecedent and consequent part. The fuzzy logic is used for adjusting the center and width of the antecedent part and real value of the consequent part using back-propagation neural network. The output response rise time, overshoot and steady state error of system are adjusted by scaling factor corresponding to appropriate situations. The controller is implemented to control level and flow processes. The results are shown that the performance of this controller is improved in term of tracking of set point compared with a standard controller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาแนวทางในการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก รองศาสตราจารย์.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ประสิทธ์ จุลเสรีวงค์ หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ผู้ดำเนินการวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา นายบุญส่ง เกาเทียน,มารดา นางนวลลออ เกาเทียนและภรรยา นางโกสุมภ์ เกาเทียนที่เป็นผู้สร้างกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง

ขอบพระคุณห้องสมุดกลาง,ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์และห้องเก็บรวบรวมวิทยานิพนธ์ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีหนังสือดีๆ ให้ศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จักรพงษ์ เกาเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

สัญลักษณ์.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.1.1 ความเป็นมา.....1

1.1.2 ความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับนิวโรฟัซซีและโครงข่ายประสาทแบบหลายเลเยอร์.....5

2.1 ทฤษฎีฟัซซีเซต.....5

2.2 สูตรและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก.....13

2.3 ความสัมพันธ์ฟัซซี.....18

2.4 การคอมโพสิชันแบบฟัซซี.....21

2.5 ตัวแปรลิงกวิสติก.....24

2.6 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม.....26

2.7 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิค.....27

2.8 กฎการควบคุมของฟัซซี.....30

2.9 การอินเฟอเรนซ์ของฟัซซี.....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 การฟัซซิฟีเคชัน 33
2.11 การดีฟัซซิฟีเคชัน.....34
2.12 นิวรอลเน็ตเวิร์กแบบหลายเลเยอร์.....36
2.13 แบ็คปร็อบปะเกชัน.....37

บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี.....39
3.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี.....39
3.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาท์พุตของตัวควบคุม.....39
3.1.2 การเลือกฟัซซิฟีเคชัน.....40
3.1.3 การกำหนดจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต.....41
3.1.4 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต.....41
3.1.5 การกำหนดตัวแปรลิงกวิสติก.....43
3.1.6 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาท์พุต.....43
3.1.7 การกำหนดรูปแบบของกฎการควบคุม.....43
3.1.8 การอินเฟอเรนซ์ฟัซซี.....44
3.1.9 ดีฟัซซิฟีเคชัน.....46
3.2 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี.....47
3.3 การดีนอมอลไลซ์ตัวแปรเอาท์พุตให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนด.....50
3.4 ค่าเกนของตัวแปรอินพุต.....50

บทที่ 4 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....52
4.1 โปรแกรมหลัก.....52
4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นของการควบคุม.....54
4.2.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ด A/D และ D/A.....54
4.2.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม.....55
4.3 การรับค่าจาก A/D และการส่งค่าไป D/A.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 การรับค่าจาก A/D....56

4.3.2 การส่งค่าไป D/A....57

4.4 การควบคุมในกระบวนการ....58

4.5 การทำงานของ Gain schedule....59

บทที่ 5 การทดลอง....60

5.1 การทดลองที่ 1 ควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำ....60

5.2 การทดลองที่ 2 ควบคุมกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ....70

5.3 สรุปผลการทดลอง....76

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....78

เอกสารอ้างอิง....80

ภาคผนวก....81

ภาคผนวก ก.วงจรบัฟเฟอร์และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส....82

ภาคผนวก ข. การปรับแต่งและการติดตั้งโปรแกรมของการ์ด PCL-818....83

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์....88

ภาคผนวก . SOURCE CODE....102

ประวัติผู้เขียน....197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าความจริงของประพจน์ในปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน....27

2.2 กฎเกณฑ์ผลการหาข้อสรุปตามหลักและเหตุผลโดยใช้ GMP....28

2.3 กฎเกณฑ์ผลการหาข้อสรุปตามหลักและเหตุผลโดยใช้ GMT....29

3.1 กฎการควบคุม....46

5.1 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดี่ยว....66

5.2 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง....71

5.3 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี....5

2.2 ตัวอย่างคริซปีเซตของความสูงและระดับความเป็นสมาชิก....6

2.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A และระดับการเป็นสมาชิกของความสูง....8

2.4 ซัพพอร์ต, α -Cut , จุดตัดข้าม และ ศูนย์กลางฟัซซีเซตของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก....9

2.5 ฟัซซีซิงเกิลตันของความสูง....10

2.6 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม....14

2.7 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู....14

2.8 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน....15

2.9 รูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบระฆัง....16

2.10 การคอมโพสิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี....21

2.11 เทอมตัวแปรลิงกวิสติกของความเร็ว....25

2.12 การหาข้อสรุปจากหลักฐานโดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล....31

2.13 โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์....37

3.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี....39

3.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e และ Δe....42

3.3 โครงข่ายป้อนไปด้านหน้าของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี....47

4.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก....53

4.2 ผังการทำงานการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ด A/D และ D/A....55

4.3 ผังการทำงานของการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม....56

4.4 ผังการทำงานของการรับค่าจากวงจร A/D....57

4.5 ผังการทำงานของการส่งค่าไปสู่วงจร D/A....58

4.6 ผังการทำงานของ Gain schedule....59

5.1 โปรแกรมหลัก....60

5.2 ผังกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังเดี่ยว....61

5.3 กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังเดี่ยวและถังคู่ กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์..62

5.4 เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....63
5.6 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....64
5.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที....64
5.8 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....65
5.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....65
5.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที....66
5.11 ผังกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังคู่....67
5.12 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....68
5.13 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....68
5.14 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที....69
5.15 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที....69
5.16 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที....70
5.17 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที....70
5.18 ผังกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ....71
5.19 กระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.20 กระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์....72

5.21 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์....73

5.22 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 20 เปอร์เซ็นต์....74

5.23 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์....74

5.24 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์....75

5.25 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 20 เปอร์เซ็นต์....75

5.26 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

μ หมายถึง ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$\in$ หมายถึง เป็นสมาชิกของ

$\notin$ หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกของ

$\subset$ หมายถึง เป็นสับเซตของ

$\not\subset$ หมายถึง ไม่เป็นสับเซตของ

$\subseteq$ หมายถึง เป็นสับเซตแท้ของ

$\longrightarrow$ หมายถึง ถ้า.....แล้ว.....

$\longleftrightarrow$ หมายถึง ก็ต่อเมื่อ

$\neg$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ not

$\wedge$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ and

$\vee$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ or

$x\vee$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ exclusive or

$\cup$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ union

$\cap$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ intersection

max หมายถึง ตัวปฏิบัติการในการหาค่าสูงสุด

min หมายถึง ตัวปฏิบัติการในการหาค่าต่ำสุด

t หมายถึง ตัวปฏิบัติการ triangular norms หรือ t-norms

s หมายถึง ตัวปฏิบัติการ triangular norms หรือ s-norms

ν หมายถึง ค่าความจริงของประพจน์

$\circ$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ composition

ϕ หมายถึง ตัวปฏิบัติการผกผันของการ composition

$*$ หมายถึง ตัวปฏิบัติการ triangular norms หรือ t-norms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1 ความเป็นมา

แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์นี้ เริ่มต้นจากความต้องการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้แทนระบบควบคุมเดิมซึ่งอาศัยการสั่งงานจากผู้ปฏิบัติการ ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนเช่น กระบวนการผลิตซีเมนต์ กระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการหลอมโลหะมักจะพบปัญหาว่ากระบวนการเหล่านี้จะไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-variant) เมื่อถูกใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง มีการรบกวนจากภายนอก (disturbance) และจากสัญญาณรบกวน (noises) ทำให้การออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติแบบดั้งเดิม ซึ่งออกแบบโดยใช้วิธีการประมาณโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทำได้ยากและถ้าประมาณค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผิดพลาด จะทำให้ได้สมรรถนะของระบบควบคุมไม่ดี

ตัวควบคุมฟัซซีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในเรื่องการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นหลายประการดังนี้

- สามารถออกแบบตัวควบคุมได้โดยไม่ต้องรู้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมใช้วิธีการแปลงความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นกฎการควบคุมในรูปเงื่อนไข (If-Then)
- สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ จะถูกควบคุมได้โดย การกำหนดความสัมพันธ์ของกฎการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น
- เหมาะสำหรับระบบที่มีตัวแปรที่คลุมเครือไม่สามารถหาค่าที่แน่นอน ซึ่งความคลุมเครือนี้จะถูกแทนด้วยค่าดีกรีความเป็นสมาชิกในนิยามฟัซซีเซต
- สามารถออกแบบตัวควบคุม สำหรับควบคุมกระบวนการที่มีหลายอินพุตหลายเอาท์พุตได้สะดวก เนื่องจากความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละอินพุตและเอาท์พุต จะถูกแทนด้วยความสัมพันธ์ของกฎการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจและทำการปรับเปลี่ยนได้ง่าย

1.1.2 ความสำคัญของปัญหา

1. ปัญหาสำคัญที่พบในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี โดยใช้วิธีออกแบบกฎการควบคุมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกได้จากความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีที่ไม่มีความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือประสบการณ์ในการควบคุมหรือเมื่อเกิดความไม่สมบูรณ์ในการถ่ายทอดประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ การออกแบบกฎการควบคุมจะทำได้ยาก

2. หลังจากออกแบบตัวควบคุมฟัซซีกรณีมีการเปลี่ยนแปลงระบบรวมถึงการรบกวนจากภายนอกและจากสัญญาณรบกวน จำเป็นที่ต้องมีการปรับแต่งกฎการควบคุมและค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ซึ่งเป็นการยากและลำบาก

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องรู้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ ไม่ต้องใช้ฐานความรู้หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ มีความสามารถปรับตัวเองในขณะที่ทำการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือสภาพแวดล้อม หรือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ด้วยการเรียนรู้จากสมรรถนะของระบบควบคุม ในรูปของค่าผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่แต่ละช่วงเวลาในการสุ่มสัญญาณ และทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธีการของโครงข่ายประสาท

1.2.2. เพื่อพัฒนาโครงสร้างของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ออกแบบให้เหมาะสม สำหรับนำไปสร้างด้วยซอฟแวร์บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมจริงได้

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าแกน (scaling factor) ของตัวแปรอินพุตที่มีต่อสมรรถนะของระบบควบคุมและประสิทธิภาพการเรียนรู้ของตัวควบคุมนี้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ปัจจุบันเทคโนโลยีฟัซซีลอจิค (fuzzy logic) และโครงข่ายประสาท (neural network) เป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษาและอุตสาหกรรม ในส่วนของโครงข่ายประสาทมีข้อดีคือความสามารถในการเรียนรู้ ความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimization) ในส่วนของฟัซซีลอจิคมีการคิดคล้ายกับการคิดของมนุษย์ ใช้กฎของ If-Then และความง่ายในการทำความเข้าใจและประยุกต์ใช้กับความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เมื่อรวมเอาข้อดีของโครงข่ายประสาทและฟัซซีลอจิคเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถนำการเรียนรู้ในระดับต่ำและการคำนวณที่มีประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทต่อฟัซซีลอจิคและยังใช้การทำงานในระดับสูงในเรื่องของการคิดแบบมนุษย์ ใช้กฎ If-Then และเหตุผลของฟัซซีลอจิคต่อโครงข่ายประสาท เป็นการเสริมข้อดีของทั้งสองวิธีการในการประยุกต์เป็นตัวควบคุมอัตโนมัติแบบปรับตัวเองได้ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระบบฟัซซีประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ฟัซซีเซตที่ให้เป็นตัวแปรอินพุตและเอาท์พุต ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (membership function) ระบบฟัซซีสามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไป เรียกว่า Universal approximators นำเสนอโดย Kosko [5] วิธีการดังกล่าวมีความสามารถเป็นฟังก์ชันประมาณการไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไป (approximating general nonlinear function)ได้ ในทำนองเดียวกันผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทแบบป้อนไปด้านหน้า (feedforward neural network) นำเสนอโดย Hornik [5] พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับฟัซซีเซต ซึ่งเราสามารถประยุกต์โครงข่ายประสาทในการปรับปรุงพารามิเตอร์ของระบบฟัซซี

การรวมกันของฟัซซีกับโครงข่ายประสาทแบ่งเป็น 2 แบบคือ Neural network based fuzzy systems กับ Fuzzy logic based neural network models วิธีการแรกมีส่วนประกอบหลักจะเป็นส่วนของฟัซซีคือมีฟัซซิฟิเคชัน(fuzzification) ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (fuzzy inference) และ ดีฟัซซิฟิเคชัน (defuzzification) ใช้โครงข่ายประสาทในส่วนวิธีการของแบ็คปรอบปะเกชัน (back-propagation) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ antecedent และ พารามิเตอร์ส่วนของ consequent ของฟัซซี [3] ซึ่งเป็นวิธีที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ รวมเรียกวิธีการทั้งสองเข้าด้วยกันว่า Neuro Fuzzy [3,4] วิธีที่สองมีส่วนประกอบหลักเป็นโครงข่ายประสาทคือมีการส่งถ่ายข้อมูลผ่านเลเยอร์ การถ่วงน้ำหนักของข้อมูลจากโหนดในเลเยอร์แรกสู่เลเยอร์ถัดไป มี threshold ในเลเยอร์สุดท้าย ใช้ฟัซซีลอจิคในขบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักภายในโครงข่ายซึ่งไม่กล่าวในวิทยานิพนธ์นี้ [3]

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยมุ่งเน้นการออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีด้วยซอฟแวร์ที่ประยุกต์ขึ้นใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมกระบวนการในห้องทดลองของ ภาคเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นการจำลองการควบคุมทางอุตสาหกรรมจริง กระบวนการที่ควบคุมเป็นการควบคุมระดับน้ำและกระบวนการควบคุมการไหล ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีเป็นแบบ 2 อินพุต 1 เอาท์พุต การปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟัซซีมีพารามิเตอร์ที่ปรับแต่งในการวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือในส่วนของ antecedent ใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียนมีตัวแปรสองตัวที่ต้องปรับแต่งคือค่ากลาง (center) และความกว้าง (width) และในส่วนของ consequent มีตัวแปรหนึ่งตัวคือเอาท์พุตกฎการควบคุมฟัซซี พารามิเตอร์ทั้งหมดปรับแต่งโดยโครงข่ายประสาทแบบแบ็คปรอบปะเกชัน ทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าเกน (scaling factor) ของตัวแปรอินพุตที่มีต่อสมรรถนะของระบบควบคุมและประสิทธิภาพการเรียนรู้ของตัวควบคุมนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1.6.1. ในส่วนแรกเป็นการศึกษาหลักการและทฤษฎีพื้นฐานซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมประกอบด้วยคณิตศาสตร์ฟัซซี โครงข่ายประสาทแบบแบ็คปรอบปะเกชัน การรวมกันของทั้งสองวิธีที่เรียกว่า Neural network based fuzzy systems หลักการและการปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเองของนิวโรฟัซซี

1.6.2. ศึกษาการทำงานของการ์ดที่ใช้ในเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับกระบวนการของบริษัท Advantech จำกัด รุ่น PCL-818 เป็นการ์ด A/D และ D/A รวมอยู่ในตัวเดียวกันรวมทั้งการเขียนโปรแกรมเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมกับการ์ด และออกแบบวงจรใช้แปลงสัญญาณ V/I และ I/V เนื่องจากกระบวนการใช้สัญญาณควบคุม 4-20 mA

1.6.3. ออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีด้วยซอฟแวร์บนไมโครคอมพิวเตอร์และทำการทดลองในห้องทดลองของภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมในการควบคุมระดับน้ำ และควบคุมอัตราการไหล

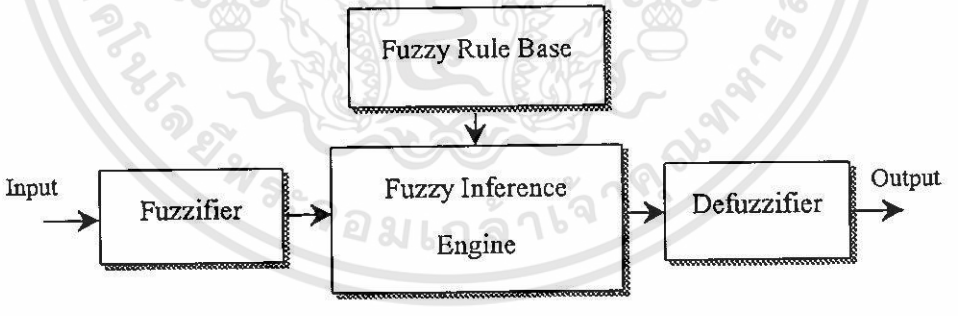
1.6.4 เปรียบเทียบผลของตัวควบคุมที่สร้างขึ้นกับตัวควบคุมมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซีลอจิค และโครงข่ายประสาทแบบหลายเลเยอร์

จากบทนำได้กล่าวว่านิวโรฟัซซีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ Neural network based fuzzy systems มีส่วนประกอบหลักจะเป็นส่วนของฟัซซีลอจิค ในวิทยานิพนธ์นี้เรียกสั้นๆว่า ฟัซซี และใช้โครงข่ายประสาทในส่วนวิธีการของแบ็คปรอบปะเกชัน (Back-Propagation) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ antecedent และ พารามิเตอร์ส่วนของ consequent ของฟัซซี ดังนั้น การออกแบบการควบคุมนิวโรฟัซซี จะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซี เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี และเพื่อใช้ในการกำหนดโครงสร้างและวิธีการออกแบบให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของฟัซซี โครงสร้างของโครงข่ายประสาทแบบหลายเลเยอร์และหลักการของแบ็คปรอปปะเกชัน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [3]

โครงสร้างหลักของฟัซซี ประกอบด้วย 4 หน่วยหลักด้วยกัน คือ ฟัซซิฟิเคชัน (fuzzification) ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (fuzzy inference) ดีฟัซซิฟิเคชัน (defuzzification) และกฎการควบคุมฟัซซี (fuzzy rule base) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



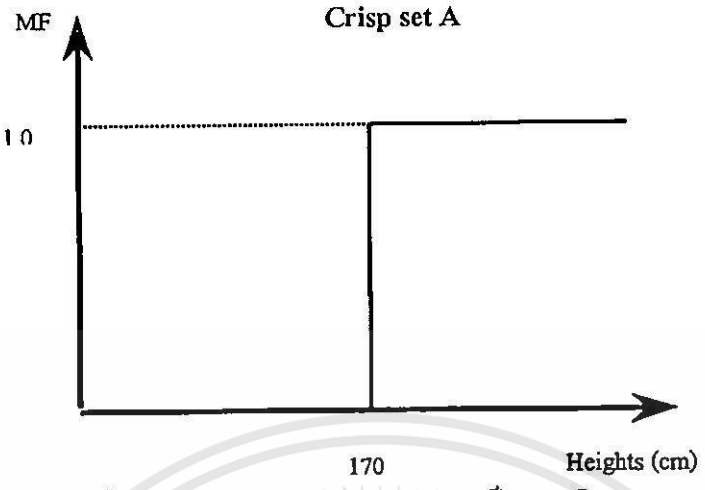
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

จากส่วนประกอบหลักของฟัซซีในแต่ละส่วนประกอบหลักยังมีรายละเอียดภายในของแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง จำเป็นต้องกล่าวในที่นี้เพื่ออธิบายในตอนท้ายว่าแต่ละองค์ประกอบหลักจะนำส่วนไหนมาใช้บ้างด้วยเหตุผลใด

2.1 ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory) [1,3,4,5,6,8]

นิยาม 1 คริซปีเซต (Crisp Set) คือ กลุ่มของสมาชิกที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ซึ่งอาจมีจำนวนจำกัดหรือไม่จำกัด ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างคริซป์เซตของความสูงและระดับความเป็นสมาชิก

นิยาม 2 เอกภพสัมพัทธ์ (Universe of Discouse : U) คือ เซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณา กำหนดให้ u เป็นสมาชิกใดๆ ของ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $u \in U$

นิยาม 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function : μ) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ μ ถูกนิยามดังนี้

$\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ u เป็นสมาชิกของเซต A

$\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ u ไม่เป็นสมาชิกของเซต A

จะได้ว่า $\mu_A(u) : U \in \{0,1\}$

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & : u \in A \\ 0 & : u \notin A \end{cases} \tag{2.1}$$

นิยามที่ 4 การเท่ากันของเซต

เซต A จะเท่ากับเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกทุกตัวของเซต B และสมาชิกทุกตัวของเซต B เป็นสมาชิกทุกตัวของเซต A ด้วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A=B$

$$(A = B) \leftrightarrow ((\forall a \in B) \wedge (\forall b \in A)) \tag{2.2}$$

โดยที่ $a \in A, b \in B$ ตามลำดับ

นิยามที่ 5 การเป็นสับเซต (Subset)

เซต A จะเป็นสับเซตของเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกทุกตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \subseteq B$

$$(A \subseteq B) \leftrightarrow (\forall a \in B) \tag{2.3}$$

โดยที่ $a \in A$

เซต A จะเป็นสับเซตแท้ของเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกทุกตัวของเซต B และเซต A ไม่เท่ากับเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \subset B$

$$(A \subset B) \leftrightarrow (\forall a \in B) \wedge (A \neq B) \tag{2.4}$$

โดยที่ $a \in A$

<u>นิยามที่ 6</u> ปฏิบัติการพื้นฐานของเซต

คอมพลีเมนต์ คือ ตัวปฏิบัติในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม โดยที่สมาชิกของเซตใหม่คือสมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ U ที่ไม่เป็นสมาชิกของเซตเดิม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\overline{A} = \{u \mid (u \in U) \wedge (u \notin A)\} \tag{2.5}$$

ยูเนียน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ได้จากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตใดเซตหนึ่งหรือทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A \cup B = \{u \mid (u \in A) \wedge (u \in B)\} \tag{2.6}$$

อินเตอร์เซคชัน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเดิมเซต 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ได้จากการรวมของสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตเดิมทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A \cap B = \{u \mid (u \in A) \vee (u \in B)\} \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 7 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซต คือ เซตของคู่อันดับ u และฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_A(u)$ โดยที่ u เป็นสมาชิกใดๆ ของเอกภพสัมพัทธ์ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ของ ฟัซซีเซต A อยู่ภายใน U ได้ดังนี้

$$A=\{(u,\mu_A(u))\,|\,u\in U\} \tag{2.8}$$

นิยาม 8 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต (Membership Function of Fuzzy Set : $\mu_A(u)$)

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A ถูกนิยามให้มีค่าอยู่ภายในช่วง 0 ถึง 1 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\mu_A(u)$ เป็นค่าที่ระบุถึงระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A ตัวอย่างเช่น

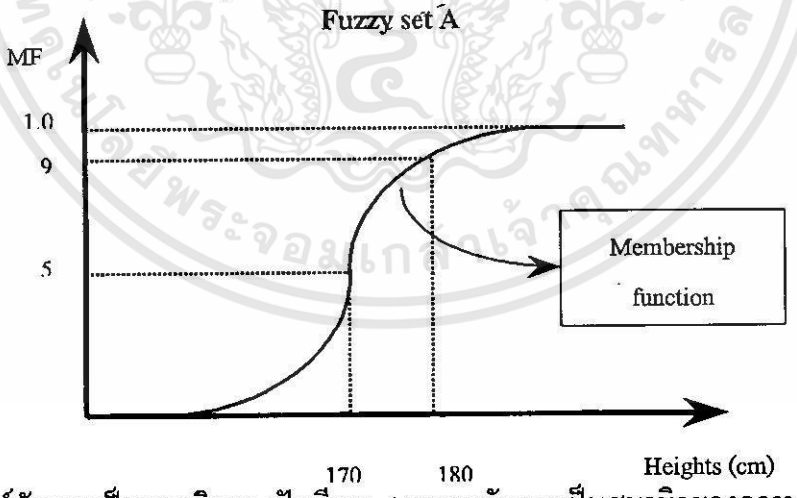
ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า u ไม่มีความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าน้อย แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A น้อย

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่ามาก แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A มาก

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A อย่างสมบูรณ์จะได้ว่า

$$\mu_A(u):U\rightarrow[0,1] \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A และระดับการเป็นสมาชิกของความสูง

นิยาม 9 การเท่ากันของฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต A จะเท่ากับฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิก u ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A เท่ากับค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A=B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(A=B)\leftrightarrow \mu_A(x)=\mu_B(x) \tag{2.10}$$

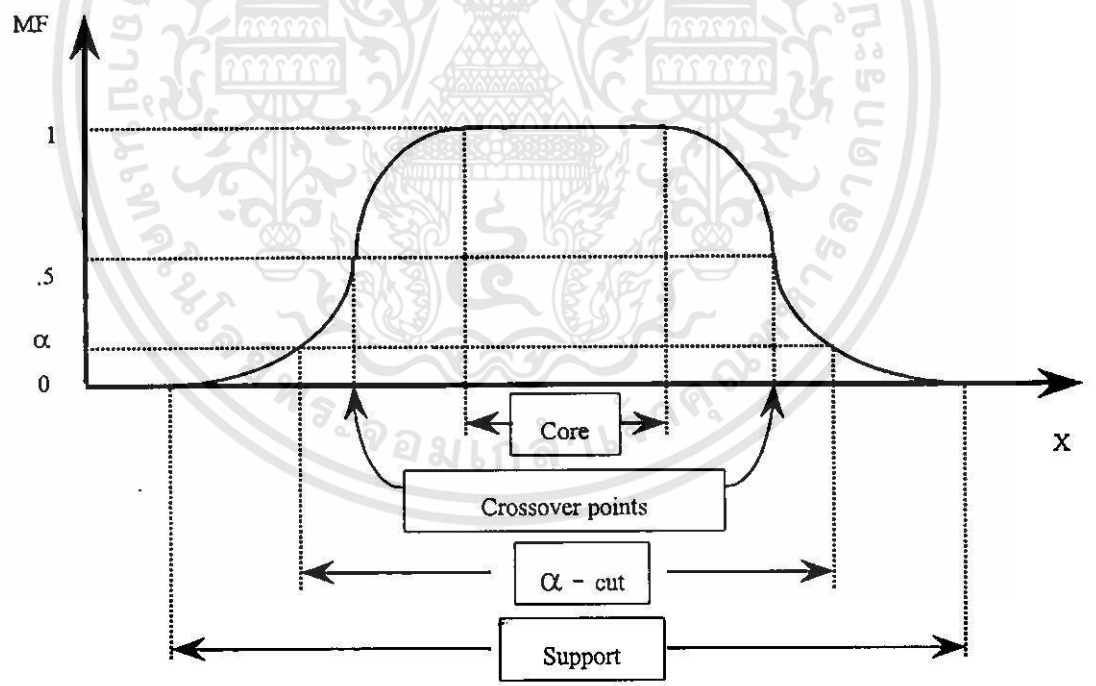
โดยที่ $\forall u\in U$

<u>นิยามที่ 10</u> การเป็นสับเซตของฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต A จะเป็นสับเซตของฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิก u ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A น้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A\subset B$

$$(A\subset B)\leftrightarrow \mu_A(x)\leq \mu_B(x) \tag{2.11}$$

โดยที่ $\forall u\in U$



รูปที่ 2.4 ซัพพอร์ต, α -Cut , จุดตัดข้าม และ ศูนย์กลางฟัซซีเซต ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 11 ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต (Support : S(A))

ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต A คือ เซตของสมาชิกทุกตัวของ u ในเอกภพสัมพัทธ์ U ซึ่งมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตมากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$S(A)=\{u\in U \mid \mu_A(u)>0\} \quad \text{หรือ} \quad Support(A)=\{u \mid \mu_A(u)>0\} \tag{2.12}$$

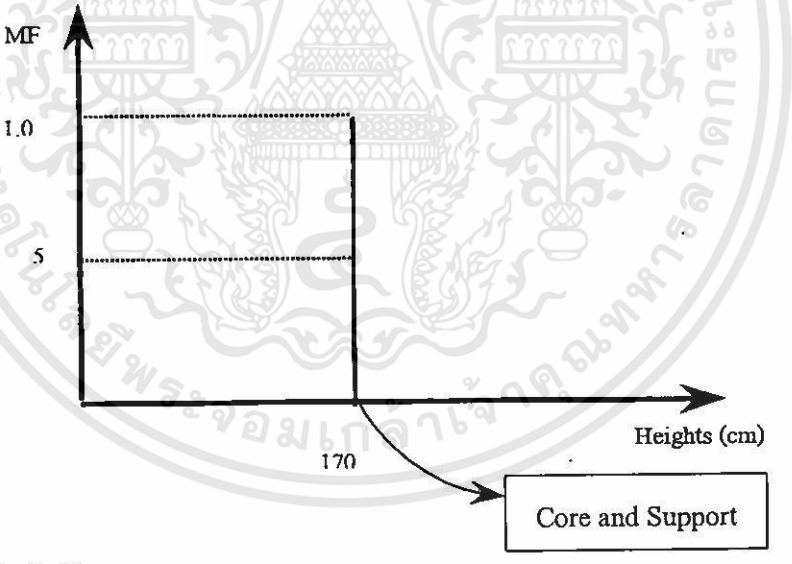
นิยาม 12 ศูนย์กลางของฟัซซีเซต (Center) หรือ (Core : Core(A))

ศูนย์กลางของฟัซซีเซต A คือ เซตของสมาชิกทุกตัวของ u ในเอกภพสัมพัทธ์ U ซึ่งมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตเท่ากับ 1 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$Core(A)=\{u \mid \mu_A(u)=1\} \tag{2.13}$$

นิยาม 13 ฟัซซีซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton)

ฟัซซีซิงเกิลตัน คือ ฟัซซีที่มีซัพพอร์ตของเซตที่สมาชิกเพียงตัวเดียว และมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1



รูปที่ 2.5 ฟัซซีซิงเกิลตันของความสูง

นิยาม 14 เซต α - Level หรือ α -Cut ของฟัซซีเซต (A_α)

เซต α - Level ของฟัซซีเซต A คือ เซตของสมาชิก u ในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A มากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A_\alpha=\{u \mid \mu_A(u)\geq\alpha\} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 15 ความสูงของฟัซซีเซต (Height of Fuzzy Set)

ความสูงของฟัซซีเซต A คือ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดของฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์

$$hgt(A) = \max_{u \in U} \mu_A(u) \tag{2.15}$$

นิยาม 16 คุณสมบัติการนอมอลไลซ์ของฟัซซีเซต (Normalization หรือ Normality)

ฟัซซีเซต A จะมีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์ก็ต่อเมื่อ ฟัซซีเซต A มีความสูงเท่ากับ 1

$$A \text{ is normalized} \leftrightarrow hgt(A) = 1 \tag{2.16}$$

นิยาม 17 คุณสมบัติการคอนแวกซ์ของฟัซซีเซต (Convexity)

ฟัซซีเซต A จะมีคุณสมบัติการคอนแวกซ์ก็ต่อเมื่อ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ A สอดคล้องตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$A \text{ is convex} \leftrightarrow \mu_A(u) = (\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min\{\mu_A(u_1), \mu_A(u_2)\} \tag{2.17}$$

โดยที่ $u_1, u_2 \in U$ และ $\lambda \in [0,1]$ ตามลำดับ

นิยาม 18 ฟัซซีนัมเบอร์ (Fuzzy Number)

ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซต A คือ ฟัซซีเซตที่เป็นจำนวนจริงที่มีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์และการคอนแวกซ์

นิยาม 19 จุดตัดข้าม (Crossover point)

จุดตัดข้ามของฟัซซีเซต A คือ จุดที่สมาชิก u ในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต เท่ากับ 0.5 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$crossover(A) = \{u \mid \mu_A(u) = 0.5\} \tag{2.18}$$

นิยาม 20 แบนวิดท์ (Bandwidth หรือ Width)

ฟัซซีเซตมีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์และการคอนแวกซ์ มีแบนวิดท์คือระยะทางระหว่างจุดตัดที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสองจุดเท่ากับ 0.5 (Crossover point) ($\mu_A(u_1) = \mu_A(u_2) = 0.5$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Bandwidth(A) = |u_1 - u_2| \tag{2.19}$$

นิยาม 21 การสมมาตร (Symmetric)

ฟัซซีเซต A สมมาตรเมื่อ เซตของสมาชิก u ในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A รอบจุดใดๆ สมมาตรกัน เช่น จุดที่ $u = c$

$$\mu_A(c+u) = \mu_A(c-u) \tag{2.20}$$

นิยาม 22 เปิดซ้าย (Open left),เปิดขวา (Open right),ปิด (Closed)

ฟัซซีเซต A เปิดซ้าย (Open left) ตามเงื่อนไขดังนี้

ถ้า $\lim_{u \to -\infty} \mu_A(u) = 1$ และ $\lim_{u \to +\infty} \mu_A(u) = 0$

ฟัซซีเซต A เปิดขวา (Open right) ตามเงื่อนไขดังนี้

ถ้า $\lim_{u \to -\infty} \mu_A(u) = 0$ และ $\lim_{u \to +\infty} \mu_A(u) = 1$

ฟัซซีเซต A ปิด (Closed) ตามเงื่อนไขดังนี้

ถ้า $\lim_{u \to -\infty} \mu_A(u) = \lim_{u \to +\infty} \mu_A(u) = 0$

นิยาม 23 คาร์ดินาลีตีของฟัซซีเซต (Cardinality)

สกาลาร์คาร์ดินาลิตี (Scalar Cardinality) ของฟัซซีเซต A บนเอกภพสัมพัทธ์ U คือ ผลบวกของค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ u ทุกตัวในฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$|A| = \sum_{u \in U} \mu_A(u) \tag{2.21}$$

คาร์ดินาลีตีสัมพัทธ์ (Relative Cardinality) ของฟัซซีเซต A บนเอกภพสัมพัทธ์ U คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของฟัซซีเซต A กับ ค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของเอกภพสัมพัทธ์ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\|A\| = \frac{|A|}{|U|} \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 24 ปฏิบัติการพื้นฐานของฟัซซีเซต

การคอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\overline{A}$ ($\neg A$, NOT A) ถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{\overline{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \tag{2.23}$$

การยูเนียนของฟัซซีเซต A กับฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \cup B$ หรือ A OR B ถูกนิยามในรูปของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u) \tag{2.24}$$

อินเตอร์เซคชันของฟัซซีเซต A กับฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \cap B$ หรือ A AND B ถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u) \tag{2.25}$$

โดยที่ $\vee, \wedge$ เป็นตัวกระทำ max และ min ตามลำดับ

2.2 สูตรและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

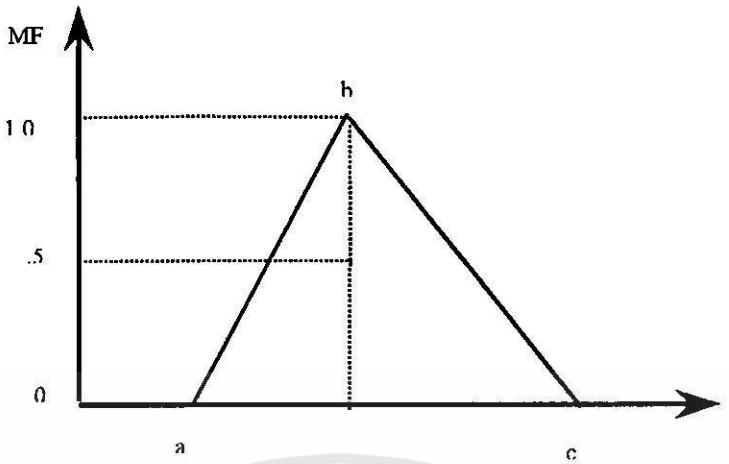
ในส่วนนี้อธิบายถึงสูตรและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกโดยทั่วไป

นิยาม 25 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular membership function) ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ แสดงได้ดังนี้

$$triangle(x;a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0, & c \le x \end{cases} \tag{2.26}$$

โดยที่ $a < b < c$ พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ เป็นตัวตัดสินค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากค่า x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

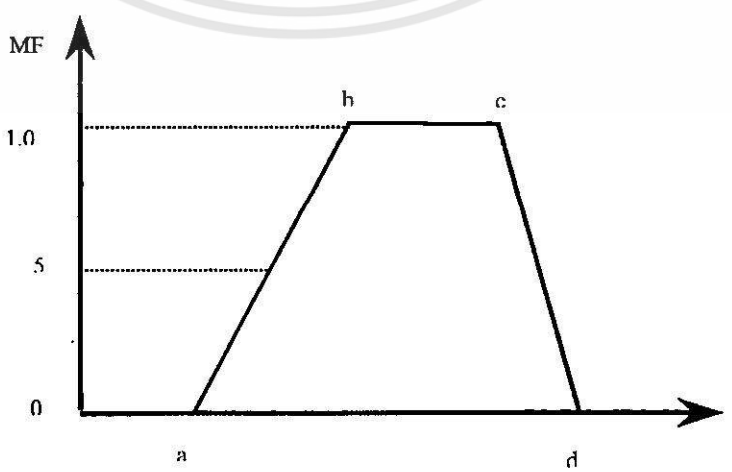


รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

นิยาม 26 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function) ถูกกำหนดโดย 4 พารามิเตอร์ $\{a,b,c,d\}$ แสดงได้ดังนี้

$$trapezoid(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0, & x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b\\ 1, & b\le x\le c\\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c\le x\le d\\ 0, & d\le x\end{cases} \tag{2.27}$$

โดยที่ $a<b<c<d$ พารามิเตอร์ $\{a,b,c,d\}$ เป็นตัวตัดสินค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากค่า x



รูปที่ 2.7 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

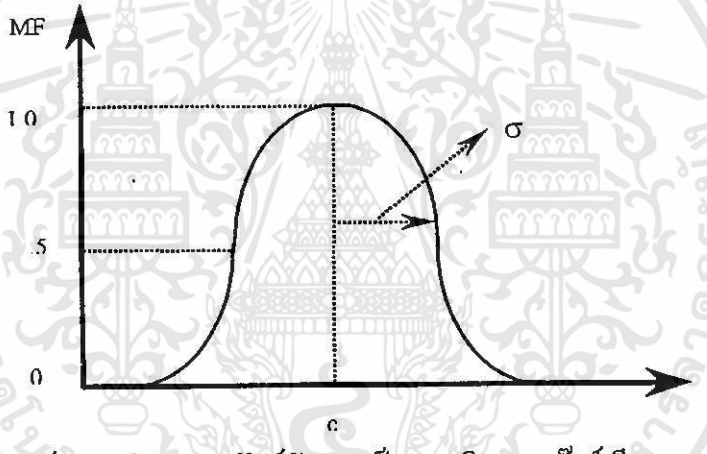
เอกสารนี้ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นสูตรที่ง่ายและการคำนวณไม่ยาก ซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางแต่มีข้อเสียของการเป็นเส้นตรงคือ ไม่มีความราบเรียบจุดที่เป็นมุมของเส้นตรง

นิยาม 27 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน (gaussian membership function) ถูกกำหนดโดย 2 พารามิเตอร์ $\{c,\sigma\}$

$$gaussian(x;c,\sigma)=\exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right] \tag{2.28}$$

โดยที่ c เป็นศูนย์กลางและ σ เป็นความกว้างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกตามลำดับ



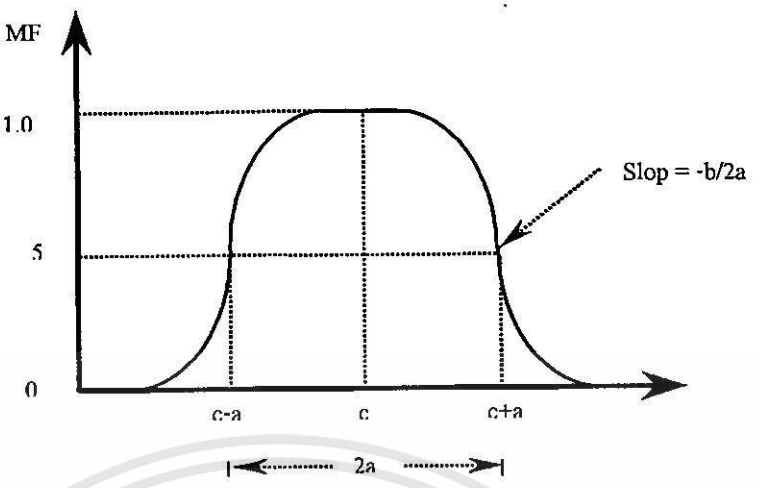
รูปที่ 2.8 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน

นิยาม 28 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบระฆัง (bell membership function) ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$

$$bell(x;a,b,c)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \tag{2.29}$$

โดยที่ b ต้องเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบระฆัง

นิยาม 28 ตัวปฏิบัติการ Triangular norms หรือ *T*-norms คือ การอินเตอร์เซคชันของฟัซซีเซตสองตัวเช่นฟัซซีเซต A อินเตอร์เซคชันกับ B แสดงอยู่ในรูปของ $T:[0,1]\times[0,1]\rightarrow[0,1]$ โดยสามารถหาระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกได้จากสูตร

$$\mu_{A\cap B}(u)=T(\mu_A(u),\mu_B(u))=\mu_A(u)\,\tilde{*}\,\mu_A(u) \tag{2.30}$$

โดยที่ $\tilde{*}$ เป็นตัวปฏิบัติแบบไบนารีสำหรับฟังก์ชัน *T –norms* โดยฟังก์ชัน *T –norms* มีคุณสมบัติดังนี้

1. คุณสมบัติ boundary condition แสดงได้ดังสมการ

   $T(\mu_A(u),0)=0, T(\mu_A(u),1)=T(1,\mu_A(u))=\mu_A(u)$

2. คุณสมบัติ commutativity แสดงได้ดังสมการ

   $T(\mu_A(u),\mu_B(u))=T(\mu_B(u),\mu_A(u))$

3. คุณสมบัติ associativity แสดงได้ดังสมการ

   $T(\mu_A(u),T(\mu_B(u),\mu_C(u)))=T(T(\mu_A(u),\mu_B(u)),\mu_C(u))$

4. คุณสมบัติ monotonicity แสดงได้ดังสมการ

   ถ้า $\mu_A(u)<\mu_C(u)$ และ $\mu_B(u)<\mu_D(u)$

   แล้ว $T(\mu_A(u),\mu_B(u))\leq T(\mu_C(u),\mu_D(u))$

ตัวปฏิบัติการ *T*-norms ที่ใช้งานบ่อยๆ มี 4 แบบดังนี้

Minimum :

$$T_{\min}(\mu_A(u),\mu_B(u))=\min(\mu_B(u),\mu_A(u))=(\mu_B(u)\wedge\mu_A(u)) \tag{2.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Algebraic product :

$$T_{ap}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \mu_A(u)\cdot\mu_B(u) \tag{2.32}$$

Bounded product :

$$T_{bp}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = 0 \vee (\mu_A(u)+\mu_B(u)-1) \tag{2.33}$$

Drastic product :

$$T_{dp}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \begin{cases} \mu_A(u), & \text{ถ้า } \mu_B(u)=1 \\ \mu_B(u), & \text{ถ้า } \mu_A(u)=1 \\ 0, & \text{ถ้า } \mu_A(u),\mu_B(u)<1 \end{cases} \tag{2.34}$$

นิยาม 29 ตัวปฏิบัติการ Triangular conorms หรือ S-norms คือ การยูเนียนของฟัซซีเซตสองตัวเช่น ฟัซซีเซต A อินเตอร์เซคชันกับ B แสดงอยู่ในรูปของ $S:[0,1]\times[0,1]\rightarrow[0,1]$ โดยสามารถหาระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกได้จากสูตร

$$\mu_{A\cup B}(u) = S(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \mu_A(u)\,\tilde{+}\,\mu_A(u) \tag{2.35}$$

โดยที่ $\tilde{+}$ เป็นตัวปฏิบัติแบบไบนารีสำหรับฟังก์ชัน *S –norms* โดยฟังก์ชัน *S –norms* มีคุณสมบัติดังนี้

1. คุณสมบัติ boundary condition แสดงได้ดังสมการ

   $S(1,1)=1, S(\mu_A(u),0)=T(0,\mu_A(u))=\mu_A(u)$

2. คุณสมบัติ commutativity แสดงได้ดังสมการ

   $S(\mu_A(u),\mu_B(u)) = S(\mu_B(u),\mu_A(u))$

3. คุณสมบัติ associativity แสดงได้ดังสมการ

   $S(\mu_A(u),S(\mu_B(u),\mu_C(u))) = S(S(\mu_A(u),\mu_B(u)),\mu_C(u))$

4. คุณสมบัติ monotonicity แสดงได้ดังสมการ

   ถ้า $\mu_A(u)<\mu_C(u)$ และ $\mu_B(u)<\mu_D(u)$

   แล้ว $S(\mu_A(u),\mu_B(u)) \le S(\mu_C(u),\mu_D(u))$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37661

ตัวปฏิบัติการ S-norms ที่ใช้งานบ่อยๆ มี 4 แบบดังนี้

Minimum :

$$S_{\min}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \max(\mu_B(u),\mu_A(u)) = (\mu_B(u) \vee \mu_A(u)) \tag{2.36}$$

Algebraic product :

$$S_{ap}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u)\cdot\mu_B(u) \tag{2.37}$$

Bounded product :

$$S_{bp}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = 1 \wedge (\mu_A(u) + \mu_B(u)) \tag{2.38}$$

Drastic product :

$$S_{dp}(\mu_A(u),\mu_B(u)) = \begin{cases} \mu_A(u), & \text{ถ้า } \mu_B(u)=0 \\ \mu_B(u), & \text{ถ้า } \mu_A(u)=0 \\ 1, & \text{ถ้า } \mu_A(u),\mu_B(u)>0 \end{cases} \tag{2.39}$$

2.3 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

นิยาม 30 ผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian Product)

กำหนดให้ $A_1,...,A_n$ เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ $U_1,...,U_n$ โดยที่ - $u_1,...,u_n \in U_1,...,U_n$ ตามลำดับ ผลคูณคาร์ทีเซียนของ $A_1,...,A_n$ คือฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ $U_1 \times ... \times U_n$ ที่มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A_1\times...\times A_n}(u_1,...,u_n) = \begin{cases} \min\{\mu_{A_1}(u_1),...,\mu_{A_n}(u_n)\} & \text{min - intersection} \\ \mu_{A_1}(u_1)\cdot...\cdot\mu_{A_n}(u_n) & \text{algebraic product} \end{cases} \tag{2.40}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 31 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีจากฟัซซีเซต A ไปยังฟัซซีเซต B

โดยที่ A เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ U; $u \in U$

และ B เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ V; $v \in V$

ความสัมพันธ์ฟัซซี R เป็นฟัซซีเซตของการคูณแบบ Product ในเอกภพสัมพัทธ์ $U \times V$ โดยมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็น $\mu_R(u,v)$ จะได้ว่า

$$R_{U\times V} = A \times B = \{(u,v), \mu_R(u,v) | (u,v) \in U \times V\} \tag{2.41}$$

$$\mu_R(u,v) = \mu_{A\times B}(u,v) = \begin{cases} \min\{\mu_A(u_1), \mu_B(v)\} & \text{min - intersection} \\ \mu_A(u) \cdot \mu_B(v) & \text{algebraic product} \end{cases} \tag{2.42}$$

ความสัมพันธ์ฟัซซีขนาด n มิติของฟัซซีเซต $A_1,...,A_n$ (โดยที่ $A_1,...,A_n$ เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ $U_1,...,U_n$ ตามลำดับ) คือฟัซซีสับเซตในเอกภพสัมพัทธ์ $U_1 \times ... \times U_n$ กำหนดได้ดังนี้

$$R_{U_1\times...\times U_n} = \{(u_1,...,u_n), \mu_R(u_1,...,u_n) | (u_1,...,u_n) \in U_1 \times ... \times U_n\} \tag{2.43}$$

$$\mu_R(u_1,...,u_n) \le \mu_{A_i}(u_i) \tag{2.44}$$

โดยที่ $i = 1,...,n; \forall (u_1,...,u_n) \in U_1 \times ... \times U_n$

นิยาม 32 การปฏิบัติการต่อความสัมพันธ์ฟัซซี

กำหนดให้ R_1 และ R_2 เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีบนระนาบเดียวกันคือ $U_1 \times ... \times U_n$

การยูเนียนความสัมพันธ์ฟัซซี นิยามโดยใช้ตัวปฏิบัติการ maximum ได้ดังนี้

$$\mu_{R_1 \cup R_2}(u_1,...,u_n) = \max\{\mu_{R_2}(u_1,...,u_n), \mu_{R_1}(u_1,...,u_n)\} \tag{2.45}$$

โดยที่ $(u_1,...,u_n) \in U_1 \times ... \times U_n$

การอินเตอร์เซคชันความสัมพันธ์ฟัซซี นิยามโดยใช้ตัวปฏิบัติการ minimum ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{R_1 \cap R_2}(u_1,...,u_n) = \min\{\mu_{R_2}(u_1,...,u_n), \mu_{R_1}(u_1,...,u_n)\} \quad (2.46)$$

โดยที่ $(u_1,...,u_n) \in U_1 \times ... \times U_n$

นิยาม 33 คุณสมบัติของความสัมพันธ์ฟัซซี

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์ของฟัซซีแสดงดังสมการ

$$R = \{((u,v), \mu_R(u,v)) | (u,v) \in U \times V\}$$

โดย R มีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

Reflexitivity

R จะมีคุณสมบัติเป็น reflexitivity ก็ต่อเมื่อ $\mu_R(u,u) = 1; \forall u \in U$

Irreflexitivity

R จะมีคุณสมบัติเป็น irreflexitivity ก็ต่อเมื่อ $\mu_R(u,u) = 0; \forall u \in U$

Symmetry

R จะมีคุณสมบัติเป็น symmetry ก็ต่อเมื่อ $R(u,v) = R(v,u)$

Antisymmetry R จะมีคุณสมบัติเป็น Antisymmetry ก็ต่อเมื่อ

ถ้า $u \neq v$ แล้ว $\mu_R(u,v) \neq \mu_R(v,u)$

หรือ $\mu_R(u,v) = \mu_R(v,u) = 0$

โดยที่ $\forall u, \forall v \in U$

Perfectly antisymmetry

R จะมีคุณสมบัติเป็น antisymmetry อย่างสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อ

ถ้า $u \neq v$ และ $\mu_R(u,v) > 0$

แล้ว $\mu_R(v,u) = 0$

โดยที่ $\forall u, \forall v \in U$

Transitivity

R จะมีคุณสมบัติเป็น transitivity ก็ต่อเมื่อ

$R \circ R \subseteq R$ หรือ $\max_{v \in V}\{\min[\mu_R(u,v), [\mu_R(v,w)]\} \leq \mu_R(u,w)$

นิยาม 34 โปรเจกชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation Projection)

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์ของฟัซซีแสดงดังสมการ

$$R = \{((u,v), \mu_R(u,v)) | (u,v) \in U \times V\} \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรเจกชันของความสัมพันธ์ฟัซซี R นิยามได้ดังนี้

first projection:

$$R^{(1)} = \{(u, \max_{v} \mu_R(u,v)) | (u,v) \in U \times V\} \tag{2.48}$$

second projection

$$R^{(2)} = \{(v, \max_{u} \mu_R(u,v)) | (u,v) \in U \times V\} \tag{2.49}$$

total projection

$$R^{(T)} = \{((u,v), \max_{u} \max_{v} \mu_R(u,v)) | (u,v) \in U \times V\} \tag{2.50}$$

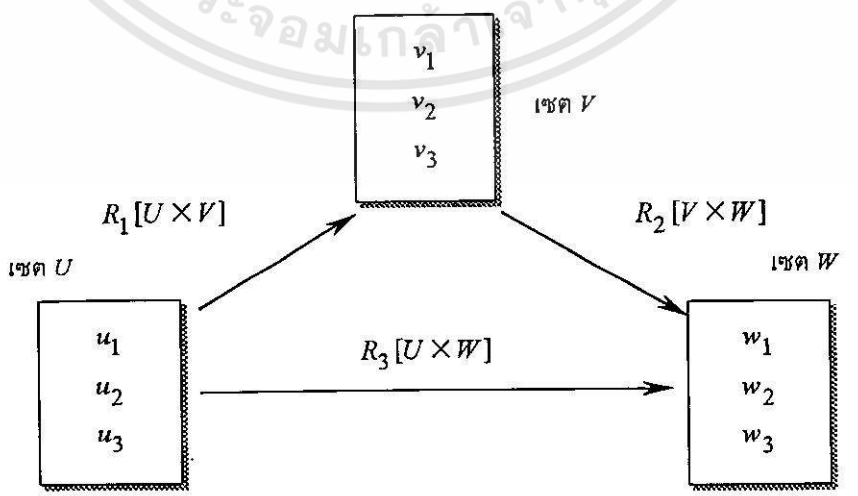
2.4 การคอมโพสิชันแบบฟัซซี (Fuzzy Composition)

กำหนดให้

$R_1(u,v)$ เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์ U ไป V โดยที่ $(u,v) \in U \times V$ และ

$R_2(v,w)$ เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์ V ไป W โดยที่ $(v,w) \in V \times W$

การคอมโพสิชัน คือ การปฏิบัติการในการหาความสัมพันธ์ $R_3(u,w)$ จากความสัมพันธ์ที่ถ่ายทอดต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ $R_1(u,v)$ และ $R_2(v,w)$ ดังแสดงในภาพที่ 2.9



รูปที่ 2.10 การคอมโพสิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคอมโพสิชั่นของความสัมพันธ์ฟัซซี ถูกนิยามเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

นิยาม 35 Max–Min composition หรือ Max-Min product

$$R_3 = R_1 \circ R_2 = \{[(u,w), \max_{v\in V} \min(\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w))] \mid u\in U, v\in V, w\in W\} \quad (2.51)$$

เขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 \circ R_2}(u,w) = \max_{v\in V} \min[\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w)] \quad (2.52)$$

หรือ

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 \circ R_2}(u,w) = \vee_v [\mu_{R_1}(u,v) \wedge \mu_{R_2}(v,w)] \quad (2.53)$$

โดยที่ $\vee, \wedge$ เป็นตัวกระทำ max และ min ตามลำดับ ในกรณี R_1, R_2 มีความสัมพันธ์เป็นเมทริกซ์ ในการคำนวณ $R_1 \circ R_2$ แทนตัวกระทำ $\vee, \wedge$ ด้วย + และ - ตามลำดับ

นิยาม 36 Max–product Composition

$$R_3 = R_1 * R_2 = \{[(u,w), \max_{v\in V}(\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w))] \mid u\in U, v\in V, w\in W\} \quad (2.54)$$

เขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 * R_2}(u,w) = \max_{v\in V}[\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w)] \quad (2.55)$$

หรือ

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 * R_2}(u,w) = [\mu_{R_1}(u,v) \vee_v \mu_{R_2}(v,w)] \quad (2.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 37 Max–Average Composition

$$R_3 = R_1 \; av \; R_2 = \{[(u,w), \max_{v \in V} \left\{ \frac{\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w)}{2} \right\}] | u \in U, v \in V, w \in W\} \qquad (2.57)$$

นิยาม 38 Min–Max composition

$$R_3 = R_1 \bullet R_2 = \{[(u,w), \min_{v \in V} \max(\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w))] | u \in U, v \in V, w \in W\} \qquad (2.58)$$

เขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 \bullet R_2}(u,w) = \min_{v \in V} \max[\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w)] \qquad (2.59)$$

หรือ

$$\mu_{R_3}(u,w) = \mu_{R_1 \bullet R_2}(u,w) = \wedge_v [\mu_{R_1}(u,v) \vee \mu_{R_2}(v,w)] \qquad (2.60)$$

วิธีการ Min–Max composition เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด มีคุณสมบัติสำคัญดังนี้

1. Distributed w.r.t. union

$$(R_1 \cup R_2) \circ R_3 = (R_1 \circ R_3) \cup (R_2 \circ R_3)$$

2 Non distributed w.r.t. union

$$(R_1 \cap R_2) \circ R_3 \subset (R_1 \circ R_3) \cap (R_2 \circ R_3)$$

3. Association property

$$(R_1 \circ R_2) \circ R_3 = (R_1 \circ (R_2 \circ R_3)$$

4. Inclusion property

ถ้า $R_1 \subset R_2$

แล้ว $(R_1 \circ R_3) \subset (R_2 \circ R_3)$

5.ถ้า R_1, R_2 มีคุณสมบัติเป็น reflexitivity

แล้ว $R_1 \circ R_2$ มีคุณสมบัติเป็น reflexitivity

6. ถ้า R_1, R_2 มีคุณสมบัติเป็น symmetry และ $(R_1 \circ R_2) = (R_2 \circ R_1)$

แล้ว $R_1 \circ R_2$ มีคุณสมบัติเป็น symmetry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ถ้า R_1, R_2 มีคุณสมบัติเป็น transitivity และ $(R_1 \circ R_2) = (R_2 \circ R_1)$

แล้ว $R_1 \circ R_2$ มีคุณสมบัติเป็น transitivity

8. ถ้า R มีคุณสมบัติเป็น symmetry และ transitivity

แล้ว $\mu_R(u,v) \leq \mu_R(v,u); \forall u, \forall v \in U$

9. ถ้า R มีคุณสมบัติเป็น reflexitivity

แล้ว $R \subset R \circ R$

10. ถ้า R มีคุณสมบัติเป็น reflexitivity และ transitivity

แล้ว $R \circ R = R$

นิยาม 39 Sup-Star composition กำหนดให้ R และ S เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีในระนาบ $U \times V$ และ $V \times W$ ตามลำดับ ส่วน Sup-Star compostion ของ R และ S เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีแทนด้วย $R \circ S$ และกำหนดโดย

$$\mu_{R \circ S}(u,w) = \sup_{v \in V} [\mu_R(u,v) * \mu_S(v,w)] \tag{2.61}$$

โดยที่ $u \in U, w \in W$ และ $*$ เป็นตัวกระทำของ T-*norms* กำหนด $R \circ S$ เป็นฟัซซีเซตใน $U \times W$ โดยที่ S เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ V ในกรณีนี้ $\mu_S(v,w)$ จะได้ $\mu_S(v)$ และ $\mu_{R \circ S}(u,w)$ จะได้ $\mu_{R \circ S}(u)$

โดยทั่วไป Sup-Star composition จะเป็น Sup-min composition และ Sup-product composition ซึ่งแทน $*$ ในสมการโดย min และการคูณ algebraic ตามลำดับ

2.5 ตัวแปรลิงกวิสติก (Linguistic Variable)

นิยาม 40 ตัวแปรลิงกวิสติก (linguistic variable) คือ ค่า,คำพูดหรือประโยคทางธรรมชาติหรือสร้างขึ้นมาเอง ซึ่งถูกนิยามโดย Zadeh ในการให้ความหมายเพื่อความสะดวกทางเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ระบบให้เป็นการวิเคราะห์ในความหมายที่มนุษย์เข้าใจได้ง่าย คล้ายการคิดของมนุษย์เป็นการประมาณการ,สรุปข้อมูลและตีความจำนวนของคริซปีเซตในเทอมของฟัซซีเซต

ตัวอย่างของลิงกวิสติก ในส่วนของ ความเร็ว เช่น ช้า, เร็ว, เร็วมาก เป็นต้น

ตัวแปรลิงกวิสติก ถูกนิยามด้วยฟังก์ชัน 5 เทอม คือ $(x, T(x), U, G, M)$

โดยที่

x คือ ชื่อของตัวแปร (label)

$T(x)$ คือ เซตของค่าลิงกวิสติก x

U คือ เอกภพสัมพัทธ์ โดยที่ $u \in U$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

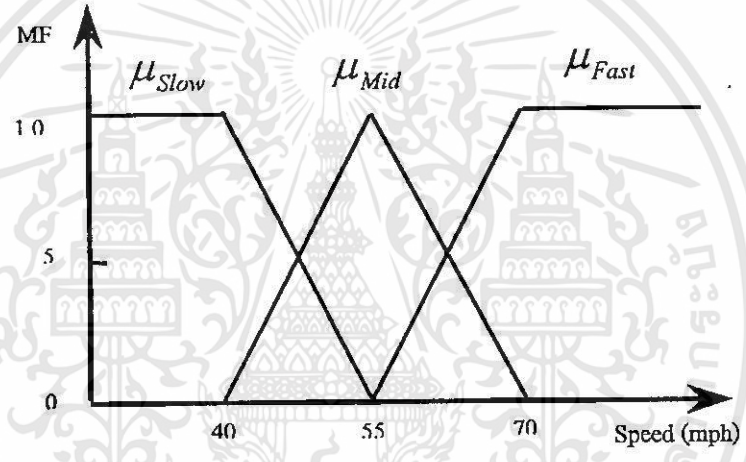
G คือ Semantic rule ในการกำหนดชื่อของเทอม x

M คือ Semantic rule ในการนิยามคุณสมบัติของเทอม x เพื่อกำหนดความหมาย

ตัวอย่างในการตีความของ ความเร็ว (speed) เป็นตัวแปรลิงกวิสติกโดย $U=[1,100]$, $x=speed$ ได้เซตของเทอม $T(speed)$ ดังนี้

$$T(speed)=\{\text{VERY slow, Slow, Moderate, Fast,...}\} \tag{2.62}$$

G เป็นการกำหนดชื่อใช้สัญชาติญาณส่วน M เป็นการกำหนดเช่น M(Slow) = ฟัซซีเซตสำหรับความเร็วต่ำกว่า 40 ไมล์ต่อชั่วโมง โดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็น μ_{Slow}



รูปที่ 2.11 เทอมตัวแปรลิงกวิสติกของความเร็ว

นิยาม 41 ตัวปฏิบัติการ Linguistic Hedge หรือ Modifier

Linguistic Hedge หรือ Modifier คือ ตัวปฏิบัติการในการแปลงหรือขยายขอบเขตของความหมายของฟัซซีเซต เทอมของตัวแปรลิงกวิสติกยกตัวอย่างเช่น Very, Extremely, More or less, Not too ฟัซซีเซต A สร้างฟัซซีเซตใหม่เป็น $h(A)$ กำหนดให้ A เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ U โดยที่ $u \in U$

นิยามตัวปฏิบัติการ modifier : m บนฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ m(A) ดังนี้

Concentration : CON(A)

$$\mu_{CON_{(A)}}(u)=(\mu_A(u))^2 \tag{2.63}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dilation : DIL(A)

$$\mu_{DIL_{(A)}}(u) = (\mu_A(u))^{1/2} \tag{2.64}$$

Intensification : INT(A)

$$\mu_{INT_{(A)}}(u) = \begin{cases} 2(\mu_A(u))^2 & ,\mu_A(u) \in [0,0.5] \\ 1-2(1-\mu_A(u))^2 & ,\text{อื่นๆ} \end{cases} \tag{2.65}$$

จะมี Linguistic hedge ที่ใช้บ่อยคือ

VERY (A)	$= CON(A) = A^2$	(2.66)
HIGHTLY(A)	$= A^3$	(2.67)
FAIRLY(More or less) (A)	$= DIL(A) = A^{1/2}$	(2.68)
ROUGHTLY(A)	= DIL[DIL(A)]	(2.69)
PLUS(A)	$= A^{1.25}$	(2.70)
MINUS(A)	$= A^{0.75}$	(2.71)
RATHER(A)	= INT[CON(A)] AND NOT [CON(A)]	(2.72)
SLIGHTLY(A)	= INT[PLUS(A) AND NOT (VERY(A))]	(2.73)
SORT OF(A)	= INT[DIL(A] AND INT-[DIL(NOT(A))]	(2.74)
PRETTY(A)	= INT(A) AND NOT [INT(CON(A))]	(2.75)

2.6 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิม

ทฤษฎีตรรกศาสตร์ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของการหาข้อสรุปโดยใช้เหตุผล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความจริง (truth value) ,การปฏิบัติการ (vocabulary) และวิธีการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล (reasoning procedure) ในตรรกศาสตร์บูลีนได้นิยามส่วนประกอบแต่ละส่วนไว้ดังนี้

นิยาม 42 ความจริงของประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน

ประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน จะมีค่าความจริงเท่ากับ 0 เมื่อประพจน์เป็นเท็จ และจะมีค่าความจริงเท่ากับ 1 เมื่อประพจน์เป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 43 ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน ถูกนิยามด้วยค่าความจริงของประพจน์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ค่าความจริงของประพจน์ในปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

A	B	$\wedge$	$\vee$	x$\vee$	$\rightarrow$	$\leftrightarrow$
1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1

นิยาม 44 การหาข้อสรุปตามหลักการและเหตุผล

การหาข้อสรุปตามหลักการและเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม จะใช้สัจจนิรันดร์ (tautology) สำหรับเป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุป ตัวอย่างสัจจนิรันดร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล แสดงดังนี้

Modus ponens : $(A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B$

Modus tollens : $\neg((A \rightarrow B) \wedge (\neg B)) \rightarrow (\neg A)$

Syllogism : $((A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C)) \rightarrow (A \rightarrow C)$

Contraposition : $(A \rightarrow B) \rightarrow ((\neg B) \rightarrow (\neg A)$

ฟัซซีลอจิกเป็นทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ที่ขยายมาจากทฤษฎีทางตรรกศาสตร์หลายค่า (multi-valued logic) โดยนิยามค่าความจริงของประพจน์เป็นตัวแปรลิงกวิสติก ได้มีการนิยามการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์สำหรับฟัซซีลอจิกไว้ต่างๆกัน

2.7 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิก

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิก จะเป็นการขยายนิยามของสัจจนิรันดร์ที่ใช้ในตรรกศาสตร์แบบเดิม เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลของประพจน์ที่เป็นฟัซซีเซต โดยทำการขยายนิยามของ Modus Ponens และ Modus Tollens สำหรับฟัซซีลอจิกเรียกว่า Generalized Modus Ponens : GMP และ Generalized Modus Tollens : GMT ดังแสดงในนิยาม 28 และนิยาม 29 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 45 Generalized Modus Ponens : GMP คือ การหาข้อสรุปจากเหตุไปหาผล (forward data – driven)

GMP:	Premise	u is A'
	Implication	If u is A then v is B
	Conclusion	v is B'

โดยที่ GMP Implication ถูกนิยามดังสมการ

$$A \rightarrow B = \max\{c \in [0,1], T(A,c) \leq B\} \tag{2.76}$$

นิยาม 46 Generalized Modus Tollens : GMT คือ การหาข้อสรุปจากผลไปหาเหตุ (backward data – driven)

GMT:	Premise	v is B'
	Implication	If u is A then v is B
	Conclusion	u is A'

โดยที่ GMT Implication ถูกนิยามดังสมการ

$$A \rightarrow B = \max\{c \in [0,1], S(B,c) \leq A\} \tag{2.77}$$

ตารางที่ 2.2 กฎเกณฑ์ผลการหาข้อสรุปตามหลักและเหตุผลโดยใช้ GMP

Criteria	Premise (u is A')	Conclusion (v is B')
1	u is A	v is B
2a	u is (very A)	v is (very B)
2b	u is (very A)	v is B
3a	u is (more or less A)	v is (more or less B)
3b	u is (more or less A)	v is B
4a	u is (not A)	v is unknown
4b	u is (not A)	v is (not B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 กฎเกณฑ์ผลการหาข้อสรุปตามหลักและเหตุผลโดยใช้ GMT

Criteria	Premise(u is B')	Conclusion(v is A')
1	v is (not B)	u is (not A)
2	v is (not very B)	u is (not very A)
3	v is (not more or less B)	u is (not more or less A)
4a	v is B	u is unknown
4b	v is B	u is A

นิยาม 47 ฟัซซีอิมพลิเคชั่น (fuzzy Implication) คือ เงื่อนไขความสัมพันธ์แบบฟัซซีระหว่างส่วนเหตุ (antecedent) และส่วนผล (consequence) ที่ใช้ในการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล

กำหนดให้ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U และ V ตามลำดับ ฟัซซีอิมพลิเคชั่นแทนด้วย $A \longrightarrow B$ เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี $U \times V$ กับฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบ่งเป็นข้อซึ่งใช้ในการตีความดังนี้

- Fuzzy conjunction

$$\mu_{A \longrightarrow B}(u,v) = \mu_A(u) * \mu_B(v) \tag{2.78}$$

- Fuzzy disconjunction

$$\mu_{A \longrightarrow B}(u,v) = \mu_A(u) \dot{+} \mu_B(v) \tag{2.79}$$

- Material implication

$$\mu_{A \longrightarrow B}(u,v) = \mu_{\tilde{A}}(u) \dot{+} \mu_B(v) \tag{2.80}$$

- Propositional calculus

$$\mu_{A \longrightarrow B}(u,v) = \mu_{\tilde{A}}(u) + \mu_{A*B}(v) \tag{2.81}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Generalization of modus ponens

$$\mu_{A\longrightarrow B}(u,v)=\sup\{c\in[0,1]\,|\,\mu_A(u)*c\le\mu_B(v)\} \tag{2.82}$$

- Generalization of modus tollens

$$\mu_{A\longrightarrow B}(u,v)=\inf\{c\in[0,1]\,|\,\mu_A(u)\dot{+}c\le\mu_B(v)\} \tag{2.83}$$

ฟัซซีอิมพลิเคชั่น $A\longrightarrow B$ ซึ่งก็คือกฎฟัซซี If-Then : IF x is A, THEN y is B, โดยที่ $x\in U$ และ $y\in V$ เป็นตัวแปรลิงกวิสติค

2.8 กฎการควบคุมของฟัซซี (Fuzzy Rule Base)

นิยาม 48 กฎการควบคุมฟัซซี เป็นหน่วยที่รวบรวมกฎการควบคุมของฟัซซีให้อยู่ในรูปแบบ IF...THEN... กำหนดให้กฎการควบคุมอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$R^{(l)}: IF\ x_1\ is\ F_1^l\ and\ ...\ and\ x_n\ is\ F_n^l\ then\ y\ is\ G^l \tag{2.84}$$

โดยที่ F_i^l และ G^l เป็นตัวแปรลิงกวิสติกอินพุตและเอาท์พุตของฟัซซีเซตอยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U และ V ตามลำดับ โดย $\underline{x}=(x_1,....,x_n)^T\in U_1\times...\times U_n$ และ $y\in V$ เป็นอินพุตและเอาท์พุตของระบบฟัซซี , M เป็นจำนวนกฎการควบคุมฟัซซี If-Then ทั้งหมดและ l = 1,2,...,M เป็นจำนวนกฎที่มีอยู่ ฐานกฎควบคุมฟัซซีถือเป็นเป็นหัวใจของระบบฟัซซีใช้หาข้อสรุปของฟัซซี

ปัญหาของกฎฐานควบคุมฟัซซีมี 2 ข้อคือ กฎ If-Then หามาได้อย่างไรและการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในส่วน ส่วนเหตุ (antecedent) และส่วนผล (consequence) หรือ F_i^l และ G^l ตามลำดับ ในการหาคำตอบทั้งสองข้อวิธีการแรกมาจากผู้เชี่ยวชาญ ส่วนวิธีที่สองเป็นใช้อัลกอริทึมในการปรับแต่งจากข้อมูลที่วัดได้ ก่อนอื่นต้องกำหนดรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{F_i^l}$ และ μ_{G^l} วิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวในส่วนของฟังก์ชันเก๊าส์เซียน (Gaussian) ส่วนอัลกอริทึมในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของ $\mu_{F_i^l}$ และ μ_{G^l} จะกล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การอินเฟอรเรนซ์ของฟัซซี (Fuzzy Inference)

นิยาม 49 การอินเฟอเรนซ์ฟัซซี (Fuzzy Inference) คือ กระบวนการในการหาข้อสรุป (conclusion) จากหลักฐาน (premise) โดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (implication) ดังแสดงในตัวอย่างภาพที่ 2.11

หน่วยฟัซซีอินเฟอเรนซ์ เป็นการหาข้อสรุปของฟัซซีเซตในส่วนเอาท์พุตจากฟัซซีเซตอินพุต โดยใช้กฎฟัซซี If-Then ของกฎการควบคุมฟัซซี จากสมการ 2.84 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปฟัซซีอิมพลิเคชันได้ดังนี้ $F_1^l \times \ldots \times F_n^l \longrightarrow G^l$ ซึ่งอยู่ในระนาบ $U \times V$ โดยให้ฟัซซีเซต A' เป็นอินพุตและ ฟัซซีเซต B^l เป็นเอาท์พุตของฟัซซีอินเฟอเรนซ์ตามลำดับ

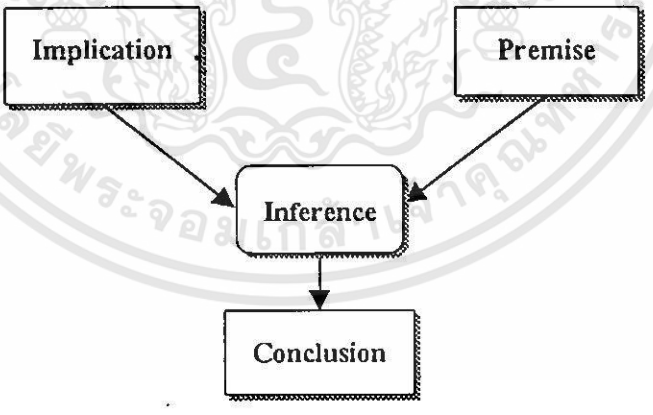
การหาข้อสรุปฟัซซีอินเฟอเรนซ์ สามารถจัดรูปแบบเอาท์พุตได้สองแบบดังนี้

กรณีฟัซซีเซต M ชุดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นดังนี้

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1^l \times \ldots \times F_n^l \longrightarrow G^l}(x,y) * \mu_{A'}(x)] \tag{2.85}$$

และกรณีฟัซซีเซต B' เกิดจากการยูเนียนของฟัซเซต B^l ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นดังนี้

$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B^1}(y) + \ldots + \mu_{B^M}(y) \tag{2.86}$$



รูปที่ 2.12 การหาข้อสรุปจากหลักฐานโดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล

จากนิยามฟัซซีอิมพลิเคชัน สมการ 2.78 ถึง 2.83 เมื่อรวมกับวิธีการ T-*norms* หรือ S-*norms* กฎฟัซซี If-Then สามารถแปลงให้อยู่ในรูปจำนวนได้ เพื่อให้ง่ายในการหาข้อสรุปกฎฟัซซี If-Then

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $F_1^l \times ... \times F_n^l = A$,$G^l = B$ และสมการ 2.84 แทนด้วย $A \longrightarrow B$ เกิดฟัซซีอิมพลิเคชันใหม่ ดังนี้

- Min-operation

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \min\{\mu_A(\underline{x}), \mu_B(y)\} \tag{2.87}$$

- Product-operation

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \mu_A(\underline{x}) \cdot \mu_B(y) \tag{2.88}$$

- Arithmetic rule

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \min\{1, 1 - \mu_A(\underline{x}) + \mu_B(y)\} \tag{2.89}$$

- Max-min rule

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \max\{\min[\mu_A(\underline{x}), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(\underline{x})\} \tag{2.90}$$

- Boolean rule

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \max\{1 - \mu_A(\underline{x}), \mu_B(y)\} \tag{2.91}$$

- Goguen's rule

$$\mu_{A \longrightarrow B}(\underline{x}, y) = \begin{cases} 1 & \mu_A(\underline{x}) \le \mu_B(y) \\ \mu_B(y) / \mu_A(\underline{x}) & \mu_A(\underline{x}) > \mu_B(y) \end{cases} \tag{2.92}$$

สมการ (2.87)-(2.92) แทนค่า $\mu_A(\underline{x}) = \mu_{F_1' \times ... \times F_n'}(\underline{x})$ ลงในสมการ ตัวอย่างเช่น Min operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{F_1' \times \ldots \times F_n'}(\underline{x}) = \min\{\mu_{F_1'}(x_1), \ldots, \mu_{F_n'}(x_n)\} \tag{2.93}$$

หรือ Product operation

$$\mu_{F_1' \times \ldots \times F_n'}(\underline{x}) = \mu_{F_1'}(x_1) \cdots \mu_{F_n'}(x_n) \tag{2.94}$$

2.10 การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)

นิยาม 50 การฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ U ของอินพุต เพื่อเป็นตัวแทนของอินพุตที่มีค่าเป็นตัวเลขสำหรับใช้เป็นอินพุตของระบบฟัซซี การฟัซซิฟิเคชันในที่นี้แบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน (Singleton Fuzzifier) ฟัซซี A เป็นฟัซซีซิงเกิลตัน โดยที่ Support$(A) = \{u_0\}$ ซึ่ง

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & ; \quad u = u_0 \\ 0 & ; \quad u \neq u_0 \end{cases} \tag{2.95}$$

2. การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีนัมเบอร์ (Nonsingleton fuzzifier) ฟัซซี A เป็นฟัซซีนัมเบอร์ก็ต่อเมื่อ

$\mu_A(u) = 1$ เมื่อ $u = u_o$

และ $\mu_A(u)$ ลดลง เมื่อ u อยู่ห่างออกไปจาก u_o

ตัวอย่างของการฟัซซิฟิเคชัน โดยใช้ฟัซซีนัมเบอร์ เช่น วิธีของเก๊าส์เซียน

$$\mu_A(u) = \exp\left[-\frac{(u-u_0)^2}{\sigma^2}\right] \tag{2.96}$$

โดยที่ u_o, σ เป็นพารามิเตอร์ในการกำหนดศูนย์กลางและความกว้างของรูปทรง $\mu_A(u)$ ตามลำดับ

3. การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ไฮบริดนัมเบอร์ (hybrid number) ฟัซซี A เป็นไฮบริดนัมเบอร์ คือฟัซซีนัมเบอร์ที่เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์เป็น random number

$\mu_A(u) = 1$ เมื่อ $u = u_o$

และ $\mu_A(u)$ ลดลง เมื่อ u อยู่ห่างออกไปจาก u_o

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

นิยาม 51 การดีฟัซซิฟิเคชัน คือ ขบวนการหาค่าเอาท์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาท์พุตที่มีค่าความเป็นไปได้กระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ V ของเอาท์พุต กำหนดให้

R คือ ความสัมพันธ์ฟัซซีจากเอกภพสัมพัทธ์ U ไป V ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต u และเอาท์พุต v

u_o คือ อินพุตที่วัดได้ เป็นฟัซซีซิงเกิลตัน

ในการคอมโพสิชันระหว่างฟัซซีซิงเกิลตัน u_o กับความสัมพันธ์ R จะได้ผลลัพท์เป็นฟัซซีเซต B ซึ่งเป็นสับเซตของเอกภพสัมพัทธ์ V และเมื่อทำดีฟัซซิฟิเคชัน จะหาฟัซซีซิงเกิลตัน ซึ่งเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาท์พุต B เพื่อใช้เป็นเอาท์พุตที่แท้จริงของระบบได้ในที่นี้แบ่งได้ 6 วิธีดังนี้

1. Max Procedure เป็นการดีฟัซซิฟิเคชัน โดยเลือกค่าเอาท์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากที่สุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเอาท์พุต สามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$v_o = \max_{v \in V} \mu_B(v) \tag{2.97}$$

2. Mean of Maxima (MOM) เป็นวิธีที่ขยายมาจากวิธี Max procedure เพื่อใช้ในกรณีที่ค่าเอาท์พุตมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากันหลายค่า โดยหาค่าเฉลี่ยของค่าเอาท์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน โดยใช้สมการดังนี้

$$v_o = \sum_{j=1}^{J} \frac{v_j}{J} \tag{2.98}$$

เมื่อ v_j คือ ค่าเอาท์พุตแต่ละค่าที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน

J คือ จำนวนเอาท์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน

3. Center of Area (COA) (Center of Gravity (COG) หรือ Center Averager)

วิธี COA เป็นวิธีหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเอาท์พุต ซึ่งทำได้โดยการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกันและค่า v_o จะหาได้จากค่าของ v ที่ตำแหน่งของเส้นแบ่งครึ่ง สามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_{-\infty}^{COA(B)} \mu_B(v)dv = \int_{COA(B)}^{\infty} \mu_B(v)dv \qquad (2.99)$$

ในทางปฏิบัติ การคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.80) ทำได้ยาก จึงประมาณค่าการคำนวณของวิธี COA โดยใช้วิธี COG ซึ่งเป็นการหาจุดศูนย์กลางการถ่วงน้ำหนักแทนการค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้กราฟ สมการของการดีฟัซซีฟิเคชั่น โดยใช้วิธี COG สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_o = \frac{\int_V v\mu_B(v)dv}{\int_V \mu_B(v)dv} \qquad (2.100)$$

ในกรณีที่เอกภพสัมพัทธ์ V มีสมาชิกเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete) และเพื่อความสะดวกในการคำนวณสามารถหาค่า v_o ได้จากสมการดังนี้

$$v_o = \frac{\sum_{i=1}^{N_q} v_i \mu_B(v_i)}{\sum_{i=1}^{N_q} \mu_B(v_i)} \qquad (2.101)$$

เมื่อ N_q คือ ระดับการควอนไตซ์ในที่นี้เป็นจำนวนของกฎอินเฟอร์เรนซ์

v_i คือ ค่าเอาท์พุตของแต่ละค่าในการควอนไตซ์ในที่นี้เป็นเอาท์พุตของส่วน Consequent

4. Fuzzy Mean Method (FM) เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี COG เพื่อลดเวลาในการคำนวณ โดยการลดระดับการควอนไตซ์ลงให้เท่ากับจำนวนของเทอมของตัวแปรเอาท์พุตในเอกภพสัมพัทธ์ V และใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละเทอมเป็นตัวแทนของค่าเอาท์พุตของแต่ละควอนไตซ์ สมการของการดีฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้วิธี FM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_o = \frac{\sum_{k=1}^{N_v} \gamma_k v_k}{\sum_{k=1}^{N_v} \gamma_k} \qquad (2.102)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N_v คือ จำนวนฟัซซีของตัวแปรเอาท์พุตในเอกภพสัมพัทธ์ V

γ_k คือ ค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเซตของตัวแปรเอาท์พุตแต่ละเทอมบนเอกภพสัมพัทธ์ V

k คือ ค่าระดับการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของตัวแปรเอาท์พุตแต่ละเทอมบนเอกภพสัมพัทธ์ V

5. Weighted Fuzzy Mean Method (WFM) เป็นวิธีที่ขยายมาจากวิธี FM โดยเพิ่มการคูณสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของตัวแปรเอาท์พุตในแต่ละเทอม สมการของการดีฟัซซิฟีเคชั่นโดยใช้วิธี WFM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_o = \frac{\sum_{k=1}^{N} \omega_k \gamma_k v_k}{\sum_{k=1}^{N} \omega_k \gamma_k} \qquad (2.103)$$

เมื่อ ω_k คือสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของแต่ละเทอมของตัวแปรเอาท์พุต ภายในเอกภพสัมพัทธ์ V

6. Indexed Defuzzification Method (IDFZ) เป็นวิธีที่ขยายมาจากการดีฟัซซิฟีเคชันแบบเดิมโดยตัดเอาท์พุตบางส่วนที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ (threshold) ที่กำหนด โดยจะคำนวณเฉพาะค่าเอาท์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากกว่าค่าเทรชโฮลด์ ดังสมการต่อไปนี้

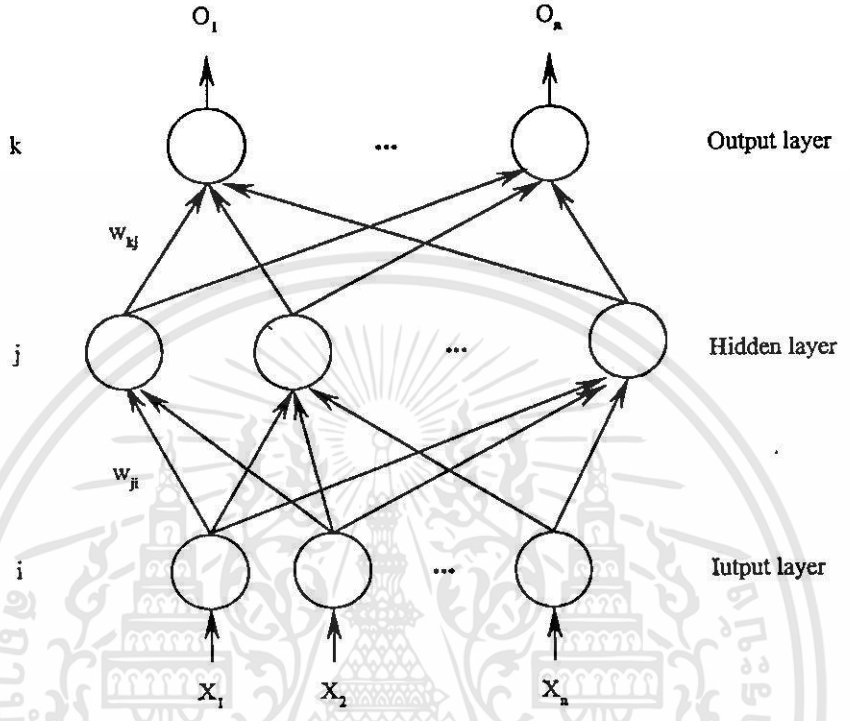
$$IDFZ(B,\alpha_i) = DFZ(\alpha - cut(B,\alpha_i)) \qquad (2.104)$$

2.12 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์

โครงสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ประกอบด้วยเลเยอร์ตั้งแต่ 2 เลเยอร์ขึ้นไปในลักษณะของเน็ตเวิร์คที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวมาก โดยอาจมองว่าเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์เกิดจากการรวมกันของเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวก็ได้เอาท์พุตแพทเทิร์นในเลเยอร์หนึ่งจะเป็นค่าอินพุตของเลเยอร์ถัดไป ซึ่งเลเยอร์ระหว่างอินพุตและเอาท์พุตถูกเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (hidden layer) หรือเลเยอร์ภายใน (internal layer) โดยเอาท์พุตในเลเยอร์สุดท้ายจะถูกเปรียบเทียบกับค่าเอาท์พุตที่ต้องการ (desired output) จากผู้สอน ผลลัพธ์ของค่าผิดพลาดในขณะฝึกสอนสามารถนำไปใช้ปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของเน็ตเวิร์คให้เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่จะใช้แยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มของแพทเทิร์นและโครงสร้างของเน็ตเวิร์คในลักษณะนี้ถูกเรียกว่า โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า (feedforward network) เนื่องจากสามารถสร้างเป็นเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ได้ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับโครงข่ายแบบป้อนกลับ (feedback network) [ ]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์

รูปที่ 2.13 แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบหลายเลเยอร์ มีเลเยอร์ภายในเพียงเลเยอร์เดียว วงกลมในรูปแสดงโหนดหรือนิวรอลและลูกศรจะแสดงทิศทางการเชื่อมต่อของการคลาดเคลื่อนที่ของสัญญาณระหว่างนิวรอลในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งจะถูกแทนด้วยค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างนิวรอลและโครงสร้างแบบหลายเลเยอร์นี้เอง จะถูกนำไปใช้กับอัลกอริทึมของแบ็คปร็อบปะเกชัน

2.13 แบ็คปร็อปปะเกชัน

หลักการแบ็คปรอปปะเกชัน ใช้สำหรับโครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ โดยอาศัยประสบการณ์ที่ได้จากความรู้ของการแปลงสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาท์พุตภายในเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ด้วยรูปแบบการเรียนรู้แบบมีครูสอน (Trained) ขั้นตอนการดำเนินการของแบ็คปรอปปะเก-ชันประกอบด้วยสองส่วนหลัก ในส่วนการป้อนไปข้างหน้าอินพุตแพทเทิร์นจะถูกคำนวณผ่านเน็ตเวิร์คและสร้างเอาท์พุตที่แน่นอน ในส่วนการป้อนกลับนั้นค่าความแตกต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเอาท์พุตจริงที่ต้องการ (d^p) กับค่าเอาท์พุตที่ได้จากการคำนวนในเลเยอร์สุดท้าย (o^p) จะสร้างค่าผิดพลาดสำหรับแพทเทิร์น (E^p) และจะถูกแพร่ขยาย (propagate) แบบย้อนกลับผ่านเน็ตเวิร์คเดิมเพื่อปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของระบบ การทำงานจะเริ่มทำซ้ำในลักษณะเดิมจนกระทั่ง ค่าผิดพลาดของระบบโดยรวม น้อยกว่าค่าผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ การเรียนรู้ของระบบจึงถือว่าสมบูรณ์

$$E^p = \frac{1}{2}(d^p - o^p)^2 \tag{2.105}$$

เพื่อให้ค่าผิดพลาดของระบบลดลงต่ำสุด จะต้องให้ผลต่างกำลังสองระหว่างค่าเอาท์พุตที่ได้จากการคำนวณ (o^p) และค่าเอาท์พุตจริงที่ต้องการมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่เนื่องจาก (d^p) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นต้องพยายามทำให้ค่า (o^p) มีค่าเข้าใกล้ (d^p) มากที่สุด โดยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของค่าผิดพลาดสำหรับแพทเทิร์นกับค่าตัวเลขน้ำหนักที่เปลี่ยนไปในลักษณะเชิงเส้น ส่วนของการคำนวณสูตรของการแพร่กระจายจะไม่กล่าวในบทนี้ โดยจะกล่าวในบทต่อไปซึ่งจะนำสมการของฟังชันซีเข้าไปอยู่ในแต่ละโหนดและแต่ละเลเยอร์

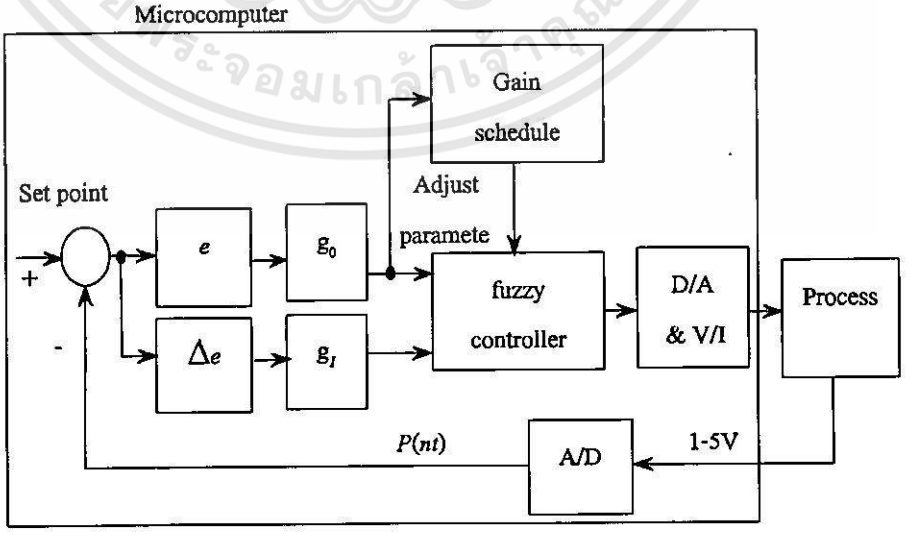
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี

3.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี แสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย ตัวควบคุมฟัซซี ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมรับสัญญาณป้อนกลับจากกระบวนการแล้วทำการคำนวณค่าสัญญาณควบคุมส่งไปควบคุมกระบวนการ Gain schedule เป็นส่วนที่ทำการตรวจสอบสัญญาณในส่วนของตัวแปรค่าผิดพลาด e ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สัญญาณเดียวเนื่องจากว่าระบบที่ทำการทดลองมีความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่รวดเร็วจึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณตัวแปรค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด Δe Scaling factor g_0 และ g_1 เป็นตัวคูณสัญญาณอินพุตก่อนเข้าตัวควบคุมฟัซซี เพื่อเป็นการลดหรือเพิ่มความไวของสัญญาณอินพุตทั้งสองซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ [7] วิทยานิพนธ์นี้ได้จากการลองผิดลองถูกจากการทดลอง ส่วนของวงจร A/D และ D/A เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี มีขั้นตอนในการออกแบบประกอบไปด้วยขั้นตอนการออกแบบดังนี้

3.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาท์พุตของตัวควบคุม ในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยตัวแปรอินพุตสองตัวและตัวแปรเอาท์พุตหนึ่งตัวที่ป้อนเข้าตัวควบคุมฟัซซี โดยตัวแปรอินพุตของตัวควบคุมคือ ตัวแปรค่าผิดพลาด e (error) ต่อไปจะเรียกว่าตัวแปรอินพุต e กับตัวแปรค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด Δe (change of error) ต่อไปจะเรียกว่าตัวแปรอินพุต Δe



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบควบคุม และตัวแปรเอาท์พุตของตัวควบคุมคือสัญญาณควบคุม u (control output) ดังรูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.1 สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดค่าเอาท์พุตของกระบวนการจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลท์ผ่านวงจรบัฟเฟอร์ (buffer) โดยวงจรนี้จะมีความต้านทานอินพุตสูง ส่วนทางด้านเอาท์พุตจะมีความต้านทานต่ำเพื่อไม่ให้มีการลดทอนของสัญญาณรวมทั้งเป็นตัวกั้นของสัญญาณกราวน์ จากการทดลองพบว่าวงจรนี้ช่วยในด้านลดทอนสัญญาณรบกวนอีกด้วย (วงจรแสดงในภาคผนวก ก.) แรงดันไฟฟ้าจะเข้าสู่วงจร A/D ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การ์ด PCL-818 ของบริษัท Advanech จำกัด ซึ่งทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง A/D และ D/A เนื่องจากการ์ดดังกล่าวมีโมดูลในส่วนของโปรแกรมสำหรับรับค่าจากการ์ดมาใส่ในตัวแปรเป็นแรงดันหรือค่าจากตัวแปรไปสู่การ์ดโดยไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับการแปลงค่าบิทดิจิตอลเป็นอนาลอกเพียงตั้งค่าตัวนับเวลาให้ส่งค่าและรับค่าไว้ที่ทุกๆ 1 วินาทีต่อครั้งซึ่งเพียงพอในการทดลอง การคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรอินพุต e หาได้จากผลต่างของสัญญาณอ้างอิงกับค่าสัญญาณป้อนกลับจากกระบวนการและค่าตัวแปรอินพุต Δe ได้จากผลต่างของค่าผิดพลาดปัจจุบันกับค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ดังสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2

$$e(nT) = SP - y(nT) \tag{3.1}$$

$$\Delta e(nT) = e(nT) - e(nT - T) \tag{3.2}$$

โดย SP คือ สัญญาณอ้างอิง หรือค่าที่ต้องการ (desire value) ช่วงระหว่าง 0-100 เปอร์เซ็นต์

$y(nT)$ คือ สัญญาณป้อนกลับที่ได้จากการตรวจสอบสถานะของกระบวนการที่เวลา nT

$e(nT)$ คือ ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nT

$e(nT-T)$ คือ ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา $nT-T$

$\Delta e(nT)$ คือ ค่าเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nT

ค่าสัญญาณอ้างอิง SP มีช่วงอยู่ระหว่าง 0-100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการคำนวณที่ง่ายดังนั้น ค่าตัวแปรอินพุต e และตัวแปรอินพุต Δe จะอยู่ในช่วง ± 100 หรือกล่าวได้ว่ามีเอกภพสัมพัทธ์อยู่ในช่วง ± 100 โดยการนอมอลไลซ์ตัวแปรอินพุตให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ y = [-100,100] ดังสมการที่ (3.3)

$$y(nT)_{norm} = \frac{y(nT) - 1V}{5V - 1V} * 100 \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การเลือกฟัซซิฟิเคชัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณอินพุตของตัวควบคุมในที่นี้สัญญาณป้อนกลับจากกระบวนการได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ มีระดับของสัญญาณรบกวนไม่สูงนัก เนื่องจากมีวงจรบัฟเฟอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว รวมทั้งในการออกแบบต้องการ การเขียนโปรแกรมที่ง่ายและให้ผลที่ดีจึงเลือกวิธีการฟัซซีแบบซิงเกิลตัน [1] แสดงดังสมการที่ 3.4 ซึ่งกล่าวมาแล้วในบทที่ 2

$$\mu_A(u)=\begin{cases}1 & ; \quad u=u_0\\ 0 & ; \quad u\neq u_0\end{cases} \tag{3.4}$$

โดยที่ฟัซซีเซต A เป็นฟัซซีซิงเกิลตัน และ Support$(A)=\{u_0\}$

3.1.3 การกำหนดจำนวณฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต เป็นการกำหนดความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาท์พุต โดยจำนวณฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุตแต่ละตัว จะมีผลต่อขนาดของกฎการควบคุม (fuzzy rule base) ดังสมการต่อไปนี้

$$M=N_e\times N_{\Delta e} \tag{3.5}$$

โดยที่ M คือ ขนาดกฎการควบคุม

N_e คือ จำนวนเซตของตัวแปรอินพุต e

$N_{\Delta e}$ คือ จำนวนเซตของตัวแปรอินพุต Δe

ในการกำหนดจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปร จะกำหนดให้เป็นจำนวนคี่ เพื่อให้มีฟัซซีเซตหนึ่งเซตที่อยู่ตรงกลางของเอกภพสัมพัทธ์ โดยปกติใช้ 5 หรือ 7 เซต ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ออกแบบตัวควบคุมให้มีจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e และ Δe เท่ากับ 7 เซต [1] ดังนั้นจำนวนของกฎการควบคุม ทั้งหมดเท่ากับ $M=7\times 7=49$ เซต

3.1.4 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ในการแมปปิ้งค่าอินพุตในเอกภพสัมพัทธ์กับฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต ถ้าต้องการให้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ควรจะกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเชิงเส้น เช่น รูปสามเหลี่ยมหรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ถ้าต้องการให้ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น ควรกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่น รูประฆังคว่ำหรือเก๊าส์เซียน

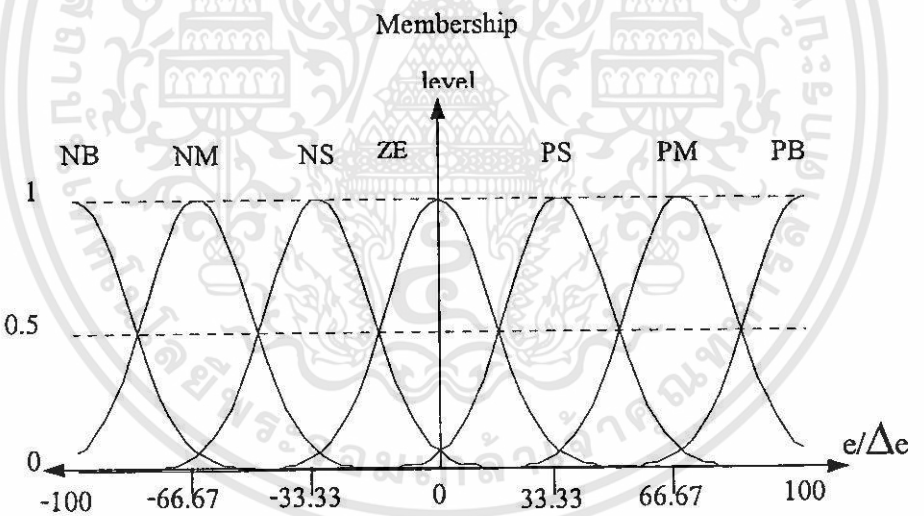
การกำหนดการกระจายของฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ สามารถกำหนดได้ทั้งแบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ โดยบริเวณที่มีความหนาแน่นของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูง จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาท์พุตที่มีความซับซ้อนมากกว่าบริเวณที่มีความหนาแน่นของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทับซ้อนกัน (Overlap) ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของตัวควบคุมฟัซซี เนื่องจากในการอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซีต้องการให้เกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุมมากกว่า 1 กฎ การกำหนดเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันขึ้นอยู่กับความคลุมเครือหรือความซับซ้อนของระบบ และการออกแบบใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตมีการซ้อนทับกันมากกว่า 2 เซต จะทำให้ Control hypersurface มีความเรียบมากขึ้น แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของกฎการควบคุมใดๆ จะมีผลกระทบต่อการควบคุมของกฎที่อยู่ติดกันมากทำให้เกิดการรบกวนกันของกฎการควบคุม ดังนั้นในการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต จึงไม่ควรให้มีการซ้อนทับกันของฟัซซีเซตมากกว่า 2 เซต [1]

การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต มีแนวทางที่สามารถสรุปได้ดังนี้ [1]

- กรณีต้องการใช้เวลาในการคำนวณน้อย ควรกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคางหมู
- การกำหนดการกระจายของฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ควรกำหนดให้สมมาตรกันของรูปร่าง



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e และ Δe

- การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต ควรกำหนดให้มีการทับซ้อนกันของฟัซซีเซตที่อยู่ติดกัน เพื่อให้มีการเกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุมและเพื่อให้มีกฎการควบคุมอย่างน้อยหนึ่งกฎ รองรับสำหรับใช้สร้างสัญญาณควบคุมในทุกสถานะของสัญญาณอินพุต ซึ่งจะแสดงถึงความสมบูรณ์ของกฎการควบคุมโดยปกติจะออกแบบให้มีเปอร์เซ็นต์การทับซ้อนกันของฟัซซีเซต ประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ออกแบบตัวควบคุมโดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e และตัวแปรอินพุต Δe เป็นรูปเก๊าส์เซียนเนื่องจากมีความต่อเนื่องของรูปทรงและเหมาะสมกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากการทดลองใช้ตัวควบคุมไปควบคุมวาล์วซึ่งมีความไม่เป็นเชิงเส้นในตัวอยู่ ในรูปที่ 3.2 แสดงรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกกับค่ากลาง และตัวแปรลิงกวิสติกแต่ละตัว สมการ 3.6 เป็นสมการของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ใช้ [1]

$$\mu_{F_i^l}(x_i) = \exp(-(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l})^2) \qquad (3.6)$$

โดยที่ $\bar{x}_i^l$ เป็นค่ากลาง (mean) และ σ_i^l เป็นความกว้าง (width) ของรูปทรงเก๊าส์เซียน $\mu_{F_i^l}(x_i)$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตโดยมีอินพุตเป็น x_i F_i^l เป็นฟัซซีเซตในส่วน antecedent i เป็นจำนวนตัวแปรอินพุต l เป็นจำนวนกฎการควบคุม ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.2 จะกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกไว้ในลักษณะที่สามารถควบคุมระบบได้ทุกระบบแต่จะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบในแต่ละระบบซึ่งจะใช้ส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์ฟัซซีทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่สัญญาณอ้างอิง

3.1.5 การกำหนดตัวแปรลิงกวิสติก จากการกำหนดจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุตดังได้กล่าวมาแล้ว ใช้จำนวนฟัซซีเซตทางอินพุตแต่ละตัวเป็น 7 เซต ตัวแปรลิงกวิสติกได้กำหนดเป็นชื่อ และค่ากลาง (mean) หรือ $\bar{x}_i^l$ ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ดังนี้

โดยที่	NB	=	Negative Big	=-100
	NM	=	Negative Medium	=-66.67
	NS	=	Negative Small	=-33.33
	ZE	=	Zero Equal	= 0
	PS	=	Positive Small	= 33.33
	PM	=	Positive Medium	= 66.67
	PB	=	Positive Big	= 100

และความกว้าง (width) หรือ σ_i^l มีค่าเริ่มต้นเท่ากันคือ 30 ในการปรับค่าความกว้างนี้มีเงื่อนไขว่าถ้าน้อยกว่าศูนย์ให้เริ่มต้นใหม่ที่ค่า 30

3.1.6 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาท์พุต จะมีแนวทางคล้ายกับการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต โดยกำหนดให้ฟัซซีเซตของตัวแปรเอาท์พุตเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟัซซีซิงเกิลตัน เพื่อความสะดวกในการคำนวณ การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกทางเอาท์พุตมีความสัมพันธ์ กับกฎการควบคุมดังอธิบายต่อไป

3.1.7 การกำหนดรูปแบบของกฎการควบคุม รูปแบบของกฎการควบคุมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้อยู่ในรูปเงื่อนไข If-Then โดยในส่วน antecedent หรือส่วนของ If เป็นการกำหนดเงื่อนไขของค่าตัวแปรอินพุตในรูปฟัซซีเซต และส่วน consequent หรือส่วนของ Then แสดงถึงผลลัพธ์ของตัวแปรเอาท์พุตในรูปฟัซซีเซต เมื่อตัวแปรอินพุตเป็นไปตามเงื่อนไขส่วน antecedent กฎการควบคุมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ Multi Input Single Output (MISO) [3,5,6] มีรูปแบบดังนี้

$$R^l: \quad \text{If } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ AND ... AND } x_n \text{ is } F_n^l \text{ Then } y \text{ is } G^l \tag{3.7}$$

โดยที่ l เป็นจำนวนของกฎการควบคุมเท่ากับ 1 ถึง 49 กฎดังได้กล่าวมาแล้ว n เป็นจำนวนอินพุต ในที่นี้เท่ากับ 2 R^l เป็นกฎการควบคุมลำดับที่ l

$F_1^l,...,F_n^l$ เป็นฟัซซีเซตของส่วน antecedent ในเอกภพสัมพัทธ์ U_i ซึ่งเป็นสับเซตของจำนวนจริงเขียนแทนด้วย $U_i \subset R$ จากที่กล่าวมาในหัวข้อตัวแปรอินพุตเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุตจะเป็น $U_i = [-100,100]$ G^l เป็นฟัซซีเซตของของส่วน consequent ในเอกภพสัมพัทธ์ V ซึ่งเป็นสับเซตของจำนวนจริงเขียนแทนด้วย $V \subset R$ ในทำนองเดียวกันเอกภพสัมพัทธ์ตัวแปรเอาท์พุตจะเป็น $V = [-100,100]$ สามารถแทนด้วยตัวแปรอินพุตเอาท์พุตที่กำหนดในวิทยานิพนธ์ ดังสมการที่ 3.8

$$R^l: \quad \text{If } e \text{ is } F_1^l \text{ AND } \Delta e \text{ is } F_2^L \text{ Then } y \text{ is } G^l \tag{3.8}$$

โดยที่ F_1^l, F_2^l ตัวแปรลิงกวิสติกดังได้กล่าวมาแล้ว โดยที่จะเป็นได้ คือ NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB ขึ้นอยู่ค่าของอินพุตอยู่ในฟังก์ชันการเป็นสมาชิกใดหรือฟัซซีเซตใด

3.1.8 การอินเฟอเรนซ์ของฟัซซี (fuzzy inference) เป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูลอินพุตที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซี โดยใช้กฎการควบคุม If-Then ในการหาค่าเอาท์พุตในรูปตัวแปรฟัซซีจากสมการที่ 3.7 เพื่อความสะดวกในการคำนวณสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ ดังนี้ [5,6]

$$R^l: \quad F_1^l \times \cdots \times F_n^l \longrightarrow G^l \tag{3.9}$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อแทนตัวแปรอินพุตจะได้สมการ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R^l: \quad F_1^l \times F_2^l \longrightarrow G^l \tag{3.10}$$

ซึ่งอยู่ในระนาบ $U \times V$ อินพุตเวกเตอร์ $\underline{x}=(x_1,...,x_n)^T$ เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ อยู่ในรูปผลคูณคาร์ทีเซียน $U_1 \times ... \times U_n$ แทนด้วย $\underline{x}=(x_1,..,x_n)^T \in U_1 \times ... \times U_n$ และ เอาท์พุต y เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ V แทนด้วย $y \in V$ ต่อไปจะแทนด้วยตัวแปรลิงกวิสติก [5,6] กำหนดให้ A' อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U เป็นอินพุตอินเฟอเรนซ์ของฟัซซี ในการหาประมวลผลฟัซซีเซต B^l ในเอกภพสัมพัทธ์ V ซึ่งเป็นเอาท์พุตของฟัซซี ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ Sup-star composition ดังสมการ 3.10

$$\mu_{B^l}(\bar{y}^l)=\sup_{\underline{x}\in U}[\mu_{F_1^l \times \cdots \times F_1^l \longrightarrow G^l}(\underline{x},\bar{y}^l) * \mu_{A'}(\underline{x})] \tag{3.11}$$

* แทนตัวกระทำที่ใช้ในการอินเฟอเรนซ์ ซึ่งใช้การอินเฟอเรนซ์แบบ Product inference ดังสมการที่ 3.11 [5,6]

$$\mu_{F_1^l \times ... \times F_n^l \longrightarrow G^l}(\underline{x}) = \mu_{F_1^l}(x_1) \cdots \mu_{F_n^l}(x_n) \cdot \mu_{G^l}(\bar{y}^l) \tag{3.12}$$

แทนสมการ 3.11 ในสมการที่ 3.10 จะได้ [5,6]

$$\mu_{B^l}(\bar{y}^l)=\sup_{\underline{x}\in U}[\mu_{F_1^l}(x_1) \cdots \mu_{F_n^l}(x_n) \cdot \mu_{G^l}(\bar{y}^l) \cdot \mu_{A'}(\underline{x})] \tag{3.13}$$

โดยที่ $\mu_{A'}(\underline{x})$ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ได้จากเอาท์พุตของฟัซซิฟิเคชันจากที่วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีการฟัซซีซิงเกิลตันตามเงื่อนไขที่กล่าวไว้ในตอนต้นสามารถแทนด้วย 1 ในทำนองเดียวกัน $\mu_{G^l}(\bar{y}^l)$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาท์พุตเลือกใช้วิธีการฟัซซีซิงเกิลตันเหมือนกัน และเป็นจุดที่ทำให้ค่า $\bar{y}^l$ มีค่าสูงสุดซึ่งสามารถแทน $\mu_{G^l}(\bar{y}^l)$ ด้วย 1 ฉะนั้นสามารถเขียนสมการที่ 3.12 ใหม่ได้ดังนี้ [5,6]

$$\mu_{B^l}(\bar{y}^l)=\sup_{\underline{x}\in U}[\mu_{F_1^l}(x_1) \cdots \mu_{F_n^l}(x_n)] \tag{3.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการที่ 3.15 [5,6]

$$\mu_{B^l}(\bar{y}^l) = \prod_{i=1}^{n} \mu_{F_i^l}(x_i) \tag{3.15}$$

เมื่อแทนตัวแปรอินพุตจะได้สมการ [5,6]

$$\mu_{B^l}(\bar{y}^l) = \prod_{i=1}^{2} \mu_{F_i^l}(x_i) \tag{3.16}$$

3.1.9 ดีฟัซซิฟิเคชัน (defuzzification) เป็นกระบวนการหาค่าเอาท์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาท์พุตที่มีความเป็นไปได้กระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาท์พุต ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธี COG ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นการหาจุดศูนย์กลางสำหรับแป็นตัวแทนของเอาท์พุตที่แท้จริง โดยพิจารณาผลจากอินพุตทุกตัว ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องกว่าวิธีอื่น ดังสมการที่ 3.17 [5,6]

$$f(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^{M} \bar{y}^l (\mu_{B^l}(\bar{y}^l))}{\sum_{l=1}^{M} (\mu_{B^l}(\bar{y}^l))} \tag{3.17}$$

โดยที่ $\bar{y}^l$ เป็นศูนย์กลางของฟัซซีเซตของ G^l ซึ่งเป็นจุดที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{G^l}(y)$ มีค่าสูงสุด

จากสมการที่ 3.6 สมการที่ 3.16 แทนในสมการที่ 3.17 จะแทนระบบฟัซซีให้อยู่ในรูปสมการที่ 3.18

$$f(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^{49} \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^{2} \exp\left(-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right)\right)}{\sum_{l=1}^{49} \left(\prod_{i=1}^{2} \exp\left(-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right)\right)} \tag{3.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

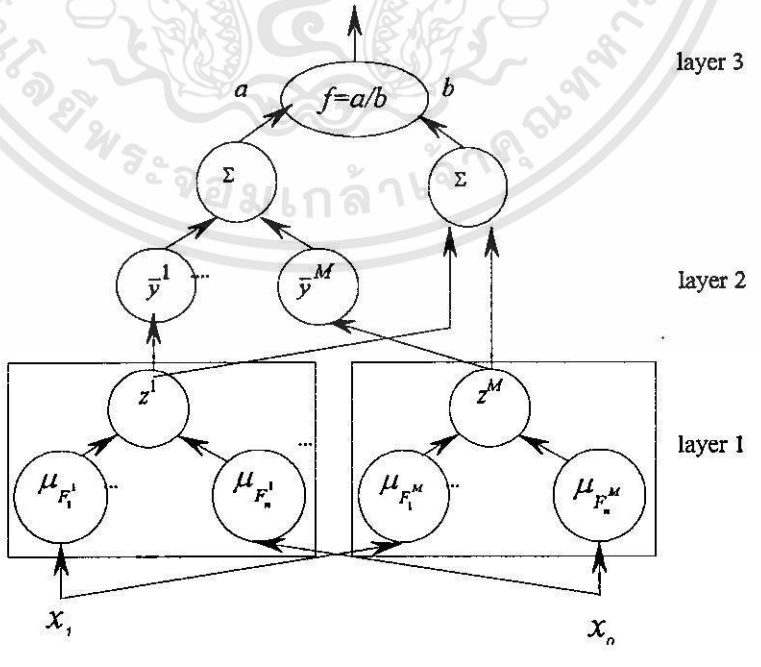
ในวิทยานิพนธ์ได้กำหนดศูนย์กลางของฟัซซีเซต $\bar{y}^l$ เป็นตารางตามตัวแปรอินพุตที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งเป็นตารางของกฎการควบคุม ดังแสดงในตารางของกฎการควบคุมที่ 3.1 [7]

ตารางที่ 3.1 กฎการควบคุม

$e / \Delta e$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	-100	-100	-100	-100	-66.67	-33.33	0
NM	-100	-100	-100	-66.67	-33.33	0	33.33
NS	-100	-100	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67
ZE	-100	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67	100
PS	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67	100	100
PM	-33.33	0	33.33	66.67	100	100	100
PB	0	33.33	66.67	100	100	100	100

3.2 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี

จากสมการที่ 3.18 สามารถแทนด้วยโครงข่ายแบบป้อนไปด้านหน้า (Feedforward network) 3 เลเยอร์ [5,6] ดังรูปที่ 3.3 โดยการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนป้อนไปด้านหน้า (feedforward) และส่วนป้อนกลับจากด้านหลัง (backward) ในส่วนป้อนไปด้านหน้า มีการทำงานในแต่ละเลเยอร์ดังนี้



รูปที่ 3.3 โครงข่ายป้อนไปด้านหน้าของตัวควบคุมฟัซซี [3,4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเยอร์ที่ 1 เป็นการรวมฟัซซิฟิเคชันและอินเฟอเรนซ์ไว้ในเลเยอร์นี้มีการทำงานคือการเปลี่ยนค่าอินพุตของตัวควบคุมให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรฟัซซีด้วยสมการที่ 3.6 ผลที่ได้เป็นระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรลิงกวิสติกและอินเฟอเรนซ์ด้วยสมการที่ 3.18 เป็นการนำค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลิงกวิสติกแต่ละตัวมาคูณกันผลที่ได้แทนด้วยตัวแปร z^l รวมสมการ 3.15 และ 3.6 เข้าด้วยกันจะได้ดังสมการที่ 3.19 [3,4]

$$z^l = \prod_{i=1}^{n} \exp(-(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l})^2) \tag{3.19}$$

เลเยอร์ที่ 2 ผลที่ได้จากเลเยอร์ที่ 1 แบ่งเป็น 2 ทางคือทางด้านตัวแปร a นำผลการอินเฟอเรนซ์ค่า z^l คูณกับค่า $\bar{y}^l$ ซึ่งเป็นจำนวนจริงของส่วน consequent แล้วมารวมกันแทนด้วยสมการที่ 3.20 [5,6]

$$a = \sum_{l=1}^{M} (\bar{y}^l z^l) \tag{3.20}$$

และทางด้านตัวแปร b เกิดจากการรวมกันของค่า z^l แทนด้วยสมการที่ 3.21 [5,6]

$$b = \sum_{l=1}^{M} z^l \tag{3.21}$$

เลเยอร์ที่ 3 เป็นเอาท์พุตของระบบคือการนำค่า a หารด้วย b จะได้ $f = a/b$, ซึ่งเมื่อแทนค่าสมการทั้งหมดจะได้เอาท์พุตของระบบดังสมการที่ 3.18

ส่วนป้อนกลับจากด้านหลังเป็นการปรับแต่งค่าพารา-มิเตอร์ของฟัซซีโดยใช้วิธีการ gradient descent [6] จาก สมการที่ 3.18 มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับแต่งได้คือ $\bar{y}^l$ $\bar{x}_i^l$ และ σ_i^l ระบบการปรับแต่งพารามิเตอร์จะปรับแต่งในเลเยอร์ที่ 1 และ 2 นำคู่ของอินพุต-เอาท์พุตในสภาวะปัจจุบันป้อนให้กับโครงข่ายโดยมีค่าอินพุต-เอาท์พุตที่ต้องการแทนด้วย (x^p, d^p) โดยทำการหาผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean square error) สมการที่ 3.22 [5,6] ของระบบฟัซซีลอจิคในสมการ 3.18 กับค่าเอาท์พุตต้องการ d^p

$$e^p = 1/2[f(x^p) - d^p]^2 \tag{3.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสะดวกในการคำนวณแทน e^p $f(x^p)$ และ d^p ด้วย e f และ d ตามลำดับอัลกอริทึมทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ $\bar{y}^l$ $\bar{x}_i^l$ และ σ_i^l มีการทำงานดังนี้ในการปรับแต่งค่าของ $\bar{y}^l$ [5,6] ใช้

$$\bar{y}^l(k+1)=\bar{y}^l(k)-\alpha_1\frac{\partial e}{\partial \bar{y}^l}|k \tag{3.23}$$

โดยที่ $l=1,2,...,M, k=0,1,2,...$ และ α เป็นค่า Learning rate [5,6] จากรูป 1 จะเห็นว่า f ขึ้นกับ $\bar{y}^l$ อย่างเดียว ใช้กฎลูกโซ่จะได้ [5,6]

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{y}^l}=(f-d)\frac{\partial f}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial \bar{y}^l}=(f-d)\frac{1}{b}z^l \tag{3.24}$$

แทนค่าสมการ 3.24 ในสมการ 3.23 จะได้อัลกอริทึมในการปรับแต่งค่า $\bar{y}^l$ เป็นค่าที่อยู่เลเยอร์ที่ 2 จากรูปที่ 1 แสดงดังสมการที่ 3.25 [5,6] ดังนี้

$$\bar{y}^l(k+1)=\bar{y}^l(k)-\alpha_1\frac{f-d}{b}z^l \tag{3.25}$$

ในการปรับแต่งค่าในเลเยอร์ที่ 1 มีสองตัวแปรคือ $\bar{x}^l$ และ σ_i^l [5,6] โดย

$$\bar{x}_i^l(k+1)=\bar{x}_i^l(k)-\alpha_2\frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l}|k \tag{3.26}$$

โดยที่ $i=1,2,....,n$, จากรูปที่ 1 ค่า f ขึ้นอยู่กับ $\bar{x}^l$ ใช้กฎลูกโซ่จะได้ดังสมการที่ 3.28 [5,6]

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l}=(f-d)\frac{\partial f}{\partial z^l}\frac{\partial z^l}{\partial \bar{x}_i^l} \tag{3.27}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l}=(f-d)\frac{\bar{y}^l-f}{b}z^l\frac{2(x_i^p-\bar{x}_i^l)}{\sigma_i^{l2}} \tag{3.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ 3.28 ในสมการที่ 3.26 จะได้อัลกอริทึมในการปรับแต่งค่า $\bar{x}^l$ [5,6] ดังนี้

$$\bar{x}^l(k+1)=\bar{x}^l(k)-\alpha_2\frac{f-d}{b}(\bar{y}^l-f)z^l\frac{2(x_i^p-\bar{x}_i^l(k))}{\sigma_i^{l2}(k)} \tag{3.29}$$

ใช้วิธีการเดียวกันในการปรับแต่งค่าของ σ_i^l ดังสมการที่ 3.31 [5,6]

$$\sigma_i^l(k+1)=\sigma_i^l(k)-\alpha_3\frac{\partial e}{\partial\sigma_i^l}|k \tag{3.30}$$

$$\sigma_i^l(k+1)=\sigma_i^l(k)-\alpha_3\frac{f-d}{b}(\bar{y}^l-f)z^l\frac{2(x_i^p-\bar{x}_i^l(k))^2}{\sigma_i^{l3}(k)} \tag{3.31}$$

ในวิทยานิพนธ์ กำหนด ค่า Learning rate เป็นค่าคงที่โดย α_1 เท่ากับ 0.6 α_2 เท่ากับ 0.01 α_3 เท่ากับ 0.001 ตามลำดับ ซึ่งได้จากการลองผิดลองถูกซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้ค่าที่เหมาะสม ส่วนของจำนวนครั้งในการปรับค่านั้นขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าเอาท์พุตกับค่าอ้างอิงถ้ายังมากกว่า 0.25 ก็ให้ทำการคำนวณต่อไปเรื่อยๆ ส่วนผลจากการปรับแต่งพารามิเตอร์แล้วจะไม่นำมาใช้อีกในการเปลี่ยนค่าอ้างอิงในครั้งต่อไปเนื่องจากระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เก่ามาคำนวณได้

3.3 การดีมอลไลซ์ตัวแปรเอาท์พุตให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนด

เอาท์พุตของตัวควบคุมฟัซซีมีค่าระหว่าง u=[–100,100] แต่จากโปรแกรมจะส่งค่าให้ระหว่าง u=[0,100] การดีมอลไลซ์ค่าเอาท์พุตให้อยู่ในช่วงสัญญาณควบคุมในวิทยานิพนธ์นี้ คือค่าสัญญาณ mv (manipulate value) ดังสมการที่ 3.32

$$mv=((\text{Neuro fuzzy output}*4\text{V})/100)+1\text{V} \tag{3.32}$$

สัญญาณ mv ที่ได้มีแรงดันระหว่าง 1-5 โวลท์ส่งให้วงจร D/A โดยการ์ด PCL-818 ถูกแปลงเป็นกระแส 4-20 mA ด้วยวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (V/I converter) ควบคุมการเปิดปิดของวาล์วควบคุม ดังอธิบายในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ค่าเกนของตัวแปรอินพุต (scaling factor)

สัญญาณ e และ Δe จากรูปที่ 3.1 สัญญาณทั้งสองจะคูณด้วย Scaling factor g_0 และ g_1 ตามลำดับเป็นการนอมอลไลซ์ค่า e และ Δe ในการลดหรือเพิ่มความไวต่อสัญญาณอินพุตทั้งสอง ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ การเพิ่ม g_0 จะช่วยผลตอบสนองต่อค่าอ้างอิงเร็วขึ้น แต่อาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูทสูงและออสซิลเลทที่สภาวะคงตัวมาก การเพิ่มค่า g_1 จะช่วยให้ลดโอเวอร์ชูทและและออสซิลเลทที่สภาวะคงตัวดังนั้นการใช้งาน g_0 และ g_1 จะต้องสัมพันธ์กันซึ่งจะทำให้ระบบทำงานมีประสิทธิภาพ [7,8] สัญญาณทั้งสองเป็นอินพุตของฟัซซี ดังรูปที่ 3.3 โดย $x=[x_1,x_2]=[e,\Delta e]$ ตามลำดับส่วนของ Gain schedule เป็นตัววัดค่าสภาวะปัจจุบันของระบบประกอบด้วยการหาค่า โอเวอร์ชูท ไรส์ไทม์ เซตติ้งไทม์ ความถี่ของการออสซิลเลท ของทรานเชี้ยน [7,8] การเกิดค่าดังกล่าวเป็นผลมาจากการกำหนดค่า g_0 g_1 α_1 α_2 และ α_3 ไม่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามีตัวแปรในระบบหลายตัวจากการทดลองให้ค่า α_1 α_2 และ α_3 เป็นค่าคงที่ดังที่กำหนดแล้ว ใช้ Gain schedule เป็นตัววัดค่า e อย่างเดียวและทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ตามสมการ 3.25, 3.29 และ 3.31 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิง เลือกค่า Scaling factor ที่เหมาะสมได้จากการลองผิดลองถูกหลายๆครั้ง และมีเงื่อนไขของค่า Scaling factor ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.4.1 ช่วงของสัญญาณป้อนกลับระหว่าง 0-75% ของสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ g_0 = 2 และ g_1 =1 การกำหนดดังกล่าวจะทำให้ค่าไรซ์ไทม์ต่ำผลตอบสนองเร็วต่อสัญญาณอ้างอิง

3.4.2 ช่วงของสัญญาณป้อนกลับมากกว่า 75% ขึ้นไปของสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ g_0 = 2 และ g_1 =18 การกำหนดดังกล่าวเป็นการลดโอเวอร์ชูทและการเข้าหาสัญญาณอ้างอิงที่สภาวะคงตัวไม่ให้เกิดการออสซิลเลท

3.4.3 หลังจากสัญญาณป้อนกลับเข้าสู่ช่วงระหว่าง +/-1% จากสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ g_0 = 1 และ g_1 =1 ถ้าเกินกว่า +/-1% จะกำหนดให้ g_0 = 2 และ g_1 =18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

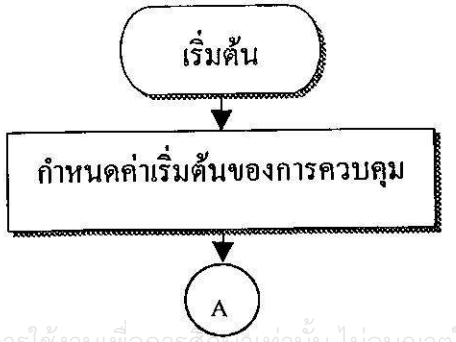
บทที่ 4
แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ถูกพัฒนาโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเวอร์ชัน 5.0 ซึ่งมีข้อดีในการทำงานแบบมัลติทาสกิ้ง คือการทำงานแต่ละโมดูลทำงานแยกกันอย่างอิสระ โดยไม่ต้องรอการทำงานของโมดูลอื่น ซึ่งง่ายในการพัฒนาโปรแกรมในปัจจุบัน อีกทั้งมีโปรแกรมรองรับของหลายบริษัทในด้านการ์ดเชื่อมต่อ เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การ์ดเชื่อมต่อที่มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกของบริษัท แอ็ดวานซ์เทค (Advantech) จำกัด รุ่น PCL-818 เพราะจะช่วยแบ่งเบางานในด้านวงจรเชื่อมต่อ อีกทั้งวงจรดังกล่าวมีความสามารถคือ เป็นทั้งวงจรอินพุตแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 8 ช่อง(แบบ differential) สัญญาณขนาด 12 บิท การแปลงสัญญาณแบบ successive approximation โดยอัตราแซมปิ้ง (sampling rate) สามารถกำหนดได้ด้วยโปรแกรมมีค่าสูงสุดที่ 100 กิโลเฮิร์ท และวงจรเอาท์พุตแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก 2 ช่องสัญญาณขนาด 12 บิท แบบ monolithic multiplying วงจรดังกล่าวสามารถกำหนดย่านของสัญญาณอินพุตได้โดยแบ่งเป็นยูนิโพลร์ (unipolar) มีย่าน 0-10V,0-5V,0-2V,0-1V และไบโพลาร์ (bipolar) มีย่าน +/-10V,+/-5V,+/-2.5V,+/-1V และ +/-0.5V ตามลำดับ ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ย่าน 0-10V และเอาท์พุตจะกำหนดอยู่ในย่าน 0-5V กระแสสูงสุด +/- 5 mA ความเป็นเชิงเส้น +/-5 บิท ส่วนการกำหนดค่าเริ่มต้นของการ์ดจะกล่าวในภายหลัง

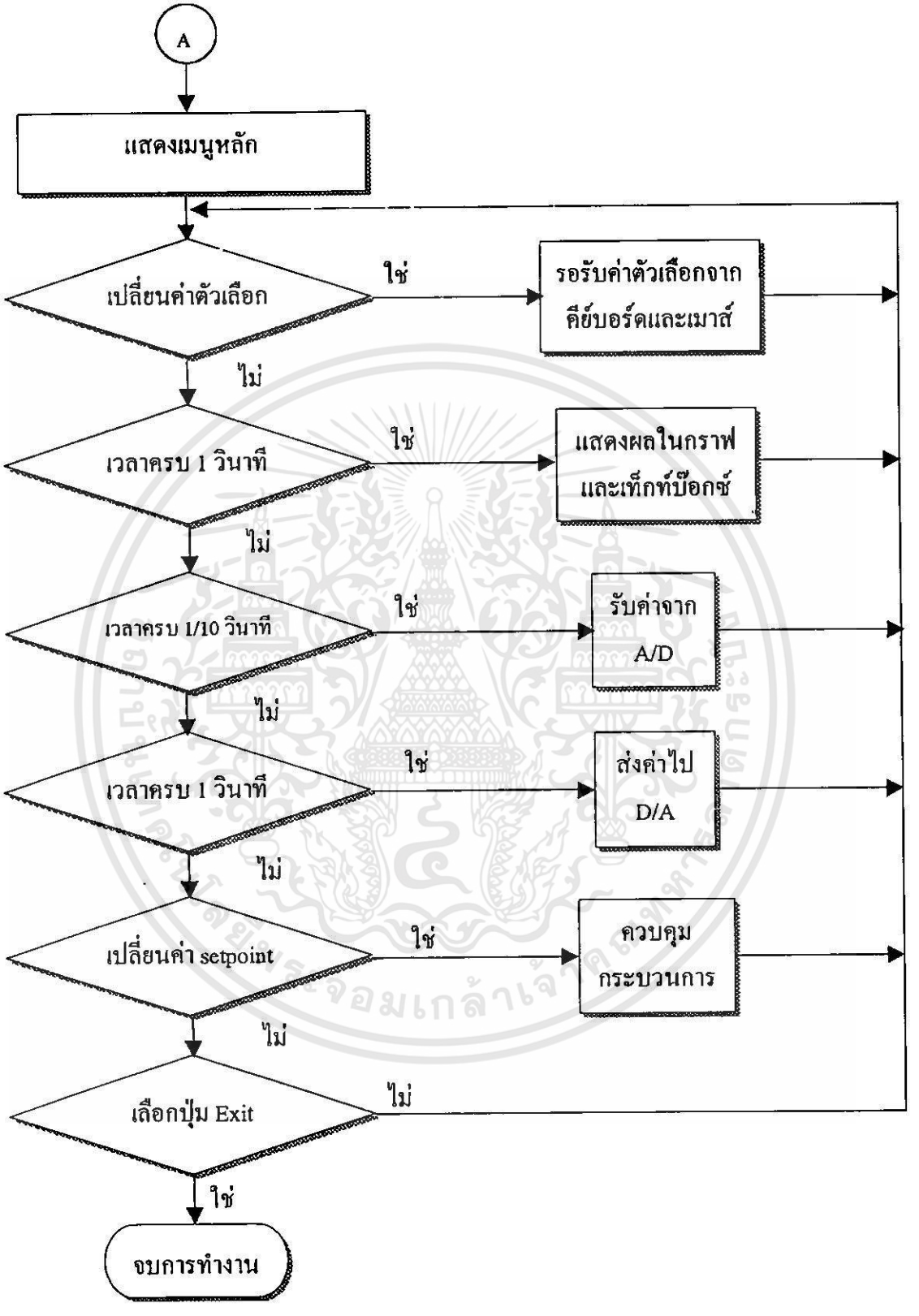
ในการออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมนี้ จะใช้หลักการโปรแกรมแบบโมดูลโดยแบ่งโปรแกรมเป็นฟังก์ชันย่อยสำหรับการทำงานในแต่ละหน้าที่ดังต่อไปนี้

4.1 โปรแกรมหลัก

โปรแกรมหลัก เป็นส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้น,การแสดงเมนูหลักและรอรับค่าการเลือกเมนู และเรียกใช้โปรแกรมย่อยอื่นๆ เพื่อทำงานตามการเลือกคำสั่งของผู้ใช้ดังรูปที่ 4.1 ส่วนการทำงานของโปรแกรมหลักสามารถดังแผนภาพที่ 4.1 ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

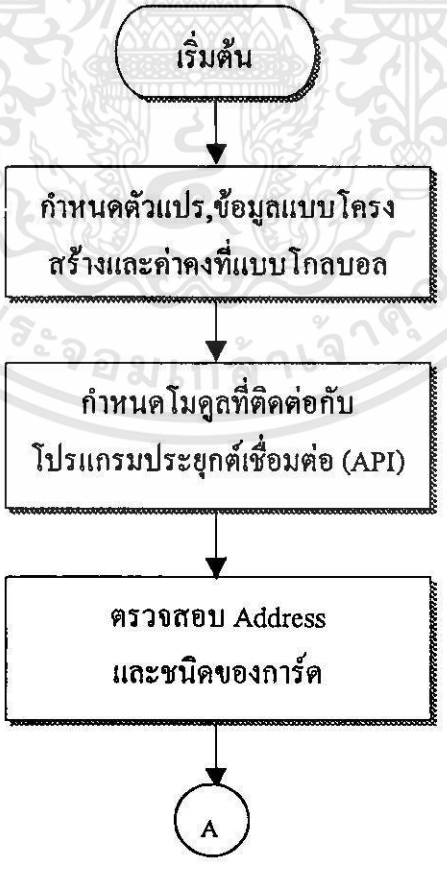
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นของการควบคุม

การกำหนดค่าเริ่มต้นของการควบคุมแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ดและการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งอธิบายดังต่อไปนี้

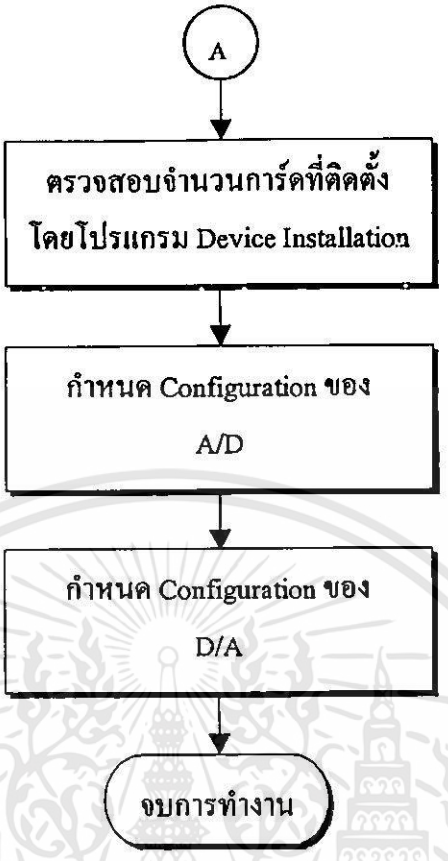
4.2.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ด A/D และ D/A

การกำหนดค่าเริ่มต้นตอของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ด ภาคผนวก ข. จะกล่าวถึงการปรับแต่งการ์ดและติดตั้งโปรแกรมเชื่อมต่อประยุกต์ (API) ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการกำหนดค่าเริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับโปรแกรมเชื่อมต่อประยุกต์และการ์ด ประกอบด้วยการกำหนดค่าคงที่,รหัสต่าง ๆ, ข้อมูลโครงสร้าง และการกำหนดโมดูลฟังก์ชันที่เป็นโกลบอล (global) ในส่วนนี้เป็นไฟล์ซอฟแวร์ที่ติดมากับการ์ดเมื่อใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกจำเป็นต้องรวมไว้ในส่วนโมดูล (modules) ด้วย และส่วนตัวแปรโกลบอลเป็นตัวแปรที่เป็นตัวกลางระหว่างโปรแกรมที่เขียนขึ้นกับโปรแกรมเชื่อมต่อประยุกต์โดยจะมีส่วนที่เป็นตัวแปรอินพุทช่องสัญญาณเริ่มต้น,ช่องสัญญาณสุดท้าย,ตัวแปรในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการ์ดส่วนอินพุต,ตัวแปรในการรับค่าไปสู่การ์ดและส่วนที่เป็นเอาท์พุตจะมีตัวแปรในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการ์ดส่วนเอาท์พุต,ตัวแปรในการรับค่าจากการ์ดมาสู่โปรแกรม ซึ่งแสดงดังแผนภาพที่ 4.2



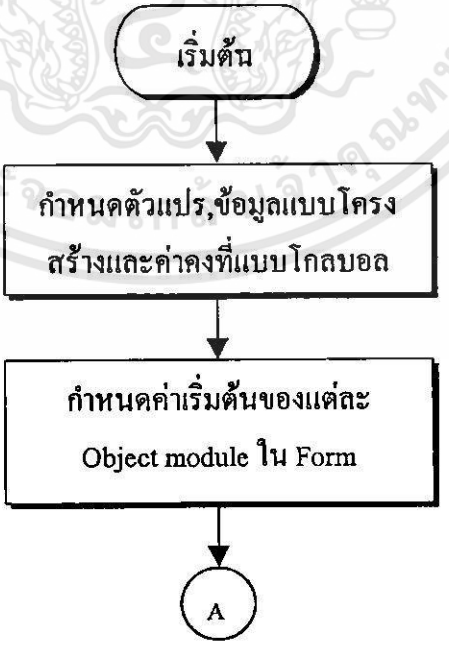
รูปที่ 4.2 ผังการทำงานการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในการติดต่อกับการ์ด A/D และ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



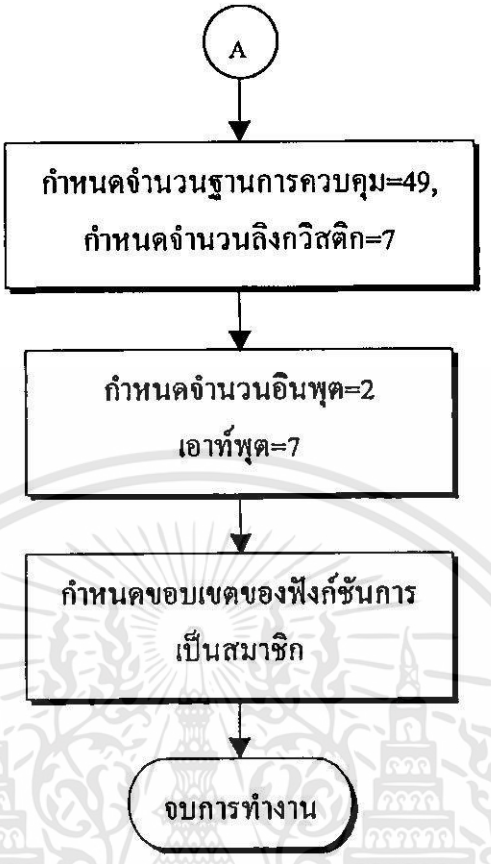
รูปที่ 4.2 (ต่อ)

4.2.2. การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม



รูปที่ 4.3 ผังการทำงานของการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

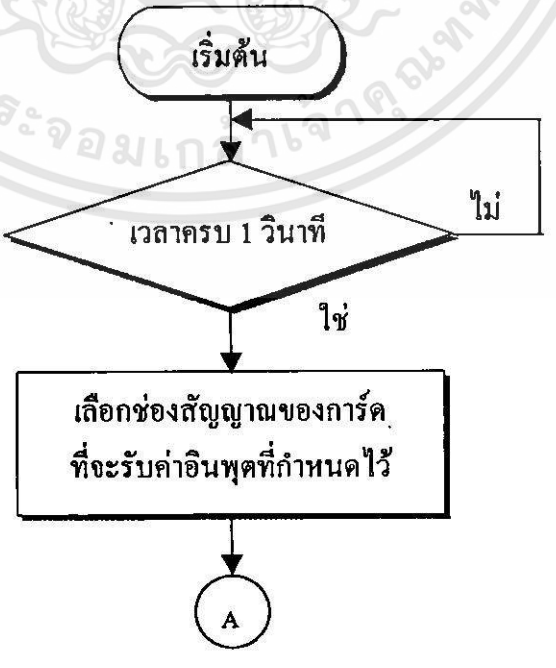
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ต่อ)

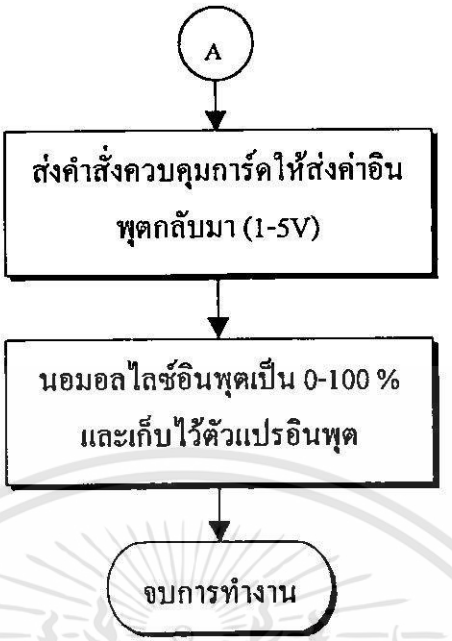
4.3 การรับค่าจาก A/D และการส่งค่าไป D/A

4.3.1 การรับค่าจาก A/D



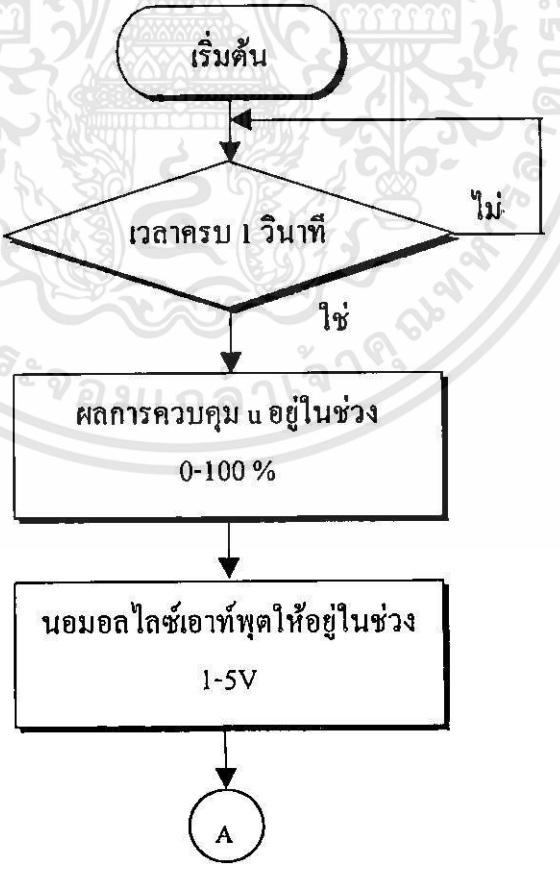
รูปที่ 4.4 ผังการทำงานของการรับค่าจากวงจร A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



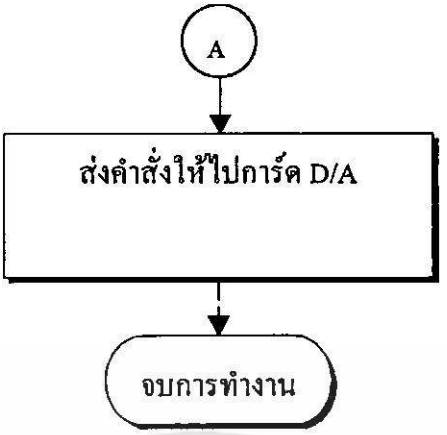
รูปที่ 4.4 (ต่อ)

4.3.2 การส่งค่าไป D/A



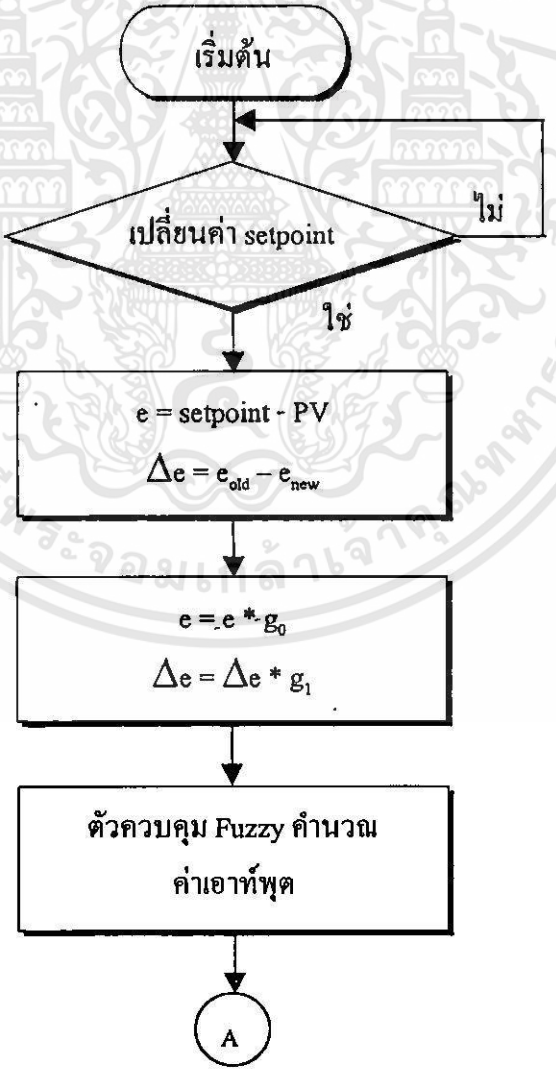
รูปที่ 4.5 ผังการทำงานของการส่งค่าไปสู่วงจร D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



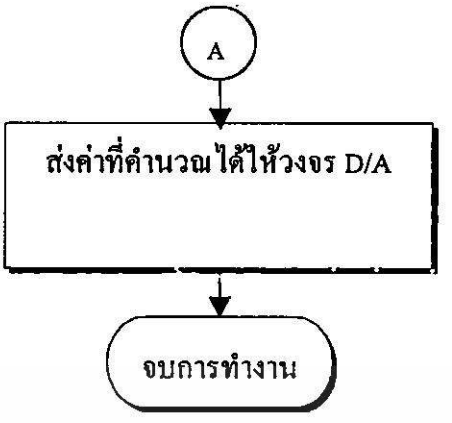
รูปที่ 4.5 (ต่อ)

4.4 การควบคุมในกระบวนการ



รูปที่ 4.6 ผังการทำงานของการควบคุมกระบวนการ

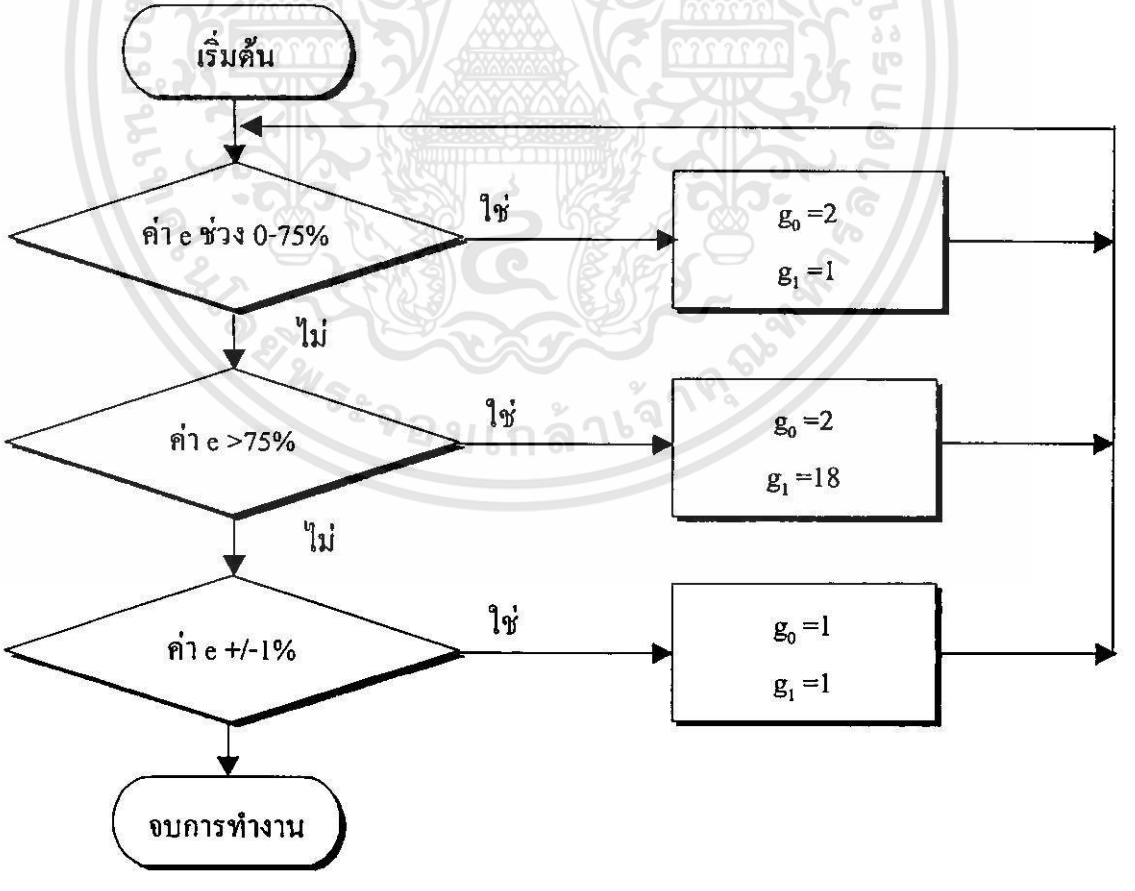
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ต่อ)

ส่วนของตัวควบคุม Fuzzy คำนวณค่าเอาท์พุตสามารถศึกษารายละเอียดได้จาก Source code

4.5 การทำงานของ Gain schedule



รูปที่ 4.7 ผังการทำงานของ Gain schedule

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

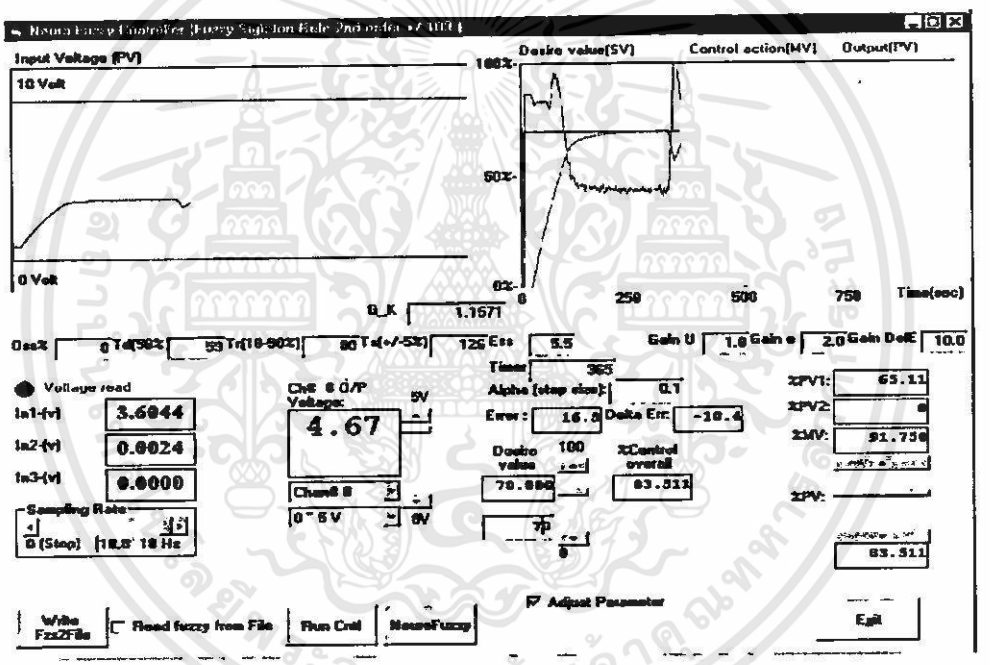
บทที่ 5

การทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่สร้างขึ้น แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือกระบวนการควบคุมระดับน้ำ กับ กระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

การทดลองที่ 1 ใช้ตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ทำการควบคุมกระบวนการในห้องทดลองเป็นกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดี่ยว และกรณีสองถัง

การทดลองที่ 2 ใช้ตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ทำการควบคุมกระบวนการในห้องทดลองเป็นกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 5.1 โปรแกรมหลัก

การทดลองใช้ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่สร้างด้วยโปรแกรม Visual Basic 5.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Cyrix 166 MHz RAM 32 Mb) ควบคุมกระบวนการซึ่งเป็นชุดทดลองโดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในกระบวนการ เมื่อกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆ กัน และทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตัวเองของตัวควบคุม เมื่อมีการรบกวนจากภายนอก และเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมนิวโรฟัซซีที่นำเสนอนี้กับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PI และ PID เป็นตัวควบคุมมาตราฐาน PID Yokogawa รุ่น YS100 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมมาตราฐาน PI และ PID .เพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่สร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นนั้น เพื่อความสะดวก จะใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ (Automatic PID controller parameters analyzer) ของนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุม [12] ในการหาค่าพารามิเตอร์ PB Ti และ Td ตามลำดับ โดยมีเงื่อนไขการปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวต้องสามารถควบคุมกระบวนการได้ดีในย่าน มากกว่า 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ต่อการปรับพารามิเตอร์ในครั้งนั้นๆ โดยที่

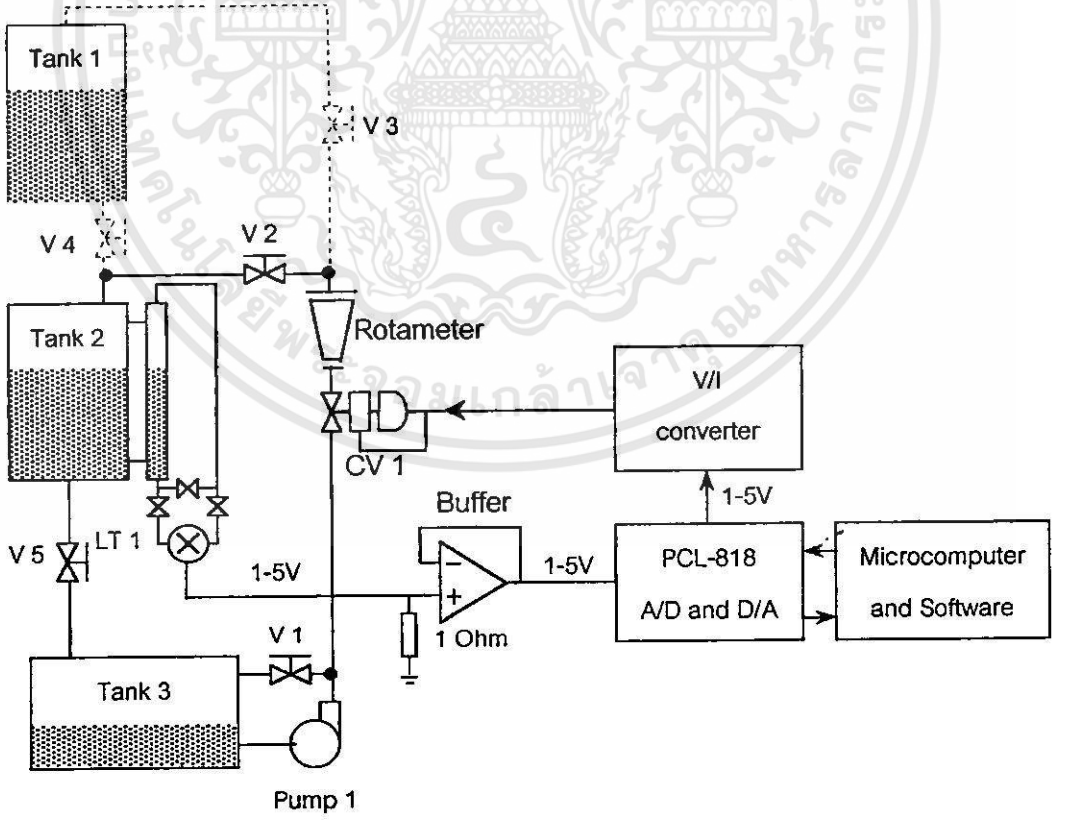
ค่า PB หมายถึง ผลหารของหนึ่งร้อยด้วยค่า Proportional gain (K_p) = 100/ K_p มีค่าระหว่าง 0-100

ค่า Ti หมายถึง ค่า Intergral time มีค่าเป็นวินาที

ค่า Td หมายถึง ค่า Derivative time มีค่าเป็นวินาที

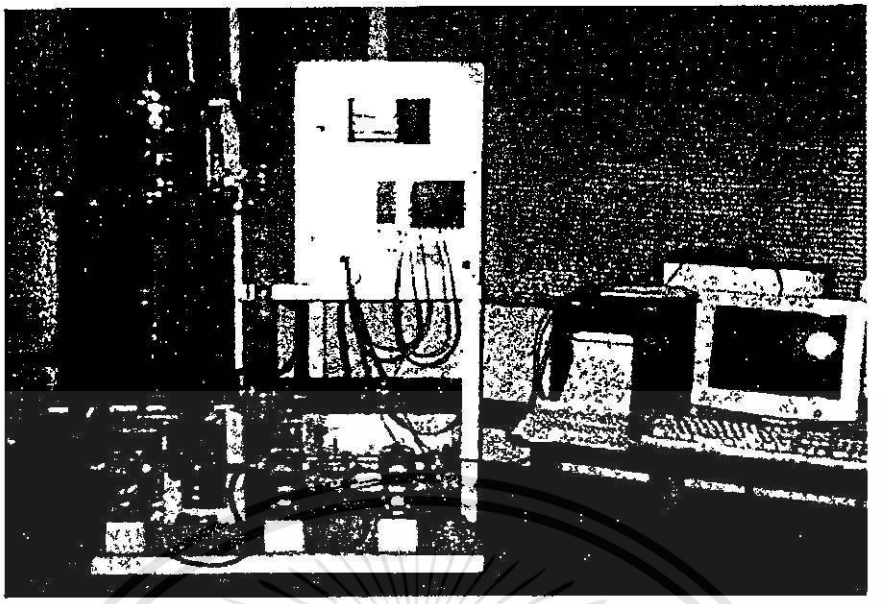
5.1 การทดลองที่ 1 ควบคุมกระบวนการระดับน้ำ

5.1.1 การควบคุมกระบวนระดับน้ำกรณีถังเดี่ยว ใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังดังรูปที่ 5.1 ผังการทำงานดังกล่าวเป็นได้ทั้งกระบวนการควบคุมระดับน้ำกรณีถังเดี่ยวและกรณีสองถัง การทำงาน



รูปที่ 5.2 ผังกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



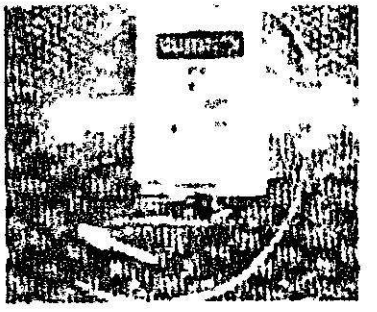
รูปที่ 5.3 กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังเดี่ยวและถังคู่ กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

การทำงานของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดี่ยว กำหนดการทำงานเริ่มต้นดังนี้ ปั๊มน้ำ Pump 1 ทำหน้าที่สูบน้ำจาก Tank 3 ผ่านท่อโดยปรับวาล์ว V1 ให้อัตราการไหลผ่านท่อ 500 ลิตรต่อชั่วโมงดูจากตัว Rotameter ปิดวาล์ว V3 กับ V4 และเปิดวาล์ว V2 เต็มที่ เปิดวาล์ว V5 ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากผังการทำงานน้ำจะไหลจากปั๊มน้ำ Pump 1 ผ่านวาล์วควบคุม CV1 ผ่าน Rotameter วาล์ว V2 ลงสู่ Tank 2 ผ่านวาล์ว V5 ลงสู่ Tank 3 ใช้ LT1 เป็นตัววัดระดับของน้ำใน Tank 2 เอาท์พุตของ LT1 มีค่าเป็นแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลท์ ผ่านวงจรบัฟเฟอร์มีอินพุตอิมพิเด็นซ์สูงเท่ากับ 1 Mohm ทำหน้าที่เป็นวงจรกันชนไม่ให้สัญญาณลดทอน จากการทดลองยังมีส่วนช่วยให้ลดทอนสัญญาณรบกวนเป็นตัวเชื่อมต่อสายสัญญาณกราวน์ของวงจร A/D กับ LT1 สัญญาณที่ออกจากวงจรบัฟเฟอร์มีค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลท์เข้าสู่การ์ด A/D PCL-818 แปลงค่าสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลส่งให้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมตั้งเวลาไว้ทุกๆ 1 วินาทีมารับค่า จากเอาท์พุตของการกำหนดดังกล่าวการเปิดวาล์วดังกล่าวทำให้กระบวนการมีคุณลักษณะเป็นระบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first order) ซึ่งใช้ตัวควบคุม PI ควบคุมก็เพียงพอที่ทำให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิง [10,11]

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1) ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI แบบอัตโนมัติหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



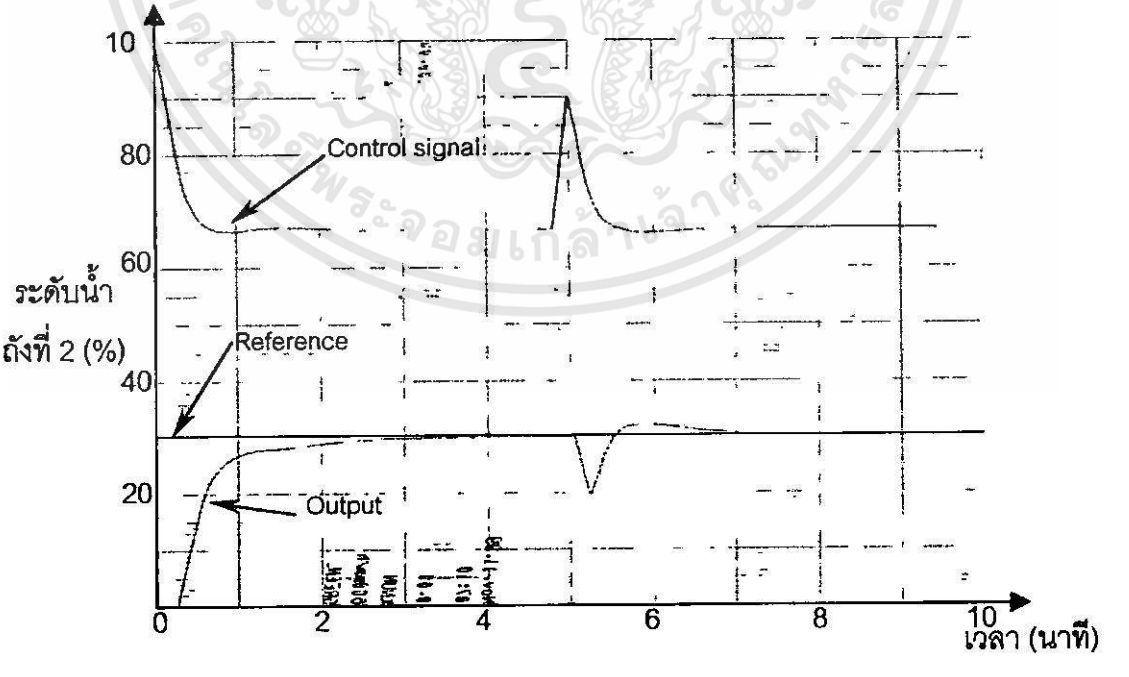
รูปที่ 5.4 เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

จากการใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากที่กล่าวมาแล้วว่าระบบอนุพันธ์อันดับหนึ่งสามารถควบคุมด้วย ตัวควบคุม PI ได้ ดังนั้นจึงหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะค่า PB Ti ดังนี้

PB = 50

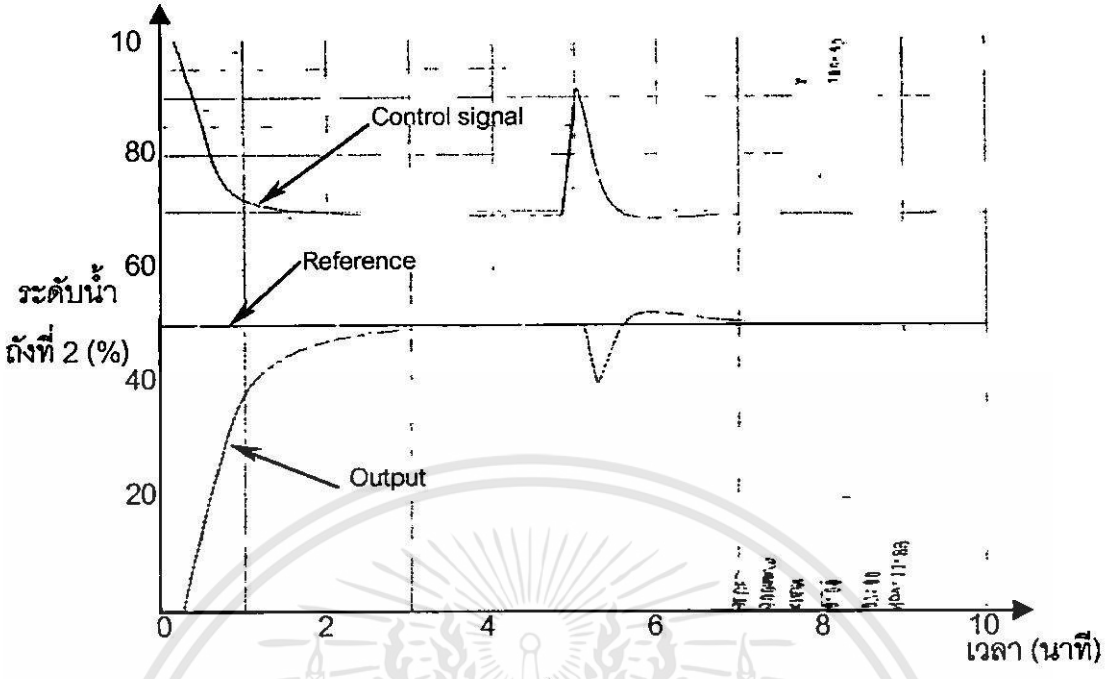
Ti = 68 วินาที

2) ทดลองใช้ตัวควบคุม PI ทำการควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการปิดปั๊ม เป็นเวลา 10 วินาที หลังการทำงานของระบบเริ่มทำงานเวลาที่ 5 นาทีไปแล้ว โดยบันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μ180

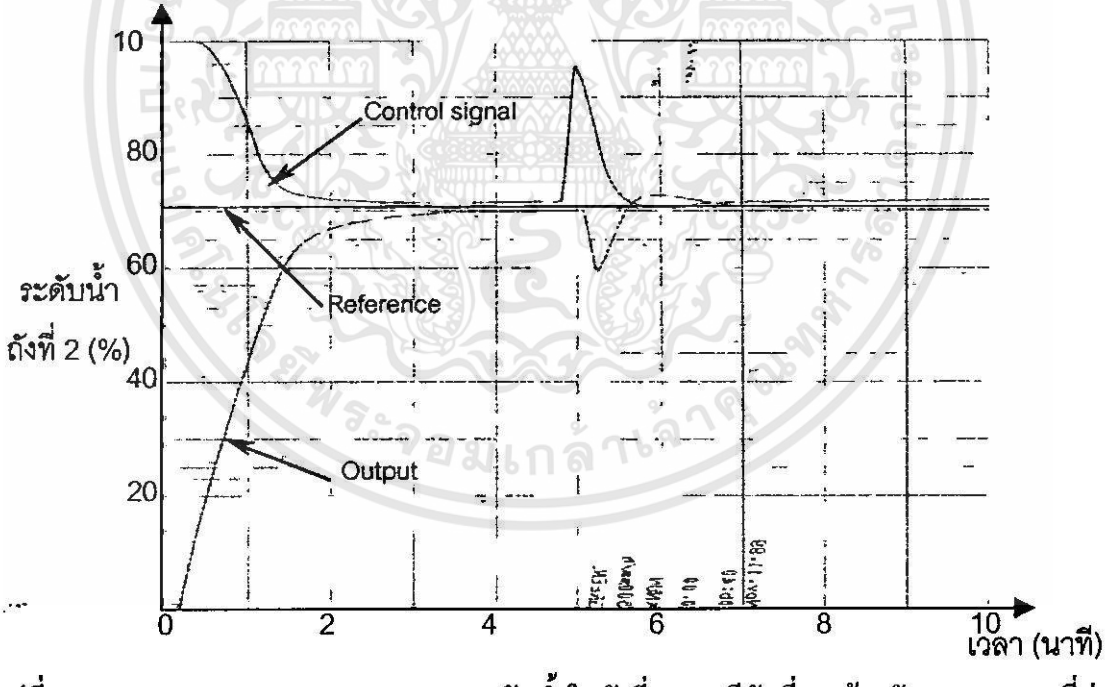


รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

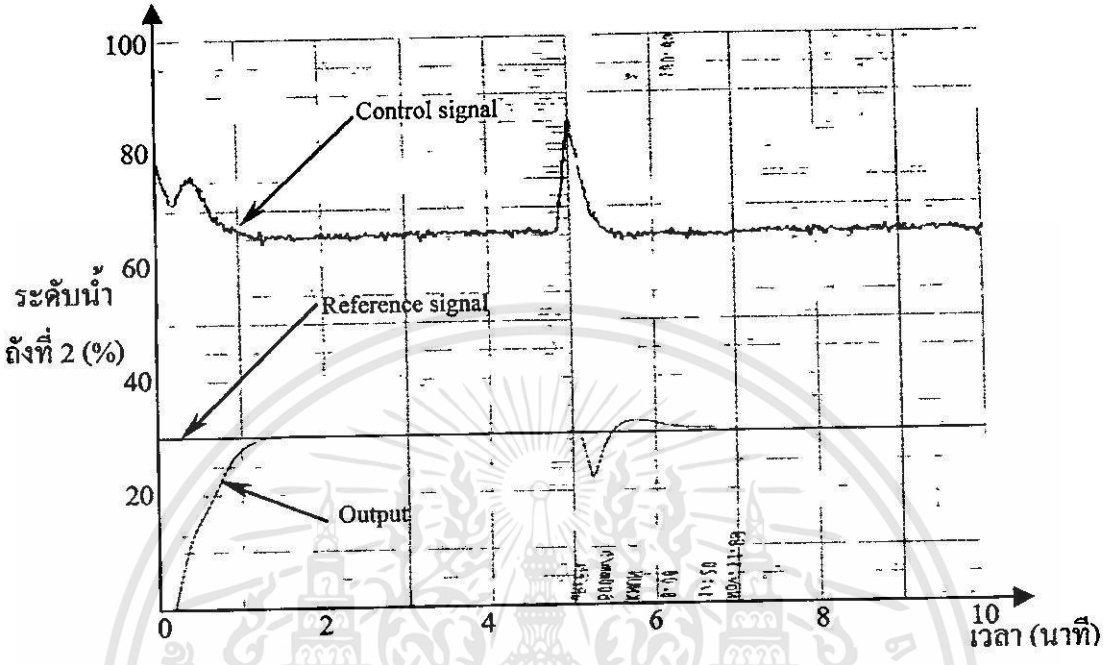


รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

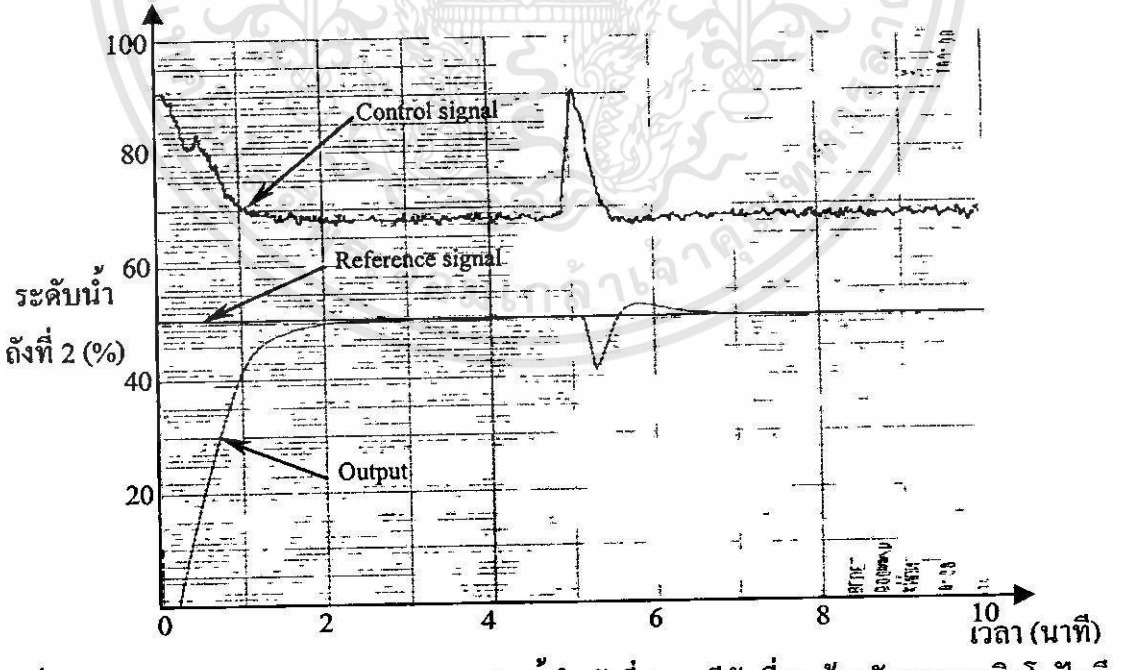
3) ทดลองประสิทธิภาพในการควบคุมและประสิทธิภาพในการปรับตัวเองของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการปิดปั๊ม เป็นเวลา 10 วินาที หลังการทำงานของระบบเริ่มทำงานเวลาที่ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปแล้ว โดยบันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μ180 เช่นเดียวกัน

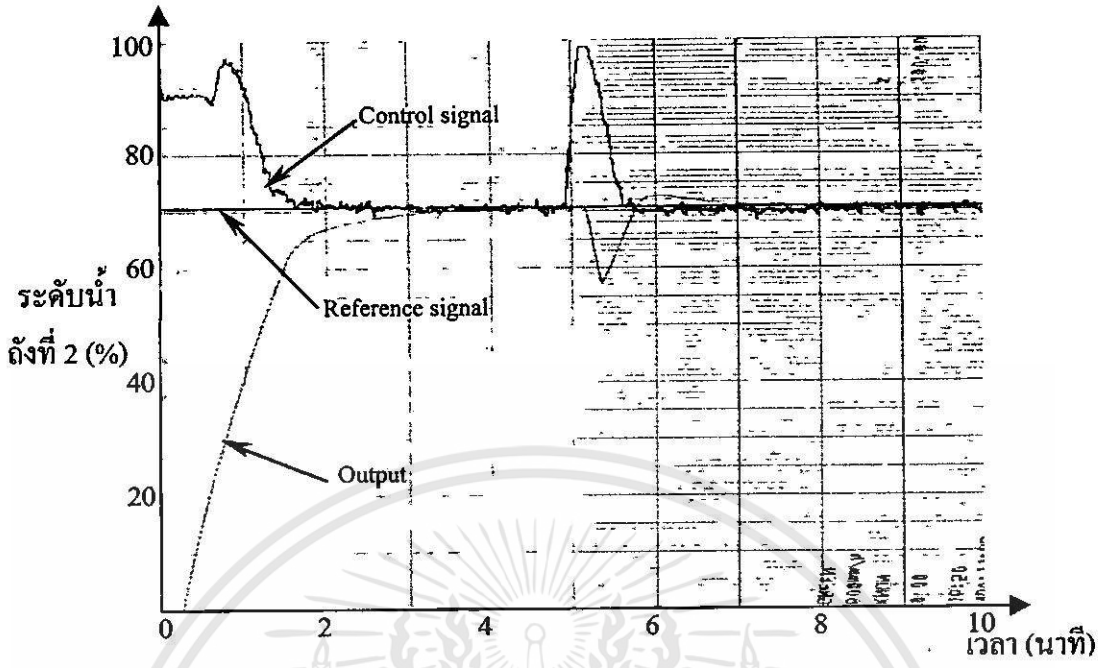


รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



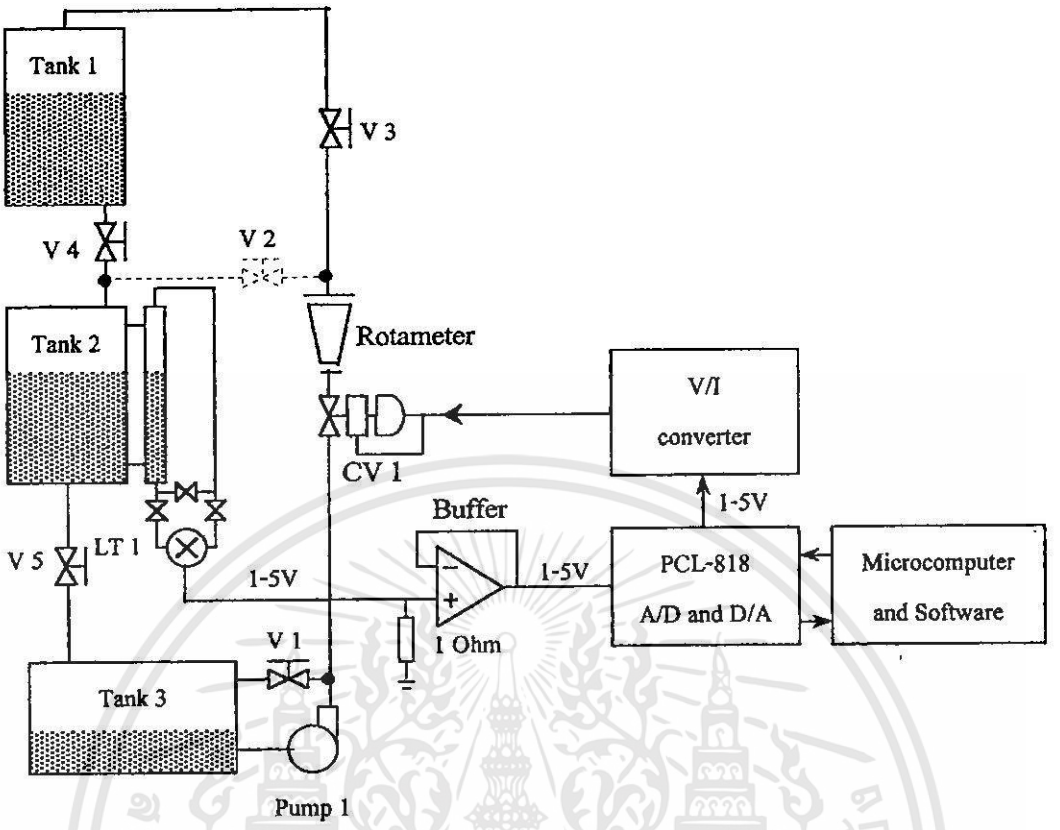
รูปที่ 5.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีถังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

ตารางที่ 5.1 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดี่ยว

System performance of 1st order level control					
Reference (%)	Controller Type	Os (%)	Tr (วินาที)	Ts (วินาที)	Ess (%)
30	PI	0	41	120	0
30	Neuro Fuzzy	0	41	77	1.65
50	PI	0	74	154	0
50	Neuro Fuzzy	0	55	120	1.65
70	PI	0	77	163	0
70	Neuro Fuzzy	0	77	163	1.65

5.1.2 การควบคุมกระบวนระดับน้ำกรณีสองถัง ใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ผังกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังคู่

การทำงานของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง กำหนดการทำงานเริ่มต้นดังนี้ ปั๊มน้ำ Pump 1 ทำหน้าที่สูบน้ำจาก Tank 3 ผ่านท่อโดยปรับวาล์ว V1 ให้อัตราการไหลผ่านท่อ 500 ลิตรต่อชั่วโมงดูจากตัว Rotameter เปิดวาล์ว V3 กับ V4 เต็มที่และปิดวาล์ว V2 เปิดวาล์ว V5 ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากผังการทำงานน้ำจะไหลจากปั๊มน้ำ Pump 1 ผ่านวาล์วควบคุม CV1 ผ่าน Rotameter วาล์ว V3 ผ่าน Tank 1 ลงสู่ Tank 2 ผ่านวาล์ว V5 ลงสู่ Tank 3 ใช้ LT1 เป็นตัววัดระดับของน้ำใน Tank 2 จากเอาท์พุตของการกำหนดการเปิดวาล์วดังกล่าวทำให้กระบวนการมีคุณลักษณะเป็นระบบอนุพันธ์อันดับสอง (second order) ซึ่งใช้ตัวควบคุม PID ควบคุมจึงสามารถควบคุมให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิง [10,11]

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1) ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากที่กล่าวมาแล้วว่าระบบอนุพันธ์อันดับสองสามารถควบคุมด้วย ตัวควบคุม PID ได้ ดังนั้นจึงหาค่าพารามิเตอร์ค่า PB Ti Td ดังนี้

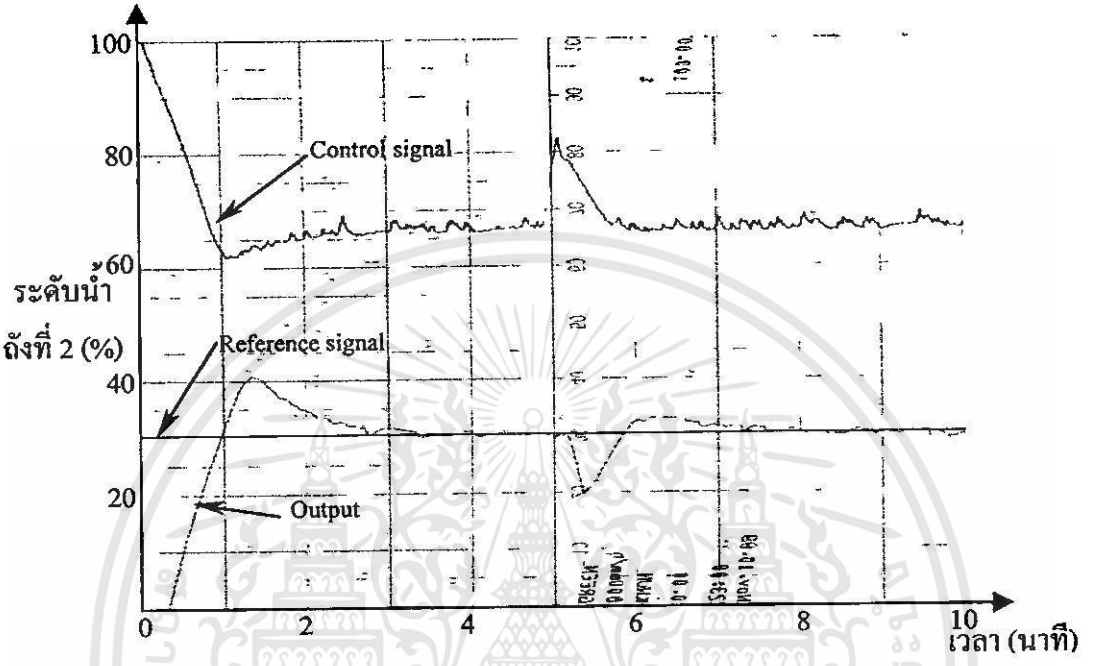
PB = 85

Ti = 85 วินาที

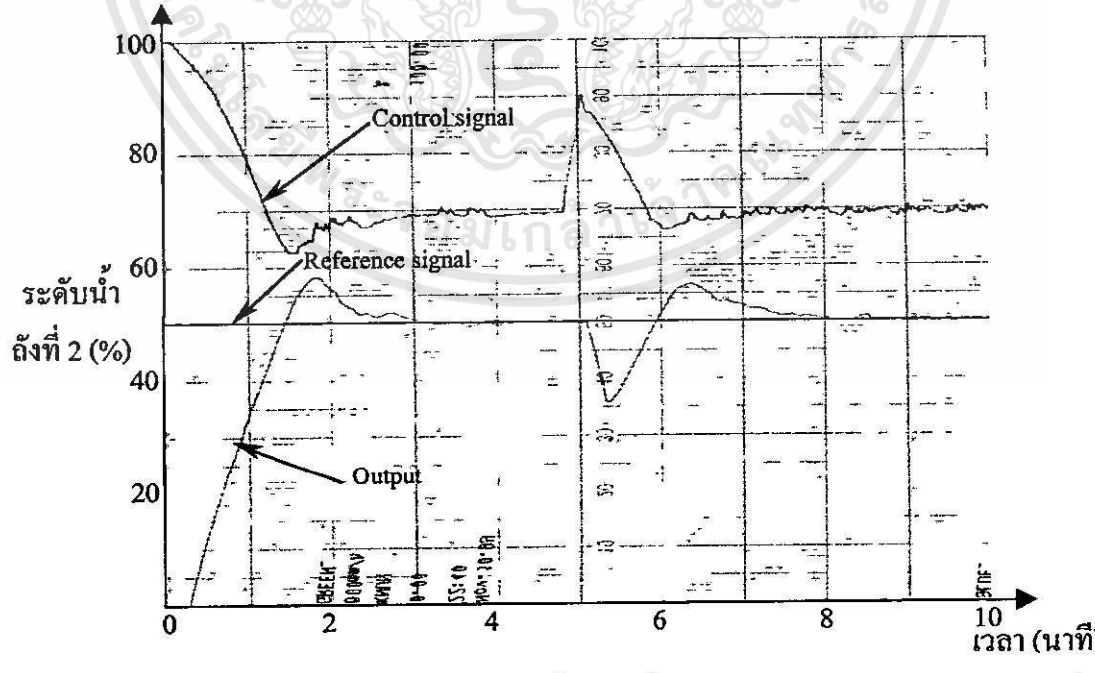
Td = 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทดลองใช้ตัวควบคุม PID ทำการควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการปิดปั๊ม เป็นเวลา 10 วินาที หลังการทำงานของระบบเริ่มทำงานเวลาที่ 5 นาทีไปแล้ว โดยบันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μ180

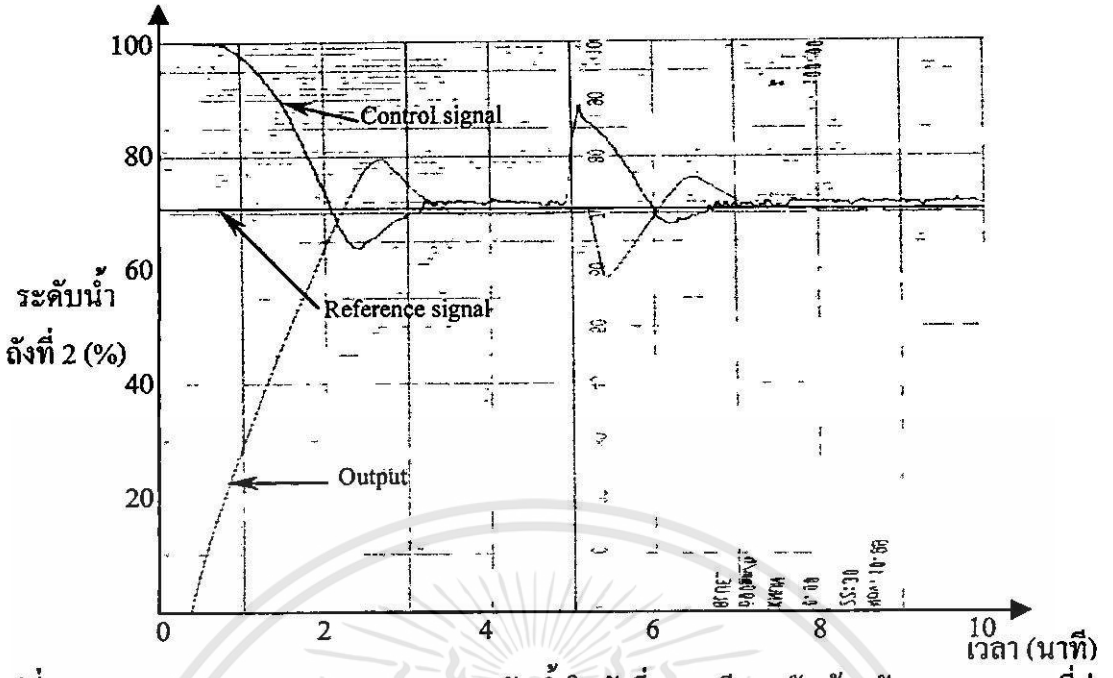


รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที



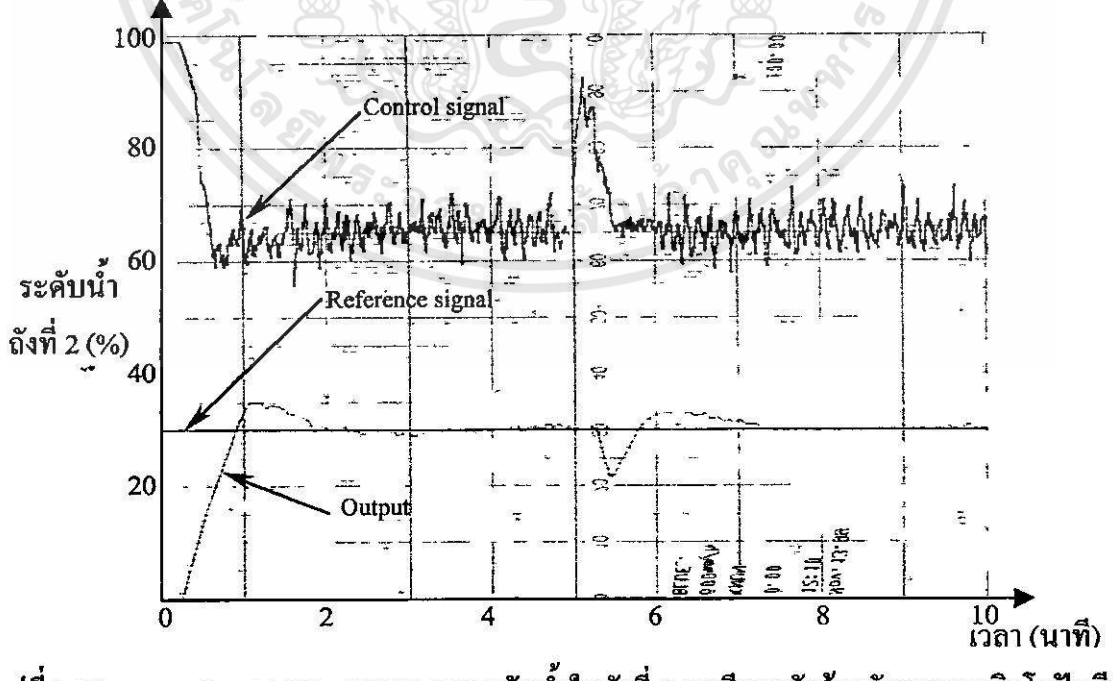
รูปที่ 5.13 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



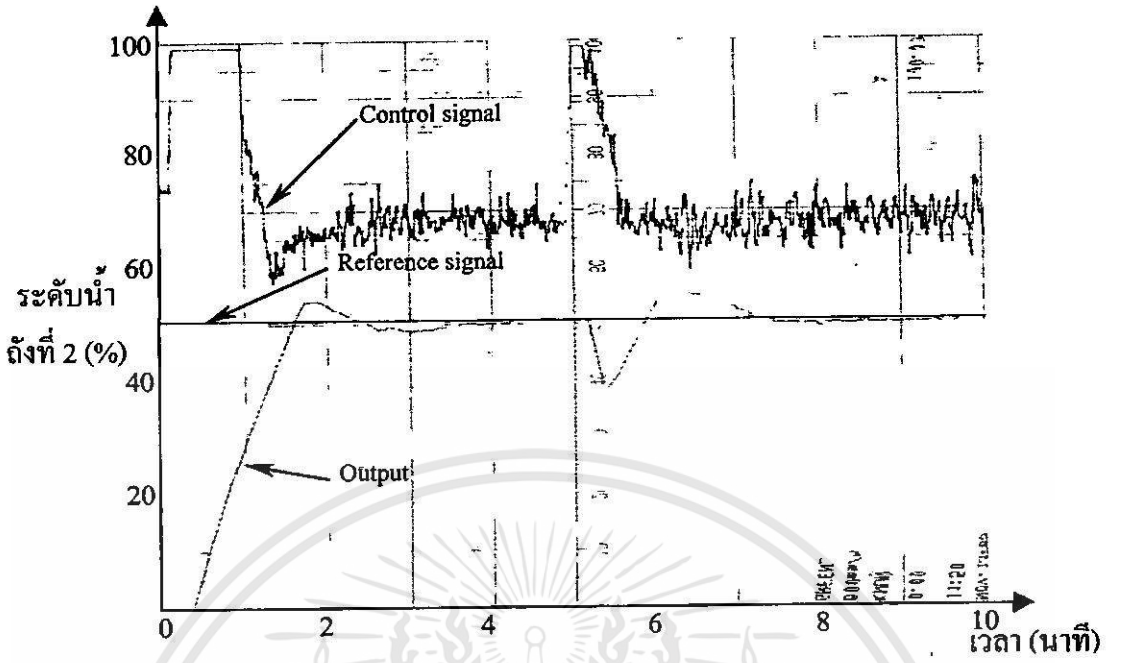
รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม PID ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

3) ทดลองประสิทธิภาพในการควบคุมและประสิทธิภาพในการปรับตัวเองของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการปิดปั๊ม เป็นเวลา 10 วินาที หลังการทำงานของระบบเริ่มทำงานเวลาที่ 5 นาที ไปแล้ว โดยบันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μ180 เช่นเดียวกัน

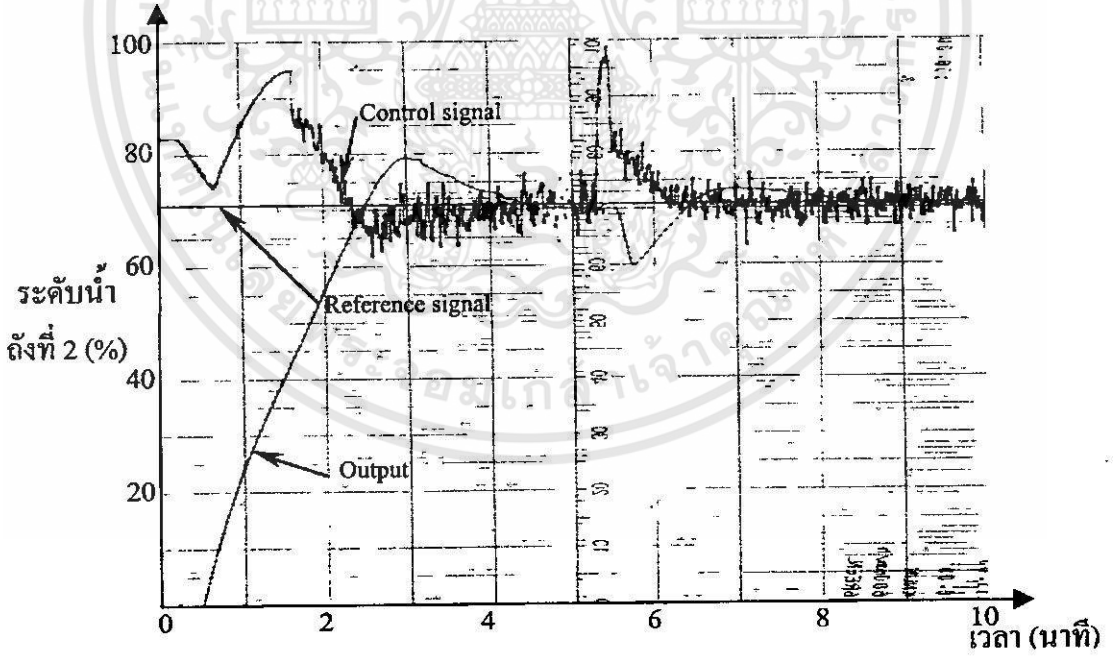


รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 70 เปอร์เซ็นต์ และมีการรบกวน โดยปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาที

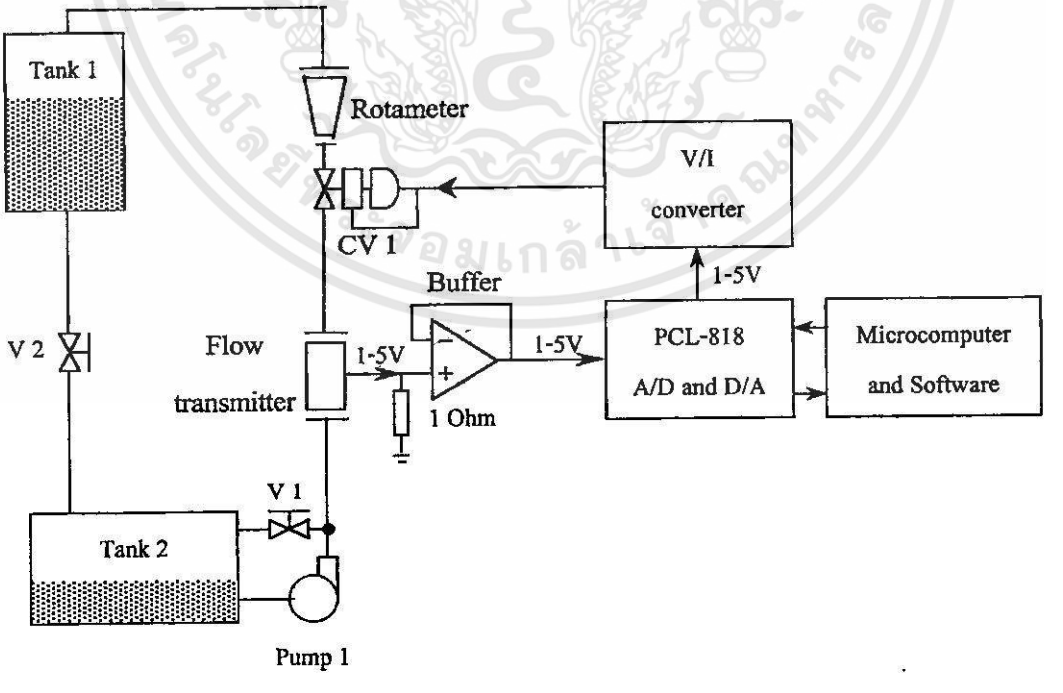
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง

System performance of 2nd order level control					
Reference (%)	Controller Type	Os (%)	Tr (วินาที)	Ts (วินาที)	Ess (%)
30	PID	37	28.8	206	3.3
30	Neuro Fuzzy	17	33.6	120	3.3
50	PID	16	60	166.56	2
50	Neuro Fuzzy	8	57.6	151.2	2
70	PID	13.5	91.2	206.4	1.42
70	Neuro Fuzzy	13	98.4	287.4	1.42

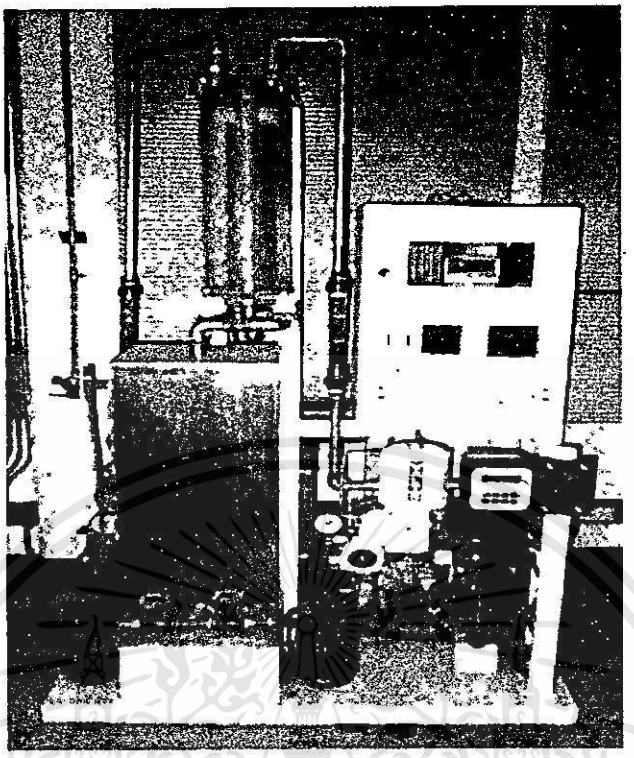
5.2 การทดลองที่ 2 ควบคุมกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

การทดลองกระบวนการควบคุมอัตราไหลของน้ำ เป็นการทดลองเพื่อทดสอบระบบควบคุมนิวโรฟัซซีที่สร้างขึ้นกับระบบที่มีผลตอบสนองรวดเร็วต่อสัญญาณควบคุมดังรูปที่ 5.16

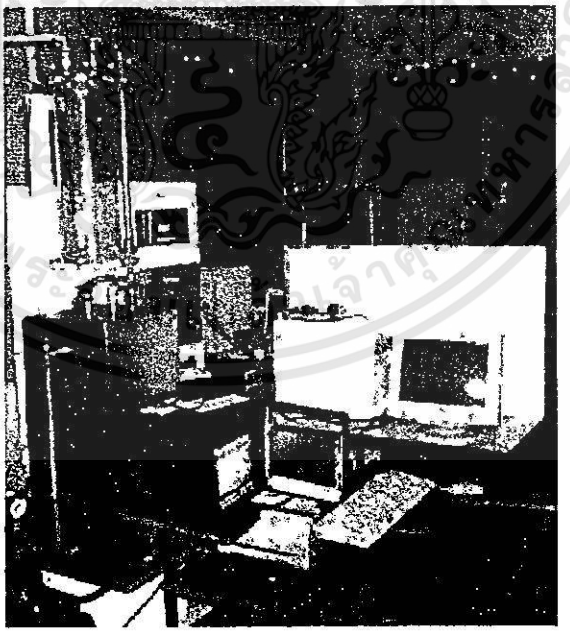


รูปที่ 5.18 ผังกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



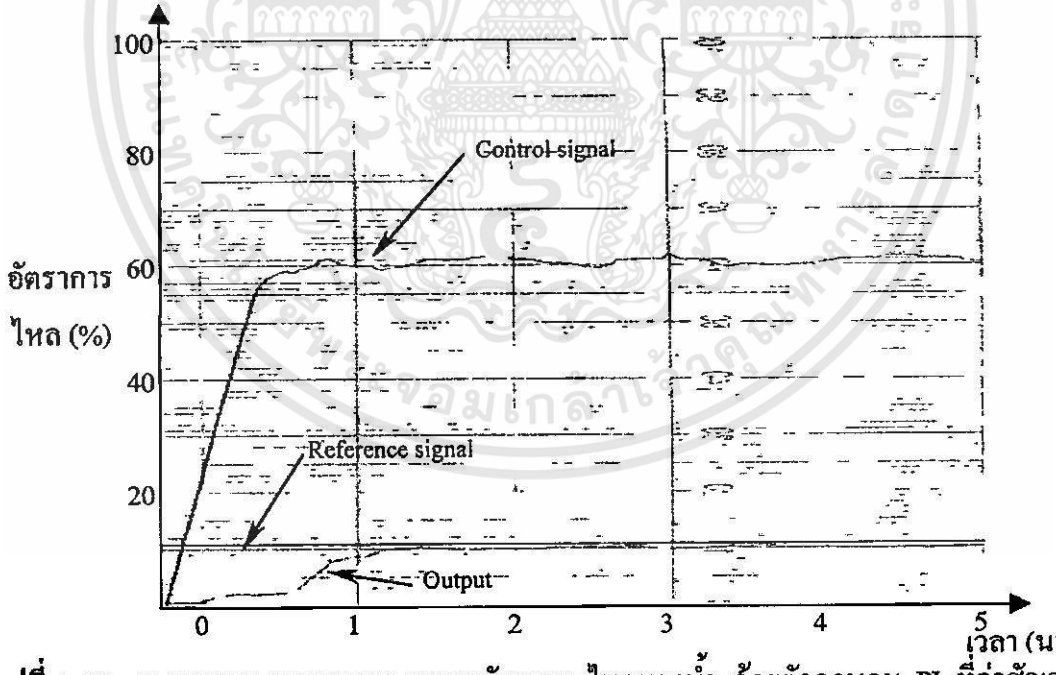
รูปที่ 5.19 กระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 5.20 กระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ กำหนดการทำงานเริ่มต้นดังนี้ ปั๊มน้ำ Pump 1 ทำหน้าที่สูบน้ำจาก Tank 2 ผ่านท่อโดยปรับวาล์ว V1 ให้อัตราการไหลผ่านท่อ 35 ลิตรต่อนาทีดูจากตัว Rotameter ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดที่กระบวนการที่ทำการทดลองนี้ทำได้ เปิดวาล์ว V2 เต็มที่ จากผังการทำงานน้ำจะไหลจากปั๊มน้ำ Pump 1 ผ่านวาล์วควบคุม CV1 ผ่าน Rotameter ผ่าน Tank 1 ผ่านวาล์ว V2 ลงสู่ Tank 2 ใช้ Flow transmitter เป็นตัววัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ เอาท์พุตของ Flow transmitter มีค่าเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ จากการทดลองใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม ต่ออนุกรมได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม 1-5 โวลท์ ผ่านวงจรบัฟเฟอร์ส่งให้ A/D PCL-818 แปลงค่าสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลส่งให้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมตั้งเวลาไว้ทุกๆ 1 วินาทีมารับค่า จากเอาท์พุตของการกำหนดการเปิดวาล์วดังกล่าวทำให้กระบวนการมีคุณลักษณะเป็นระบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first order) ซึ่งใช้ตัวควบคุม PI ควบคุมก็เพียงพอที่ทำให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิงและไม่สามารถควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ได้ เนื่องจากทำให้ผลการควบคุมเกิดออสซิลเลท [10,11] จากแรงดันเอาท์พุต 1-5 โวลท์ของ Flow transmitter เมื่อทำการนอมอลไลซ์ให้เป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 0-100 เปอร์เซ็นต์จากการทดลองปั๊มน้ำที่ทดลองสามารถสูบน้ำให้อัตราการไหลสูงสุดแค่ 35 ลิตรต่อนาทีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรวจสอบจากป้อนสัญญาณให้ตัวควบคุมมาตราฐาน PI แสดงผล

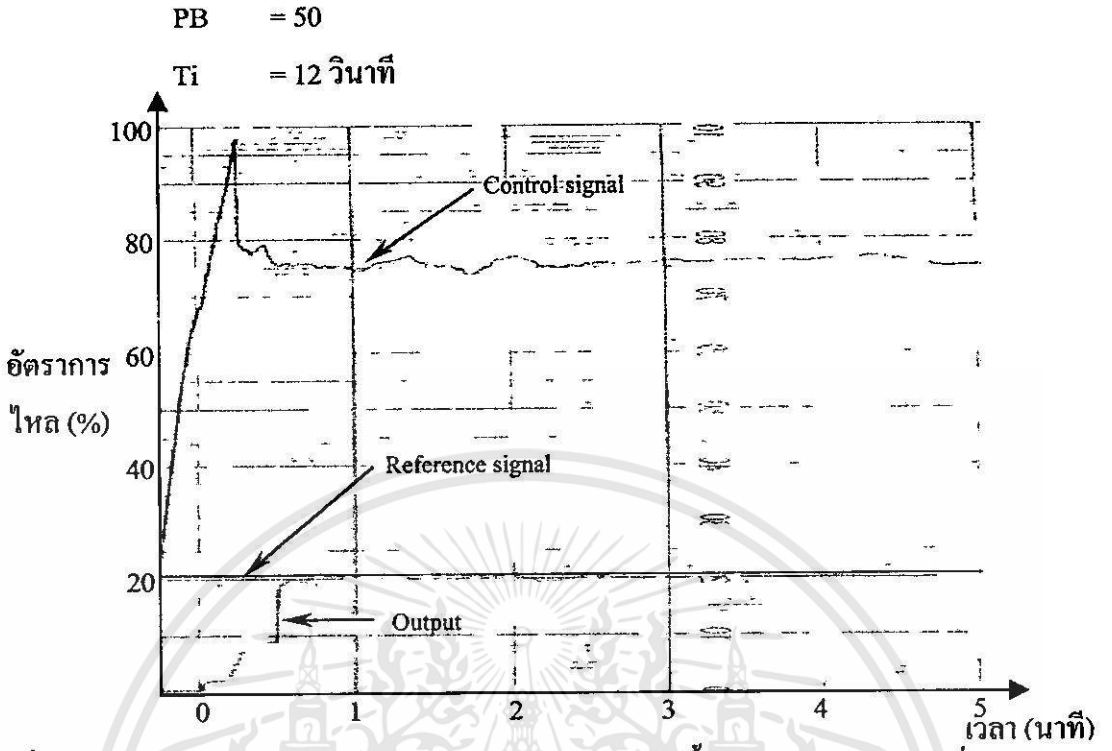


รูปที่ 5.21 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์

ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

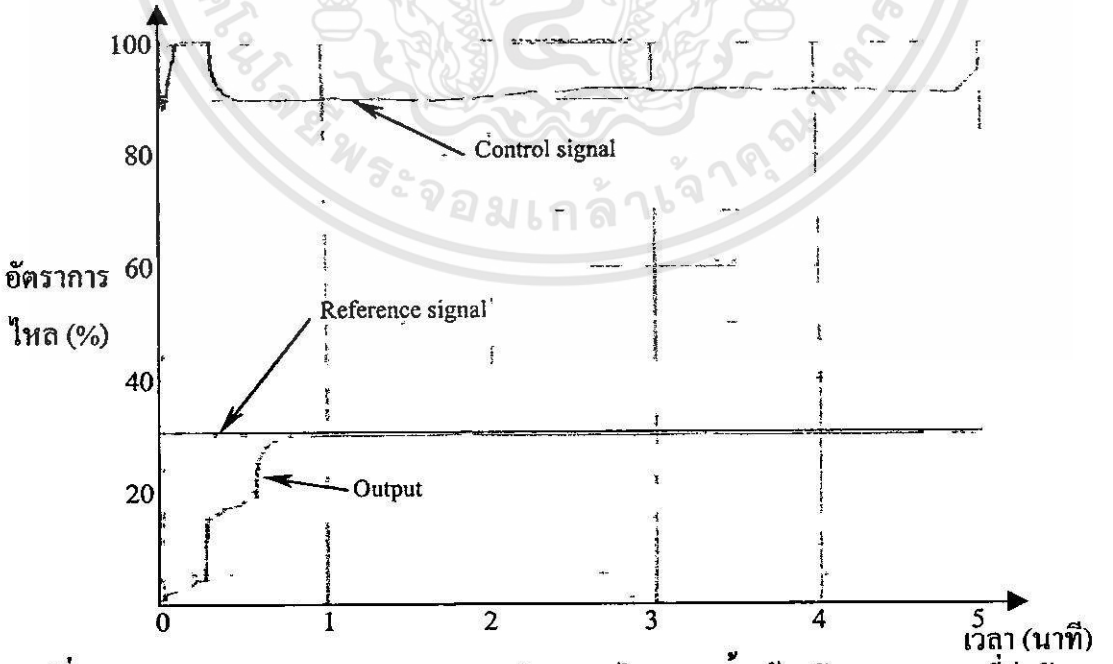
1) ใช้เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI แบบอัตโนมัติหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้ค่าพารามิเตอร์ค่า PB Ti Td ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



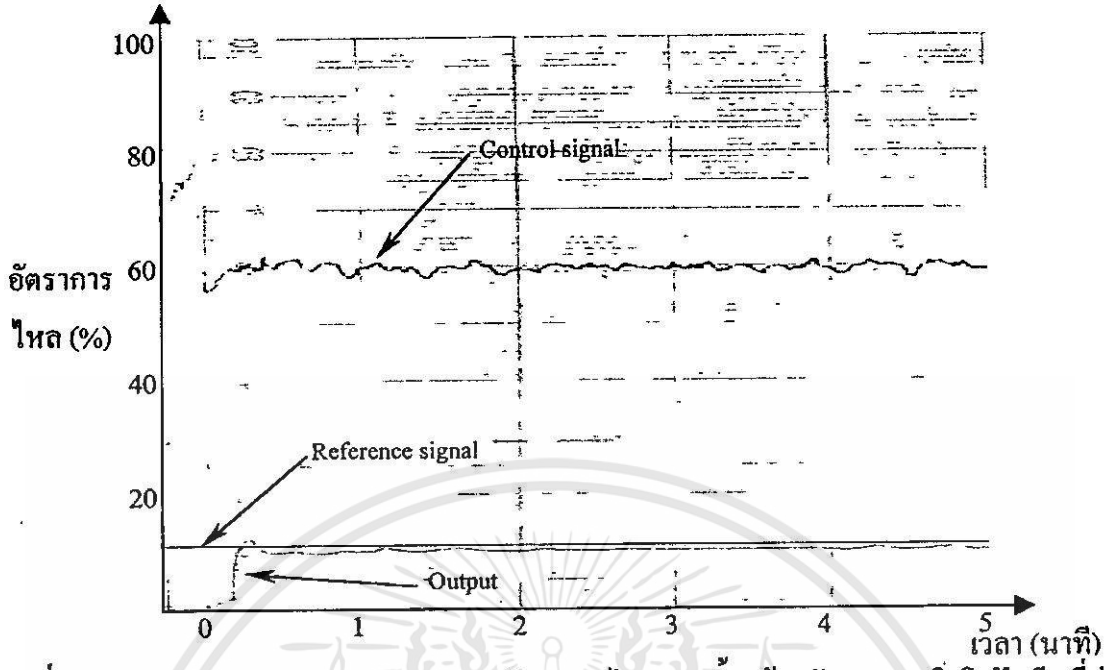
รูปที่ 5.22 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 20 เปอร์เซ็นต์

2) ทดลองใช้ตัวควบคุม PI ทำการควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ บันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μ180



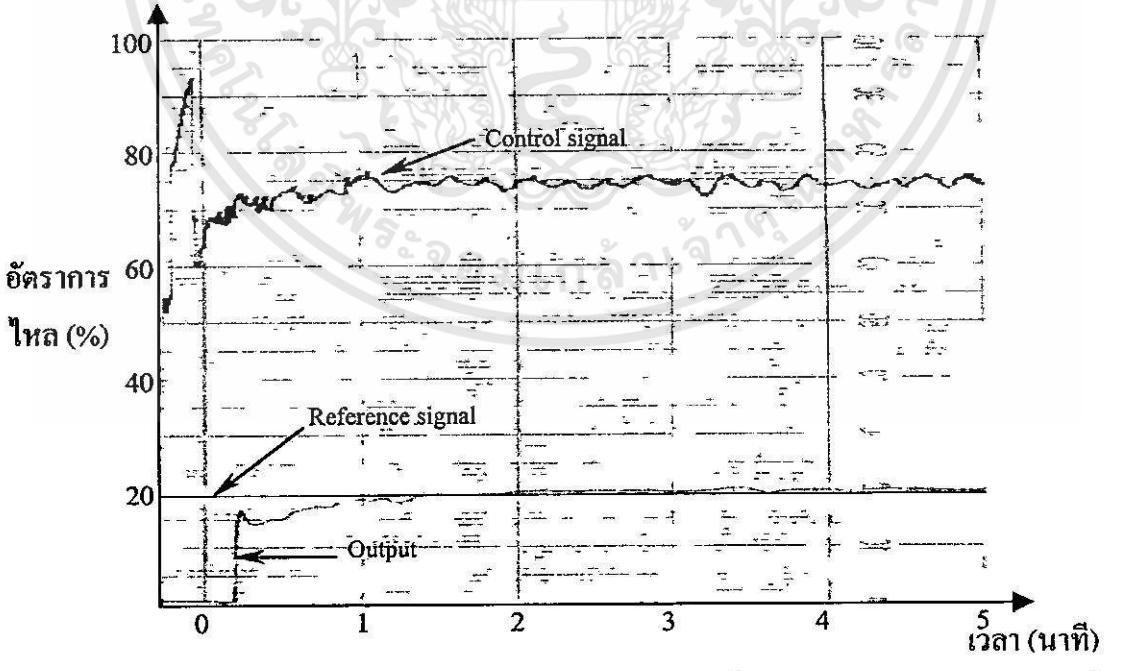
รูปที่ 5.23 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุม PI ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



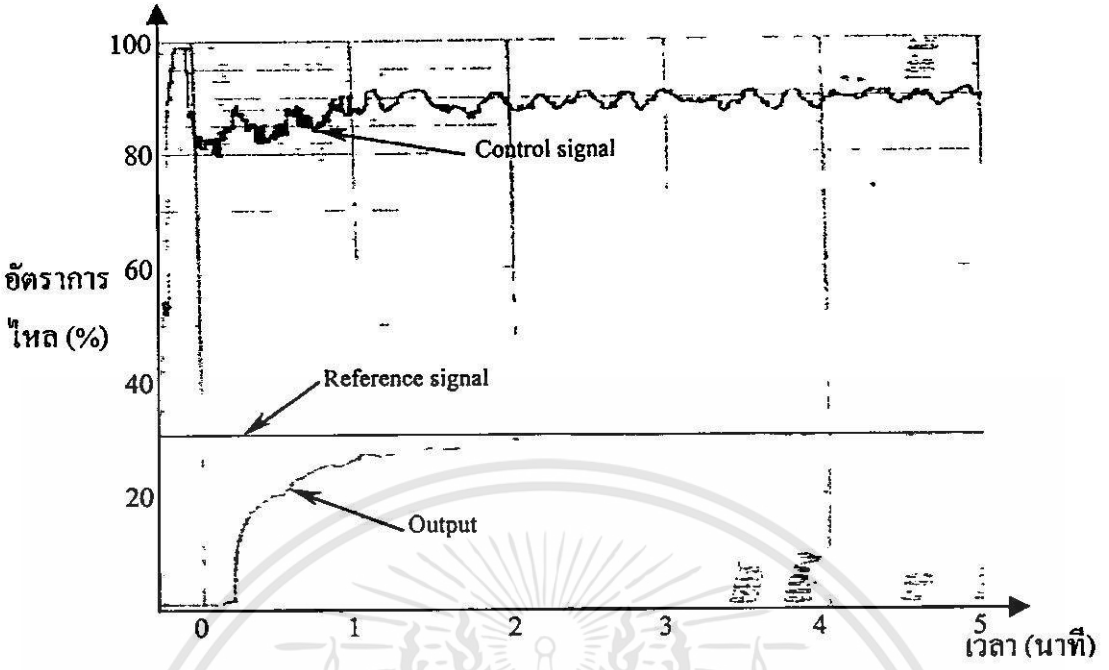
รูปที่ 5.24 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์

3) ทดลองประสิทธิภาพในการควบคุมและประสิทธิภาพในการปรับตัวเองของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำการปิดปั๊ม เป็นเวลา 10 วินาที หลังการทำงานของระบบเริ่มทำงานเวลาที่ 5 นาที



รูปที่ 5.25 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 20 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 ผลตอบสนองของระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าสัญญาณอ้างอิง 30 เปอร์เซ็นต์

ไปแล้ว โดยบันทึกเอาท์พุต และ สัญญาณควบคุม (control signal) ลงบนกราฟด้วยเครื่องบันทึกกราฟ Yokogawa รุ่น μR180 เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.3 ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI กับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

System performance of 1st order flow control					
Reference (%)	Controller Type	Os (%)	Tr (วินาที)	Ts (วินาที)	Ess (%)
10	PI	0	48	67.2	0.05
10	Neuro Fuzzy	20	7.2	24	1.65
20	PI	1	31.2	62.4	0.05
20	Neuro Fuzzy	0	38.4	81.6	1.65
30	PI	0	36	43.2	0.05
30	Neuro Fuzzy	0	36	168	1.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การควบคุมระดับน้ำกรณีถังเดี่ยว ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI และตัวควบคุมนิวโรฟัซซีแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าผลตอบสนองของสัญญาณเอาท์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงของทั้งสองระบบไม่มีโอเวอร์ชูท การลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงใกล้เคียงกันแต่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีค่าไรซ์ไทม์น้อยกว่าเมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ การเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยดูจากค่า Ts ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่าตัวควบคุม PI เมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และเท่ากันที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ตัวควบคุม PI ไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเล็กน้อย หลังการทำงานนาทีที่ 5 ปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วเปิดปั๊มใหม่ผลการทำงานของการควบคุมทั้งสองระบบในการปรับให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิงใกล้เคียงกัน

การควบคุมระดับน้ำกรณีสองถัง ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PID และตัวควบคุมนิวโรฟัซซีแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่าผลตอบสนองของสัญญาณเอาท์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงของทั้งสองระบบมีโอเวอร์ชูทโดยนิวโรฟัซซีมีค่าโอเวอร์ชูทต่ำกว่าเมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกันที่ 70 เปอร์เซ็นต์ การลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงใกล้เคียงกันแต่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีค่าไรซ์ไทม์น้อยกว่าเมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าตัวควบคุม PID เมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการเข้าสู่สภาวะคงตัว ทั้งสองระบบมีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเท่ากันที่ค่าอ้างอิงเดียวกัน ในทำนองเดียวกับการควบคุมระดับกรณีถังเดียวหลังการทำงานนาทีที่ 5 ปิดปั๊มเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วเปิดปั๊มใหม่ผลการทำงานของการควบคุมทั้งสองระบบในการปรับให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิงใกล้เคียงกัน

การทดลองที่ 2 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ค่าสมรรถนะของระบบควบคุม PI และตัวควบคุมนิวโรฟัซซีแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าผลตอบสนองของสัญญาณเอาท์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงของทั้งสองระบบ มีโอเวอร์ชูทที่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ค่าอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์ และตัวควบคุม PI ที่ค่าอ้างอิง 20 เปอร์เซ็นต์ การลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีเร็วกว่าตัวควบคุม PI โดยดูที่ค่าไรซ์ไทม์น้อยกว่าตัวควบคุม PI มากเมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ และใกล้เคียงกันที่ค่าอ้างอิงเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ การเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยดูจากค่า Ts ที่ค่าอ้างอิง 10 เปอร์เซ็นต์ ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะเร็วกว่าตัวควบคุม PI แต่จะช้ากว่ามากเมื่อค่าอ้างอิงเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเท่ากันทั้ง ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง โดยการเรียนรู้จากผลการควบคุม ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นดังกล่าวสามารถควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยทำการทดลองควบคุมกระบวนการสองกระบวนการคือควบคุมระดับน้ำ กับกระบวนควบคุมอัตราการไหลของน้ำ การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีจะใช้องค์ประกอบหลักเป็นส่วนของฟัซซีประกอบด้วยฟัซซิฟิเคชัน ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ กฎฐานควบคุมฟัซซี ดีฟัซซิฟิเคชัน และใช้โครงข่ายประสาทในส่วนวิธีการของแบ็คปรอบปะเกชั่นในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ antecedent คือค่ากลางและความกว้าง ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน ในการทดลองจะกำหนดค่าเริ่มต้นของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกให้สามารถควบคุมระบบได้ทุกระบบและพารามิเตอร์ในส่วนของ consequent คือค่าของจำนวนจริงของฟัซซี ในทำนองเดียวกันกับค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจะกำหนดค่าเริ่มต้นของจำนวนจริงในส่วนของ consequent ให้สามารถควบคุมได้ทุกระบบเช่นเดียวกัน และทำการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวควบคุมมาตราฐาน PI และ PID

ตัวควบคุมแบบฟัซซีที่นำเสนอมีการคำนวณเฉพาะส่วนของ antecedent และส่วนของ consequent กำหนดให้ใช้ค่า Learning rate มีค่าคงที่เนื่องจากต้องการลดการผันแปรจากตัวแปรหลายตัวและใช้วิธีการปรับค่า Scaling factor ตามจังหวะของเปอร์เซนต์ค่าเอาท์พุตดังได้กำหนดในการทดลองโดยค่าทั้งสองใช้วิธีการลองผิดลองถูกจากการทดลองก่อน

จากกราฟของตัวควบคุมฟัซซีสัญญาณควบคุมมีการแกว่งมากกว่าสัญญาณควบคุมของ PI และ PID จะแกว่งมากขึ้นเมื่อตัวควบคุมฟัซซีควบคุมกระบวนการกำลังสอง เนื่องจากผลตอบสนองของวาล์วควบคุมทำงานไม่ทันกับการคำนวณของตัวควบคุมฟัซซี กระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ทำการทดลองให้ผลตอบสนองการทำงานต่อสัญญาณควบคุมช้าเนื่องจากถังน้ำมีขนาดใหญ่ ทำให้ตัวควบคุมฟัซซีจำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของ Learning rate ให้ต่ำเพื่อไม่ให้ระบบมีโอเวอร์ชูทและมีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว การทดลองใช้การเพิ่มลด Scaling factor เป็นตัวแปรในการลดค่าไรซ์ไทม์ ลดโอเวอร์ชูท

ตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบขึ้นมีข้อดีคือผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบเป็นประโยชน์สำหรับการควบคุมที่มีความซับซ้อนของระบบมากๆ ในระบบที่เป็นเชิงเส้นเมื่อมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟัซซีแล้วสามารถนำค่าที่ปรับแต่งไปควบคุมระบบได้โดยไม่ต้องปรับแต่งอีก แต่ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นจำเป็นต้องมีการปรับแต่งทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิง ตัวควบคุมฟัซซีที่นำเสนอสามารถควบคุมกระบวนการได้ทั้งกระบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอันดับหนึ่งและอันดับสองที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กันได้ มีความคงทนต่อการรบกวนจากภายนอก การเรียนรู้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมฟัซซี จะทำการคำนวณโดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละกระบวนการ

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาการออกแบบ

ข้อเสนอแนะในการออกแบบ ระบบที่ออกแบบจะสามารถควบคุมได้ดีก็ต่อเมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมสามารถปรับแต่งให้ระบบให้ตอบสนองเร็วหรือช้ารวมทั้งการเข้าหาสภาวะคงตัวได้ดีขึ้นอยู่กับค่า Scaling factor และ Learning rate ด้วย นอกจากการนำฟัซซีไปประยุกต์ในการควบคุมกระบวนการยังสามารถประยุกต์เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ต่างๆ ซึ่งใช้ความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวเองของระบบ

การทดลองในวิทยานิพนธ์พบว่าการที่มีตัวแปรลิงกวิสติกต่ำกว่า 7 ตัวเมื่อนำระบบดังกล่าวมาควบคุมกระบวนการโดยมีการปรับแต่งพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระบบอย่างต่อเนื่องจะมีการแกว่งของเอาท์พุตที่สภาวะคงตัวมาก อีกทางหนึ่งตัวแปรลิงกวิสติกมากกว่า 7 ตัว ส่วนที่อยู่ซ้ายสุดและขวาสุดไม่มีส่วนช่วยในการควบคุม

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ Neural network based fuzzy systems นำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ยังมีส่วนของ Fuzzy logic based neural network models การคำนวณทางตัวเลขใช้ส่วนโครงข่ายประสาทเป็นส่วนหลักและใช้พารามิเตอร์ฟัซซีเป็นตัวปรับค่าถ่วงน้ำหนักภายในโครงข่าย ทำให้ระบบที่ได้ดังกล่าวมีความสามารถในการเรียนรู้ที่มีความเร็วสูง และมีความคงทน (Robust) กว่าโครงข่ายประสาททั่วไป เหมาะสำหรับระบบที่มีความซับซ้อนมากต้องการการเรียนรู้ที่มีความเร็วสูงเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ในลักษณะเวลาจริง (Real time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ธิดาพร พิทักษ์พรฟันธุ์. "ตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539.

[2] จักรพงษ์ เกาเทียน, วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, ประสิทธ์ จุลเสรีวงศ์, อาจินต์ น่วมสำราญ "การออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยนิวโรฟัซซี." วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2543.

[3] C. T. Lin, C.S.G. Lee. **Neural Fuzzy System.** International Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1996.

[4] J.S.R. Jang, C.T. Sun and E. Mizutani. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing.** International Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1997.

[5] L. X. Wang. **Adaptive fuzzy systems and control.** International Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1994.

[6] L. X. Wang. **A course in fuzzy systems and control.** International Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1997.

[7] M. Brown, C. Harris. **Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control.** International Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1994.

[8] L. Ljung. **An introduction to fuzzy control.** Springer-Verlag. 1993.

[9] PC-LabCard. "User's manual Model PCL-818." [Online] Available : http://support.advantech.com. 1998.

[10] Benjamin C. Kuo. **Digital Control Systems.** 2nd Ed. : Sauners College Publishing. 1992.

[11] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. **Digital Control Systems.** Reading : Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1998.

[12] พิทยา ปานนิล, ประสิทธ์ จุลเสรีวงศ์, ประภาษ อุดคกิมาพันธ์, กิตติ ตรีเศรษฐ, "เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID." วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 16 ฉบับที่ 16 , กันยายน 2542. หน้า 101-106.

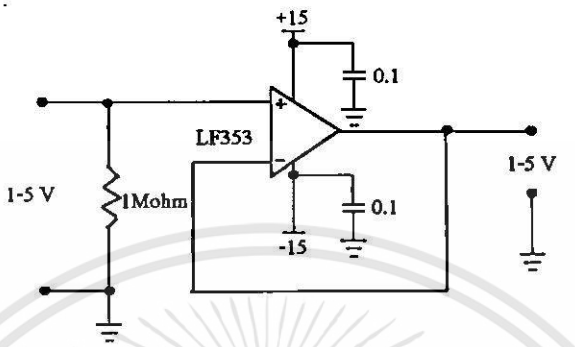
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

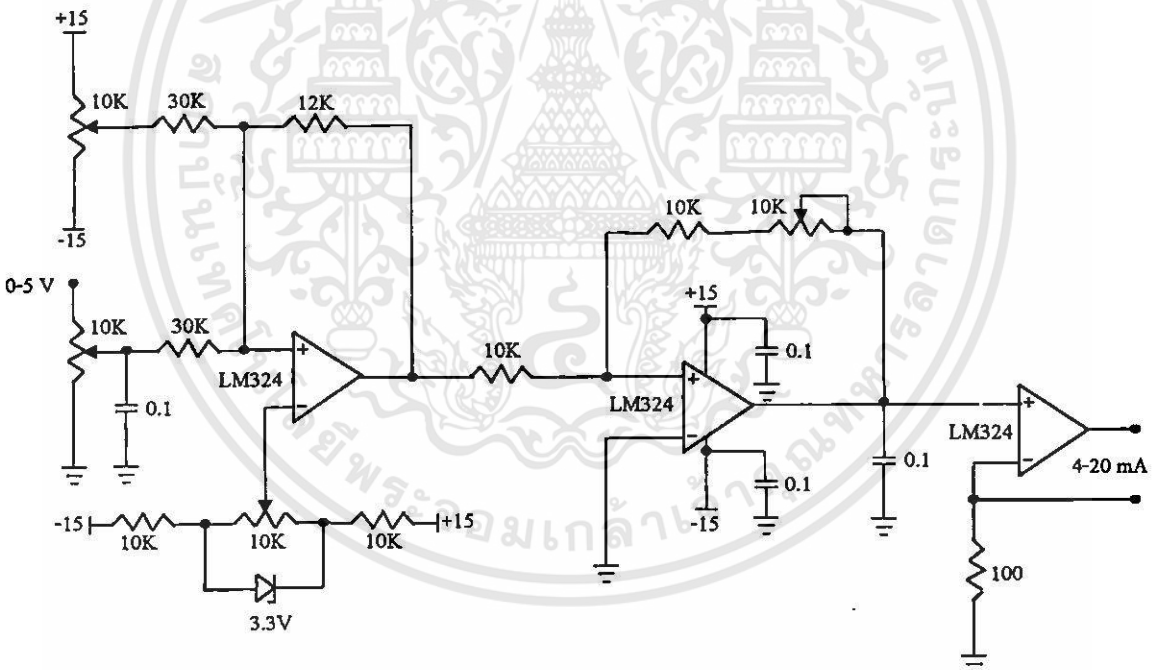
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วงจรบัฟเฟอร์ และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส



รูปที่ 1 วงจรบัฟเฟอร์



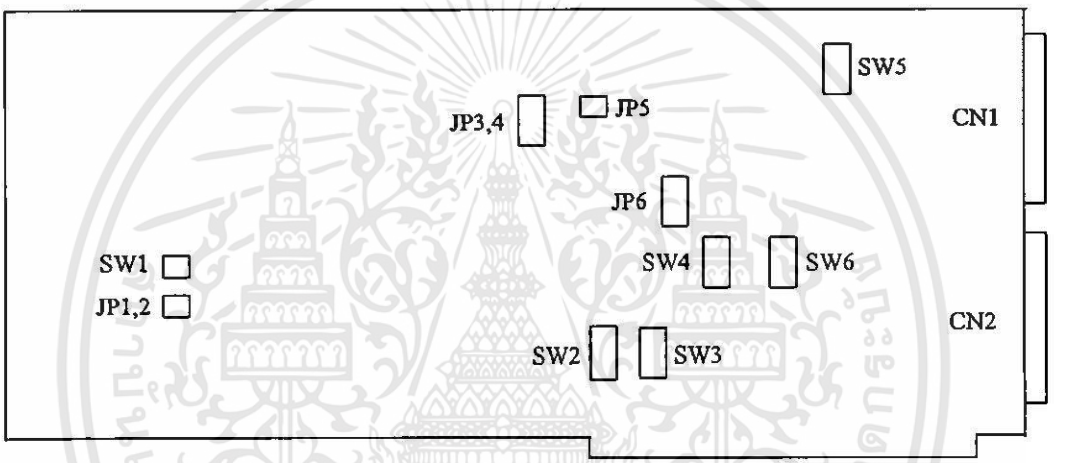
รูปที่ 2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การปรับแต่งและการติดตั้งโปรแกรมของการ์ด PCL-818

ในการใช้งานการ์ด PCL-818 ก่อนใช้งานจำเป็นที่จะต้องทำการปรับแต่งตัวการ์ดและติดตั้งโปรแกรมที่ติดมากับการ์ดเสียก่อน โดยมีขั้นตอนการปรับแต่งตัวการ์ดดังนี้ตัวการ์ด PCL-818 ซึ่งมีฟังก์ชันสวิทช์อยู่ 6 ตัว แสดงดังรูปที่ 1 สล็อตของการ์ดลักษณะบัสเป็นแบบ ISA แต่ละฟังก์ชัน-สวิทช์จะมีหน้าที่ อธิบายรายละเอียดตามที่ใช้งานในวิทยานิพนธ์ โดยเรียงตามการทำงานดังนี้ (รายละเอียดเพิ่มเติม สามารถหาอ่านได้จากคู่มือของการ์ดหรือเว็บไซท์ http://support.advantech.com [9]



รูปที่ 1 ตำแหน่งของฟังก์ชันสวิทช์และพอร์ทต่างๆ

1. สวิทช์ SW3 เป็นดิพสวิทช์ขนาด 6 ตัว (A4-A9) จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งอินพุต-เอาท์พุตพอร์ตของการ์ด (I/O port address) ตัวการ์ดต้องการตำแหน่งต่อเนื่องกัน 16 ตำแหน่งในการวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดตำแหน่งไว้ที่ 300-30F โดยตั้งดิพสวิทช์ A4-A9 ไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 การกำหนดตำแหน่งดิพสวิทช์ของ SW3

A4	A5	A6	A7	A8	A9
ON	ON	ON	ON	OFF	OFF

2. สวิทช์ SW5 เป็นสวิทช์กำหนดช่องสัญญาณอินพุตว่าเป็นแบบ 16 ช่องสัญญาณ single-end สัญลักษณ์เป็น S หรือ 8 ช่องสัญญาณ differential สัญลักษณ์เป็น E โดยจะตั้งไวที่ E คือ 8 ช่องสัญญาณ differential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สวิทช์ SW6 เป็นสวิทช์ที่กำหนดย่านอินพุตของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล อยู่ในโหมดโลคอล (local) ใช้สัญลักษณ์เป็น LCL หรือโหมดรีโหมด (remote) ใช้สัญลักษณ์เป็น REM ถ้าอยู่ในโหมดโลคอลจะกำหนดย่านอินพุตโดยดิพสวิทช์ SW4 แต่ถ้าอยู่ในโหมดรีโหมดจะกำหนดย่านอินพุตโดยโปรแกรมในที่นี้ตั้งไว้ในโหมดรีโหมด

4. สวิทช์ SW4 เป็นดิพสวิทช์ 4 ตัวใช้ในการกำหนดย่านของสัญญาณอินพุตในโหมดโลคอลโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือยูนิโพลาร์ (unipolar) สัญลักษณ์ว่า U และไบโพลาร์ (bipolar) สัญลักษณ์ว่า B โดยการกำหนดตำแหน่งของดิพสวิทช์และย่านต่างๆ เป็นดังนี้

ตารางที่ 2 การกำหนดตำแหน่งดิพสวิทช์ของ SW4

ย่านสัญญาณ	ยูนิโพลาร์/ไบโพลาร์	D0	D1	D2	D3
+/-5V	B	ON	ON	ON	ON
+/-2.5V	B	OFF	ON	ON	ON
+/-1V	B	ON	OFF	ON	ON
+/-0.5V	B	OFF	OFF	ON	ON
0-10V	U	ON	ON	OFF	ON
0-5V	U	OFF	ON	OFF	ON
0-2V	U	ON	OFF	OFF	ON
0-1V	U	OFF	OFF	OFF	ON
+/-10V	B	ON	ON	OFF	OFF

ในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ต้องตั้งเนื่องจากกำหนดย่านอินพุตด้วยโปรแกรม

5. สวิทช์ SW2 เป็นสวิทช์ที่เลือกความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูลแบบ DMA แบ่งเป็น 2 ระดับคือระดับ 1 สัญลักษณ์เป็น 1 และระดับ 3 สัญลักษณ์เป็น 1 จะกำหนดไว้ที่ระดับ 3

6. สวิทช์ SW1 เป็นสวิทช์ในการกำหนดสัญญาณความถี่ของตัวนับเวลา 10 MHz หรือ 1 MHz ในการกำเนิดสัญญาณพัลซ์กระตุ้นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในที่นี้ตั้งไว้ที่ 1 MHz

7. จั๊มเปอร์ JP3 และ JP4 เป็นเลือกการสัญญาณอ้างอิงของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกช่องที่ 0 และช่องที่ 1 จากภายในหรือภายนอก ซึ่งกำหนดให้ใช้สัญญาณอ้างอิงจากภายใน

8. จั๊มเปอร์ JP5 เป็นการเลือกแหล่งจ่ายสัญญาณอ้างอิงภายใน –5V หรือ –10V ซึ่งกำหนดให้แหล่งจ่ายสัญญาณอ้างอิงเป็น –5V

9. จั๊มเปอร์ JP1 และ JP2 เป็นการเลือกให้ต่อสัญญาณกระตุ้น โดยกำหนดให้ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคอนเน็คเตอร์ที่รับสัญญาณอินพุต CN! และเอาท์พุต CN2 มีขนาด 20 ขา รายละเอียดสัญญาณของตัวคอนเน็คเตอร์ตามที่ใช้งานในวิทยานิพนธ์อธิบายดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 เป็นขาสัญญาณของอนาลอกอินพุต CN1

A/D H0	1	2	A/D L0
A/D H1	3	4	A/D L1
A/D H2	5	6	A/D L2
A/D H3	7	8	A/D L3
A/D H4	9	10	A/D L4
A/D H5	11	12	A/D L5
A/D H6	13	14	A/D L6
A/D H7	15	16	A/D L7
A.GND	17	18	A.GND
A.GND	19	20	A.GND

ตารางที่ 4 เป็นขาสัญญาณของอนาลอกเอาท์พุต CN2

D/A 0 REFIN	1	2	D/A 1 REFIN
D/A 0 OUT	3	4	D/A 1 OUT
A.GND	5	6	A.GND
-VREF	7	8	
	9	10	
	11	12	
	13	14	
	15	16	
	17	18	
	19	20	

โดยที่ A/D H หมายถึง สัญญาณอนาลอกอินพุตด้าน High

A/D L หมายถึง สัญญาณอนาลอกอินพุตด้าน Low

A.GND หมายถึง สัญญาณกราวน์

D/A หมายถึง สัญญาณอนาลอกเอาท์พุต

VREF หมายถึง แรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

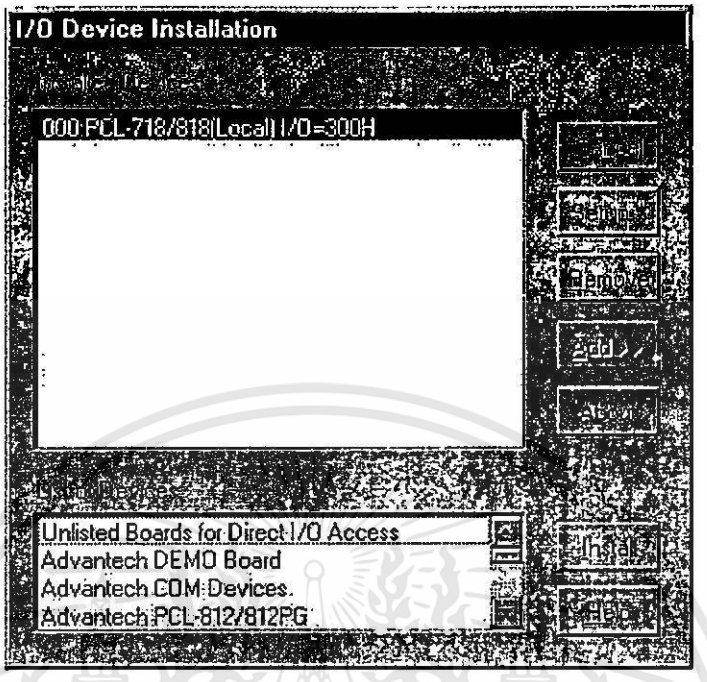
REFIN หมายถึง แรงดันอินพุตอ้างอิงจากภายนอก

หลังจากปรับแต่งการ์ด PCL-818 เรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการติดตั้งโปรแกรมเรียกว่าโปรแกรมเชื่อมต่อประยุกต์ (Application Program Interface: API) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ติดตั้งโปรแกรมเชื่อมต่อประยุกต์ในการรองรับการเขียนโปรแกรมด้วยวิชวลเบสิกของบริษัทไมโครซอฟท์โดยแบ่งเป็นโมดูลๆ ตัวซอฟแวร์ดังกล่าวจะมากับตัวการ์ดถ้าไม่มีสามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซท์ http://support.advantech.com เมื่อติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะต้องมีการปรับแต่งโปรแกรมดังนี้

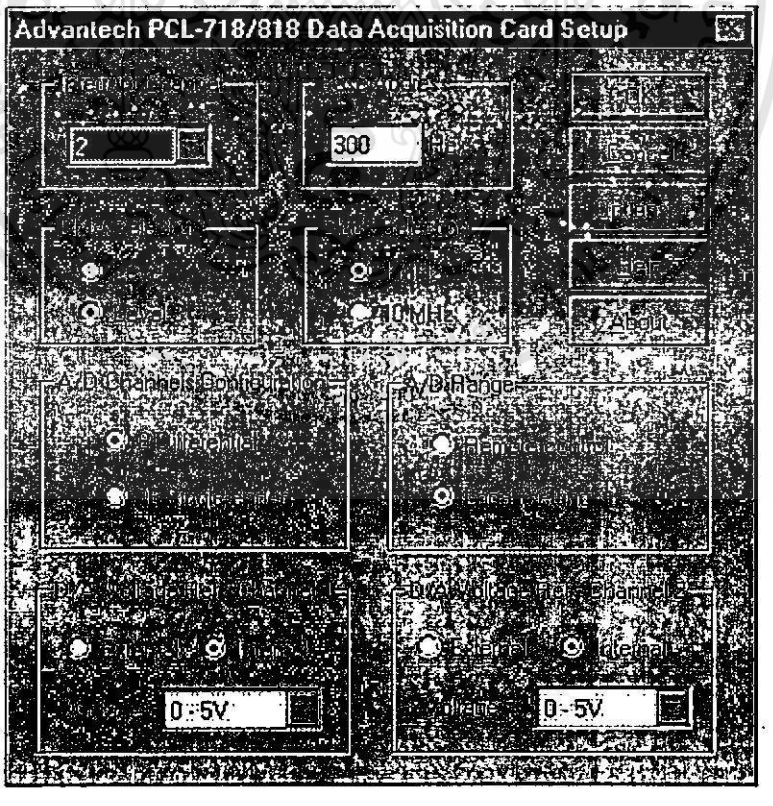
1. เรียกใช้งานโปรแกรม Advantech Device Installation ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นเมนูหลักแล้วเลือกที่ Setup จะมีเมนูรองดังรูปที่ 3 เป็น I/O Device installation จะมีส่วนที่แสดงว่า Installed Devices เพื่อแสดงชื่อของการ์ดที่ถูกติดตั้งไว้แล้ว เมื่อเข้ามาครั้งแรกต้องเลือกที่ปุ่ม ADD>> จะมีส่วนของ List of Devices แสดงขึ้นมาให้เลือกที่ Advantech PCL-718/818 แล้วเลือกปุ่ม Install จะมีเมนูย่อยขึ้นมาอีกดังรูปที่ 4 เป็นค่าที่ได้รับการติดตั้งจากส่วนที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงในเมนูย่อยนี้

รูปที่ 2 การเรียกใช้งานโปรแกรม Advantech Device Installation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การเลือกชนิดของการ์ดในการติดตั้ง



รูปที่ 4 ค่าที่ได้รับการติดตั้งในส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

การออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยนิวโรฟัซซี

Designing Automatic Neuro Fuzzy Controller

การพยากรณ์เปอร์เซ็นต์อาท์พุทของหัวอ่านฮาร์ดดิสค์โดยใช้นิวโรฟัซซี แบบจีเนททิคอัลกอริทึม

Head Gimbals Yield Forecasting Using Neuro Fuzzy Genetic Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสาร
ลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2542

1	แบบจำลองลุ่มแม่น้ำแบบ ๑-แบบแผนเพื่อการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ *ศักดา ธารดำรงค์ เมธพฤกษางาม จีรพันธ์ ร่มศิริบูญ*	1
7	การออกแบบและพัฒนาตัวรับข้อมูลแบบไม่สัมผัสเพื่อใช้งานกับหุ่นยนต์ 2 แขนของเครื่องจักร 3 แกน *มงคล บรสุวรรณ์ศรีไรจน์ ศรายวิช ทันสิทธิ์*	7
13	การวิเคราะห์ตัวเลขของการไหลแบบราบเรียบภายในท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมโดยวิธีการจำลองสิ่งแปลก *พงษ์ศักดิ์ พรหมวงศ์ สมชาย ศรีพัฒนะศิริพัฒน์*	13
19	การสร้างกลไกลัดทางของความต้านทานไฟฟ้าภายในวัสดุตัวนำ *เทอดชัย ฉมสวัสดิ์ ประกาศ สุวรรณะ กิติพล ตีสมุด นเรศ สังวรศิลปิ์*	19
25	การหาแนวทางของฮีสเตอเรซีสมาร์คอฟที่เหมาะสมสำหรับการรู้จำเสียงวรรณยุกต์ภาษาไทยเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูง *จิตลดา จารุมิตร์ ไกรสิน สิงวัฒนา อิทธิชัย บรุณศรีวัฒนไชย*	25
31	การใช้งานฟังก์ชันการสะท้อนกลับในภาษาโลโก้สำหรับการแปลงรูปเรขาคณิต *สุศักดิ์ วิงวิทย์ สมศักดิ์ มิตะธา รินรินา ศรีสมาน ศิริพงษ์ วรษ์ศาร*	31
36	การประมวลผลโปรแกรมแอสเซมบลี ARM 7 ที่สมมุติขึ้นด้วยภาษา VHDL *ประเสริฐ ยมจำปี มิตะธา วรเมธัส สัมลิมมรพัฒ ลาภัทย์ นองทอง*	36
41	การพัฒนาระบบฐานข้อมูลแบบโมดูลาร์โดยวิธี Wall Bracket *ชาญ เอมไม้ ชาญชัย ศิริวงศ์สมบูรณ์ กมลชัย เลขหมู่*	41
46	[illegible] *[illegible]*	46
52	การศึกษาระบบประสาทเสมือนสำหรับการแยกแยะตัวอักษรไทยแบบพิมพ์ *วิศรุตม์ พงษ์พงษ์ พิชชญ์ ศรีสังข์ทอง กฤษณ์ เลขหมู่ สรพีร์ ยิ้มนิ่ม มนูญ พ่วงทุล*	52
58	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกรองความถี่ด้วยวิธีการดูดซึมเสียที่ท่างานในโหมดกระแส *วิทยา [illegible] เกษมชัย เลขหมู่*	58
62	[illegible] *[illegible]*	62
67	[illegible] *[illegible]*	67
72	การสังเคราะห์ตัวกรองดิจิตอลแบบ R-MNI ด้วยวิธีการ Residue ในเครื่องชั่งแบบ ATM *วรวิทย์ ปุ่งกุล กอบชัย เพชรหมู่ ทีราวุฒิ สุวรรณจันทร์*	72
78	การหาค่าอัตราส่วนความถี่ที่การตั้งและวิเคราะห์ฮูลเตอร์ชนิดไดรนีส *ณรงค์ เสิดศุภกาชัยศร์ กอบชัย เอกนาญ ศีระวุฒิ สุวรรณจันทร์*	78
84	การควบคุมกระบวนการหลายจุดแบบอิสระแบบไม่เชิงเส้น *ชูเกียรติ เกียรติศุลหว หิรัญชี ศิริโมลวรรณ ชูศักดิ์ เพียบปิติพา*	84
90	การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมหลังงานผสมสูตรร่วมกับตัวควบคุม PID ในการควบคุมระบบของแรงดัน *ประกอบ เวียรัย ศิทธา บำนนิล ประสงค์ จุลเธียรวงศ์ ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์ ภูพรรณ กุลพนิชย์*	90
96	การออกแบบไอโอที่ทนสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคการติดตั้งไอโอที่ใช้ไอโอที่ชนิด แบบเรียกทิศตรงกันข้าม *ชาญพงษ์ เกษเทียน วิทยา ศิทธ์สุวรรณพงษ วิรัช กองรัตน์*	96
102	การควบคุมระดับไอโอที่ด้วยการควบคุมแบบฟัซซี *ณัฐวุฒ ไม้ประศิษฐ์ ประสิทธิ์ จุลเธียรวงศ์ วันชัย วิวัฒจา*	102
108	Study of Stability Of Fuzzy (PI+ID)' Control Systems *Phadungsak Sawasdee Wasan Vanijja*	108
113	การสร้างหัวอ่านสำหรับเครื่องวัดสภาพแบบเป่าด้วยอินฟา *พลภัทร ศรีปัญญาพงศ์ สุรชัย เกียรติอุไทร ไชยัน ปรีชาปรีชัย์ ทิพย์ทิพญไทร ศรีบัญญาพงศ์*	113
119	การศึกษาค่าจำกัดในการตรวจสอบตัวเหนี่ยวนำสัดส่วน *[illegible] วิทยา ทิพย์ภูวรวงศ์ เวฬิน ปิยวัลย์*	119
125	[illegible] Accelerometer โดยการใช้เทคนิคของ Laser Interferometry *[illegible]*	125
129	[illegible] *[illegible]*	129
134	[illegible] *[illegible]*	134
140	ชุดเฉลยข้อสอบที่น่าสนใจในการสอบคัดเลือก *เจริญ ลลิตประเสริฐ วิสุทธิ์ รุจิรุ่งเรือง อำนวิทย์ แจ้งชัด*	140
145	[illegible] *[illegible]*	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์เปอร์เซ็นเอาท์พุทของหัวอ่านฮาร์ดดิสค์โดยใช้นิวโรฟัซซี แบบจีเนททิคอัลกอริทึม

Head Gimbals Yield Forecasting Using Neuro Fuzzy Genetic Algorithm

จักรพงษ์ เกาเที่ยน วิทยา ทิพย์สุวรรณเพร วิริยะ กองรัตน์
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการพยากรณ์เปอร์เซ็นเอาท์พุทของหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ (Yield) โดยใช้นิวโรฟัซซีแบบจีเนททิคอัลกอริทึม ในการเริ่มต้นจะใช้วิธีการ Descent [6,7] ในการหาคำตอบฟัซซีของส่วน Consequent และใช้จีเนททิคอัลกอริทึม (Genetic algorithm) [8] หาคำตอบฟัซซีส่วนของ Antecedent ด้วยการเรียนรู้จากข้อมูลพารามิเตอร์หัวอ่านฮาร์ดดิสค์ในขบวนการผลิตที่เกิดขึ้นก่อนแล้วเก็บค่าฟัซซีอินเฟอเร็นซ์ไว้ ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลของขบวนการถัดไป ผลของการพยากรณ์ช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตได้ดีกว่าวิธีการทางสถิติที่ใช้อยู่ทั่วๆไปคือใช้ลีเนียร์รีเกรชชั่น (Linear regression)

Abstract

This paper presents the results yield forecasting of head gimbals assembly using neuro fuzzy genetic algorithm. The descent method [6,7] to find consequent part and genetic algorithm [8] to find antecedent of fuzzy logic is used the parameter of data from front line production and store in format fuzzy inference to forecast data of next process is studied. The result is useful to manage in their productions that better will be than yield forecasting the linear regression.

1. บทนำ

ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการพยากรณ์เปอร์เซ็นเอาท์พุทของหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ (Yield) โดยใช้นิวโรฟัซซีแบบจีเนททิคอัลกอริทึม ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสค์จะผลิตส่วนที่เล็กที่สุดคือระดับเวเฟอร์ (Wafer level), สไลเดอร์ (Slider level), ระดับหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ (Head Gimbals Assembly, HGA), ระดับอีบล็อก (E-block) ไปสู่ส่วนที่ใหญ่ที่สุดคือฮาร์ดดิสค์ (Hard disc Assembly) ซึ่งขบวนการผลิตของฮาร์ดดิสค์แต่ละขั้นตอนจะต้องมีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น ในระดับหัวอ่านฮาร์ดดิสค์จะใช้วัดฤดิบในระดับสไลเดอร์ซึ่งมีการวัดพารามิเตอร์มาแล้วระดับหนึ่งเมื่อประกอบเป็นหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ก็จะทำการตรวจวัดอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของขบวนการผลิตของส่วนระดับสไลเดอร์ที่เกิดก่อนสามารถนำไปพยากรณ์เปอร์เซ็นเอาท์พุทของขบวนการถัดไปคือหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ผลที่ได้จะช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตในขั้นตอนต่อไปคือจะผลิตต่อหรือยกเลิกการผลิต เนื่องจากว่าถ้าผลิตขั้นต่อไปต้องใช้วัตถุดิบและค่าแรงงานซึ่งผลลัพท์ที่ผลิตได้ทำให้ปริมาณของเสียมีมากกว่าการทิ้งสไลเดอร์ที่ไม่ดีไปจะทำให้เสียเงินและเวลาโดยไม่จำเป็น

วิธีการที่ใช้อยู่เป็นการพยากรณ์ทางสถิติคือใช้ลีเนียร์รีเกรชชั่น (Linear regression) ซึ่งมีข้อเสียในเรื่องความแม่นยำในการพยากรณ์กรณีที่มีข้อมูลของพารามิเตอร์อินพุทมีจำนวนมาก ระบบที่พัฒนามีความแม่นยำและเหมาะสมกับระบบที่มีอินพุทจำนวนมากและเอาท์พุทจำนวนมาก โดยในการตรวจวัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดมีตั้งแต่ 5 พารามิเตอร์ไปจนถึง 34 พารามิเตอร์ในบทความนี้ทำการทดลองที่ 34 พารามิเตอร์จากโปรดักท์ Dulango โดยใช้ข้อมูลจากบริษัท ซีเกทเทคโนโลยี จำกัด

2. ความเป็นมาของนิวโรฟัซซี

ระบบฟัซซีประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ฟัซซีเซตที่ให้เป็นตัวแปรอินพุทและเอาท์พุท, ฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิก (Membership function) ปัญหาที่พบในการออกแบบตัวระบบฟัซซี โดยใช้วิธีการออกแบบกฎการควบคุมจากความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีที่ไม่มีประสบการณ์หรือไม่มีความสมบูรณ์ในการถ่ายทอดประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญการออกแบบจะทำได้ยาก ระบบฟัซซีสามารถแมปให้อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไป เรียกว่า Universal approximators นำเสนอโดย Kosko [1] วิธีการดังกล่าวมีสามารถเป็นฟังก์ชั่นประมาณการไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไป (Approximating general nonlinear function)ได้ ในทำนองเดียวกันผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทแบบป้อนไปด้านหน้า (feedforward neural network) นำเสนอโดย Hornik [2] พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับฟัซซีเซต ซึ่งเราสามารถประยุกต์โครงข่ายประสาทในการปรับปรุงพารามิเตอร์ของระบบฟัซซีรวมเรียกวิธีการทั้งสองเข้าด้วยกันว่า Neuro Fuzzy [3,4]

ในการที่จะปรับปรุงพารามิเตอร์ของฟัซซีสามารถใช้วิธีการจีเนทติคอัลกอริทึม (Genetic algorithm) เป็นวิธีการในการปรับปรุงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทแบบเรียนรู้โดยการบังคับ (Reinforcement learning) [3] แบบหนึ่ง

3. จีเนทติคอัลกอริทึม (Genetic algorithm)

จีเนทติกอัลกอริทึม [3,4] เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดใช้กับในงานหลายด้าน โดยเลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ กล่าวคือสิ่งมีชีวิตที่มีความแข็งแรงและเข้ากับสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี จะสามารถมีชีวิตอยู่จริญเติบโต และให้ลูกหลานได้

ในเซลของสิ่งมีชีวิตจะมีส่วนที่เก็บลักษณะเฉพาะตัว (individual) ของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ เรียกว่าโครโมโซม (Chromosome) โครโมโซมจะอยู่กันเป็นคู่ๆ หลายคู่ในแต่ละเซล โดยสิ่งมีชีวิตชนิดต่างชนิดกันจะมีจำนวนคู่ของโครโมโซมในเซลไม่เท่ากัน โครโมโซมมีลักษณะเป็นสายของการเรียงตัวของยีน (Gene) โดยการเรียงตัวนี้จะมีตำแหน่งเฉพาะของยีนสำหรับสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว ยีนเป็นหน่วยที่เก็บข้อมูลต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตจะถูกถ่ายทอดต่อไปให้ยีนของลูกหลานโดยการผสมกับยีนอื่นด้วยการทำ Crossover หรือ Mutation เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของการเรียงตัวของยีนจากพ่อและแม่ ได้เป็นโครโมโซมในลักษณะใหม่ การทำ Crossover คือการตัดบางส่วนจากโครโมโซมของพ่อและแม่มาผสมกัน เพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่สองโครโมโซม ที่มีส่วนของโครโมโซมของพ่อและแม่อยู่ ส่วนการทำ Mutation คือการเรียงสับเปลี่ยนตำแหน่งของยีนแบบใหม่ที่มีลักษณะที่อาจไม่เหมือนพ่อและแม่เลยตัว กระทำแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นถ้าเราลองพิจารณาในแต่ละรุ่นของประชากรสิ่งมีชีวิตในรุ่นหลังๆ จะไม่ค่อยได้รับยีนของประชากรในรุ่นแรกๆ ที่ไม่แข็งแรง เนื่องจากประชากรที่ไม่แข็งแรงจะไม่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมและให้กำเนิดลูกหลานได้ ทำให้ประชากรรุ่นหลังๆ มีความแข็งแรงโดยเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดสูงกว่าประชากรรุ่นแรกๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โครงสร้างของนิวโรฟัซซีอีเนททิคอัลกอริทึม

ฟัซซีถอจิคสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการโดยตัวแปรอินพุทแสดงเป็น x_j $(j=1,\ldots,n)$ ในที่นี้ใช้ m=34 ตัวแปรเอาท์พุทเป็น y และฟัซซีอินเฟอเรนซ์แสดงได้ดังนี้

Rule i if x_1 is A_{i1} and ... and x_m is A_{im} then

$$y \text{ is } w_i \tag{1}$$

โดยที่ i $(i=1,\ldots,n)$ เป็นจำนวนของกฎอินเฟอเรนซ์, $A_{i1},\ldots,A_{im}$ เป็นฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกของส่วน Antecedent และ w_i เป็นจำนวนจริงของส่วน Consequent, เอาท์พุทของฟัซซี y หาได้จาก

$$\mu_i = \prod_{j=1}^{m} A_{ij}(x_j) \tag{2}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i} \tag{3}$$

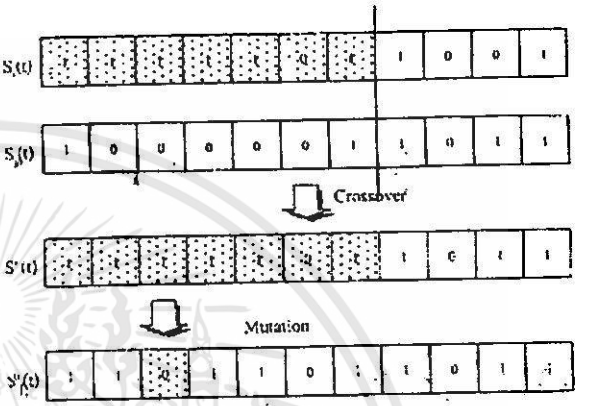
โดยที่ μ_i เป็นฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกของกฎอินเฟอเรนซ์ ลำดับที่ i

ใช้วิธีการ Descent [6,7] หาค่าของจำนวนจริงในส่วน Consequent w_i แสดงดังสมการ

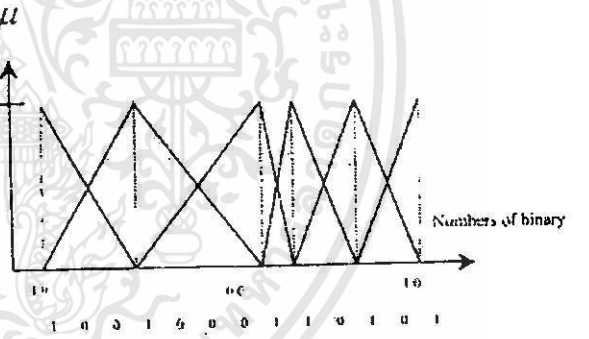
$$w_i(t+1) = w_i(t) - K \cdot \frac{\mu_i^p}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i^p}(y^p - y^{rp}) \tag{4}$$

โดยที่ t เป็นจำนวนรอบของการเรียนรู้, μ_i^p เป็นค่าสมาชิกของกฎอินเฟอเรนซ์ลำดับที่ i ที่ตอบสนองต่อข้อมูลอินพุทลำดับที่ p, K เป็นค่าคงที่ (Positive stepsize ในที่นี้หมายถึง learning rate ด้วยใช้ค่าคงที่เป็น 1) โดยที่ y^{rp} เป็นข้อมูลเอาท์พุทที่ต้องการสำหรับข้อมูลอินพุทลำดับที่ p $(x_1^p,\ldots,x_n^p)$ และ y^p เป็นเอาท์พุทของฟัซซีที่ตอบสนองต่อข้อมูลอินพุทลำดับที่ p $(x_1^p,\ldots,x_n^p)$ หรือถือในหนึ่งฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective function)

ใช้จีเนททิคอัลกอริทึม [8] หาจำนวนของกฎฟัซซีอินเฟอเรนซ์และรูปทรงของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกในส่วน Antecedent โดยแสดงดังรูปที่ 2 ฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิก



รูปที่ 1 ตัวดำเนินการในของจีเนททิคอัลกอริทึม



รูปที่ 2 แสดงฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิก

จะเป็นรูปสามเหลี่ยมและมีความกว้างกำหนดโดยความยาวระหว่างของศูนย์กลางของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกที่อยู่ใกล้เคียงกัน จำนวนและรูปทรงของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกแทนด้วยส่วนประกอบของสตริงของ 0 และ 1 ที่ตำแหน่งศูนย์กลางของแต่ละฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกแทนด้วย 1 โดยสตริงแสดงในรูปของสมการ

$$L_{j1}L_{j2}\ldots L_{jG} \tag{5}$$

ที่ $j=1,\ldots,m$, $L_{jr}(r=1,\ldots,G)$ (G หมายถึงความยาวของ individual) เป็นตัวแปรของค่าที่อาจเป็น 0 หรือ 1 ในที่นี้สตริงแทนตัวแปรอินพุท x_j ของฟัซซีการรวมกันของสตริง L_{jr} สำหรับเป็นตัวแปรอินพุท x_j ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าเขียนได้เป็นสมการติดต่อกันไปอยู่ในรูปของ $L_{11}...L_{1G}L_{21}...L_{2G}...L_{m1}...L_{mG}$ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของจีเนทิคอัลกอริทึมแทนด้วยคำว่า individual จำนวนของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกที่ดีที่สุดและตำแหน่งกลางหาได้จากตัวแปรแต่ละอินพุท ของจีเนทิคอัลกอริทึม

สมมุติให้ไปบิทแรกและบิทสุดท้ายของสตริงแทนด้วย 1 เพื่อให้แน่ใจว่าครอบคลุมบิททั้งหมด โดย L_{j1} แทนบิทแรกและ L_{jG} แทนบิทสุดท้ายเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\begin{cases} L_{j1} = 1 \\ L_{jG} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

โดยที่ $j = 1...., m$ การหาความแข็งแรง (fitness) ของจีเนทิคอัลกอริทึม ใช้เกณฑ์ของข้อมูล [9] ดังสมการ

$$C = N \cdot \log(E_{TRD}) + 2(\text{The number of parameters}) \quad (7)$$

ที่ E_{TRD} คือค่าบผิดพลาดจากข้อมูลที่นำมาสอน โดยข้อมูลของ C แสดงถึงความสามารถโดยรวมของการเรียนรู้และพฤติผลโดยทั่วไปของฟิซซี ถ้าค่าน้อยหมายถึงกฎอินเฟอเรนซ์ดีกว่า จำนวนทั้งหมดของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกกำหนดจากตัวแปรอินพุท x_j โดย N_j จำนวนของพารามิเตอร์แสดงในสมการ (7) หาได้จากสมการ

$$\text{The total of parameters} = \sum_{j=1}^{m} (N_j - 2) + \prod_{j=1}^{m} N_j \quad (8)$$

ค่าความแข็งแรง $E(s_r)$ ของจีเนทิคอัลกอริทึมกำหนดโดยสมการ

$$E(sr) = \max_r C(s_r) - C(s_r) \quad (9)$$

ขบวนการในการหากฎฟิซซีอินเฟอเรนซ์ที่ดีที่สุดโดยการใช้ จีเนทิคอัลกอริทึม มีดังขั้นตอนดังนี้

1) สุ่มค่าตัวเลข 0 หรือ 1 ให้กับ individual ทุกๆตัวแต่ละ L_{j2},..., L_{jG-1} แล้วแทน individual ด้วย $s_r(t)$ ที่ $r = 1...., R$ ให้เป็น generation ลำดับที่ 0 ($t=0$)

2) ใช้วิธีการเรียนรู้โดย descent เป็นการทำในขั้นตอนที่ 2.1 ถึง 2.5 ในการกำหนดของส่วน consequent ขบวนการกระทำกับทุกค่าของ individual $s_r(t)$ ที่ $r = 1...., R$ เริ่มต้นโดย จำนวนของ individual r มีค่าเริ่มต้นเป็น 1

2.1) จำนวนและรูปทรงของฟังก์ชั่นการเป็นสมาชิกในส่วนของ antecedent กำหนดตามสตริงของ individual $s_r(t)$ โดยให้จำนวนของข้อมูลอินพุท-เอาท์พุท, p มีค่าเริ่มต้นเป็น 1 และจำนวนรอบของการเรียนรู้โดยวิธี descent t ให้ค่าเริ่มต้นเป็น 1

2.2) ข้อมูลอินพุทของฟิซซีลำดับที่ p $(x_1^p, ..., x_m^p)$ ถูกกระทำโดยสมการที่ 2 และ 3 ในการกำหนดค่าการเป็นสมาชิก μ_j^p ของแต่ละกฎอินเฟอเรนซ์และได้เอาท์พุทของฟิซซี y^p

2.3) จากเอาท์พุทของ y^p, ค่าการเป็นสมาชิก μ_j^p และเอาท์พุท y_j^{rp} จำนวนจริงในส่วน consequent คือ w_j ถูกแทนค่าในสมการที่ 4

2.4) เปรียบเทียบจำนวนข้อมูลอินพุท-เอาท์พุท, p กับจำนวนข้อมูลอินพุท-เอาท์พุททั้งหมดแทนด้วย P ถ้า $p < P$ กลับไปทำในข้อ 2.2 เพิ่มค่า p ขึ้น 1 ถ้าไม่ทำขั้นตอนต่อไป

2.5) เปลี่ยนค่า inference error จนได้ค่าที่ต้องการตามสูตร โดยค่าที่ได้เป็นการเรียนรู้ของวิธีการ descent

$$\left|E_{TRD}(t) - E_{TRD}(t-1)\right| < \delta \quad (10)$$

โดยที่ δ เป็นค่า threshold เพื่อตัดสินการเข้าหาค่า inference error E_{TRD} จากการทดลองใช้ค่า 0.01 (สามารถลดลงถึง 1×10^{-5} ก็ได้แต่ทำให้การเรียนรู้ใช้เวลามากขึ้น) ถ้าค่าสมการ (8) ไม่พอใจเพิ่มค่า r อีก 1 และให้ค่า p เป็น 1 กลับไปขั้นตอนที่ 2.2 ถ้าค่าสมการ (8) พอใจค่าความแข็งแรง $E(s_r)$ ให้ค่าเข้าหา inference error E_{TRD} โดยการใช้สมการ (5) ถึง (7) และเลือกความน่าจะเป็น โดยสมการ [8]

$$P_{sr}(t) = \frac{E(s_r(t))}{\sum_{r=1}^{R} E(s_r(t))} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $r = 1,..., R$ ถ้าค่า $r < R$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 2.1 เพิ่มค่า r อีก 1 ให้จำนวนของ individual k เริ่มต้นเป็น 1 ทำขั้นต่อไป

3) นำ individual 2 ตัว $s_i(t)$ และ $s_j(t)$ เลือกจาก $S(t)$ ตามความน่าจะเป็น $P_{si}(t)$ และ $P_{sj}(t)$ [8]

4) ใช้ crossover [8] กระทำกับ 2 individual ที่ถูกเลือกในการทำค่า individual ใหม่ $s'_k(t)$ โดยฟังชันมีตัวแปรอินพุท m ตัวต่อ m ชุด crossover

5) ใช้ mutation [8] กระทำกับแต่ละ individual $s'_k(t)$ ตามความน่าจะเป็น mutation P_m (1/pop size=1/50)

6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 จนกระทั่งจำนวนของ individual k กลายเป็น R

7) ประชากรใหม่ $S'(t) = \{s'_1(t), s'_2(t),..., s'_R(t)\}$ ที่เกิดจากขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 ถูกกำหนดเป็น $S(t+1)$

8) จำนวนของ generation t เพิ่มขึ้น 1 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 8 จนกระทั่งเข้าหาประชากร S ที่ต้องการ โดย individual มีที่ความแข็งแรงมีค่าสูงสุดโดยเข้าหาประชากรที่กำหนดเป็นคำตอบสุดท้ายซึ่งคือผลต่างของค่าเอาท์พุทที่ต้องการกับค่าที่ได้เอาท์พุทของระบบซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดแต่ละ generation ต่ำกว่าค่า threshold (0.01)

โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้นดังนี้ bit length =3, generation size หรือ population size =50, crossover probability=0.6 (เงื่อนไขในการเรียกใช้ crossover), Maximum gens=200 (จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ)โปรแกรมทั้งหมดเขียนด้วย Microsoft Visual Basic 5.0

5.ผลการทดลอง

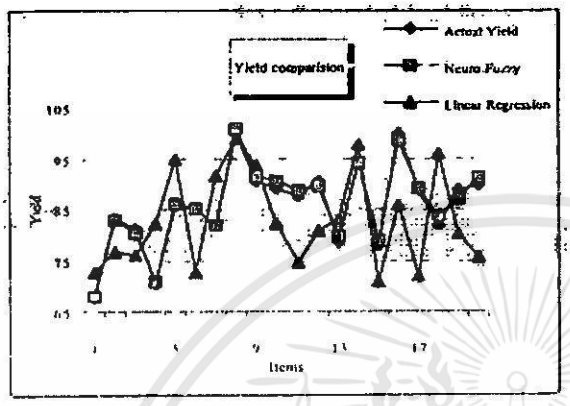
นำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ทำการวัดในระดับสไลเดอร์มาเรียนรู้ข้อมูลโดยโปรแกรมนิวโรฟัซซีแบบจีเนทติคอัลกอริทึม(NF) โดยข้อมูลที่นำมาสอนเป็นข้อมูลของสไลเดอร์ 2,000 สไลเดอร์ มีพารามิเตอร์ 34 พารามิเตอร์ 1 เอาท์พุท เมื่อทำการเรียนรู้แล้วนำข้อมูลที่จะทดสอบจำนวน 20 สไลเดอร์ โดยการเบค์แปรเซ็นเอาท์พุท มาทดสอบเทียบกับ Linear Regression, LR กับค่าจริงแสดงดังตารางที่ 1 โดยเงื่อนไขของข้อมูลต้องเป็น Normal curve และการกระจายของข้อมูลต้องมีทั้งของดีและของเสียครอบคลุมทั้งหมดตรวจสอบข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab

จากตารางที่ 1 และกราฟที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Actual Yield กับผลการพยากรณ์ของโปรแกรมนิวโรฟัซซีแบบจีนทติคอัลกอริทึม (NF) มีค่าความคลาดเคลื่อนความใกล้เคียงกว่าการพยากรณ์โดยลิเนียร์รีเกรชชั่น (LR) จากการใช้โปรแกรม Minitab v.12

ลำดับที่	ค่า Yield จริง	ค่า Yield จาก NF	ค่า Yield จาก LR
1	67.480	68.055	72.731
2	83.237	82.706	76.718
3	81.061	80.190	75.902
4	70.488	70.802	81.991
5	85.551	86.156	94.725
6	85.093	85.074	72.740
7	81.684	81.814	91.376
8	100.000	101.035	98.735
9	90.476	91.450	93.548
10	89.015	90.293	82.272
11	87.373	88.751	74.585
12	90.506	89.335	80.760
13	78.571	79.399	82.926
14	94.231	94.149	97.547
15	77.555	78.840	70.970
16	100.000	98.299	85.799
17	88.571	89.114	72.069
18	81.879	83.636	95.882
19	88.591	86.839	80.058
20	89.804	91.126	75.692

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Yield กับผลการพยากรณ์ของโปรแกรมนิวโรฟัซซีแบบจีเนทติคอัลกอริทึม (NF)และ ผลการพยากรณ์ โดย Linear Regression (LR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 1 แสดงผลต่างของ Yield ของ 2 วิธี

6. สรุปผล

การพยากรณ์เปอร์เซ็นเอาท์พุทของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้นิวโรฟัซซีแบบจีเนทิคอัลกอริทึมให้ผลใกล้เคียงและแม่นยำกว่าการพยากรณ์โดยวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลอินพุทที่มีจำนวนมากและเอาท์พุทจำนวนมาก เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของ NF จะมากกว่า LR มากเนื่องจากตัวแปรอินพุทมีมากทำให้ประชากรที่ใช้ในการเรียนรู้เพิ่มมากในทางปฏิบัติต้องการความแม่นยำมากกว่า การ Initial population of string เป็นแบบสุ่มเวลาใช้ในการเรียนรู้ครั้งแรกจะมากแก้ไขโดยเก็บค่าที่เรียนรู้ครั้งแรกไว้เป็น Initial population ครั้งต่อไปแล้วเพิ่มข้อมูลใหม่ที่จะเรียนรู้เวลาจะลดลงเนื่องจากข้อมูลการวัดของสไลเดอร์กระจายภายใน Normal curve วิธีการปรับเพารามิเตอร์ของฟัซซีโดยใช้แบบจีเนทิคอัลกอริทึมสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมที่ใช้ฟัซซีลอจิคต่างๆได้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] B. Kosko. "Fuzzy System as Universal Approximators" , FUZZ-IEEE , pp.1153-1162,(1992)

[2] K. Hornik, M. Stinchomobe and H. White, "Multilayer Feedforward Networks are univeral Approximators", Neural Network 2 (1989) pp.359-366.

[3] J.S.R. Jang, C.T. Sun and E. Mizutani. "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall, 1997

[4] Chin-Teng Lin, C.S George Lee "Neural Fuzzy System" , Pentice-Hall, 1996

[5] Martin Brown, Chris Harris, "Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control", Prentice-Hall, 1994

[6] H. Nomura, I. Hayashi, N. Wakmi, "A self-tuning method of fuzzy control by descent methodProc. of IEEE International Conference on Fuzzy System, pp.155-158, 1991.

[7] H. Nomura, I. Hayashi, N. Wakmi, "A learning method of fuzzy inference rules by descent method" Proc. of IEEE International Conference on Fuzzy System, pp 203-210, 1992

[8] .Abraham Kandel, Gideon Langholz "Fuzzy control system", CRC press, pp 357-354, 1994.

[9] .H. Akaike, "A new lok at the statistical model identification", IEEE Trans. on Automatic Control, AC-19, No, 6 1974.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาดกระบัง

วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2543

1. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลิปที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน 1
ประภาษ ไหวสุวรรณา สมุวัฒน์ จางวนิชสิส สุรเชษฐ เตชพิ

2. การออกแบบตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบสลิปซิงโครนัสที่ใช้ตัวแปลงที่ไอโอดใช้เจเนติกอัลกอริทึมที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว 7
ภานนท์ วรกุลพิพัฒน์ คมสิบค์ หงษ์สมบัติ มณฑล อี๊ดางินดาไกรฤกษ์

3. เครื่องมือวัดค่าองค์ประกอบสมมาตรและระดับความไม่สมดุลของกระแสไฟฟ้า 13
สายัณห์ ศรีไหมมล ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

4. การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดเส้นบ่านความถี่ต่ำที่เหมาะสม 19
อัศวิน อัศวุตมางกูร สิงหล ไพร์ทองศิริวัฒน์ ชัยวุฒิ มัตวสูหัก

5. วงจรแอมพลิฟายเออร์ชนิดเกตร่วมแบบมิดเรนจ์แสดงการโหนิกส์: วิธีการคำนวณกระแสอคลนซและ ไม่ต้องวัดค่ากระแสยาร์โมนิกส์ 25
สมิทธิ์ สมุลหงส์ สมโภชน์ ประไพ

6. การวิเคราะห์เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยใช้สัญญาณอินเวอร์เตอร์แบบบนุกรม 31
สิทธิโชค สินรัตน์ วิริยะ พิชธรุจำเริญ

7. การแบ่งส่วนภาพ MR โดยเทคนิคการรวมช่วงประสาทไฟฟ์ 37
ม่นวาน จันทร์กองสอ ชม กิ่มปาน

8. การกำจัดสัญญาณรบกวนสัมพันธ์ในภาพโดยตัวกรองฟัซซี่ 43
กมลฤติ บุลยงค์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

9. อัลกอริทึมสร้างภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าภายในวัตถุด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์สามมิติ 49
ภาษิต อุกษวัฒน์ เทพสถิต ธนควโรตม กิสิพล ชิดสกุล ประภากร อุวรรณะ มนัส สังวรศิลป์

10. การควบคุมตำแหน่งขนานหย่อนด้วยสองลิงก์ต่าง 55
ธนา ภัทวเดช ปิติเขต สุรักษา

11. เทคนิคการพลศาสตร์ย้านาทบิดของแขนกลโดยตัวข้อต่อเดียวชนิดแขนเกง 61
ภูวนาถ ต่างรูหว ปิติเขต สุรักษา

12. การควบคุมสเตปปิงมอเตอร์แบบวงเปิดด้วยเทคนิคโปรไฟล์ความเร็ว 67
พลรัฐ ทองเจือ ชนทวัฒน์ จูลเดชะ โยธิน เปรมปราณีรัชต์

13. เครื่องปล่อยของเหลวควบคุมโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ค 73
เอก ไชยสวัสดิ์ เดชา ชุมพาลี

14. การลอกแบบด้วยควบคุมดิจิตอลโดยนิวโรฟัซซี่ 79
จักรพงษ์ เกาเกี้ยม วิทวัส ศิพย์สุวรรณพงษ ประสิทธิ์ จูลเสรีวงศ์ ชาญชัย ม่วมสำราญ

15. การออกแบบและสร้างมิเตอร์วัดความหนาแน่นของโพรไพลีนโดยใช้ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความหนืนและอุณหภูมิ 85
สมบัติ บุญประเสริฐ กิตติ ศิรเศรษฐ

16. Applied Fuel Gas Flow Correction Technique into the Process Industries 91
Manchid Janchaicharoen Prasit Jaiboonyoung Kitti Tirasesth

17. การออกแบบระบบเครื่องชั่งผสมพิมพ์ดดโดยรวมเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบการฟฟิค 97
สุชาติ สิทธิสำอางค์ กอบชัย เตชหาญ

18. การวิเคราะห์สมรรถนะของการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นและการไม่เข้ารหัสของระบบไดเร็คซีเควน CDMA บนช่องสัญญาณนาคากามิ 103
ปริญญา เรืองศิริโพศาล กอบชัย เตชหาญ สมยศ จุณณะปิยะ

19. การออกแบบวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขที่ใช้โครงสร้างเลขชดเชิดกระจายโดยการแทนค้วยปริภูมิสเตท 109
ศรวัฒน์ ชัวบริรา กอบชัย เตชหาญ

20. วงจรกรองสัญญาณชนิดโหมดอิดหลายเฟสที่ปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ 115
วิจิตรา เพ็ชรกิจ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ วชัยลักษณ์ ประสงค์สุข วิภา แสงพิสิทธิ์

21. วงจรกรองพลิลเลเตอร์แบบหลายเฟสที่ปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ 121
แสงระวี ตั้งกุลบริบูรณ์ อนุรี หล่อสวัสดิ์ศิริ วิภา แสงพิสิทธิ์ วลัยลักษณ์ ประสงค์สุข

22. การออกแบบวงจรสายพานกระแสชนิดพอร์ทอินพุทเป็นศึกคาแตกต่าง 127
ภัทรศิษฏ์ พันธุ์กระวี กอบชัย เตชหาญ

23. การออกแบบวงจรเทอร์นาร์ซินิทท์ทริกเกอร์แบบปรับค่าอิสเทอร์รีซิส 133
กฤษณ์ อ่างแก้ว สิริชัย สุเมธวรกุล กอบชัย เตชหาญ สมยศ จุณณะปิยะ วิษณุ กอพยัคมินทร์

24. Realization of Grounded Immittance Function using a Single CCII and their Applications to Current-Mode Biquad Synthesis 138
Tanya Sattaya-aphiban Boonruk Chipipop and Bouchaisuen Sitdhiwaket

25. Improved Approximate Effective Frequency Dependent Parameter of Microstrip Line for Circular Microstrip Disk Antennas 144
Nirun Kumpasert and Amnoiy Ruengwaree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยนิวโรฟัซซี

Designing Automatic Neuro Fuzzy Controller

จักรพงษ์ เกาเทียน วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ อาจินต์ น่วมสาราญ
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเองโดยการเรียนรู้จากผลการควบคุม ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟัซซีลอจิคด้วยโครงข่ายประสาทแบบแบ็คปรอบปะเกชัน ใช้ตัวควบคุมที่สร้างด้วยซอฟแวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ในการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอนี้มีสมรรถนะที่ดีในด้านผลตอบสนองสัญญาณอ้างอิง เมื่อเทียบกับตัวควบคุม PID มาตรฐาน

Abstract

This paper presents the design and implementation of neuro fuzzy controller self-organizing for tuning the fuzzy logic parameter using back-propagation neural network. The controller is implemented by software on a microcomputer to control the unknown transfer function system of real plant for testing the learning efficiency of self-organizing and proper parameter tuning. The results are shown that the performance of this controller is improved in term of set-point compared with PID standard controller

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีฟัซซีลอจิค (Fuzzy logic) และโครงข่ายประสาท (Neural network) เป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษาและอุตสาหกรรม ในส่วนของโครงข่ายประสาทมีข้อดีคือความสามารถในการเรียนรู้ ความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) ในส่วนของฟัซซีลอจิคมีการคิดคล้ายกับการคิดของมนุษย์ ใช้กฎของ IF-THEN มีความง่ายในการทำความเข้าใจและประยุกต์ใช้กับความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เมื่อรวมเอาข้อดีของโครงข่ายประสาทและฟัซซีลอจิคเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถนำการเรียนรู้ในระดับต่ำและการคำนวณที่มีประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทต่อฟัซซีลอจิคและยังใช้การทำงานในระดับสูงในเรื่องของการคิดแบบมนุษย์ ใช้กฎ IF-THEN และเหตุผลของฟัซซีลอจิคต่อโครงข่ายประสาท เป็นการเสริมข้อดีของทั้งสองวิธีการในการประยุกต์เป็นตัวควบคุมอัตโนมัติแบบปรับตัวเองได้ [1]

การรวมกันของฟัซซีกับโครงข่ายประสาทแบ่งเป็น 2 แบบคือ Neural network based fuzzy systems กับ Fuzzy logic based neural network models วิธีการแรกมีส่วนประกอบหลักจะเป็นส่วนของฟัซซีคือมีฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy inference) และดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) ใช้โครงข่ายประสาทในส่วนวิธีการของแบ็คปรอบปะเกชัน (Back-Propagation) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ antecedent และพารามิเตอร์ส่วนของ consequent ของฟัซซี [2] ซึ่งเป็นวิธีที่ศึกษาในบทความนี้ รวมเรียกวิธีการทั้งสองเข้าด้วยกันว่า Neuro Fuzzy [1,2] วิธีที่สองมีส่วนประกอบหลักเป็นโครงข่ายประสาทคือการการมีส่งถ่ายข้อมูลผ่านเลเยอร์ การถ่วงน้ำหนักของข้อมูลจากโหนดในเลเยอร์แรกสู่เลเยอร์ถัดไป การมี Threshold ใช้ฟัซซีในขบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในโครงข่ายซึ่งไม่กล่าวในบทความนี้ [1]

2. ทฤษฎีของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี

โครงสร้างของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี และส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์

2.1 ส่วนพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

ฟัซซีลอจิคสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการที่ (1) เรียกว่ากฎฟัซซีชิงเกิลตัน (Fuzzy singleton rule) [1,3,4] โดย x_i เป็นตัวแปรอินพุต (i คือจำนวนอินพุต $i=1,\ldots,n$ จากการทดลองใช้ n=2) y เป็นตัวแปรเอาท์พุต

Rule l : if x_1 is F_1^l and ..... and x_n is F_n^l then

$$y \text{ is } \bar{y}^l \qquad (1)$$

โดยที่ l เป็นจำนวนของกฎฐานควบคุมฟัซซี (fuzzy rule base) มีค่า $1,\ldots,M$ จากการทดลองใช้ M เท่ากับ 49 $F_1^l,\ldots,F_n^l$ เป็นลิงกวิสติกของส่วน antecedent โดย $\mu_{F_i^l}(x_i)$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\bar{y}^l$ เป็นจำนวนจริงของส่วน consequent เอาท์พุตของฟัซซี $f(x)$ ซึ่งใช้ในการควบคุมระบบโดยมีอินพุตเวกเตอร์ $x=[x_1,x_2,\ldots,x_n]$ สามารถแสดงให้อยู่สมการที่ (2) [1,3,4]

$$f(x)=\frac{\sum_{l=1}^{M}\bar{y}^l\mu_l}{\sum_{i=1}^{M}\mu_i} \qquad (2)$$

โดยที่ μ_l เป็นผลที่ได้จากการอินเฟอเรนซ์ของค่าที่ได้จากฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากส่วน antecedent

ระบบฟัซซีที่ทำการทดลองเลือกฟัซซีฟิเคชันแบบฟัซซีชิงเกิลตัน (fuzzy singleton) เนื่องจากระบบที่ทดลองมีสัญญาณรบกวนไม่สูงนัก [3] ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ใช้แบบ product inference เนื่องจากมีการคำนวณที่ง่ายและให้ผลที่มีประสิทธิภาพ [3] แสดงดังสมการที่ (3) ดีฟัซซีฟิเคชันแบบ center average เนื่องจากระบบที่ใช้เป็นการปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟัซซีด้วยโครงข่ายประสาททำให้อัลกอริทึมในการปรับแต่งให้ผลที่รวดเร็วกว่า [3] แสดงดังสมการที่ (2) เลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในส่วนของ antecedent เป็นแบบฟังก์ชันเก๊าส์เซียน (Gaussian-function) เนื่องจากมีความต่อเนื่องของรูปทรงและเหมาะสมกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น [3] แสดงดังสมการที่ (4)

$$\mu_l=\mu_{F_1^l}(x_1)\times\cdots\times\mu_{F_n^l}(x_n)=\prod_{i=1}^{n}\mu_{F_i^l}(x_i) \qquad (3)$$

โดยที่ $\prod$ หมายถึงการคูณกันของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{F_i^l}(x_i)=\exp\left(-\left(\frac{x_i-\bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right) \qquad (4)$$

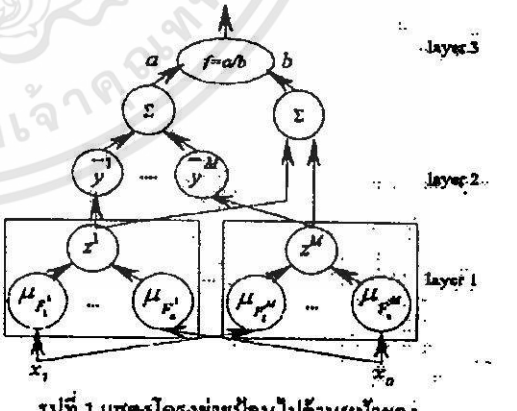
โดยที่ $\bar{x}_i^l$ เป็นค่ากลาง (mean) และ σ_i^l เป็นความกว้าง (variance) ของรูปทรงเก๊าส์เซียน ตามลำดับ

จากสมการ (4) แทนลงในสมการ (3) และจากสมการ (3) แทนในสมการ (2) จะได้เอาท์พุตของฟัซซีดังสมการที่ (5) ได้ [3,4]

$$f(x)=\frac{\sum_{l=1}^{M}\bar{y}^l\left[\prod_{i=1}^{n}\exp\left(-\left(\frac{x_i-\bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right)\right]}{\sum_{l=1}^{M}\left[\prod_{i=1}^{n}\exp\left(-\left(\frac{x_i-\bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right)\right]} \qquad (5)$$

2.2 การปรับแต่งพารามิเตอร์ฟัซซีลอจิค

จากสมการ (5) สามารถแทนด้วยโครงข่ายแบบป้อนไปด้านหน้า (Feedforward network) 3 เลเยอร์ [3,4] ดังรูปที่ 1 โดยการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนป้อนไปด้านหน้า (feedforward) และส่วนป้อนกลับจากด้านหลัง (backward) ในส่วนป้อนไปด้านหน้า มีการทำงานในแต่ละเลเยอร์ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงโครงข่ายป้อนไปด้านหน้าของระบบฟัซซีลอจิค [3,4]

เลเยอร์ที่ 1 เป็นการรวมฟัซซีฟิเคชันและอินเฟอเรนซ์ไว้ในเลเยอร์นี้มีการทำงานคือการเปลี่ยนค่าอินพุตของตัวควบคุมให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรฟัซซีด้วยสมการที่ (4) ผลที่ได้เป็นระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิงกวิสติคและอินเฟอเรนซ์ด้วยสมการที่ (3) เป็นการนิยามฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลิงกวิสติกแต่ละตัวมาคูณกันผลที่ได้แทนด้วยตัวแปร z^l รวมสมการ (3) และ (4) เข้าด้วยกันจะได้ดังสมการ (6) [3,4]

$$z^l = \prod_{i=1}^{n} \exp\left(-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right) \qquad (6)$$

เลเยอร์ที่ 2 ผลที่ได้จากเลเยอร์ที่ 1 แบ่งเป็น 2 ทางคือทางด้านตัวแปร a นำผลการอินเฟอเรนซ์ค่า z^l คูณกับค่า $\bar{y}^l$ ซึ่งเป็นจำนวนจริงของส่วน consequent แล้วมารวมกันแทนด้วยสมการ (7) [3,4]

$$a = \sum_{l=1}^{M} (\bar{y}^l z^l) \qquad (7)$$

และทางด้านตัวแปร b เกิดจากการรวมกันของค่า z^l แทนด้วยสมการ (8) [3,4]

$$b = \sum_{l=1}^{M} z^l \qquad (8)$$

เลเยอร์ที่ 3 เป็นเอาท์พุตของระบบคือการนำค่า a หารด้วย b จะได้ $f = a/b$, ซึ่งเมื่อแทนค่าสมการทั้งหมดจะได้เอาท์พุตของระบบดังสมการที่ (5)

ส่วนป้อนกลับจากด้านหลังเป็นการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของฟัซซีโดยใช้วิธีการ gradient descent [4] จากสมการที่ (5) มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับแต่งได้คือ $\bar{y}^l$ $\bar{x}_i^l$ และ σ_i^l ระบบการปรับแต่งพารามิเตอร์จะปรับแต่งในเลเยอร์ที่ 1 และ 2 นำคู่ของอินพุต-เอาท์พุตในสภาวะปัจจุบันป้อนให้กับโครงข่ายโดยมีค่าอินพุต-เอาท์พุตที่ต้องการแทนด้วย (x^p, d^p) โดยทำการหาผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean square error) สมการที่ (9) [3,4] ของระบบฟัซซีลอจิคในสมการ (5) กับค่าเอาท์พุตต้องการ d^p

$$e^p = 1/2[f(x^p) - d^p]^2 \qquad (9)$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณแทน e^p $f(x^p)$ และ d^p ด้วย e f และ d ตามลำดับอัลกอริทึมทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ $\bar{y}^l$ $\bar{x}_i^l$ และ σ_i^l มีการทำงานดังนี้ในการปรับแต่งค่าของ $\bar{y}^l$ [3,4] ใช้

$$\bar{y}^l(k+1) = \bar{y}^l(k) - \alpha_1 \frac{\partial e}{\partial \bar{y}^l}\Big|_k \qquad (10)$$

โดยที่ $l = 1,2,\ldots,M, k = 0,1,2,\ldots$ และ α เป็นค่า Learning rate [3,4] จากรูป 1 จะเห็นว่า f ขึ้นกับ $\bar{y}^l$ อย่างเดียว ใช้กฎลูกโซ่จะได้ [3,4]

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{y}^l} = (f-d)\frac{\partial f}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial \bar{y}^l} = (f-d)\frac{1}{b}z^l \qquad (11)$$

แทนค่า (11) ใน (10) จะได้อัลกอริทึมในการปรับแต่งค่า $\bar{y}^l$ เป็นค่าที่อยู่เลเยอร์ที่ 2 จากรูปที่ 1 แสดงดังสมการ (12) [3,4] ดังนี้

$$\bar{y}^l(k+1) = \bar{y}^l(k) - \alpha_1 \frac{f-d}{b} z^l \qquad (12)$$

ในการปรับแต่งค่าในเลเยอร์ที่ 1 มีสองตัวแปรคือ $\bar{x}_i^l$ และ σ_i^l [3,4] โดย

$$\bar{x}_i^l(k+1) = \bar{x}_i^l(k) - \alpha_2 \frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l}\Big|_k \qquad (13)$$

โดยที่ $i = 1,2,\ldots,n$, จากรูปที่ 1 ค่า f ขึ้นอยู่กับ $\bar{x}^l$ ใช้กฎลูกโซ่จะได้ดังสมการ (14) [3,4]

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l} = (f-d)\frac{\partial f}{\partial z^l}\frac{\partial z^l}{\partial \bar{x}_i^l}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{x}_i^l} = (f-d)\frac{\bar{y}^l - f}{b} z^l \frac{2(x_i^p - \bar{x}_i^l)}{\sigma_i^{l2}} \qquad (14)$$

แทนค่า (14) ใน (13) จะได้อัลกอริทึมในการปรับแต่งค่า $\bar{x}^l$ [3,4] ดังนี้

$$\bar{x}^l(k+1) = \bar{x}^l(k) - \alpha_2 \frac{f-d}{b}(\bar{y}^l - f) z^l \frac{2(x_i^p - \bar{x}_i^l(k))}{\sigma_i^{l2}(k)} \qquad (15)$$

ใช้วิธีการเดียวกันในการปรับแต่งค่าของ σ_i^l ดังสมการที่ (17) [3,4]

$$\sigma_i^l(k+1) = \sigma_i^l(k) - \alpha_3 \frac{\partial e}{\partial \sigma_i^l}\Big|_k \qquad (16)$$

$$= \sigma_i^l(k) - \alpha_3 \frac{f-d}{b}(\bar{y}^l - f) z^l \frac{2(x_i^p - \bar{x}_i^l(k))^2}{\sigma_i^{l3}(k)} \qquad (17)$$

3. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

การทดลองใช้ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่สร้างด้วยโปรแกรม Visual Basic 5.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Cyrix 166 MHz RAM 32 Mb) ควบคุมกระบวนการซึ่งเป็นชุดทดลอง ในการทดลองต้องการศึกษาสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีโดยควบคุมระดับน้ำสองถังซึ่งเป็นกระบวนการอันดับสองดังรูปที่ 5 เปรียบเทียบกับการทำงานของตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมมาตราฐาน PID (Yokogawa YS100)

การกำหนดพารามิเตอร์และค่าเริ่มต้นต่างๆ มีดังนี้

3.1 ฟัซซิฟิเคชันในการทดลองใช้วิธีการซิงเกิลตัน ประกอบด้วยการทำงานดังนี้

(1)กำหนดตัวแปรอินพุต 2 ตัวคือค่าผิดพลาด (error,e) และการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (change of error,Δe) การคำนวณหาค่าตัวแปรอินพุต e หาได้จากผลต่างของค่าสัญญาณอ้างอิงกับค่าสัญญาณป้อนกลับจากกระบวนการดังสมการ (18)

$$e(nt) = SP - P(nt) \qquad (18)$$

โดยที่ $e(nt)$ คือค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nt

SP คือค่าสัญญาณอ้างอิงที่รับจากคีบอร์ด

$P(nt)$ คือสัญญาณป้อนกลับของกระบวนการที่เวลา nt โดยที่ n เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม

สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด (Δe) ได้จากผลต่างของค่าผิดพลาดปัจจุบันกับค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ดังสมการ (19)

$$\Delta e(nt) = e(nt) - e(nt-1) \qquad (19)$$

โดยที่ $\Delta e(nt)$ คือค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา nt

$e(nt-1)$ คือค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา $nt-1$

(2)กำหนดตำแหน่งและรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน ดังสมการที่ (4) บนช่วงดังรูปที่ 2 โดยความหมายและค่ากลาง ($\bar{x}_i^l$) เริ่มต้นของแต่ละตัวดังนี้

NB = Negative Big = -100 PB = Positive Big = 100
NM = Negative Medium = -66.67 PM = Positive Medium = 66.67
NS = Negative Small = -33.33 PS = Positive Small = 33.33
ZE = Zero Equal = 0

และค่าความกว้าง (σ_i^l) เริ่มต้นกำหนดเท่ากันคือ 30

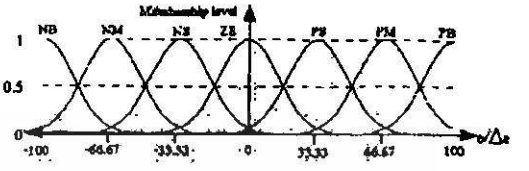
3.2 อินเฟอเรนซ์ใช้วิธีดิ้งสมการที่ (3)

3.3 Fuzzy rule base เป็นรูปกฎการควบคุมแสดงดังสมการที่ (20) [3,4]

Rule l : if e is F_1^l and Δe is F_2^l then

$$y \text{ is } \bar{y}^l \qquad (20)$$

โดยที่ $\bar{y}^l$ เป็นค่าจริงกำหนดค่าเริ่มต้น ของกฎการควบคุมในรูปที่ 3 และใช้เป็นค่าที่แทนในสมการ (12) (15) และ (17) เนื่องจากสัดส่วนแปรลิงกวิสติกที่ใช้มี 7 ตัวกฎการควบคุมทั้งหมดจะเท่ากับ 49 กฎ



รูปที่ 2 แสดงการกำหนดช่วงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

e/Δe	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	-100	-100	-100	-100	-66.67	-33.33	0
NM	-100	-100	-100	-66.67	-33.33	0	33.33
NS	-100	-100	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67
ZE	-100	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67	100
PS	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67	100	100
PM	-33.33	0	33.33	66.67	100	100	100
PB	0	33.33	66.67	100	100	100	100

รูปที่ 3 กฎการควบคุม [6]

3.4 ดีฟัซซิฟิเคชันเลือกใช้วิธี Center average ดังสมการที่ (2) ทำให้เอาท์พุทของระบบมีช่วงระหว่าง 0-100 เพื่อส่งไปควบคุมกระบวนการต่อไป

3.5 ค่า Learning rate ใช้ในสมการ (12) (15) และ (17) กำหนดเป็นค่าคงที่โดย α_1 เท่ากับ 0.6 α_2 เท่ากับ 0.01 α_3 เท่ากับ 0.001 ตามลำดับ

การกำหนดค่าเริ่มต้นดังกล่าวจะสามารถควบคุมระบบได้ทุกระบบแต่จะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบแต่ละระบบซึ่งจะใช้ส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์ฟัซซีลอจิคทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่สัญญาณอ้างอิง

โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4 สัญญาณที่ได้จากการป้อนกลับจากกระบวนการ (Process value, $P(nt)$) มีค่าระหว่าง 1-5V ผ่านวงจร A/D ซึ่งใช้การ์ด PCL-818 ขนาด 12 บิท (Successive approximation) ของบริษัท Advantech เนื่องจาก PCL-818 มีไมดูลสำหรับรับค่าจากการ์ดมาใส่ในตัวแปรเป็นค่าแรงดันหรือค่าจากตัวแปรไปสู่การ์ดโดยไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับการแปลงค่าบิทดิจิตอลเป็นอนาลอก เพียงแต่ตั้งค่าตัวนับเวลาให้ส่งคำสั่งและรับค่าไว้ที่ทุกๆ 1 วินาทีต่อครั้งซึ่งเพียงพอในการทดลอง หลังจากรับค่าแรงดันมาทำการแปลงอนาลอกไดซ์ค่าดังสมการ (21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(nl)_{norm} = (P(nl) - 1V)/(5V - 1V) * 100 \quad (21)$$

ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 0-100% หาค่า e และ Δe ดังสมการ (18) (19) สัญญาณทั้งสองจะคูณด้วย Scaling factor g_e และ g_i ตามลำดับเป็นการนอมอลไลซ์ค่า e และ Δe ในการลดหรือเพิ่มความไวต่อสัญญาณอินพุตทั้งสอง ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ การเพิ่ม g_e จะช่วยผลตอบสนองต่อค่าอ้างอิงเร็วขึ้นแต่อาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูทสูงและออสซิลเลทที่สภาวะคงตัวมาก การเพิ่มค่า g_i จะช่วยให้ลดโอเวอร์ชูทและแกะออสซิลเลทที่สภาวะคงตัวดังนั้นการใช้งาน g_e และ g_i จะต้องสัมพันธ์กันซึ่งจะทำให้ระบบทำงานมีประสิทธิภาพ [5,6] สัญญาณทั้งสองเป็นอินพุตของนิวโรฟัซซี ดังรูปที่ 1 โดย $x = [x_1, x_2] = [e, \Delta e]$ ตามลำดับส่วนของ Performance index เป็นตัววัดค่าสภาวะปัจจุบันของระบบประกอบด้วยการหาค่า โอเวอร์ชูท ไรส์ไทม์ เซตติ้งไทม์ ความถี่ของการออสซิลเลทของทรานเซี้ยน [5,6] การเกิดค่าดังกล่าวเป็นผลมาจากการกำหนดค่า g_e g_i α_1 α_2 และ α_3 ไม่เหมาะสมจะเห็นได้ว่ามีตัวแปรในระบบหลายตัวจากการทดลองให้ค่า α_1 α_2 และ α_3 เป็นค่าคงที่ดังที่กำหนดแล้ว ใช้ Performance index เป็นตัววัดค่า e อย่างเดียวและทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ตามสมการ (12) (15) และ (17) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิง เลือกค่า Scaling factor ที่เหมาะสมดังนี้ เงื่อนไขของค่า Scaling factor ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

1.ช่วงของสัญญาณป้อนกลับระหว่าง 0-75% ของสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ $g_e = 2$ และ $g_i = 1$ การกำหนดดังกล่าวจะทำให้ค่าไรซ์ไทม์ต่ำผลตอบสนองเร็วต่อสัญญาณอ้างอิง

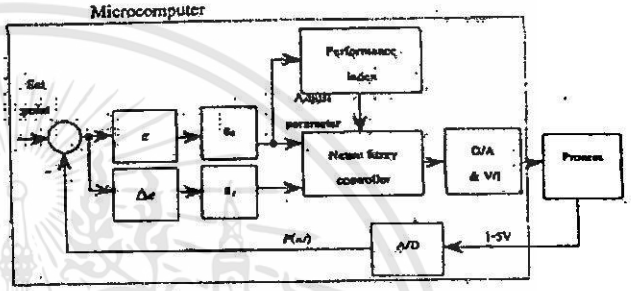
2.ช่วงของสัญญาณป้อนกลับมากกว่า 75% ขึ้นไปของสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ $g_e = 2$ และ $g_i = 18$ การกำหนดดังกล่าวเป็นการลดโอเวอร์ชูทและการเข้าหาสัญญาณอ้างอิงที่สภาวะคงตัวไม่ให้เกิดการออสซิลเลท

3.หลังจากสัญญาณป้อนกลับเข้าสู่ช่วงระหว่าง +/-1% จากสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้ $g_e = 1$ และ $g_i = 1$ ถ้าเกินกว่า +/-1% จะกำหนดให้ $g_e = 2$ และ $g_i = 18$

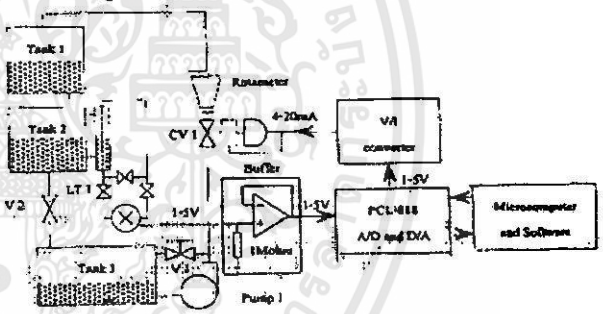
เอาท์พุตของนิวโรฟัซซีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100% ทำการดีนอมอลไลซ์เป็นแรงดันดังสมการ (22) เป็นสัญญาณ mv (Manipulate value)

$$mv = ((\text{Neuro fuzzy output} * 4V)/100) + 1V \quad (22)$$

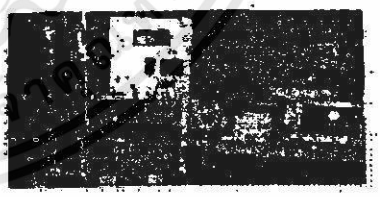
แรงดันที่ได้ระหว่าง 1-5 โวลท์ส่งให้วงจร D/A โดยการ์ด PCL-818 ถูกแปลงเป็นกระแส 4-20 mA ด้วยวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (V/I converter) ควบคุมการเปิดปิดของวาล์วควบคุม (CV1)



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุม



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) แผนภาพการควบคุมระดับน้ำสองถัง

(ข) รูปของกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองระดับน้ำสองถังกำหนดอัตราการไหลเท่ากับ 500 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาตรของ tank 1 และ tank2 มีขนาดเท่ากันมีความสูง 49 cm (ในการทดลองวัดที่ 0-100%) มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 18.5 cm และปริมาตรเท่ากับ 13.18 ลิตร ท่อขนาด 1 นิ้ว สัญญาณอินพุตของระบบวัดจาก Level transmitter (LT1) มีค่าเป็น 1-5 V ผ่านวงจร buffer เพื่อปรับ impedance ให้เหมาะสมแล้วส่งให้วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

SOURCE CODE

```
VERSION 5.00
Begin VB.Form frmRun
   Appearance      =  0 'Flat
   BackColor       =  &H80000005&
   BorderStyle     =  1 'Fixed Single
   Caption         =  "Neuro Fuzzy Controller (Fuzzy Sigleton Rule 2nd order +/-100 ) flow"
   ClientHeight    =  8625
   ClientLeft      =  45
   ClientTop       =  330
   ClientWidth     =  11910
   BeginProperty Font
      Name         =  "MS Sans Serif"
      Size         =  8.25
      Charset      =  222
      Weight       =  700
      Underline    =  0 'False
      Italic       =  0 'False
      Strikethrough =  0 'False
   EndProperty
   ForeColor       =  &H80000008&
   LinkTopic       =  "Form1"
   MaxButton       =  0 'False
   PaletteMode     =  1 'UseZOrder
   ScaleHeight     =  8625
   ScaleWidth      =  11910
   Begin VB.CheckBox ChkAdjust
      BackColor    =  &H80000009&
      Caption      =  "Adjust Parameter"
      Height       =  420
      Left         =  6390
      TabIndex     =  100
      Top          =  7695
      Value        =  1 'Checked
      Width        =  2355
   End
   Begin VB.TextBox txtG_k
      Alignment    =  1 'Right Justify
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Height      = 330
    Left        = 4950
    TabIndex    = 98
    Text        = "0"
    Top         = 3690
    Width       = 1230
  End
  Begin VB.TextBox txtEss
    Alignment   = 1 'Right Justify
    Height      = 330
    Left        = 6435
    TabIndex    = 96
    Text        = "0"
    Top         = 4140
    Width       = 600
  End
  Begin VB.TextBox txtVoltRead
    Alignment   = 2 'Center
    Appearance  = 0 'Flat
    BeginProperty Font
      Name      = "Times New Roman"
      Size      = 14.25
      Charset   = 0
      Weight    = 700
      Underline = 0 'False
      Italic    = 0 'False
      Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    Height      = 450
    Index       = 2
    Left        = 1215
    TabIndex    = 94
    Text        = "0.0000"
    Top         = 5985
    Width       = 1110
  End
  Begin VB.ComboBox cmbChannelInpMul
    Enabled     = 0 'False
    Height      = 315
    Left        = 2385
    Style       = 2 'Dropdown List
    TabIndex    = 78
    Top         = 5445
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Visible      = 0  'False
  Width        = 1005
End
Begin VB.ComboBox cmbVoltageRangeInpMul
  Enabled      = 0  'False
  Height       = 315
  Left         = 2385
  Style        = 2  'Dropdown List
  TabIndex     = 77
  Top          = 5760
  Visible      = 0  'False
  Width        = 1005
End
Begin VB.CommandButton cmdReadMul
  Appearance   = 0  'Flat
  BackColor    = &H80000005&
  Caption      = "&Read one data"
  Enabled      = 0  'False
  Height       = 495
  Left         = 2385
  TabIndex     = 76
  Top          = 4950
  Visible      = 0  'False
  Width        = 1005
End
Begin VB.Frame Frame2
  Appearance   = 0  'Flat
  BackColor    = &H80000005&
  Caption      = "Sampling Rate"
  ForeColor    = &H80000008&
  Height       = 780
  Left         = 90
  TabIndex     = 71
  Top          = 6435
  Width        = 2235
  Begin VB.HScrollBar hscrlFreqMul
    Height     = 255
    LargeChange = 10
    Left       = 90
    Max        = 100
    TabIndex   = 73
    Top        = 225
    Value      = 100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Width          = 2040
  End
  Begin VB.TextBox txtSampleMul
    Height         = 285
    Left           = 990
    TabIndex       = 72
    Text           = "10.0"
    Top            = 450
    Width          = 495
  End
  Begin VB.Label Label22
    Appearance     = 0 'Flat
    BackColor      = &H80000005&
    Caption        = "0 (Stop)"
    ForeColor      = &H80000008&
    Height         = 255
    Left           = 120
    TabIndex       = 75
    Top            = 480
    Width          = 855
  End
  Begin VB.Label Label21
    Appearance     = 0 'Flat
    BackColor      = &H80000005&
    Caption        = "10 Hz"
    ForeColor      = &H80000008&
    Height         = 255
    Left           = 1530
    TabIndex       = 74
    Top            = 495
    Width          = 615
  End
End
Begin VB.Timer tmrReadMul
  Interval       = 1000
  Left           = 3060
  Top            = 6075
End
Begin VB.TextBox txtVoltRead
  Alignment      = 2 'Center
  Appearance     = 0 'Flat
  BeginProperty Font
    Name         = "Times New Roman"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Size        = 14.25
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0  'False
    Italic      = 0  'False
    Strikethrough = 0  'False
  EndProperty
  Height      = 450
  Index       = 0
  Left        = 1215
  TabIndex    = 70
  Text        = "0.0000"
  Top         = 4995
  Width       = 1110
End
Begin VB.Timer tmrLedMul
  Interval    = 400
  Left        = 2655
  Top         = 6075
End
Begin VB.TextBox txtVoltRead
  Alignment   = 2  'Center
  Appearance  = 0  'Flat
  BeginProperty Font
    Name      = "Times New Roman"
    Size      = 14.25
    Charset   = 0
    Weight    = 700
    Underline = 0  'False
    Italic    = 0  'False
    Strikethrough = 0  'False
  EndProperty
  Height      = 450
  Index       = 1
  Left        = 1215
  TabIndex    = 69
  Text        = "0.0000"
  Top         = 5490
  Width       = 1110
End
Begin VB.TextBox txtGainDelE
  Alignment   = 1  'Right Justify
  Height      = 330
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Left        = 11295
  TabIndex    = 68
  Text        = "0"
  Top         = 4140
  Width       = 600
End
Begin VB.TextBox txtGainE
  Alignment   = 1 'Right Justify
  Height      = 330
  Left        = 9810
  TabIndex    = 66
  Text        = "0"
  Top         = 4140
  Width       = 600
End
Begin VB.TextBox txtGainU
  Alignment   = 1 'Right Justify
  Height      = 330
  Left        = 8595
  TabIndex    = 64
  Text        = "0"
  Top         = 4140
  Width       = 600
End
Begin VB.TextBox txtTimer
  Alignment   = 1 'Right Justify
  Height      = 330
  Left        = 6435
  TabIndex    = 61
  Text        = "0"
  Top         = 4500
  Width       = 1095
End
Begin VB.TextBox txtTs
  Alignment   = 1 'Right Justify
  Height      = 330
  Left        = 5220
  TabIndex    = 58
  Text        = "0"
  Top         = 4140
  Width       = 735
End
Begin VB.TextBox txtTr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Height        = 330
  Left          = 3645
  TabIndex      = 57
  Text          = "0"
  Top           = 4140
  Width         = 735
End
Begin VB.TextBox txtTd
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Height        = 330
  Left          = 1980
  TabIndex      = 56
  Text          = "0"
  Top           = 4140
  Width         = 735
End
Begin VB.TextBox txtOs
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Height        = 330
  Left          = 585
  TabIndex      = 54
  Text          = "0"
  Top           = 4140
  Width         = 735
End
Begin VB.CommandButton Command4
  BackColor     = &H00C0FFC0&
  Caption       = "Run Cntl"
  Height        = 555
  Left          = 3420
  Style         = 1 'Graphical
  TabIndex      = 50
  Top           = 7920
  Width         = 1140
End
Begin VB.Timer Timer3
  Interval      = 1000
  Left          = 9090
  Top           = 4725
End
Begin VB.Timer Timer2
  Interval      = 1000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Left        = 8730
  Top         = 4725
End
Begin VB.TextBox txtRef
  Alignment   = 1 'Right Justify
  BeginProperty Font
    Name      = "Courier New"
    Size      = 9.75
    Charset   = 0
    Weight    = 700
    Underline = 0 'False
    Italic    = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  Height      = 375
  Left        = 5850
  MaxLength   = 5
  TabIndex    = 45
  Text        = "0.00"
  Top         = 6660
  Width       = 915
End
Begin VB.VScrollBar vscLevel
  Height      = 1215
  LargeChange = 10
  Left        = 10215
  Max         = 0
  Min         = 100
  TabIndex    = 43
  Top         = 5895
  Width       = 1185
End
Begin VB.CheckBox chkReadFuzzy
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "Read fuzzy from File"
  Height      = 465
  Left        = 1260
  TabIndex    = 42
  Top         = 7965
  Width       = 2085
End
Begin VB.CommandButton cmbWriteFzs
  BackColor   = &H00C0FFC0&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Caption      = "Write Fzs2File"
  Enabled      = 0  'False
  Height       = 555
  Left         = 90
  Style        = 1  'Graphical
  TabIndex     = 40
  Top          = 7920
  Width        = 1140
End
Begin VB.Timer Timer1
  Interval     = 1000
  Left         = 8370
  Top          = 4725
End
Begin VB.PictureBox Pict2
  AutoRedraw   = -1  'True
  BackColor    = &H00FFFFFF&
  Height       = 3165
  Left         = 6345
  ScaleHeight  = 3105
  ScaleWidth   = 5355
  TabIndex     = 35
  Top          = 360
  Width        = 5415
End
Begin VB.VScrollBar vsclOut
  Height       = 1215
  LargeChange  = 10
  Left         = 8460
  Max          = 0
  Min          = 100
  TabIndex     = 25
  Top          = 5835
  Visible      = 0  'False
  Width        = 375
End
Begin VB.VScrollBar vsclRef
  Height       = 1215
  LargeChange  = 10
  Left         = 6795
  Max          = 0
  Min          = 100
  TabIndex     = 22
```

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Top        = 5895
  Width      = 375
End
Begin VB.TextBox txtAlpha
  Alignment  = 1 'Right Justify
  Height     = 375
  Left       = 7425
  TabIndex   = 20
  Text       = "0.1"
  Top        = 4770
  Width      = 960
End
Begin VB.CommandButton Command3
  BackColor  = &H00C0FFC0&
  Caption    = "NeuroFuzzy"
  Height     = 555
  Left       = 4635
  Style      = 1 'Graphical
  TabIndex   = 19
  Top        = 7920
  Width      = 1140
End
Begin VB.PictureBox Pict1
  AutoRedraw = -1 'True
  BackColor  = &H00FFFFFF&
  Height     = 3165
  Left       = 45
  ScaleHeight = 3105
  ScaleWidth = 5625
  TabIndex   = 18
  Top        = 360
  Width      = 5685
End
Begin VB.ComboBox cmbChannelInp
  Enabled    = 0 'False
  Height     = 315
  Left       = 2475
  Style      = 2 'Dropdown List
  TabIndex   = 17
  Top        = 3240
  Visible    = 0 'False
  Width      = 1365
End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin VB.ComboBox cmbVoltageRangeInp
   Enabled      = 0  'False
   Height       = 315
   Left         = 2475
   Style        = 2  'Dropdown List
   TabIndex     = 16
   Top          = 3600
   Visible      = 0  'False
   Width        = 1365
End
Begin VB.TextBox txtVoltReadOneCh
   Alignment    = 2  'Center
   Appearance   = 0  'Flat
   Enabled      = 0  'False
   BeginProperty Font
      Name         = "Courier New"
      Size         = 15.75
      Charset      = 0
      Weight       = 700
      Underline    = 0  'False
      Italic       = 0  'False
      Strikethrough = 0  'False
   EndProperty
   Height       = 450
   Left         = 90
   TabIndex     = 14
   Text         = "0.000"
   Top          = 2610
   Visible      = 0  'False
   Width        = 1755
End
Begin VB.CommandButton cmdRead
   Appearance   = 0  'Flat
   BackColor    = &H80000005&
   Caption      = "&Read one data"
   Enabled      = 0  'False
   Height       = 495
   Left         = 2655
   TabIndex     = 13
   Top          = 2655
   Visible      = 0  'False
   Width        = 1095
End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin VB.Timer tmrRead
  Enabled      = 0  'False
  Interval     = 1000
  Left         = 2250
  Top          = 2700
End
Begin VB.Timer tmrLed
  Enabled      = 0  'False
  Interval     = 400
  Left         = 1845
  Top          = 2700
End
Begin VB.ComboBox cmbVoltageRange
  Height       = 315
  Left         = 3465
  Style        = 2  'Dropdown List
  TabIndex     = 7
  Top          = 6525
  Width        = 1410
End
Begin VB.ComboBox cmbChannel
  Height       = 315
  Left         = 3465
  Style        = 2  'Dropdown List
  TabIndex     = 6
  Top          = 6165
  Width        = 1410
End
Begin VB.VScrollBar vsclVoltage
  Height       = 1395
  LargeChange  = 10
  Left         = 4860
  Max          = 0
  Min          = 4095
  TabIndex     = 1
  Top          = 5175
  Width        = 375
End
Begin VB.CommandButton cmdExit
  Appearance   = 0  'Flat
  BackColor    = &H00C0E0FF&
  Caption      = "E&xit"
  Height       = 585
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Left        = 9990
  Style       = 1 'Graphical
  TabIndex    = 0
  Top         = 7875
  Width       = 1275
End
Begin VB.Frame frmSampleRate
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "Sampling Rate"
  Enabled     = 0 'False
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 855
  Left        = 60
  TabIndex    = 8.
  Top         = 3090
  Visible     = 0 'False
  Width       = 2370
  Begin VB.HScrollBar hscrlFreq
    Height      = 255
    LargeChange = 10
    Left        = 120
    Max         = 100
    TabIndex    = 10
    Top         = 240
    Value       = 100
    Width       = 2130
  End
  Begin VB.TextBox txtSample
    Height      = 285
    Left        = 765
    TabIndex    = 9
    Text        = "10.0"
    Top         = 540
    Width       = 495
  End
  Begin VB.Label labFrequencyLow
    Appearance  = 0 'Flat
    BackColor   = &H80000005&
    Caption     = "0 (Stop)"
    ForeColor   = &H80000008&
    Height      = 255
    Left        = 45
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TabIndex      = 12
    Top           = 495
    Width         = 855
  End
  Begin VB.Label labFreqHigh
    Appearance    = 0 'Flat
    BackColor     = &H80000005&
    Caption       = "10 (time/s)"
    ForeColor     = &H80000008&
    Height        = 255
    Left          = 1260
    TabIndex      = 11
    Top           = 540
    Width         = 975
  End
End
Begin VB.Frame Frame1
  BackColor       = &H80000009&
  Enabled         = 0 'False
  Height          = 1590
  Left            = 45
  TabIndex        = 41
  Top             = 2430
  Visible         = 0 'False
  Width           = 3930
End
Begin VB.Label Label39
  BackColor       = &H80000009&
  Caption         = "G_K"
  Height          = 330
  Left            = 4455
  TabIndex        = 99
  Top             = 3690
  Width           = 555
End
Begin VB.Label Label38
  BackColor       = &H80000009&
  Caption         = "Ess"
  Height          = 330
  Left            = 5940
  TabIndex        = 97
  Top             = 4140
  Width           = 555
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End
Begin VB.Label Label37
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "ln3-(v)"
  Height        = 375
  Left          = 90
  TabIndex      = 95
  Top           = 5985
  Width         = 1095
End
Begin VB.Label Label36
  Alignment     = 2 'Center
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "%Control overall"
  Height        = 420
  Left          = 7470
  TabIndex      = 93
  Top           = 5670
  Width         = 915
End
Begin VB.Label Label35
  Alignment     = 2 'Center
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "750"
  Height        = 285
  Left          = 10080
  TabIndex      = 92
  Top           = 3555
  Width         = 645
End
Begin VB.Label Label34
  Alignment     = 2 'Center
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "250"
  Height        = 285
  Left          = 7380
  TabIndex      = 91
  Top           = 3555
  Width         = 600
End
Begin VB.Label Label33
  Alignment     = 2 'Center
  BackColor     = &H80000009&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Caption      = "500"
  Height       = 285
  Left         = 8820
  TabIndex     = 90
  Top          = 3555
  Width        = 600
End
Begin VB.Label Label32
  Alignment    = 2 'Center
  BackColor    = &H80000009&
  Caption      = "0"
  Height       = 240
  Left         = 6210
  TabIndex     = 89
  Top          = 3555
  Width        = 285
End
Begin VB.Label Label31
  Alignment    = 2 'Center
  BackColor    = &H80000009&
  Caption      = "Time(sec)"
  Height       = 285
  Left         = 10935
  TabIndex     = 88
  Top          = 3510
  Width        = 960
End
Begin VB.Label Label30
  BackColor    = &H80000009&
  Caption      = "50%-"
  Height       = 240
  Left         = 5895
  TabIndex     = 87
  Top          = 1845
  Width        = 465
End
Begin VB.Label Label29
  Alignment    = 2 'Center
  BackColor    = &H80000009&
  Caption      = "0%-"
  Height       = 240
  Left         = 5940
  TabIndex     = 86
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Top             = 3375
    Width           = 420
  End
  Begin VB.Label Label28
    Alignment       = 2 'Center
    BackColor       = &H80000009&
    Caption         = "100%-"
    Height          = 240
    Left            = 5805
    TabIndex        = 85
    Top             = 270
    Width           = 510
  End
  Begin VB.Label Label27
    Alignment       = 2 'Center
    BackColor       = &H80000009&
    Caption         = "Desire value"
    Height          = 420
    Left            = 5850
    TabIndex        = 84
    Top             = 5670
    Width           = 870
  End
  Begin VB.Label labPercentInp2
    Alignment       = 1 'Right Justify
    Appearance      = 0 'Flat
    BackColor       = &H80000005&
    BorderStyle     = 1 'Fixed Single
    Caption         = "0.000"
    BeginProperty Font
      Name          = "Courier New"
      Size          = 9.75
      Charset       = 0
      Weight        = 700
      Underline     = 0 'False
      Italic        = 0 'False
      Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor       = &H80000008&
    Height          = 360
    Left            = 10215
    TabIndex        = 83
    Top             = 5085
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Width      = 1170
End
Begin VB.Label Label26
  Alignment   = 2 'Center
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "%PV2:"
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 255
  Left        = 9630
  TabIndex    = 82
  Top         = 5085
  Width       = 585
End
Begin VB.Label Label25
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "In2-(v)"
  Height      = 375
  Left        = 90
  TabIndex    = 81
  Top         = 5535
  Width       = 1095
End
Begin VB.Label Label24
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "In1-(v)"
  Height      = 375
  Left        = 90
  TabIndex    = 80
  Top         = 5085
  Width       = 1095
End
Begin VB.Label Label23
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "Voltage read"
  Enabled     = 0 'False
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 255
  Left        = 450
  TabIndex    = 79
  Top         = 4725
  Width       = 1215
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End
Begin VB.Shape shapLedMul
  BorderColor   = &H000000FF&
  BorderStyle   = 0 'Transparent
  FillColor     = &H00808080&
  FillStyle     = 0 'Solid
  Height        = 255
  Left          = 90
  Shape         = 3 'Circle
  Top           = 4725
  Width         = 255
End
Begin VB.Label Label20
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "Gain DelE"
  Height        = 330
  Left          = 10395
  TabIndex      = 67
  Top           = 4140
  Width         = 915
End
Begin VB.Label Label19
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "Gain e"
  Height        = 285
  Left          = 9180
  TabIndex      = 65
  Top           = 4140
  Width         = 600
End
Begin VB.Label Label18
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "Gain U"
  Height        = 330
  Left          = 7920
  TabIndex      = 63
  Top           = 4140
  Width         = 645
End
Begin VB.Label Label17
  BackColor     = &H80000009&
  Caption       = "Timer"
  Height        = 330
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Left        = 5940
  TabIndex    = 62
  Top         = 4500
  Width       = 555
End
Begin VB.Label Label16
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "Ts(+/-5%)"
  Height      = 330
  Left        = 4365
  TabIndex    = 60
  Top         = 4140
  Width       = 825
End
Begin VB.Label Label15
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "Tr(10-90%)"
  Height      = 330
  Left        = 2700
  TabIndex    = 59
  Top         = 4140
  Width       = 915
End
Begin VB.Label Label14
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "Td(50%)"
  Height      = 330
  Left        = 1305
  TabIndex    = 55
  Top         = 4140
  Width       = 645
End
Begin VB.Label Label12
  BackColor   = &H80000009&
  Caption     = "Oss%"
  Height      = 330
  Left        = 45
  TabIndex    = 53
  Top         = 4140
  Width       = 555
End
Begin VB.Label Label13
  Appearance  = 0 'Flat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  BackColor      = &H80000005&
  Caption        = "Gain Del error"
  ForeColor      = &H80000008&
  Height         = 255
  Left           = 90
  TabIndex       = 52
  Top            = 7380
  Visible        = 0  'False
  Width          = 1215
End
Begin VB.Label LabGainDelE
  Alignment      = 1  'Right Justify
  Appearance     = 0  'Flat
  BackColor      = &H80000005&
  BorderStyle    = 1  'Fixed Single
  Caption        = "1.000"
  BeginProperty Font
    Name         = "Courier New"
    Size         = 9.75
    Charset      = 0
    Weight       = 700
    Underline    = 0  'False
    Italic       = 0  'False
    Strikethrough = 0  'False
  EndProperty
  ForeColor      = &H80000008&
  Height         = 360
  Left           = 1440
  TabIndex       = 51
  Top            = 7335
  Visible        = 0  'False
  Width          = 1170
End
Begin VB.Label Label11
  Alignment      = 2  'Center
  Appearance     = 0  'Flat
  BackColor      = &H80000005&
  Caption        = "%MV:"
  ForeColor      = &H80000008&
  Height         = 255
  Left           = 9630
  TabIndex       = 49
  Top            = 5490
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Width      = 585
End
Begin VB.Label Label10
  Alignment    = 2 'Center
  Appearance   = 0 'Flat
  BackColor    = &H80000005&
  Caption      = "%PV1:"
  ForeColor    = &H80000008&
  Height       = 255
  Left         = 9630
  TabIndex     = 48
  Top          = 4725
  Width        = 585
End
Begin VB.Label LabPercentInp
  Alignment    = 1 'Right Justify
  Appearance   = 0 'Flat
  BackColor    = &H80000005&
  BorderStyle  = 1 'Fixed Single
  Caption      = "0.000"
  BeginProperty Font
    Name       = "Courier New"
    Size       = 9.75
    Charset    = 0
    Weight     = 700
    Underline  = 0 'False
    Italic     = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor    = &H80000008&
  Height       = 360
  Left         = 10215
  TabIndex     = 47
  Top          = 4680
  Width        = 1170
End
Begin VB.Label labPercentOut
  Alignment    = 1 'Right Justify
  Appearance   = 0 'Flat
  BackColor    = &H80000005&
  BorderStyle  = 1 'Fixed Single
  Caption      = "0.000"
  BeginProperty Font
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Name        = "Courier New"
    Size        = 9.75
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0  'False
    Italic      = 0  'False
    Strikethrough = 0  'False
  EndProperty
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 360
  Left          = 10215
  TabIndex      = 46
  Top           = 5490
  Width         = 1170
End
Begin VB.Label Label9
  Alignment     = 2  'Center
  Appearance    = 0  'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  Caption       = "%PV:"
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 240
  Left          = 9630
  TabIndex      = 44
  Top           = 6345
  Width         = 540
End
Begin VB.Label Label1
  Appearance    = 0  'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  Caption       = "Voltage read"
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 255
  Left          = 375
  TabIndex      = 15
  Top           = -270
  Width         = 1215
End
Begin VB.Shape shapLed
  BorderColor   = &H000000FF&
  BorderStyle   = 0  'Transparent
  FillColor     = &H00808080&
  FillStyle     = 0  'Solid
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Height      = 255
  Left        = 45
  Shape       = 3 'Circle
  Top         = -270
  Width       = 255
End
Begin VB.Label Label7
  BackStyle   = 0 'Transparent
  Caption     = "Output(PV)"
  ForeColor   = &H0000C000&
  Height      = 285
  Left        = 10350
  TabIndex    = 39
  Top         = 90
  Width       = 1410
End
Begin VB.Label Label4
  BackStyle   = 0 'Transparent
  Caption     = "Control action(MV)"
  ForeColor   = &H000000FF&
  Height      = 330
  Left        = 8460
  TabIndex    = 38
  Top         = 90
  Width       = 1590
End
Begin VB.Label Label3
  Alignment   = 2 'Center
  BackStyle   = 0 'Transparent
  Caption     = "Input Voltage (PV)"
  Height      = 330
  Left        = 90
  TabIndex    = 37
  Top         = 135
  Width       = 1635
End
Begin VB.Label Label2
  BackStyle   = 0 'Transparent
  Caption     = "Desire value(SV)"
  ForeColor   = &H00FF0000&
  Height      = 285
  Left        = 6345
  TabIndex    = 36
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Top        = 90
  Width      = 1455
End
Begin VB.Label Label8
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  Caption       = "Delta Err:"
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 330
  Left          = 7380
  TabIndex      = 34
  Top           = 5175
  Width         = 840
End
Begin VB.Label LabDelErr
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  BorderStyle   = 1 'Fixed Single
  Caption       = "0.000"
  BeginProperty Font
    Name        = "Courier New"
    Size        = 9.75
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0 'False
    Italic      = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 360
  Left          = 8235
  TabIndex      = 33
  Top           = 5175
  Width         = 855
End
Begin VB.Label Label6
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  Caption       = "Error :"
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 330
  Left          = 5895
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  TabIndex      = 32
  Top           = 5175
  Width         = 570
End
Begin VB.Label LabErr
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  BorderStyle   = 1 'Fixed Single
  Caption       = "0.000"
  BeginProperty Font
    Name        = "Courier New"
    Size        = 9.75
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0 'False
    Italic      = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 360
  Left          = 6480
  TabIndex      = 31
  Top           = 5175
  Width         = 855
End
Begin VB.Label LabOutCnt
  Alignment     = 1 'Right Justify
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  BorderStyle   = 1 'Fixed Single
  Caption       = "0.000"
  BeginProperty Font
    Name        = "Courier New"
    Size        = 9.75
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0 'False
    Italic      = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 360
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Left        = 10215
    TabIndex    = 30
    Top         = 7110
    Width       = 1155
  End
  Begin VB.Label LabOut
    Alignment   = 1 'Right Justify
    Appearance  = 0 'Flat
    BackColor   = &H80000005&
    BorderStyle = 1 'Fixed Single
    Caption     = "0.00"
    BeginProperty Font
      Name      = "Courier New"
      Size      = 9.75
      Charset   = 0
      Weight    = 700
      Underline = 0 'False
      Italic    = 0 'False
      Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor   = &H80000008&
    Height      = 360
    Left        = 7470
    TabIndex    = 29
    Top         = 6120
    Width       = 990
  End
  Begin VB.Label LabRef
    Alignment   = 1 'Right Justify
    Appearance  = 0 'Flat
    BackColor   = &H80000005&
    BorderStyle = 1 'Fixed Single
    Caption     = "0.0001"
    BeginProperty Font
      Name      = "Courier New"
      Size      = 9.75
      Charset   = 0
      Weight    = 700
      Underline = 0 'False
      Italic    = 0 'False
      Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor   = &H80000008&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Height      = 360
  Left        = 5850
  TabIndex    = 28
  Top         = 6120
  Width       = 900
End
Begin VB.Label LabHiOut
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "100"
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 375
  Left        = 8460
  TabIndex    = 27
  Top         = 5580
  Visible     = 0 'False
  Width       = 495
End
Begin VB.Label LabLowOut
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "0"
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 255
  Left        = 8460
  TabIndex    = 26
  Top         = 7065
  Visible     = 0 'False
  Width       = 495
End
Begin VB.Label LabHiRef
  Appearance  = 0 'Flat
  BackColor   = &H80000005&
  Caption     = "100"
  ForeColor   = &H80000008&
  Height      = 375
  Left        = 6795
  TabIndex    = 24
  Top         = 5625
  Width       = 495
End
Begin VB.Label LabLowRef
  Appearance  = 0 'Flat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  BackColor     = &H80000005&
  Caption       = "0"
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 255
  Left          = 6795
  TabIndex      = 23
  Top           = 7110
  Width         = 495
End
Begin VB.Label Label5
  BackStyle     = 0 'Transparent
  Caption       = "Alpha (step size):"
  Height        = 285
  Left          = 5940
  TabIndex      = 21
  Top           = 4815
  Width         = 1545
End
Begin VB.Label labVoltage
  Alignment     = 2 'Center
  Appearance    = 0 'Flat
  BackColor     = &H80000005&
  BorderStyle   = 1 'Fixed Single
  Caption       = "10.000"
  BeginProperty Font
    Name        = "Courier New"
    Size        = 20.25
    Charset     = 0
    Weight      = 700
    Underline   = 0 'False
    Italic      = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor     = &H80000008&
  Height        = 945
  Left          = 3465
  TabIndex      = 5
  Top           = 5175
  Width         = 1395
End
Begin VB.Label labLoVolt
  Alignment     = 2 'Center
  Appearance    = 0 'Flat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    BackColor      = &H80000005&
    Caption        = "-10V"
    ForeColor      = &H80000008&
    Height         = 255
    Left           = 4815
    TabIndex       = 4
    Top            = 6615
    Width          = 495
  End
  Begin VB.Label labHiVolt
    Alignment      = 2 'Center
    Appearance     = 0 'Flat
    BackColor      = &H80000005&
    Caption        = "10V"
    ForeColor      = &H80000008&
    Height         = 240
    Left           = 4815
    TabIndex       = 3
    Top            = 4905
    Width          = 495
  End
  Begin VB.Label labVolt
    Appearance     = 0 'Flat
    BackColor      = &H80000005&
    Caption        = "O/P Voltage"
    ForeColor      = &H80000008&
    Height         = 390
    Left           = 3465
    TabIndex       = 2
    Top            = 4770
    Width          = 1335
  End
End
Attribute VB_Name = "frmRun"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Dim Old_ref As Double
Dim Old_Os As Double, Old_Td As Double, Old_Tr As Double, Old_Ts As Double
Dim Old_control1 As Double, New_control As Double
Dim Old_control2 As Double, Old_control3 As Double
Dim Old_control4 As Double, Old_control5 As Double
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim Old_control6 As Double, Old_control7 As Double
Dim Old_control8 As Double, Old_control9 As Double
Dim Old_deltra_input1 As Double, Old_deltra_input2 As Double
Dim Old_deltra_input3 As Double, Old_deltra_input4 As Double
Dim Old_deltra_input5 As Double, Old_deltra_input6 As Double
Dim Old_deltra_input7 As Double, Old_deltra_input8 As Double
Dim Old_deltra_input9 As Double, Old_deltra_input10 As Double
Dim new_detra_input As Double
Dim Old_err_input1 As Double, Old_err_input2 As Double
Dim Old_err_input3 As Double, Old_err_input4 As Double
Dim Old_err_input5 As Double, Old_err_input6 As Double
Dim Old_err_input7 As Double, Old_err_input8 As Double
Dim Old_err_input9 As Double, Old_err_input10 As Double
Dim new_err_input As Double
Dim New_ref As Double
Dim New_Os As Double, New_Td As Double, New_Tr As Double, New_Ts As Double
Dim ref_offset As Double
Dim ref_change As Boolean
Dim ref_more_100percent As Boolean
Dim Ess As Double
Dim Os As Double
Dim.Td As Double
Dim Tr As Double
Dim Ts As Double
Dim Ts_max As Double
Dim Ts_min As Double
Dim G_delta As Double
Dim G_error As Double
Dim G_u As Double
Dim G_k As Double
Public frmLoadOk As Boolean
Public vscRefChange As Boolean
Public txtRefChange As Boolean
Public NeuroOperate As Boolean
Public CurrentChannel
Public TempGainCode
Dim lpDEVCONFIG_AI As DEVCONFIG_AI
Dim lpAIGetConfig As PT_AIGetConfig
Dim gnNumOfSubdevices As Integer
Dim bRun As Boolean
'for multi channel
Dim ErrCount As Integer
Dim fVoltage(0 To 15) As Single
```

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Const MAX_INP = 2
Const MAX_MF = 7
Const MAX_NO_OF_INPUTS = 2
Const MAX_NO_OF_INP_REGIONS = 7 '5
Const MAX_NO_OF_OUTPUT_VALUES = 8
Const LOWER_THESHOLD = 0.00001
Private Type GaussMf
  mean(MAX_NO_OF_INPUTS, MAX_NO_OF_INP_REGIONS) As Single
  sigma(MAX_NO_OF_INPUTS, MAX_NO_OF_INP_REGIONS) As Single
End Type
Enum trapz_type
  regular
  Left
  Right
End Enum
Private Type trapezoid
  tp As trapz_type
  a As Double
  b As Double
  C As Double
  d As Double
  l_slope As Double
  r_slope As Double
End Type
Private Type gaussian
  tp As trapz_type
  mean As Double
  sigma As Double
End Type
Private Type rule
  inp_index(MAX_NO_OF_INPUTS) As Integer
  inp_fuzzy_set(MAX_NO_OF_INPUTS) As Integer
  out_fuzzy_set As Double
  weight_out_set As Double
End Type
Private Type fuzzy_system_rec
  allocated As Boolean
  inp_mem_fns(MAX_NO_OF_INPUTS, MAX_NO_OF_INP_REGIONS) As gaussian
  rules() As rule
  no_of_inputs As Integer
  no_of_inp_regions As Integer
  no_of_rules As Integer
  no_of_outputs As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    output_values(MAX_NO_OF_OUTPUT_VALUES) As Double
    a_out As Double
    b_out As Double
    f_out As Double
End Type
Enum in_fuz_error_deltaerror
    in_e
    in_de
End Enum
Enum error
    e_nb
    e_nm
    e_ns
    e_zo
    e_ps
    e_pm
    e_pb
End Enum
Enum delta_error
    de_nb
    de_nm
    de_ns
    de_zo
    de_ps
    de_pm
    de_pb
End Enum
Enum out_fuz
    out_nb
    out_nm
    out_ns
    out_zo
    out_ps
    out_pm
    out_pb
End Enum
Private Type file_names_rec
        setup_file_name As String
        training_setup_file_name As String
        in_wts_file_name As String
        out_wts_file_name As String
        training_file_name As String
        test_file_name As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    data_file_name As String
    new_data_file_name As String
End Type
Private Type ff_setup_rec
  error_threshold As Double
  start_iter As Integer
  shuffle As Boolean
  no_of_inputs As Integer
  no_of_h1_nodes As Integer
  no_of_outputs As Integer
  in_weights_from_file As Boolean
  files As file_names_rec
  sigmoid_out As Boolean
  alpha As Double
  learning_rate As Double
  norm_in_min As Double
  norm_in_range As Double
  norm_out_min As Double
  norm_out_range As Double
  weight_range As Double
End Type
Private Type training_rec
  allocated As Boolean
  no_of_training_items As Integer
  no_of_training_items_inv As Double
  norm_error_scaling As Double
  training_array() As Double
  correct_answers() As Double
  norm_answers() As Double
  max_min_allocated As Boolean
  max_in() As Double
  min_in() As Double
  max_out() As Double
  min_out() As Double
End Type
Private Type network_rec
  allocated As Boolean
  x_inp() As Double
  y_out() As Double
  h1() As Double
End Type
Private Type weights_rec
  allocated As Boolean
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    wi() As Double
    wo() As Double
End Type
Dim g_fuzzy_system As fuzzy_system_rec
Private Sub cmbChannel_Click()
  If frmLoadOk = True Then
    Call Config_Output
    labVolt.Caption = "Ch# " + Str(lpAOConfig.chan) + " O/P Voltage:"
  End If
End Sub
Private Sub cmbChannelInp_Click()
  If frmLoadOk = True Then
    Call Config_Input
  End If
End Sub
Private Sub cmbVoltageRange_Click()
  If frmLoadOk = True Then
    Call Config_Output
    labHiVolt.Caption = Str(lpAOConfig.MaxValue) + "V"
    labLoVolt.Caption = Str(lpAOConfig.MinValue) + "V"
    vsclVoltage.value = 0
    labVoltage.Caption = 0
  End If
End Sub
Private Sub cmbVoltageRangeInp_Click()
  If frmLoadOk = True Then
    Call Config_Input
  End If
End Sub
Private Sub cmbWriteFzs_Click()
  Call write_fuzzy_system("D:\NeuroFuzzyPro_FuzzySingleTon_Tidaporn_rule_1storder_flow\NeuroFuz.fzs", g_fuzzy_system)
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
  Dim i As Integer
  For i = 1 To vsclVoltage.value
    If vsclVoltage.value = 819 Then
      Exit For
    End If
    vsclVoltage.value = vsclVoltage.value - 1
  Next i
  End
End Sub
Private Sub cmdRead_Click()
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim tt As Long
    Dim voltage As Single
    tmrRead.Enabled = False
    AiVolIn.chan = lpAIConfig.DasChan
    AiVolIn.gain = lpAIConfig.DasGain
    AiVolIn.TrigMode = AiCtrMode
    AiVolIn.voltage = DRV_GetAddress(voltage)
    shapLed.FillColor = QBColor(12)
    ErrCde = DRV_AIVoltageIn(DeviceHandle, AiVolIn)
    If (ErrCde <> 0) Then
     DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
     Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
     Exit Sub
    End If
    UpDateValue (voltage)
End Sub
Private Sub cmdRead_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)
   shapLed.FillColor = QBColor(12)
End Sub
Private Sub cmdReadMul_Click()
 tmrReadMul.Enabled = False
 shapLedMul.FillColor = QBColor(12)
 ptMAIVoltageIn.NumChan = ptMAIConfig.NumChan
 ptMAIVoltageIn.StartChan = ptMAIConfig.StartChan
 ptMAIVoltageIn.GainArray = DRV_GetAddress(usGainCode(ptMAIConfig.StartChan))
 ptMAIVoltageIn.TrigMode = AiCtrMode
 ' if MAIVoltageIn.Voltage doesn't point to a array, then it would be nil.
 ptMAIVoltageIn.VoltageArray = DRV_GetAddress(fVoltage(ptMAIConfig.StartChan))
 ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DeviceHandle, ptMAIVoltageIn)
 If (ErrCde <> 0) Then
    ErrCount = ErrCount + 1
    If (ErrCount > 2) Then
      Unload frmRun
      frmDevSel.cmdExit.SetFocus
    Else
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Sub
    End If
 End If
 UpDateValueMul
End Sub
Private Sub Command3_Click()
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmbWriteFzs.Enabled = False
    NeuroOperate = True
    Call run_fuzzy_logic_controller
    cmbWriteFzs.Enabled = True
End Sub
Private Sub Command4_Click()
    Call Control_system_fuzzy_logic(g_fuzzy_system)
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Dim AOConfig As PT_AOConfig
    Dim gnNumOfDevices As Integer
    Dim nOutEntries As Integer
    Dim i, ii As Integer
    Dim tt As Long
    Dim tempStr As String
    frmLoadOk = False
    bRun = False
    isStartChan = True   ' This variable is for Start/Stop channel setup only
    CurrentChannel = 0
' Add type of PC Laboratory Card
    tt = DRV_GetAddress(devicelist(0))
    ErrCde = DRV_DeviceGetList(tt, MaxEntries, nOutEntries)
    If (ErrCde <> 0) Then
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Sub
    End If
' Return the number of devices which you install in the system using
' Device Installation
    ErrCde = DRV_DeviceGetNumOfList(gnNumOfDevices)
    If (ErrCde <> 0) Then
     DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
     Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
     Exit Sub
    End If
    Pict1.Scale (0, 120)-(1000, -20)
    Pict1.Line (0, 0)-(1000, 0), QBColor(0)
    Pict1.Line (0, 100)-(1000, 100), QBColor(0)
    Pict1.CurrentX = 10
    Pict1.CurrentY = -8
    Pict1.Print "0 Volt"
    Pict1.CurrentX = 10
    Pict1.CurrentY = 115
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Pict1.Print "10 Volt"
    Call Chanel_Volt
    Call Config_Output
    Call Config_Multi_Input
    labVolt.Caption = "Ch# " + Str(lpAOConfig.chan) + " " + labVolt.Caption + ":"
    labHiVolt.Caption = Str(lpAOConfig.MaxValue) + "V"
    labLoVolt.Caption = Str(lpAOConfig.MinValue) + "V"
    vsclVoltage.value = 819
    labVoltage.Caption = 1
    Call SetScalePict
    cmbWriteFzs.Enabled = False
    NeuroOperate = True
    Call run_fuzzy_logic_controller
    cmbWriteFzs.Enabled = True
    frmLoadOk = True
    G_delta = 10
    G_error = 2
    G_u = 5
    G_k = 1
End Sub
Private Sub hscrlFreq_Change()
  If hscrlFreq.value = 0 Then
    tmrRead.Interval = 0
  Else
    tmrRead.Interval = 10000 / hscrlFreq.value
  End If

  txtSample.Text = Format((hscrlFreq.value / 10), "###0.000")
  ' "Read One Shot" would disable the "trmREAD" Timer,
  ' so it need to enable here.
  tmrRead.Enabled = True
  tmrLed.Enabled = True
End Sub
Private Sub hscrlFreqMul_Change()
  If hscrlFreqMul.value = 0 Then
    tmrReadMul.Interval = 0
  Else
    tmrReadMul.Interval = 10000 / hscrlFreqMul.value
  End If
  txtSampleMul.Text = Format((hscrlFreqMul.value / 10), "###0.00")
  'Read One Shot" would disable the "trmREAD" Timer
  ' so it need to enable here.
  tmrReadMul.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    tmrLedMul.Enabled = True
End Sub
Private Sub labVoltage_Change()
    labPercentOut.Caption = Format((labVoltage.Caption - 1) / (5 - 1) * 100, "##0.000")
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
    If txtRef.Text = "" Then
        txtRef.Text = 0#
    End If
    If txtRef.Text < 0# Then
        LabRef.Caption = 0.001
    End If
    If NeuroOperate = True Then
        Call PlotRef
    End If
    If val(txtRef.Text) <> New_ref Then
        Td = 0
        Tr = 0
        Ts = 0
        Ess = 0
        Os = 0
        txtTimer.Text = 0
        txtTd.Text = Format(Td, "##0")
        txtTr.Text = Format(Tr, "##0")
        txtTs.Text = Format(Ts, "##0")
        txtEss.Text = Format(Ess, "##0")
        txtOs.Text = Format(Os, "##0")
        Old_ref = New_ref
        New_ref = val(txtRef.Text)
        ref_change = True
        G_delta = 10
        G_error = 2
        G_u = 5
        G_k = 1
    End If
    txtTimer.Text = txtTimer.Text + 1
    If (Abs(New_ref - Old_ref) > 0#) And ref_change = True Then
'check Tr & Td
        ref_offset = New_ref - Old_ref
        If LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref Then
            Td = Td + 1
            txtTd.Text = Format(Td, "##0")
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 10) / 100) + Old_ref And LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 75) / 100) +
Old_ref Then
        Tr = Tr + 1
        txtTr.Text = Format(Tr, "##0")
    End If
'check Ess
    If LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 95) / 100) + Old_ref And LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 105) / 100) +
Old_ref Then
        ref_more_100percent = True
        ref_change = False
    Else
        ref_more_100percent = False
    End If
    If ref_more_100percent = True Then
        Ts = Ts + 1
      If LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 95) / 100) + Old_ref And LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 105) / 100)
+ Old_ref Then
          txtTs.Text = Format(Ts, "##0")
          If Tr <> 0# And Ts > 2 * Tr Then
          End If
        End If
    Else
        Ts = Ts + 1
        txtTs.Text = Format(Ts, "##0")
    End If
'end check Ess
  End If
  Ess = Format((LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption), "##0.000")
  txtEss.Text = Ess
  If Abs(Ess) > 0.1 And LabRef.Caption > 0.01 Then
    G_k = (1 + ((Ess / val(LabRef.Caption)) * 2))
  End If
  txtG_k.Text = Format(G_k, "#0.0###")
  If val(LabPercentInp.Caption) > New_ref And ref_change = True Then
    If val(LabPercentInp.Caption) - New_ref > txtOs.Text Then
      New_Os = val(LabPercentInp.Caption) - New_ref
      txtOs.Text = New_Os
    End If
  End If
End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
  Dim VsclRange As Long
  Dim VsclOffset As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If txtRef.Text = "" Then
      txtRef.Text = 0
    End If
    If txtRef.Text < 0# Then
      LabRef.Caption = 0.001
    End If
    If vsclRefChange = True Then
      Exit Sub
    ElseIf vsclRefChange = False And txtRefChange = True Then
      If val(txtRef.Text) > vsclRef.Min Then
        txtRef.Text = vsclRef.Min
      ElseIf val(txtRef.Text) < vsclRef.Max Then
        txtRef.Text = vsclRef.Max
      Else
        vsclRef.value = val(txtRef.Text)
        VsclRange = vsclRef.Min - vsclRef.Max
        VsclOffset = vsclRef.value - vsclRef.Max
        LabRef.Caption = Format(VsclOffset, "##0.000")
        txtRefChange = False
      End If
    End If
  End Sub
  Private Sub Timer3_Timer()
    Call runTimer3
  End Sub
  Private Sub tmrLed_Timer()
    shapLed.FillColor = QBColor(8)
  End Sub
  Private Sub tmrLedMul_Timer()
    shapLedMul.FillColor = QBColor(8)
  End Sub
  Private Sub tmrReadMul_Timer()
   shapLedMul.FillColor = QBColor(12)
   ptMAIVoltageIn.NumChan = 2
   ptMAIVoltageIn.StartChan = 0
   ptMAIVoltageIn.GainArray = DRV_GetAddress(usGainCode(ptMAIConfig.StartChan))
   ptMAIVoltageIn.TrigMode = AiCtrMode
   ptMAIVoltageIn.VoltageArray = DRV_GetAddress(fVoltage(ptMAIConfig.StartChan))
   ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DeviceHandle, ptMAIVoltageIn)
   If (ErrCde <> 0) Then
      ErrCount = ErrCount + 1
      If (ErrCount > 2) Then
        End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Else
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Sub
    End If
  End If
  UpDateValueMul
End Sub
Private Sub txtRef_Change()
  txtRefChange = True
End Sub
Private Sub txtVoltRead_Change(Index As Integer)
  Dim dum As Double
  tmrRead.Enabled = True
  tmrLed.Enabled = True
'channal #0 LT1
  txtVoltReadOneCh.Text = txtVoltRead(0).Text
  dum = Format((txtVoltRead(0).Text - 1) / (5 - 1) * 100, "##0.00")
  If dum > 100 Then
    dum = 100
  ElseIf dum < 0 Then
    dum = 0
  End If
  LabPercentInp.Caption = dum
  dum = 0
  dum = Format((txtVoltRead(1).Text - 0.84) / (4.37 - 0.84) * 100, "##0.00")
  If dum > 100 Then
    dum = 100
  ElseIf dum < 0 Then
    dum = 0
  End If
  labPercentInp2.Caption = dum
End Sub
Private Sub vsclOut_Change()
  Dim AoVoltage As PT_AOVoltageOut
  Dim VsclRange As Long
  Dim VsclOffset As Long
  VsclRange = vsclOut.Min - vsclOut.Max
  VsclOffset = vsclOut.value - vsclOut.Max
  LabOut.Caption = Format(VsclOffset, "##0.000")
End Sub
Private Sub vsclRef_Change()
  Dim AoVoltage As PT_AOVoltageOut
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim VsclRange As Long
    Dim VsclOffset As Long
    vscRefChange = True
    If txtRefChange = False Then
       DoEvents
       VsclRange = vsclRef.Min - vsclRef.Max
       VsclOffset = vsclRef.value - vsclRef.Max
       LabRef.Caption = Format(VsclOffset, "##0.000")
       txtRef.Text = Format(VsclOffset, "##0.000")
       vscRefChange = False
    End If
    vscRefChange = False
End Sub
Private Sub vsclVoltage_Change()
    Dim AoVoltage As PT_AOVoltageOut
    Dim VsclRange As Long
    Dim VolRange As Integer
    Dim VsclOffset As Long
    VolRange = lpAOConfig.MaxValue - lpAOConfig.MinValue
    VsclRange = vsclVoltage.Min - vsclVoltage.Max
    VsclOffset = vsclVoltage.value - vsclVoltage.Max
    AoVoltage.chan = lpAOConfig.chan
    AoVoltage.OutputValue = VsclOffset / VsclRange * VolRange + lpAOConfig.MinValue
    ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AoVoltage)
    If (ErrCde <> 0) Then
       DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
       Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
       Exit Sub
    End If
    labVoltage.Caption = Format((VsclOffset / VsclRange * VolRange + lpAOConfig.MinValue), "##0.00")
End Sub
Public Sub Config_Multi_Input()
    Dim i        As Integer
    Dim Code     As Integer
    'The Original default is the value of lpDevConfig_AI.usGainCtrMode.
    'Because this program uses external Trigger Signal, so AiCtrMode is
    'set to 1. (1 External trigger) Since we find something wrong, so we
    'set it to 0 for temporary.
    AiCtrMode = 0
    usStartChan = 0
    usStopChan = 1
    ptMAIConfig.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1
    ptMAIConfig.StartChan = usStartChan
```

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' Here you must point the GainArray to the Start Channel, not the AI Channel
usGainCode(0) = 4 '0-10 volt
usGainCode(1) = 4
If gnNumOfSubdevices = 0 Then
  ptMAIConfig.GainArray = DRV_GetAddress(usGainCode(usStartChan))
Else
  ptMAIConfig.GainArray = Null
End If
ErrCde = DRV_MAIConfig(DeviceHandle, ptMAIConfig)
If (ErrCde <> 0) Then
  DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
  Response = MsgBox(szErrMsg. vbOKOnly, "Error!!")
  Exit Sub
End If
End Sub
Private Sub Config_Input()
  Dim tempNum As Integer
  tempNum = cmbVoltageRangeInp.ListIndex
  lpAIConfig.DasChan = cmbChannelInp.ListIndex
  AiCtrMode = lpDEVCONFIG_AI.usGainCtrMode
' Gain code no use for ADAM series
  If gnNumOfSubdevices = 0 Then
    lpAIConfig.DasGain = lpDevFeatures.glGainList(tempNum).usGainCde
  End If
  ErrCde = DRV_AIConfig(DeviceHandle, lpAIConfig)
  If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
  End If
End Sub
Private Sub Config_Output()
  If cmbChannel.ListIndex = 0 Then
    lpAOConfig.chan = 0 '0,1
  Else
    lpAOConfig.chan = 1 '0,1
  End If
  If cmbVoltageRange.ListIndex = 0 Then
    lpAOConfig.MaxValue = 5
    lpAOConfig.MinValue = 0
  Else
    lpAOConfig.MaxValue = 10
    lpAOConfig.MinValue = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If (gnNumOfSubdevices = 0) Then
      ErrCde = DRV_AOConfig(DeviceHandle, lpAOConfig)
      If (ErrCde <> 0) Then
        DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
        Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
        Exit Sub
      End If
    End If
End Sub
Private Sub Chanel_Volt()
  Dim i, ii As Integer
  Dim tempNum As Integer
  Dim TestRes As Boolean
  Dim nOutEntries As Integer
  Dim lpSubDeviceList As Long
  Dim dwDeviceNum As Long
  Dim lpDEVCONFIG_AI As DEVCONFIG_AI
' Check if there is any device attatched on this COM port or CAN
' gnNumOfSubdevices = devicelist(lstDevice.ListIndex).nNumOfSubdevices
  gnNumOfSubdevices = devicelist(0).nNumOfSubdevices
  If (gnNumOfSubdevices > MaxDev) Then
    gnNumOfSubdevices = MaxDev
  End If
  If (gnNumOfSubdevices = 0) Then
    dwDeviceNum = devicelist(0).dwDeviceNum
    ErrCde = DRV_DeviceOpen(dwDeviceNum, DeviceHandle)
    If (ErrCde <> 0) Then
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Sub
    Else
      bRun = True
    End If
    ptDevGetFeatures.buffer = DRV_GetAddress(lpDevFeatures)
    ErrCde = DRV_DeviceGetFeatures(DeviceHandle, ptDevGetFeatures)
    If (ErrCde <> 0) Then
      DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
      Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
      Exit Sub
    End If
' Add analog output channel item
    tempNum = lpDevFeatures.usMaxAOChl
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If (tempNum > 0) Then
      For i = 0 To (tempNum - 1)
        temp$ = "Chan#" + Str(i)
        cmbChannel.AddItem temp$, i
      Next i
      cmbChannel.Text = cmbChannel.List(0)
      cmbChannel.Enabled = True
    End If
    cmbVoltageRange.AddItem "0 ~ 5 V", 0
    cmbVoltageRange.AddItem "0 ~ 10 V", 1
    cmbVoltageRange.Text = cmbVoltageRange.List(0)
'Data Acquisition & Control or Digital I/O card One channel
    ptAIGetConfig.buffer = DRV_GetAddress(lpDEVCONFIG_AI)
    ErrCde = DRV_AIGetConfig(DeviceHandle, ptAIGetConfig)
    If (ErrCde <> 0) Then
     DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
     Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
     Exit Sub
    End If
'config combobox of input one channel and  multichannel
     If (lpDEVCONFIG_AI.usChanConfig = 0) Then
      tempNum = lpDevFeatures.usMaxAISiglChl
     Else
      tempNum = lpDevFeatures.usMaxAIDiffChl
     End If
     If (tempNum > 0) Then
      For i = 0 To (tempNum - 1)
       temp$ = "Chan#" + Str(i)
       cmbChannelInp.AddItem temp$, i
       cmbChannelInpMul.AddItem temp$, i
      Next i
      cmbChannelInp.Text = cmbChannelInp.List(0)
      cmbChannelInpMul.Text = cmbChannelInpMul.List(0)
      cmbChannelInp.Enabled = True
      cmbChannelInpMul.Enabled = True
     End If
' add gain code list (voltage list)
    tempNum = lpDevFeatures.usNumGain
    If (lpDevFeatures.usNumGain > 0) Then
     For i = 0 To (lpDevFeatures.usNumGain - 1)
      tempStr = ""
      For ii = 0 To 15
        tempStr = tempStr + Chr(lpDevFeatures.glGainList(i).szGainStr(ii))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Next ii
            cmbVoltageRangeInp.AddItem tempStr
            cmbVoltageRangeInpMul.AddItem tempStr
          Next i
          cmbVoltageRangeInp.Text = cmbVoltageRangeInp.List(5)
          cmbVoltageRangeInp.Enabled = True
          cmbVoltageRangeInpMul.Text = cmbVoltageRangeInp.List(5)
          cmbVoltageRangeInpMul.Enabled = True
        End If
    End If
End Sub
Private Sub Voltage_Change(value As Integer)
    Dim AoVoltage As PT_AOVoltageOut
    Dim VsclRange As Long
    Dim VolRange As Integer
    Dim VsclOffset As Long
    DoEvents
    If value > 0 And value < 4096 Then
      VolRange = lpAOConfig.MaxValue - lpAOConfig.MinValue
      VsclRange = 4095 - 0
      VsclOffset = value - 0
      AoVoltage.chan = lpAOConfig.chan
      AoVoltage.OutputValue = VsclOffset / VsclRange * VolRange + lpAOConfig.MinValue
      ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AoVoltage)
      If (ErrCde <> 0) Then
        DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
        Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
        Exit Sub
      End If
      labVoltage.Caption = Format((VsclOffset / VsclRange * VolRange + lpAOConfig.MinValue), "##0.000")
    End If
End Sub
Private Sub UpDateValue(fValue As Double)
' Since the output box is too small to display all the digits
' of the input voltage, so it must use to format to get better
' display.
    Static x1 As Single, y1 As Single
    Static x2 As Single, y2 As Single
    Dim dum As Single
    txtVoltReadOneCh.Text = Format(fValue, "##0.0000")
    x1 = x2
    x2 = x2 + 1
    If x1 > 1000 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        x1 = 1
        x2 = 1
        Pict1.Cls
        Pict1.Line (0, 0)-(1000, 0), QBColor(0)
        Pict1.Line (0, 100)-(1000, 100), QBColor(0)
        Pict1.CurrentX = 10
        Pict1.CurrentY = -8
        Pict1.Print "0 Volt"
        Pict1.CurrentX = 10
        Pict1.CurrentY = 115
        Pict1.Print "10 Volt"
    End If
    dum = fValue / 10
    y1 = y2
    y2 = dum * 100
    Pict1.Line (x1, y1)-(x2, y2), QBColor(9)
    Open "D:\NeuroFuzzyPro_FuzzySingleTon_Tidaporn_rule_1storder_flow\mv.tck" For Append Shared As #1
      Print #1, x1, Format(y2, "##0.000")
    Close #1
End Sub
Private Sub UpDateValueMul()
    Dim i As Integer
    Static x1 As Single, y1 As Single
    Static x2 As Single, y2 As Single
    Static x3 As Single, y3 As Single
    Static x4 As Single, y4 As Single
    Dim dum As Single
    ' Since the output box is too small to display all the digits
    ' of the input voltage, so it must use to format to get better
    ' display.
    For i = usStartChan To usStopChan
      txtVoltRead(i).Text = Format(fVoltage(i), "###0.0000")
    Next i
    x1 = x2
    x2 = x2 + 1
    If x1 > 1000 Then
      x1 = 1
      x2 = 1
      Pict1.Cls
      Pict1.Line (0, 0)-(1000, 0), QBColor(0)
      Pict1.Line (0, 100)-(1000, 100), QBColor(0)
      Pict1.CurrentX = 10
      Pict1.CurrentY = -8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Pict1.Print "0 Volt"
        Pict1.CurrentX = 10
        Pict1.CurrentY = 115
        Pict1.Print "10 Volt"
      End If
      dum = fVoltage(0)  10
      y1 = y2
      y2 = dum * 100
      Pict1.Line (x1, y1)-(x2, y2), QBColor(9)
      x3 = x4
      x4 = x4 + 1
      If x3 > 1000 Then
        x3 = 1
        x4 = 1
        Pict1.Cls
        Pict1.Line (0, 0)-(1000, 0), QBColor(0)
        Pict1.Line (0, 100)-(1000, 100), QBColor(0)
      End If
      dum = fVoltage(1) / 10
      y3 = y4
      y4 = dum * 100
      Pict1.Line (x3, y3)-(x4, y4), QBColor(12)
      Open "D:\NeuroFuzzyPro_FuzzySingleTon_Tidaporn_rule_1storder_flow\mv.tck" For Append Shared As #1
        Print #1, x1, Format(y2, "##0.000"), x3, Format(y4, "##0.000")
      Close #1
End Sub
Private Sub run_fuzzy_logic_controller()
  Call init_flbrm_fuzzy_system(g_fuzzy_system)
  If chkReadFuzzy.value = 1 Then
    Call read_fuzzy_system("D:\NeuroFuzzyPro_FuzzySingleTon_Tidaporn_rule_1storder_flow\NeuroFuz.fzs",
g_fuzzy_system)
  End If
End Sub
Private Sub init_flbrm_fuzzy_system(fl As fuzzy_system_rec)
  fl.no_of_inputs = 2 '/* Inputs are handled 2 at a time only */
  fl.no_of_rules = 49
  fl.no_of_inp_regions = 7
  fl.no_of_outputs = 7
  fl.output_values(out_nb) = Rnd(1) * 2 - 1
  fl.output_values(out_nm) = Rnd(1) * 2 - 1
  fl.output_values(out_ns) = Rnd(1) * 2 - 1
  fl.output_values(out_zo) = Rnd(1) * 2 - 1
  fl.output_values(out_ps) = Rnd(1) * 2 - 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    fl.output_values(out_pm) = Rnd(1) * 2 - 1
    fl.output_values(out_pb) = Rnd(1) * 2 - 1
    ReDim fl.rules(fl.no_of_rules)
    Call init_flbrm_rules(fl)
    Call init_flbrm_mem_fns(fl)
  End Sub
  Private Sub init_flbrm_rules(fl As fuzzy_system_rec)
    Dim i As Integer
    For i = 0 To fl.no_of_rules - 1
      fl.rules(i).inp_index(0) = 0 'in_theta
      fl.rules(i).inp_index(1) = 1 'in_theta_dot
    Next i
'1
    fl.rules(0).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(0).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
    fl.rules(0).out_fuzzy_set = -100
    fl.rules(1).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(1).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
    fl.rules(1).out_fuzzy_set = -100
    fl.rules(2).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(2).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
    fl.rules(2).out_fuzzy_set = -75
    fl.rules(3).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(3).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
    fl.rules(3).out_fuzzy_set = -36
    fl.rules(4).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(4).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
    fl.rules(4).out_fuzzy_set = -5
    fl.rules(5).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(5).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
    fl.rules(5).out_fuzzy_set = 20
    fl.rules(6).inp_fuzzy_set(0) = e_nb
    fl.rules(6).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
    fl.rules(6).out_fuzzy_set = 37
'2
    fl.rules(7).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
    fl.rules(7).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
    fl.rules(7).out_fuzzy_set = -100
    fl.rules(8).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
    fl.rules(8).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
    fl.rules(8).out_fuzzy_set = -86
    fl.rules(9).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
    fl.rules(9).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fl.rules(9).out_fuzzy_set = -43
fl.rules(10).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
fl.rules(10).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
fl.rules(10).out_fuzzy_set = -21
fl.rules(11).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
fl.rules(11).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
fl.rules(11).out_fuzzy_set = 11
fl.rules(12).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
fl.rules(12).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
fl.rules(12).out_fuzzy_set = 36
fl.rules(13).inp_fuzzy_set(0) = e_nm
fl.rules(13).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
fl.rules(13).out_fuzzy_set = 42
'3
fl.rules(14).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(14).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
fl.rules(14).out_fuzzy_set = -75
fl.rules(15).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(15).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
fl.rules(15).out_fuzzy_set = -52
fl.rules(16).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(16).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
fl.rules(16).out_fuzzy_set = -31
fl.rules(17).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(17).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
fl.rules(17).out_fuzzy_set = -15
fl.rules(18).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(18).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
fl.rules(18).out_fuzzy_set = 22
fl.rules(19).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(19).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
fl.rules(19).out_fuzzy_set = 42
fl.rules(20).inp_fuzzy_set(0) = e_ns
fl.rules(20).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
fl.rules(20).out_fuzzy_set = 58
'4
fl.rules(21).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(21).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
fl.rules(21).out_fuzzy_set = -30
fl.rules(22).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(22).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
fl.rules(22).out_fuzzy_set = -11
fl.rules(23).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fl.rules(23).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
fl.rules(23).out_fuzzy_set = -5
fl.rules(24).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(24).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
fl.rules(24).out_fuzzy_set = 5
fl.rules(25).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(25).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
fl.rules(25).out_fuzzy_set = 35
fl.rules(26).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(26).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
fl.rules(26).out_fuzzy_set = 60
fl.rules(27).inp_fuzzy_set(0) = e_zo
fl.rules(27).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
fl.rules(27).out_fuzzy_set = 87
'5
fl.rules(28).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(28).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
fl.rules(28).out_fuzzy_set = -15
fl.rules(29).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(29).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
fl.rules(29).out_fuzzy_set = 2
fl.rules(30).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(30).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
fl.rules(30).out_fuzzy_set = 15
fl.rules(31).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(31).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
fl.rules(31).out_fuzzy_set = 38
fl.rules(32).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(32).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
fl.rules(32).out_fuzzy_set = 71
fl.rules(33).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(33).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
fl.rules(33).out_fuzzy_set = 78
fl.rules(34).inp_fuzzy_set(0) = e_ps
fl.rules(34).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
fl.rules(34).out_fuzzy_set = 100
'6
fl.rules(35).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
fl.rules(35).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
fl.rules(35).out_fuzzy_set = 5
fl.rules(36).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
fl.rules(36).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
fl.rules(36).out_fuzzy_set = 20
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    fl.rules(37).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
    fl.rules(37).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
    fl.rules(37).out_fuzzy_set = 43
    fl.rules(38).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
    fl.rules(38).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
    fl.rules(38).out_fuzzy_set = 57
    fl.rules(39).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
    fl.rules(39).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
    fl.rules(39).out_fuzzy_set = 86
    fl.rules(40).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
    fl.rules(40).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
    fl.rules(40).out_fuzzy_set = 95
    fl.rules(41).inp_fuzzy_set(0) = e_pm
    fl.rules(41).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
    fl.rules(41).out_fuzzy_set = 100
'7
    fl.rules(42).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(42).inp_fuzzy_set(1) = de_nb
    fl.rules(42).out_fuzzy_set = 20
    fl.rules(43).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(43).inp_fuzzy_set(1) = de_nm
    fl.rules(43).out_fuzzy_set = 36
    fl.rules(44).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(44).inp_fuzzy_set(1) = de_ns
    fl.rules(44).out_fuzzy_set = 75
    fl.rules(45).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(45).inp_fuzzy_set(1) = de_zo
    fl.rules(45).out_fuzzy_set = 89
    fl.rules(46).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(46).inp_fuzzy_set(1) = de_ps
    fl.rules(46).out_fuzzy_set = 92
    fl.rules(47).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(47).inp_fuzzy_set(1) = de_pm
    fl.rules(47).out_fuzzy_set = 100
    fl.rules(48).inp_fuzzy_set(0) = e_pb
    fl.rules(48).inp_fuzzy_set(1) = de_pb
    fl.rules(48).out_fuzzy_set = 100
End Sub
Private Sub init_flbrm_mem_fns(fl As fuzzy_system_rec)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_nb) = init_gauss(-100, 30, Left)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_nm) = init_gauss(-66.7, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_ns) = init_gauss(-33.3, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_zo) = init_gauss(0, 30, regular)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_ps) = init_gauss(33.3, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_pm) = init_gauss(66.7, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_e, e_pb) = init_gauss(100, 30, Right)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_nb) = init_gauss(-100, 30, Left)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_nm) = init_gauss(-66.7, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_ns) = init_gauss(-33.3, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_zo) = init_gauss(0, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_ps) = init_gauss(33.3, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_pm) = init_gauss(66.7, 30, regular)
    fl.inp_mem_fns(in_de, e_pb) = init_gauss(100, 30, Right)
End Sub
Private Function init_gauss(x1 As Double, x2 As Double, typ As trapz_type) As gaussian
    Dim trz As gaussian
    trz.mean = x1
    trz.sigma = x2
    trz.tp = typ
    init_gauss = trz
End Function
Private Function gauss(x As Double, trz As gaussian) As Double
    Dim dum As Double
    Select Case trz.tp
      Case Left
        If x <= trz.mean Then
          gauss = 1
          Exit Function
        End If
        If x >= trz.mean Then
          dum = Exp(-((x - trz.mean) * (x - trz.mean)) / (trz.sigma * trz.sigma))
          If dum < LOWER_THESHOLD Then
            gauss = 0
          Else
            gauss = dum
          End If
          Exit Function
        End If
      Case Right
        If x >= trz.mean Then
          gauss = 1
          Exit Function
        End If
        If x <= trz.mean Then
          dum = Exp(-((x - trz.mean) * (x - trz.mean)) / (trz.sigma * trz.sigma))
          If dum < LOWER_THESHOLD Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            gauss = 0
          Else
            gauss = dum
          End If
          Exit Function
        End If
      Case regular
        dum = Exp(-((x - trz.mean) * (x - trz.mean)) / (trz.sigma * trz.sigma))
        If dum < LOWER_THESHOLD Then
          gauss = 0
        Else
          gauss = dum
        End If
        Exit Function
    End Select
    gauss = 0
End Function
Private Function min_of(value() As Double, no_of_inps As Integer) As Double
    Dim i As Integer
    Dim val As Double
    val = value(0)
    For i = 1 To no_of_inps - 1
      val = val * value(i)
    Next i
    min_of = val
End Function
' defuzzifier
Private Function fuzzy_system(inputs() As Double, fz As fuzzy_system_rec)
    Dim i As Integer, j As Integer
    Dim variable_index As Integer, fuzzy_set As Integer
    Dim sum1 As Double, sum2 As Double, weight As Double
    sum1 = 0: sum2 = 0
    Dim m_values(MAX_NO_OF_INPUTS) As Double
    For i = 0 To fz.no_of_rules - 1
      For j = 0 To fz.no_of_inputs - 1
        variable_index = fz.rules(i).inp_index(j)
        fuzzy_set = fz.rules(i).inp_fuzzy_set(j)
        m_values(j) = gauss(inputs(variable_index), fz.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set))
      Next j
      weight = min_of(m_values, fz.no_of_inputs)
      fz.rules(i).weight_out_set = weight
      sum1 = sum1 + weight * fz.rules(i).out_fuzzy_set
      fz.a_out = sum1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sum2 = sum2 + weight
        fz.b_out = sum2
      Next i
      If Abs(sum2) < 0.00001 Then
        fuzzy_system = 0
        Exit Function
      End If
      fz.f_out = sum1 / sum2
      fuzzy_system = fz.f_out
    End Function
    Private Function read_fuzzy_system(the_file_name As String, fz As fuzzy_system_rec) As Boolean
      Dim i As Integer, j As Integer, file_size As Long
      Open the_file_name For Input As #1
        Input #1, fz.no_of_inputs, fz.no_of_inp_regions, fz.no_of_rules, fz.no_of_outputs
        For i = 0 To fz.no_of_outputs - 1
          Input #1, fz.output_values(i)
        Next i
        For i = 0 To fz.no_of_inputs - 1
          For j = 0 To fz.no_of_inp_regions - 1
            Input #1, fz.inp_mem_fns(i, j).mean, fz.inp_mem_fns(i, j).sigma, fz.inp_mem_fns(i, j).tp
          Next j
        Next i
        For i = 0 To fz.no_of_rules - 1
          For j = 0 To fz.no_of_inputs - 1
            Input #1, fz.rules(i).inp_index(j), fz.rules(i).inp_fuzzy_set(j)
          Next j
          Input #1, fz.rules(i).out_fuzzy_set 'y
          Input #1, fz.rules(i).weight_out_set 'z
        Next i
      Close #1
    End Function
    Private Function write_fuzzy_system(the_file_name As String, fz As fuzzy_system_rec)
      Dim i As Integer, j As Integer
      Open the_file_name For Output Shared As #1
        Print #1, fz.no_of_inputs, fz.no_of_inp_regions, fz.no_of_rules, fz.no_of_outputs
        For i = 0 To fz.no_of_outputs - 1
          Print #1, fz.output_values(i)
        Next i
        For i = 0 To fz.no_of_inputs - 1
          For j = 0 To fz.no_of_inp_regions - 1
            Print #1, fz.inp_mem_fns(i, j).mean, fz.inp_mem_fns(i, j).sigma, fz.inp_mem_fns(i, j).tp
          Next j
        Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    For i = 0 To fz.no_of_rules - 1
      For j = 0 To fz.no_of_inputs - 1
        Print #1, fz.rules(i).inp_index(j), fz.rules(i).inp_fuzzy_set(j)
      Next j
      Print #1, fz.rules(i).out_fuzzy_set 'y
      Print #1, fz.rules(i).weight_out_set 'z
    Next i
  Close #1
End Function
Private Sub Control_system_fuzzy_logic(fl As fuzzy_system_rec)
  Dim y(2) As Double
  Dim out As Double
  Dim d_out As Double
  Dim err As Double, sum  As Double
  Dim iter As Integer
  Dim dum As Double, factor As Double
  Static Out_old As Double
  iter = 0
  If val(LabRef.Caption) = 0# Then
    LabRef.Caption = 0.001
  End If
    If (Abs(New_ref - Old_ref) > 0#) And ChkAdjust.value = 1 Then
      If Abs(LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption) > 0.5 Then
        y(0) = val(LabErr.Caption) * 2
        y(1) = val(LabDelErr.Caption)
      ElseIf (LabPercentInp.Caption > ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) Then
        y(0) = val(LabErr.Caption) * 2
        y(1) = val(LabDelErr.Caption) * 18
      ElseIf Abs(LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption) < 0.5 Then
        y(0) = val(LabErr.Caption)
        y(1) = val(LabDelErr.Caption)
      End If
    End If
    d_out = (LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption)
    If (Abs(New_ref - Old_ref) > 0#) And ChkAdjust.value = 1 Then
      If val(LabRef.Caption) >= 75 Then
        If (LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) And (LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 120) /
100) + Old_ref) Then
          If Abs(LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption) > 0.25 Then
            Call AdjustParameter(y, LabRef.Caption, LabPercentInp.Caption, fl)
          End If
        ElseIf (LabPercentInp.Caption < ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) And (LabPercentInp.Caption > ((ref_offset * 120) /
100) + Old_ref) Then '_
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Call run_fuzzy_logic_controller
          End If
        End If
        If val(LabRef.Caption) > 0 And val(LabRef.Caption) < 75 Then
          If (LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) And (LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 120) /
100) + Old_ref) Then
            If Abs(LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption) > 0.25 Then
              Call AdjustParameter(y, LabRef.Caption, LabPercentInp.Caption, fl)
            End If
          ElseIf (LabPercentInp.Caption < ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) Then
            Call run_fuzzy_logic_controller
          End If
        End If
        If val(LabRef.Caption) <= 0 Then
          Call AdjustParameter(y, LabRef.Caption, LabPercentInp.Caption, fl)
        End If
      End If
      sum = 0
      Old_control9 = Old_control8
      Old_control8 = Old_control7
      Old_control7 = Old_control6
      Old_control6 = Old_control5
      Old_control5 = Old_control4
      Old_control4 = Old_control3
      Old_control3 = Old_control2
      Old_control2 = Old_control1
      Old_control1 = New_control
      out = fuzzy_system(y, fl)
      New_control = out
      If (LabPercentInp.Caption > ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) Then
          out = (New_control + Old_control1 + Old_control2 + Old_control3) / 4
      End If
      factor = 1
      txtGainU.Text = Format(factor, "#0.0#")
      LabOutCnt.Caption = Format(out * factor, "###0.000")
      Out_old = val(LabOutCnt.Caption)
      LabOut.Caption = Format(Out_old, "##0.000")
      If Abs(val(LabRef.Caption) - val(LabPercentInp.Caption)) > 0.001 Then
        If val(LabRef.Caption) < 0.001 Then
          LabRef.Caption = 0.0001
        End If
        dum = val(LabOut.Caption)
        dum = (dum * 1638) / 100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        dum = dum + 2457
        If dum > 4095 Then
          dum = 4095
        ElseIf dum < 2457 Then
          dum = 2457
        End If
        vsclVoltage.value = dum
      Else
        If val(LabRef.Caption) < 0.001 Then
          LabRef.Caption = 0.0001
        End If
        dum = val(LabOut.Caption)
        dum = (dum * 1638) / 100
        dum = dum + 2457
        If dum > 4095 Then
          dum = 4095
        ElseIf dum < 2457 Then
          dum = 2457
        End If
        vsclVoltage.value = dum
      End If
      vsclLevel.value = LabPercentInp.Caption
      sum = sum + (LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption) * (LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption)
      err = 0.5 * sum
      DoEvents
End Sub
Private Sub AdjustParameter(inputs() As Double, desireout As Double, processvalue As Double, fl As fuzzy_system_rec)
  Dim i As Integer, alpha As Double
  Dim j As Integer, K As Integer
  Dim weights As Double
  Dim alpha1 As Double, alpha2 As Double, alpha3 As Double
  alpha = txtAlpha.Text
    alpha1 = 0.6
    alpha2 = 0.001
    alpha3 = 0.00001
'y(k+1)=y(k)-(alpha*(f-d)*z/b)
  For i = 0 To fl.no_of_rules - 1
    If fl.b_out > 0# Then
      fl.rules(i).out_fuzzy_set = fl.rules(i).out_fuzzy_set + (alpha1 * (desireout - processvalue) _
                                  * fl.rules(i).weight_out_set / fl.b_out)
    End If
  Next i
'x(k+1)=x(k)-alpha*(f-d)/b*(y-f)*z(2xp-x)/theta*theta
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  If (LabPercentInp.Caption <= ((ref_offset * 75) / 100) + Old_ref) Or (LabPercentInp.Caption >= ((ref_offset * 110) / 100) +
Old_ref) Then
    For i = 0 To fl.no_of_rules - 1
      For j = 0 To fl.no_of_inputs - 1
          variable_index = fl.rules(i).inp_index(j)
          fuzzy_set = fl.rules(i).inp_fuzzy_set(j)
          If fl.b_out > 0# And fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma > 0# Then
            weights = 0
            weights = 2 * (inputs(variable_index) - fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).mean) _
                      / (fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma _
                       * fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma)
            fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).mean = fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).mean _
                                    + (alpha2 * (desireout - processvalue) _
                                    * fl.rules(i).weight_out_set / fl.b_out * weights * (fl.rules(i).out_fuzzy_set -
desireout))
          End If
      Next j
    Next i
'   'sigma(k+1)=sigma(k)-alpha*(f-d)/b*(y-f)*z*(2(xp-x)*(xp-x)/theta*theta)
  For i = 0 To fl.no_of_rules - 1
    For j = 0 To fl.no_of_inputs - 1
        variable_index = fl.rules(i).inp_index(j)
        fuzzy_set = fl.rules(i).inp_fuzzy_set(j)
        If fl.b_out > 0# And fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma > 0# Then
          weights = 0
          weights = 2 * (inputs(variable_index) - fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).mean) _
                    * (inputs(variable_index) - fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).mean) _
                    / (fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma _
                    * fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma _
                    * fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma)
          fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma = fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma _
                                  + (alpha3 * (desireout - processvalue) _
                                  * fl.rules(i).weight_out_set / fl.b_out * weights * (fl.rules(i).out_fuzzy_set - desireout))
          If fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma < 0# Then
            fl.inp_mem_fns(variable_index, fuzzy_set).sigma = 3#
          End If
        End If
    Next j
  Next i
  End If
End Sub
Private Sub SetScalePict()
  Pict2.Scale (0, 100)-(1000, 0)
```

เอกสารนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub PlotRef()
  Static x1 As Single, x2 As Single, y1 As Single, y2 As Single
  Static x3 As Single, x4 As Single, y3 As Single, y4 As Single
  Static y5 As Single, y6 As Single
  Static d(5) As Single
  Dim i As Integer, dum As Single
  x1 = x2
  x2 = x2 + 1
  If x1 > 1000 Then
    x1 = 0
    x2 = 1
    Pict2.Cls
  End If
  y1 = y2
  y2 = LabRef.Caption
  y3 = y4
  y4 = LabOutCnt.Caption
  y5 = y6
  y6 = LabPercentInp.Caption
  For i = 0 To 4
    d(0) = d(1)
    d(1) = d(2)
    d(2) = d(3)
    d(3) = d(4)
    d(4) = y6
  Next
  If y1 > 0 Then
    DoEvents
    Pict2.Line (x1, y1)-(x2, y2), QBColor(9)
    Pict2.Line (x1, y3)-(x2, y4), QBColor(12)
    Pict2.Line (x1, y5)-(x2, y6), QBColor(10)
  End If
  dum = (d(0) + d(1) + d(2) + d(3) + d(4)) / 5
  Open "D:\NeuroFuzzyPro_FuzzySingleTon_Tidaporn_rule_1storder_flow\control.tck" For Append Shared As #1
    Print #1, x1, y2, y4, y6, dum, txtOs.Text, txtTd.Text, txtTr.Text, txtTs.Text
  Close #1
End Sub
Private Sub runTimer3()
  Dim factor As Double
  Dim y(2) As Double
  Dim deltra As Double, err As Double
    Old_err_input9 = Old_err_input8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Old_err_input8 = Old_err_input7
    Old_err_input7 = Old_err_input6
    Old_err_input6 = Old_err_input5
    Old_err_input5 = Old_err_input4
    Old_err_input4 = Old_err_input3
    Old_err_input3 = Old_err_input2
    Old_err_input2 = Old_err_input1
    Old_err_input1 = new_err_input
    new_err_input = (LabRef.Caption - LabPercentInp.Caption)
    err = new_err_input
    LabErr.Caption = Format(err, "##0.0#####")
    txtGainE.Text = Format(G_error, "#0.0#")
    txtGainDelE.Text = Format(G_delta, "#0.0#")
    Old_deltra_input9 = Old_deltra_input8
    Old_deltra_input8 = Old_deltra_input7
    Old_deltra_input7 = Old_deltra_input6
    Old_deltra_input6 = Old_deltra_input5
    Old_deltra_input5 = Old_deltra_input4
    Old_deltra_input4 = Old_deltra_input3
    Old_deltra_input3 = Old_deltra_input2
    Old_deltra_input2 = Old_deltra_input1
    Old_deltra_input1 = new_deltra_input
    y(1) = new_deltra_input
    y(2) = LabPercentInp.Caption
    y(1) = y(1) - y(2)
    new_deltra_input = y(1)
    deltra = new_deltra_input
  LabDelErr.Caption = Format(deltra, "##0.0#####")
 Call Control_system_fuzzy_logic(g_fuzzy_system)
End Sub


Attribute VB_Name = "Global"
Global Const MaxEntries = 255
Global DeviceHandle As Long
Global ptDevGetFeatures As PT_DeviceGetFeatures
Global lpDevFeatures As DEVFEATURES
Global devicelist(0 To MaxEntries) As PT_DEVLIST
Global SubDevicelist(0 To MaxEntries) As PT_DEVLIST
Global ErrCde As Long
Global szErrMsg As String * 80
Global bRun As Boolean
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'for output data
Global lpAOConfig As PT_AOConfig
'for input data
Global lpAIConfig As PT_AIConfig
Global AiVolIn As PT_AIVoltageIn
Global ptAIGetConfig As PT_AIGetConfig
Global AiCtrMode As Integer
'for multi channel
'Global ptAIGetConfig As PT_AIGetConfig
'Global AiCtrMode As Integer
Global usDasChan(0 To 15) As Integer
Global usGainCode(0 To 15) As Integer
Global usStartChan As Integer          ' Start Channel
Global usStopChan  As Integer          ' Stop Channel
Global usCurrentchan As Integer        ' Current Channel
Global ptMAIConfig As PT_MAIConfig     ' Structure for MAIConfig table
Global ptMAIVoltageIn As PT_MAIVoltageIn  ' Structure for MAIVoltageIn table

Attribute VB_Name = "Driver"
'******************************************************************************
' Module Name: DRIVER.BAS
' Purpose: the declaration of functions, data structures, status codes,
'       constants, and messages
' Version: 3.01
' Date: 04/16/1998
' Copyright (c) 1996 Advantech Corp. Ltd.
' All rights reserved.
'******************************************************************************

'******************************************************************************
'  Constant Definition
'******************************************************************************
Global Const MaxDev = 255 ' max. # of devices
Global Const MaxDevNameLen = 49        ' original is 64; max lenght of device name
Global Const MaxGroup = 6
Global Const MaxPort = 3
Global Const MaxszErrMsgLen = 80
Global Const MAX_DEVICE_NAME_LEN = 64
Global Const MAX_DRIVER_NAME_LEN = 16
Global Const MAX_DAUGHTER_NUM = 16
Global Const MAX_DIO_PORT = 48
Global Const MAX_AO_RANGE = 16
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const REMOTE = 1
Global Const REMOTE1 = REMOTE + 1              ' For PCL-818L JP7 = 5V
Global Const REMOTE2 = REMOTE1 + 1             ' For PCL-818L JP7 =10V
Global Const NONPROG = 0
Global Const PROG = REMOTE
Global Const INTERNAL = 0
Global Const EXTERNAL = 1
Global Const SINGLEENDD = 0
Global Const DIFFERENTIAL = 1
Global Const BIPOLAR = 0
Global Const UNIPOLAR = 1
Global Const PORTA = 0
Global Const PORTB = 1
Global Const PORTC = 2
Global Const INPORT = 0
Global Const OUTPORT = 1

'*************************************************************************
'  Define board vendor ID
'*************************************************************************
Global Const AAC = &H0                 'Advantech
Global Const MB = &H1000               'Keithley/MetraByte
Global Const BB = &H2000               'Burr Brown
Global Const GRAYHILL = &H3000             'Grayhill
Global Const KGS = &H4000

'*************************************************************************
'  Define DAS I/O Board ID.
'*************************************************************************
Global Const NONE = &H0                ' not available

'Advantech board ID
Global Const BD_DEMO = AAC Or &H0          ' demo board
Global Const BD_PCL711 = AAC Or &H1        ' PCL-711 board
Global Const BD_PCL812 = AAC Or &H2        ' PCL-812 board
Global Const BD_PCL812PG = AAC Or &H3      ' PCL-812PG board
Global Const BD_PCL718 = AAC Or &H4        ' PCL-718 board
Global Const BD_PCL818 = AAC Or &H5        ' PCL-818 board
Global Const BD_PCL814 = AAC Or &H6        ' PCL-814 board
Global Const BD_PCL720 = AAC Or &H7        ' PCL-722 board
Global Const BD_PCL722 = AAC Or &H8        ' PCL-720 board
Global Const BD_PCL724 = AAC Or &H9        ' PCL-724 board
Global Const BD_AD4011 = AAC Or &HA        ' ADAM 4011 Module
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const BD_AD4012 = AAC Or &HB        ' ADAM 4012 Module
Global Const BD_AD4013 = AAC Or &HC        ' ADAM 4013 Module
Global Const BD_AD4021 = AAC Or &HD        ' ADAM 4021 Module
Global Const BD_AD4050 = AAC Or &HE        ' ADAM 4050 Module
Global Const BD_AD4060 = AAC Or &HF        ' ADAM 4060 Module
Global Const BD_PCL711B = AAC Or &H10      ' PCL-711B
Global Const BD_PCL818H = AAC Or &H11      ' PCL-818H
Global Const BD_PCL814B = AAC Or &H12      ' PCL-814B
Global Const BD_PCL816 = AAC Or &H13       ' PCL-816
Global Const BD_814_DIO_1 = AAC Or &H14    ' PCL-816/814B 8255 DIO module
Global Const BD_814_DA_1 = AAC Or &H15     ' PCL-816/814B 12 bit D/A module
Global Const BD_816_DA_1 = AAC Or &H16     ' PCL-816/814B 16 bit D/A module
Global Const BD_PCL830 = AAC Or &H17       ' PCL-830 9513A Counter Card
Global Const BD_PCL726 = AAC Or &H18       ' PCL-726 D/A card
Global Const BD_PCL727 = AAC Or &H19       ' PCL-727 D/A card
Global Const BD_PCL728 = AAC Or &H1A       ' PCL-728 D/A card
Global Const BD_AD4052 = AAC Or &H1B       ' ADAM 4052 Module
Global Const BD_AD4014D = AAC Or &H1C      ' ADAM 4014D Module
Global Const BD_AD4017 = AAC Or &H1D       ' ADAM 4017 Module
Global Const BD_AD4080D = AAC Or &H1E      ' ADAM 4080D Module
Global Const BD_PCL721 = AAC Or &H1F       ' PCL-721 32-bit Digital in
Global Const BD_PCL723 = AAC Or &H20       ' PCL-723 24-bit Digital in
Global Const BD_PCL818L = AAC Or &H21      ' PCL-818L
Global Const BD_PCL818HG = AAC Or &H22     ' PCL-818HG
Global Const BD_PCL1800 = AAC Or &H23      ' PCL-1800
Global Const BD_PAD71A = AAC Or &H24       ' PCIA-71A
Global Const BD_PAD71B = AAC Or &H25       ' PCIA-71B
Global Const BD_PCR420 = AAC Or &H26       ' PCR-420
Global Const BD_PCL731 = AAC Or &H27       ' PCL-731 48-bit Digital I/O card
Global Const BD_PCL730 = AAC Or &H28       ' PCL-730 board
Global Const BD_PCL813 = AAC Or &H29       ' PCL-813 32-channel A/D card
Global Const BD_PCL813B = AAC Or &H2A      ' PCL-813B 32-channel A/D card
Global Const BD_PCL818HD = AAC Or &H2B     ' PCL-818HD
Global Const BD_PCL725 = AAC Or &H2C       ' PCL-725 digital I/O card
Global Const BD_PCL732 = AAC Or &H2D       ' PCL-732 high speed DIO card
Global Const BD_AD4018 = AAC Or &H2E       ' ADAM 4018 Module
Global Const BD_814_TC_1 = AAC Or &H2F     ' PCL-816/814B 16 bit TC module
Global Const BD_PAD71C = AAC Or &H30       ' PCIA-71C
Global Const BD_AD4024 = AAC Or &H31       ' ADAM 4024
Global Const BD_AD5017 = AAC Or &H32       ' ADAM 5017
Global Const BD_AD5018 = AAC Or &H33       ' ADAM 5018
Global Const BD_AD5024 = AAC Or &H34       ' ADAM 5024
Global Const BD_AD5051 = AAC Or &H35       ' ADAM 5051
```

เอกสารนี้มีไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const BD_AD5060 = AAC Or &H36        ' ADAM 5060
Global Const BD_PCM3718 = AAC Or &H37       ' PCM-3718
Global Const BD_PCM3724 = AAC Or &H38       ' PCM-3724
Global Const BD_MIC2718 = AAC Or &H39       ' MIC-2718
Global Const BD_MIC2728 = AAC Or &H3A       ' MIC-2728
Global Const BD_MIC2730 = AAC Or &H3B       ' MIC-2730
Global Const BD_MIC2732 = AAC Or &H3C       ' MIC-2732
Global Const BD_MIC2750 = AAC Or &H3D       ' MIC-2750
Global Const BD_MIC2752 = AAC Or &H3E       ' MIC-2752
Global Const BD_PCL733 = AAC Or &H3F        ' PCL-733
Global Const BD_PCL734 = AAC Or &H40        ' PCL-734
Global Const BD_PCL735 = AAC Or &H41        ' PCL-735
Global Const BD_AD4018M = AAC Or &H42       ' ADAM 4018M Module
Global Const BD_AD4080 = AAC Or &H43        ' ADAM 4080 Module
Global Const BD_PCL833 = AAC Or &H44        ' PCL-833
Global Const BD_PCA6157 = AAC Or &H45       ' PCA-6157
Global Const BD_PCA6149 = AAC Or &H46       ' PCA-6149
Global Const BD_PCA6147 = AAC Or &H47       ' PCA-6147
Global Const BD_PCA6137 = AAC Or &H48       ' PCA-6137
Global Const BD_PCA6145 = AAC Or &H49       ' PCA-6145
Global Const BD_PCA6144 = AAC Or &H4A       ' PCA-6144
Global Const BD_PCA6143 = AAC Or &H4B       ' PCA-6143
Global Const BD_PCA6134 = AAC Or &H4C       ' PCA-6134
Global Const BD_AD5056 = AAC Or &H4D        ' ADAM 5056
Global Const BD_DN5017 = AAC Or &H4E        ' ADAM 5017
Global Const BD_DN5018 = AAC Or &H4F        ' ADAM 5018
Global Const BD_DN5024 = AAC Or &H50        ' ADAM 5024
Global Const BD_DN5051 = AAC Or &H51        ' ADAM 5051
Global Const BD_DN5056 = AAC Or &H52        ' ADAM 5056
Global Const BD_DN5060 = AAC Or &H53        ' ADAM 5060
Global Const BD_PCL836 = AAC Or &H54        ' PCL-836
Global Const BD_PCL841 = AAC Or &H55        ' PCL-841
Global Const BD_DN5050 = AAC Or &H56        ' ADAM 5050
Global Const BD_DN5052 = AAC Or &H57        ' ADAM 5052
Global Const BD_AD5050 = AAC Or &H58        ' ADAM 5050 for RS-485
Global Const BD_AD5052 = AAC Or &H59        ' ADAM 5052 for RS-485
Global Const BD_PCM3730 = AAC Or &H5A       ' PCM-3730
Global Const BD_AD4011D = AAC Or &H5B       ' ADAM 4011D
Global Const BD_AD4016 = AAC Or &H5C        ' ADAM 4016
Global Const BD_AD4053 = AAC Or &H5D        ' ADAM 4053
Global Const BD_PCI1750 = AAC Or &H5E       ' PCI-1750
Global Const BD_PCI1751 = AAC Or &H5F       ' PCI-1751
Global Const BD_PCI1710 = AAC Or &H60       ' PCI-1710
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const BD_PCI1712 = AAC Or &H61        ' PCI-1712
Global Const BD_AD5068 = AAC Or &H62              ' ADAM 5068
Global Const BD_AD5013 = AAC Or &H63              ' ADAM 5013(unavailable)
Global Const BD_AD5017H = AAC Or &H64             ' ADAM 5017H(unavailable)
Global Const BD_AD5080 = AAC Or &H65              ' ADAM 5080(unavailable)
Global Const BD_MIC2760 = AAC Or &H66         ' MIC-2760
Global Const BD_PCI1710HG = AAC Or &H67       ' PCI-1710HG
Global Const BD_PCI1713 = AAC Or &H68         ' PCI-1713
Global Const BD_PCI1753 = AAC Or &H69         ' PCI-1753
Global Const BD_PCI1760 = AAC Or &H6A         ' PCI-1760
Global Const BD_PCI1720 = AAC Or &H6B         ' PCI-1720
Global Const BD_PCL752 = AAC Or &H6C          ' PCL-752

Global Const BD_MICRODAC = GRAYHILL Or &H1 ' Grayhill MicroDAC Board ID
Global Const BD_GIA10 = KGS Or &H1         ' KGS GIA-10 module Board ID

'*************************************************************************
'   Define Expansion Board ID.
'*************************************************************************
Global Const AAC_EXP = AAC Or &H100          'Advantech expansion bits

'define Advantech expansion board ID.
Global Const BD_PCLD780 = &H0              ' PCLD-780
Global Const BD_PCLD789 = AAC_EXP Or &H0       ' PCLD-789
Global Const BD_PCLD779 = AAC_EXP Or &H1       ' PCLD-779
Global Const BD_PCLD787 = AAC_EXP Or &H2       ' PCLD-787
Global Const BD_PCLD8115 = AAC_EXP Or &H3      ' PCLD-8115
Global Const BD_PCLD770 = AAC_EXP Or &H4       ' PCLD-770
Global Const BD_PCLD788 = AAC_EXP Or &H5       ' PCLD-788
Global Const BD_PCLD8710 = AAC_EXP Or &H6      ' PCLD-8710

'*************************************************************************
'   Define subsection identifier
'*************************************************************************
Global Const DAS_AISECTION = &H1          ' A/D subsection
Global Const DAS_AOSECTION = &H2          ' D/A sbusection
Global Const DAS_DISECTION = &H3          ' Digital input subsection
Global Const DAS_DOSECTION = &H4          ' Digital output sbusection
Global Const DAS_TEMPSECTION = &H5        ' thermocouple section
Global Const DAS_ECSECTION = &H6          ' Event count subsection
Global Const DAS_FMSECTION = &H7          ' frequency measurement section
Global Const DAS_POSECTION = &H8          ' pulse output section
Global Const DAS_ALSECTION = &H9          ' alarm section
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const MT_AISECTION = &HA          ' monitoring A/D subsection
Global Const MT_DISECTION = &HB          ' monitoring D/I subsection

'*************************************************************************
'  Define Transfer Mode
'*************************************************************************
Global Const POLLED_MODE = &H0           ' software transfer
Global Const DMA_MODE = &H1              ' DMA transfer
Global Const INTERRUPT_MODE = &H2        ' Interrupt transfer

'*************************************************************************
'  Define Acquisition Mode
'*************************************************************************
Global Const FREE_RUN = 0
Global Const PRE_TRIG = 1
Global Const POST_TRIG = 2
Global Const POSITION_TRIG = 3

'*************************************************************************
'  Define Comparator's Condition
'*************************************************************************
Global Const NOCONDITION = 0
Global Const LESS = 1
Global Const BETWEEN = 2
Global Const GREATER = 3
Global Const OUTSIDE = 4

'*************************************************************************
'  Define Status Code
'*************************************************************************
Global Const SUCCESS = 0
Global Const DrvErrorCode = 1
Global Const KeErrorCode = 100
Global Const DnetErrorCode = 200
Global Const MemoryAllocateFailed = (DrvErrorCode + 0)
Global Const ConfigDataLost = (DrvErrorCode + 1)
Global Const InvalidDeviceHandle = (DrvErrorCode + 2)
Global Const AIConversionFailed = (DrvErrorCode + 3)
Global Const AIScaleFailed = (DrvErrorCode + 4)
Global Const SectionNotSupported = (DrvErrorCode + 5)
Global Const InvalidChannel = (DrvErrorCode + 6)
Global Const InvalidGain = (DrvErrorCode + 7)
Global Const DataNotReady = (DrvErrorCode + 8)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const InvalidInputParam = (DrvErrorCode + 9)
Global Const NoExpansionBoardConfig = (DrvErrorCode + 10)
Global Const InvalidAnalogOutValue = (DrvErrorCode + 11)
Global Const ConfigIoPortFailed = (DrvErrorCode + 12)
Global Const CommOpenFailed = (DrvErrorCode + 13)
Global Const CommTransmitFailed = (DrvErrorCode + 14)
Global Const CommReadFailed = (DrvErrorCode + 15)
Global Const CommReceiveFailed = (DrvErrorCode + 16)
Global Const CommConfigFailed = (DrvErrorCode + 17)
Global Const CommChecksumError = (DrvErrorCode + 18)
Global Const InitError = (DrvErrorCode + 19)
Global Const DMABufAllocFailed = (DrvErrorCode + 20)
Global Const IllegalSpeed = (DrvErrorCode + 21)
Global Const ChanConflict = (DrvErrorCode + 22)
Global Const BoardIDNotSupported = (DrvErrorCode + 23)
Global Const FreqMeasurementFailed = (DrvErrorCode + 24)
Global Const CreateFileFailed = (DrvErrorCode + 25)
Global Const FunctionNotSupported = (DrvErrorCode + 26)
Global Const LoadLibraryFailed = (DrvErrorCode + 27)
Global Const GetProcAddressFailed = (DrvErrorCode + 28)
Global Const InvalidDriverHandle = (DrvErrorCode + 29)
Global Const InvalidModuleType = (DrvErrorCode + 30)
Global Const InvalidInputRange = (DrvErrorCode + 31)
Global Const InvalidWindowsHandle = (DrvErrorCode + 32)
Global Const InvalidCountNumber = (DrvErrorCode + 33)
Global Const InvalidInterruptCount = (DrvErrorCode + 34)
Global Const InvalidEventCount = (DrvErrorCode + 35)
Global Const OpenEventFailed = (DrvErrorCode + 36)
Global Const InterruptProcessFailed = (DrvErrorCode + 37)
Global Const InvalidDOSetting = (DrvErrorCode + 38)
Global Const InvalidEventType = (DrvErrorCode + 39)
Global Const EventTimeOut = (DrvErrorCode + 40)
Global Const InvalidDmaChannel = (DrvErrorCode + 41)

Global Const KeInvalidHandleValue = (KeErrorCode + 0)
Global Const KeFileNotFound = (KeErrorCode + 1)
Global Const KeInvalidHandle = (KeErrorCode + 2)
Global Const KeTooManyCmds = (KeErrorCode + 3)
Global Const KeInvalidParameter = (KeErrorCode + 4)
Global Const KeNoAccess = (KeErrorCode + 5)
Global Const KeUnsuccessful = (KeErrorCode + 6)
Global Const KeConInterruptFailure = (KeErrorCode + 7)
Global Const KeCreateNoteFailure = (KeErrorCode + 8)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const KeInsufficientResources = (KeErrorCode + 9)
Global Const KeHalGetAdapterFailure = (KeErrorCode + 10)
Global Const KeOpenEventFailure = (KeErrorCode + 11)
Global Const KeAllocCommBufFailure = (KeErrorCode + 12)
Global Const KeAllocMdlFailure = (KeErrorCode + 13)
Global Const KeBufferSizeTooSmall = (KeErrorCode + 14)

Global Const DNInitFailed = (DnetErrorCode + 1)
Global Const DNSendMsgFailed = (DnetErrorCode + 2)
Global Const DNRunOutOfMsgID = (DnetErrorCode + 3)
Global Const DNInvalidInputParam = (DnetErrorCode + 4)
Global Const DNErrorResponse = (DnetErrorCode + 5)
Global Const DNNoResponse = (DnetErrorCode + 6)
Global Const DNBusyOnNetwork = (DnetErrorCode + 7)
Global Const DNUnknownResponse = (DnetErrorCode + 8)
Global Const DNNotEnoughBuffer = (DnetErrorCode + 9)
Global Const DNFragResponseError = (DnetErrorCode + 10)
Global Const DNTooMuchDataAck = (DnetErrorCode + 11)
Global Const DNFragRequestError = (DnetErrorCode + 12)
Global Const DNEnableEventError = (DnetErrorCode + 13)
Global Const DNCreateOrOpenEventError = (DnetErrorCode + 14)
Global Const DNIORequestError = (DnetErrorCode + 15)
Global Const DNGetEventNameError = (DnetErrorCode + 16)
Global Const DNTimeOutError = (DnetErrorCode + 17)
Global Const DNOpenFailed = (DnetErrorCode + 18)
Global Const DNCloseFailed = (DnetErrorCode + 19)
Global Const DNResetFailed = (DnetErrorCode + 20)

' define user window message
Global Const WM_USER = &H400
Global Const WM_ATODNOTIFY = (WM_USER + 200)
Global Const WM_DTOANOTIFY = (WM_USER + 201)
Global Const WM_DIGINNOTIFY = (WM_USER + 202)
Global Const WM_DIGOUTNOTIFY = (WM_USER + 203)
Global Const WM_MTNOTIFY = (WM_USER + 204)
Global Const WM_CANTRANSMITCOMPLETE = (WM_USER + 205)
Global Const WM_CANMESSAGE = (WM_USER + 206)
Global Const WM_CANERROR = (WM_USER + 207)

' define the wParam in user window message
Global Const AD_NONE = 0            ' AD Section
Global Const AD_TERMINATE = 1
Global Const AD_INT = 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const AD_BUFFERCHANGE = 3
Global Const AD_OVERRUN = 4
Global Const AD_WATCHDOGACT = 5
Global Const AD_TIMEOUT = 6
Global Const DA_TERMINATE = 0          ' DA Section
Global Const DA_DMATC = 1
Global Const DA_INT = 2
Global Const DA_BUFFERCHANGE = 3
Global Const DA_OVERRUN = 4
Global Const DI_TERMINATE = 0          ' DI Section
Global Const DI_DMATC = 1
Global Const DI_INT = 2
Global Const DI_BUFFERCHANGE = 3
Global Const DI_OVERRUN = 4
Global Const DI_WATCHDOGACT = 5
Global Const DO_TERMINATE = 0          ' DO Section
Global Const DO_DMATC = 1
Global Const DO_INT = 2
Global Const DO_BUFFERCHANGE = 3
Global Const DO_OVERRUN = 4
Global Const MT_ATOD = 0               ' MT Section
Global Const MT_DIGIN = 1

Global Const CAN_TRANSFER = 0          ' CAN Section
Global Const CAN_RECEIVE = 1
Global Const CAN_ERROR = 2

'*************************************************************************
'  define thermocopule type J, K, S, T, B, R, E
'*************************************************************************
Global Const BTC = 4
Global Const ETC = 6
Global Const JTC = 0
Global Const KTC = 1
Global Const RTC = 5
Global Const STC = 2
Global Const TTC = 3

'*************************************************************************
'  define  temperature scale
'*************************************************************************
Global Const C = 0        'Celsius
Global Const F = 1        'Fahrenheit
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const R = 2        ' Rankine
Global Const K = 3        ' Kelvin


'*************************************************************************
'  define service type for COMEscape()
'*************************************************************************
Global Const EscapeFlushInput = 1
Global Const EscapeFlushOutput = 2
Global Const EscapeSetBreak = 3
Global Const EscapeClearBreak = 4


'*************************************************************************
'  define  gate mode
'*************************************************************************
Global Const GATE_DISABLED = 0          ' no gating
Global Const GATE_HIGHLEVEL = 1         ' active high level
Global Const GATE_LOWLEVEL = 2          ' active low level
Global Const GATE_HIGHEDGE = 3          ' active high edge
Global Const GATE_LOWEDGE = 4           ' active low edge


'*************************************************************************
'  define input mode for PCL-833
'*************************************************************************
Global Const DISABLE = 0              ' disable mode
Global Const ABPHASEX1 = 1             ' Quadrature input X1
Global Const ABPHASEX2 = 2             ' Quadrature input X2
Global Const ABPHASEX4 = 3             ' Quadrature input X4
Global Const TWOPULSEIN = 4            ' 2 pulse input
Global Const ONEPULSEIN = 5            ' 1 pulse input


'*************************************************************************
'  define latch source for PCL-833
'*************************************************************************
Global Const SWLATCH = 0              ' S/W read latch data
Global Const INDEXINLATCH = 1          ' Index-in latch data
Global Const DI0LATCH = 2             ' DI0 latch data
Global Const DI1LATCH = 3             ' DI1 latch data
Global Const TIMERLATCH = 4            ' Timer latch data

'*************************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' define timer base mode for PCL-833
'*************************************************************************
Global Const TPOINT1MS = 0          ' 0.1 ms timer base
Global Const T1MS = 1               ' 1 ms timer base
Global Const T10MS = 2              ' 10 ms timer base
Global Const T100MS = 3             ' 100 ms timer base
Global Const T1000MS = 4            ' 1000 ms timer base

'*************************************************************************
' define clock source for PCL-833
'*************************************************************************
Global Const SYS8MHZ = 0            ' 8 MHZ system clock
Global Const SYS4MHZ = 1            ' 4 MHZ system clock
Global Const SYS2MHZ = 2            ' 2 MHZ system clock

'*************************************************************************
' define cascade mode for PCL-833
'*************************************************************************
Global Const NOCASCADE = 0          ' 24-bit(no cascade)
Global Const CASCADE = 1            ' 48-bit(CH1, CH2 cascade)

'*************************************************************************
' define event type for interrupt and DMA transfer
'*************************************************************************
Global Const ADS_EVT_INTERRUPT = &H1      ' interrupt
Global Const ADS_EVT_BUFCHANGE = &H2      ' buffer change
Global Const ADS_EVT_TERMINATED = &H4     ' termination
Global Const ADS_EVT_OVERRUN = &H8        ' overrun
Global Const ADS_EVT_WATCHDOG = &H10      ' watchdog actived
Global Const ADS_EVT_CHGSTATE = &H20      ' change state event
Global Const ADS_EVT_ALARM = &H40         ' alarm event
Global Const ADS_EVT_PORT0 = &H80         ' port 0 event
Global Const ADS_EVT_PORT1 = &H100        ' port 1 event
Global Const ADS_EVT_PATTERNMATCH = &H200 ' Pattern Match for DI
Global Const ADS_EVT_COUNTER = &H201      ' Persudo event for COUNTERMATCH and COUNTEROVERFLOW
Global Const ADS_EVT_COUNTERMATCH = &H202 ' Counter Match setting NO. for DI
Global Const ADS_EVT_COUNTEROVERFLOW = &H203 ' Counter Overflow for DI
Global Const ADS_EVT_STATUSCHANGE = &H204 ' Status Change for DI
Global Const ADS_EVT_FILTER = &H205       ' Filter Event

'*************************************************************************
' define event name by device number
'*************************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const ADS_EVT_INTERRUPT_NAME = "ADS_EVT_INTERRUPT"
Global Const ADS_EVT_BUFCHANGE_NAME = "ADS_EVT_BUFCHANGE"
Global Const ADS_EVT_TERMINATED_NAME = "ADS_EVT_TERMINATED"
Global Const ADS_EVT_OVERRUN_NAME = "ADS_EVT_OVERRUN"
Global Const ADS_EVT_WATCHDOG_NAME = "ADS_EVT_WATCHDOG"
Global Const ADS_EVT_CHGSTATE_NAME = "ADS_EVT_CHGSTATE"
Global Const ADS_EVT_ALARM_NAME = "ADS_EVT_ALARM"
Global Const ADS_EVT_PATTERNMATCH_NAME = "ADS_EVT_PATTERNMATCH"
Global Const ADS_EVT_COUNTERMATCH_NAME = "ADS_EVT_COUNTERMATCH"
Global Const ADS_EVT_COUNTEROVERFLOW_NAME = "ADS_EVT_COUNTEROVERFLOW"
Global Const ADS_EVT_STATUSCHANGE_NAME = "ADS_EVT_STATUSCHANGE"

'*****************************************************************************
'  define FIFO size
'*****************************************************************************
Global Const FIFO_SIZE = 512            '1K FIFO size (512* 2byte/each data)

'*****************************************************************************
'  Function ID Definition
'*****************************************************************************
Global Const FID_DeviceOpen = 0
Global Const FID_DeviceClose = 1
Global Const FID_DeviceGetFeatures = 2
Global Const FID_AIConfig = 3
Global Const FID_AIGetConfig = 4
Global Const FID_AIBinaryIn = 5
Global Const FID_AIScale = 6
Global Const FID_AIVoltageIn = 7
Global Const FID_AIVoltageInExp = 8
Global Const FID_MAIConfig = 9
Global Const FID_MAIBinaryIn = 10
Global Const FID_MAIVoltageIn = 11
Global Const FID_MAIVoltageInExp = 12
Global Const FID_TCMuxRead = 13
Global Const FID_AOConfig = 14
Global Const FID_AOBinaryOut = 15
Global Const FID_AOVoltageOut = 16
Global Const FID_AOScale = 17
Global Const FID_DioSetPortMode = 18
Global Const FID_DioGetConfig = 19
Global Const FID_DioReadPortByte = 20
Global Const FID_DioWritePortByte = 21
Global Const FID_DioReadBit = 22
```

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const FID_DioWriteBit = 23
Global Const FID_DioGetCurrentDOByte = 24
Global Const FID_DioGetCurrentDOBit = 25
Global Const FID_WritePortByte = 26
Global Const FID_WritePortWord = 27
Global Const FID_ReadPortByte = 28
Global Const FID_ReadPortWord = 29
Global Const FID_CounterEventStart = 30
Global Const FID_CounterEventRead = 31
Global Const FID_CounterFreqStart = 32
Global Const FID_CounterFreqRead = 33
Global Const FID_CounterPulseStart = 34
Global Const FID_CounterReset = 35
Global Const FID_QCounterConfig = 36
Global Const FID_QCounterConfigSys = 37
Global Const FID_QCounterStart = 38
Global Const FID_QCounterRead = 39
Global Const FID_AlarmConfig = 40
Global Const FID_AlarmEnable = 41
Global Const FID_AlarmCheck = 42
Global Const FID_AlarmReset = 43
Global Const FID_COMOpen = 44
Global Const FID_COMConfig = 45
Global Const FID_COMClose = 46
Global Const FID_COMRead = 47
Global Const FID_COMWrite232 = 48
Global Const FID_COMWrite485 = 49
Global Const FID_COMWrite85 = 50
Global Const FID_COMInit = 51
Global Const FID_COMLock = 52
Global Const FID_COMUnlock = 53
Global Const FID_WDTEnable = 54
Global Const FID_WDTRefresh = 55
Global Const FID_WDTReset = 56
Global Const FID_FAIIntStart = 57
Global Const FID_FAIIntScanStart = 58
Global Const FID_FAIDmaStart = 59
Global Const FID_FAIDmaScanStart = 60
Global Const FID_FAIDualDmaStart = 61
Global Const FID_FAIDualDmaScanStart = 62
Global Const FID_FAICheck = 63
Global Const FID_FAITransfer = 64
Global Const FID_FAIStop = 65
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global Const FID_FAIWatchdogConfig = 66
Global Const FID_FAIIntWatchdogStart = 67
Global Const FID_FAIDmaWatchdogStart = 68
Global Const FID_FAIWatchdogCheck = 69
Global Const FID_FAOIntStart = 70
Global Const FID_FAODmaStart = 71
Global Const FID_FAOScale = 72
Global Const FID_FAOLoad = 73
Global Const FID_FAOCheck = 74
Global Const FID_FAOStop = 75
Global Const FID_ClearOverrun = 76
Global Const FID_EnableEvent = 77
Global Const FID_CheckEvent = 78
Global Const FID_AllocateDMABuffer = 79
Global Const FID_FreeDMABuffer = 80
Global Const FID_EnableCANEvent = 81
Global Const FID_GetCANEventData = 82
Global Const FID_TimerCountSetting = 83

'************************************************************************
'  define gain listing
'************************************************************************
Type GainList
   usGainCde    As Integer
   fMaxGainVal   As Single
   fMinGainVal   As Single
   szGainStr(0 To 15)    As Byte
End Type

'************************************************************************
'  Define hardware board(device) features.
'
'  Note: definition for dwPermutaion member
'
'       Bit 0: Software AI
'       Bit 1: DMA AI
'       Bit 2: Interrupt AI
'       Bit 3: Condition AI
'       Bit 4: Software AO
'       Bit 5: DMA AO
'       Bit 6: Interrupt AO
'       Bit 7: Condition AO
'       Bit 8: Software DI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'       Bit 9: DMA DI
'       Bit 10: Interrupt DI
'       Bit 11: Condition DI
'       Bit 12: Software DO
'       Bit 13: DMA DO
'       Bit 14: Interrupt DO
'       Bit 15: Condition DO
'       Bit 16: High Gain
'       Bit 17: Auto Channel Scan
'       Bit 18: Pacer Trigger
'       Bit 19: External Trigger
'       Bit 20: Down Counter
'       Bit 21: Dual DMA
'       Bit 22: Monitoring
'       Bit 23: QCounter
'
'*************************************************************************
Type DEVFEATURES
  szDriverVer(0 To 7) As Byte   ' device driver version
  szDriverName(0 To (MAX_DRIVER_NAME_LEN - 1)) As Byte ' device driver name
  dwBoardID     As Long       ' board ID
  usMaxAIDiffChl  As Integer    ' Max. number of differential channel
  usMaxAISiglChl  As Integer    ' Max. number of single-end channel
  usMaxAOChl    As Integer    ' Max. number of D/A channel
  usMaxDOChl    As Integer    ' Max. number of digital out channel
  usMaxDIChl    As Integer    ' Max. number of digital input channel
  usDIOPort     As Integer    ' specifies if programmable or not
  usMaxTimerChl  As Integer    ' Max. number of Counter/Timer channel
  usMaxAlarmChl  As Integer    ' Max number of  alram channel
  usNumADBit    As Integer    ' number of bits for A/D converter
  usNumADByte   As Integer    ' A/D channel width in bytes.
  usNumDABit    As Integer    ' number of bits for D/A converter.
  usNumDAByte   As Integer    ' D/A channel width in bytes.
  usNumGain     As Integer    ' Max. number of gain code
  glGainList(15)  As GainList   ' Gain listing
  dwPermutation(3) As Long      ' Permutation
End Type

'*************************************************************************
'  AOSET Definition
'*************************************************************************
Type AOSET
  usAOSource As Integer    ' 0-internal, 1-external
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  fAOMaxVol  As Single      ' maximum output voltage
  fAOMinVol  As Single      ' minimum output voltage
End Type

'*************************************************************************
'  DaughterSet Definition
'*************************************************************************
Type DAUGHTERSET
  dwBoardID As Long           ' expansion board ID
  usNum     As Integer        ' available expansion channels
  fGain     As Single         ' gain for expansion channel
  usCards   As Integer        ' number of expansion cards
End Type

'*************************************************************************
'  Analog Input Configuration Definition
'*************************************************************************
Type DEVCONFIG_AI
  dwBoardID     As Long       ' board ID code
  usChanConfig  As Integer    ' 0-single ended, 1-differential
  usGainCtrMode As Integer    ' 1-by jumper, 0-programmable
  usPolarity    As Integer    ' 0-bipolar, 1-unipolar
  usDasGain     As Integer    ' not used if GainCtrMode = 1
  usNumExpChan  As Integer    ' DAS channels attached expansion board
  usCjcChannel  As Integer    ' cold junction channel
  Daughter(MAX_DAUGHTER_NUM - 1) As DAUGHTERSET ' expansion board settings
End Type

'*************************************************************************
'  DEVCONFIG_COM Definition
'*************************************************************************
Type DEVCONFIG_COM
  usCommPort    As Integer        ' serial port
  dwBaudRate    As Long           ' baud rate
  usParity      As Integer        ' parity check
  usDataBits    As Integer        ' data bits
  usStopBits    As Integer        ' stop bits
  usTxMode      As Integer        ' transmission mode
  usPortAddress As Integer        ' communication port address
End Type

'*************************************************************************
'  TRIGLEVEL Definition
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*************************************************************************
Type TRIGLEVEL
 fLow  As Single
 fHigh As Single
End Type


Type PT_DEVLIST
  dwDeviceNum  As Long
  szDeviceName(0 To 49) As Byte
  nNumOfSubdevices As Integer
End Type

Type PT_DeviceGetFeatures
  buffer As Long     ' LPDEVFEATURES
  size   As Integer
End Type

Type PT_AIConfig
  DasChan As Integer
  DasGain As Integer
End Type

Type PT_AIGetConfig
  buffer As Long     ' LPDEVCONFIG_AI
  size   As Integer
End Type

Type PT_AIBinaryIn
  chan    As Integer
  TrigMode As Integer
  reading  As Long    ' USHORT far * reading
End Type

Type PT_AIScale
  reading  As Integer
  MaxVolt  As Single
  MaxCount As Integer
  offset   As Integer
  voltage  As Long    ' FLOAT far *voltage
End Type

Type PT_AIVoltageIn
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  chan    As Integer
  gain    As Integer
  TrigMode As Integer
  voltage  As Long    ' FLOAT far *voltage
End Type

Type PT_AIVoltageInExp
  DasChan As Integer
  DasGain As Integer
  ExpChan As Integer
  voltage As Long     ' FLOAT far *voltage
End Type

Type PT_MAIConfig
  NumChan   As Integer
  StartChan As Integer
  GainArray As Long   ' USHORT far *GainArray
End Type

Type PT_MAIBinaryIn
  NumChan     As Integer
  StartChan   As Integer
  TrigMode    As Integer
  ReadingArray As Long 'USHORT far *Reading
End Type

Type PT_MAIVoltageIn
  NumChan     As Integer
  StartChan   As Integer
  GainArray   As Long 'USHORT far *GainArray
  TrigMode    As Integer
  VoltageArray As Long 'FLOAT far *VoltageArray
End Type

Type PT_MAIVoltageInExp
  NumChan     As Integer
  DasChanArray As Long ' USHORT far *DasChanArray
  DasGainArray As Long ' USHORT far *DasGainArray
  ExpChanArray As Long ' USHORT far *ExpChanArray
  VoltageArray As Long ' FLOAT  far *VoltageArray
End Type

Type PT_TCMuxRead
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  DasChan  As Integer
  DasGain  As Integer
  ExpChan  As Integer
  TCType   As Integer
  TempScale As Integer
  temp     As Long   ' FLOAT far *temp
End Type

Type PT_AOConfig
  chan    As Integer
  RefSrc  As Integer
  MaxValue As Single
  MinValue As Single
End Type

Type PT_AOBinaryOut
  chan    As Integer
  BinData As Integer
End Type

Type PT_AOVoltageOut
  chan      As Integer
  OutputValue As Single
End Type

Type PT_AOScale
  chan      As Integer
  OutputValue As Single
  BinData   As Long   ' USHORT far *BinData
End Type

Type PT_DioSetPortMode
  Port As Integer
  dir  As Integer
End Type

Type PT_DioGetConfig
  PortArray  As Long   ' SHORT far *PortArray
  NumOfPorts As Integer
End Type

Type PT_DioReadPortByte
  Port As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  value As Long      ' USHORT far *value
End Type

Type PT_DioWritePortByte
  Port  As Integer
  Mask  As Integer
  state As Integer
End Type

Type PT_DioReadBit
  Port  As Integer
  bit   As Integer
  state As Long      ' USHORT far *state
End Type

Type PT_DioWriteBit
  Port  As Integer
  bit   As Integer
  state As Integer
End Type

Type PT_DioGetCurrentDOByte
  Port  As Integer
  value As Long      ' USHORT far *value
End Type

Type PT_DioGetCurrentDOBit
  Port  As Integer
  bit   As Integer
  state As Long      ' USHORT far *state
End Type

Type PT_WritePortByte
  Port    As Integer
  ByteData As Integer
End Type

Type PT_WritePortWord
  Port    As Integer
  WordData As Integer
End Type

Type PT_ReadPortByte
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Port    As Integer
  ByteData As Long    ' USHORT far *ByteData
End Type

Type PT_ReadPortWord
  Port    As Integer
  WordData As Long    ' USHORT far *WordData
End Type

Type PT_CounterEventStart
  counter  As Integer
  GateMode As Integer
End Type

Type PT_CounterEventRead
  counter  As Integer
  overflow As Long    ' USHORT far *overflow
  Count    As Long    ' ULONG  far *count
End Type

Type PT_CounterFreqStart
  counter    As Integer
  GatePeriod As Integer
  GateMode   As Integer
End Type

Type PT_CounterFreqRead
  counter As Integer
  freq    As Long     'FLOAT far *freq
End Type

Type PT_CounterPulseStart
  counter  As Integer
  Period   As Single
  UpCycle  As Single
  GateMode As Integer
End Type

Type PT_QCounterConfig
  counter      As Integer
  LatchSrc     As Integer
  LatchOverflow As Integer
  ResetOnLatch  As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  ResetValue   As Integer
End Type

Type PT_QCounterConfigSys
  SysClock   As Integer
  TimeBase   As Integer
  TimeDivider As Integer
  CascadeMode As Integer
End Type

Type PT_QCounterStart
  counter   As Integer
  InputMode As Integer
End Type

Type PT_QCounterRead
  counter  As Integer
  overflow As Long    ' USHORT far *overflow
  LoCount  As Long    ' ULONG  far *LoCount
  HiCount  As Long    ' ULONG  far *HiCount
End Type

Type PT_AlarmConfig
  chan   As Integer
  LoLimit As Single
  HiLimit As Single
End Type

Type PT_AlarmEnable
  chan     As Integer
  LatchMode As Integer
  Enabled   As Integer
End Type

Type PT_AlarmCheck
  chan   As Integer
  LoState As Long     ' USHORT far *LoState
  HiState As Long     ' USHORT far *HiState
End Type

Type PT_WDTEnable
  message    As Integer
  Destination As Long  ' HWND Destination
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Type

Type PT_FAIIntStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  chan       As Integer
  gain       As Integer
  buffer     As Long
  Count      As Long
  cyclic     As Integer
  IntrCount   As Integer
End Type

Type PT_FAIIntScanStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  NumChans    As Integer
  StartChan   As Integer
  GainList    As Long
  buffer     As Long
  Count      As Long
  cyclic     As Integer
  IntrCount   As Integer
End Type

Type PT_FAIDmaStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  chan       As Integer
  gain       As Integer
  buffer     As Long
  Count      As Long
End Type

Type PT_FAIDmaScanStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  NumChans    As Integer
  StartChan   As Integer
  GainList    As Long
  buffer     As Long
  Count      As Long
End Type
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Type PT_FAIDualDmaStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  chan       As Integer
  gain       As Integer
  BufferA    As Long
  BufferB    As Long
  Count      As Long
  cyclic     As Integer
End Type

Type PT_FAIDualDmaScanStart
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  NumChans   As Integer
  StartChan  As Integer
  GainList   As Long
  BufferA    As Long
  BufferB    As Long
  Count      As Long
  cyclic     As Integer
End Type

Type PT_FAITransfer
  ActiveBuf  As Integer
  DataBuffer  As Long
  DataType   As Integer
  start      As Long
  Count      As Long
  Overrun    As Long
End Type

Type PT_FAICheck
  ActiveBuf  As Long
  stopped    As Long
  retrieved  As Long
  Overrun    As Long
  HalfReady  As Long
End Type

Type PT_FAIWatchdogConfig
  TrigMode   As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    NumChans   As Integer
    StartChan  As Integer
    GainList   As Long
    CondList   As Long
    LevelList  As Long
End Type

Type PT_FAIIntWatchdogStart
    TrigSrc    As Integer
    SampleRate As Long
    buffer     As Long
    Count      As Long
    cyclic     As Integer
    IntrCount  As Integer
End Type

Type PT_FAIDmaWatchdogStart
    TrigSrc    As Integer
    SampleRate As Long
    BufferA    As Long
    BufferB    As Long
    Count      As Long
End Type

Type PT_FAIWatchdogCheck
    DataType   As Integer
    ActiveBuf  As Long
    triggered  As Long
    TrigChan   As Long
    TrigIndex  As Long
    TrigData   As Long
End Type

Type PT_FAOIntStart
    TrigSrc    As Integer
    SampleRate As Long
    chan       As Integer
    buffer     As Long
    Count      As Long
    cyclic     As Integer
End Type

Type PT_FAODmaStart
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  TrigSrc    As Integer
  SampleRate  As Long
  chan       As Integer
  buffer     As Long
  Count      As Long
End Type

Type PT_FAOScale
  chan       As Integer
  Count      As Long
  VoltArray  As Long
  BinArray   As Long
End Type

Type PT_FAOLoad
  ActiveBuf  As Integer
  DataBuffer As Long
  start      As Integer
  Count      As Long
End Type

Type PT_FAOCheck
  ActiveBuf   As Long
  stopped     As Long
  CurrentCount As Long
  Overrun     As Long
  HalfReady   As Long
End Type

Type PT_EnableEvent
  EventType   As Integer
  Enabled     As Integer
  Count       As Integer
End Type

Type PT_CheckEvent
  EventType   As Long
  Milliseconds As Long
End Type

Type PT_AllocateDMABuffer
  CyclicMode    As Integer
  RequestBufSize As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  ActualBufSize  As Long
  buffer       As Long
End Type

Type PT_TimerCountSetting
  counter      As Integer
  Count        As Integer
End Type

Type PT_DIFilter
  EventType    As Integer
  EventEnabled As Integer
  Count        As Integer

  EnableMask   As Integer    ' Filter enable data
  HiValue      As Long       ' USHORT far * HiValue;  // Filter value array pointer
  LowValue     As Long
End Type

Type PT_DIPattern
  EventType    As Integer
  EventEnabled As Integer
  Count        As Integer

  EnableMask   As Integer    ' Pattern Match enable data
  PatternValue As Integer    ' Pattern Match pre_setting value;
End Type

Type PT_DICounter
  EventType    As Integer
  EventEnabled As Integer
  Count        As Integer

  EnableMask       As Integer    ' Counter enable data
  TrigEdge         As Integer    ' Counter Trigger edge 0: Rising edge  1:Falling edge
  PresetValue      As Long       ' USHORT far * usPreset;   // counter pre_setting value
  MatchEnableMask  As Integer    ' Counter match enable data
  MatchValue       As Long       ' USHORT far * usValue;    // counter match value
  OverflowEnableMask As Integer  ' Counter overflow data
  Direction        As Integer    ' Up/Down counter direction
End Type

Type PT_DIStatus
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  EventType    As Integer
  EventEnabled As Integer
  Count        As Integer

  EnableMask   As Integer    ' Status change enable data
  RisingEdge   As Integer    ' Record Rising edge trigger type
  FallingEdge  As Integer    ' Record Falling edge trigger type
End Type

Type PT_FDITransfer
  EventType As Integer
  RetData As Long
End Type

Type PT_AOCurrentOut
  chan As Integer
  OutputValue As Single
End Type

Type PT_CounterPWMSetting
  Port As Integer          ' Counter port
  Period As Single         ' Period unit -> 0.1ms
  HiPeriod As Single       ' UpCycle period unit -> 0.1 ms
  OutCount As Long         ' Stop count
  GateMode As Integer
End Type

Type PT_DioTimerSetting
  Port As Integer          ' Counter port
  TimerOnEnable As Integer
  TimerOffEnable As Integer
  OnDuration As Long       ' Timer on duration
  OffDuration As Long      ' Timer off duration
End Type

'*************************************************************************
'  Function Declaration for ADSAPI32
'*************************************************************************
Declare Function DRV_SelectDevice Lib "adsapi32.dll" (ByVal hCaller As Long, ByVal GetModule As Boolean, DeviceNum As
Long, ByVal Description As String) As Long
Declare Function DRV_DeviceGetNumOfList Lib "adsapi32.dll" (NumOfDevices As Integer) As Long
Declare Function DRV_DeviceGetList Lib "adsapi32.dll" (ByVal devicelist As Long, ByVal MaxEntries As Integer, nOutEntries
As Integer) As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declare Function DRV_DeviceGetSubList Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, ByVal SubDevList As Long, ByVal MaxEntries As Integer, nOutEntries As Integer) As Long

Declare Function DRV_DeviceOpen Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, DriverHandle As Long) As Long

Declare Function DRV_DeviceClose Lib "adsapi32.dll" (DriverHandle As Long) As Long

Declare Function DRV_DeviceGetFeatures Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, lpDevFeatures As PT_DeviceGetFeatures) As Long

Declare Function DRV_BoardTypeMapBoardName Lib "adsapi32.dll" (ByVal BoardID As Long, ByVal ExpName As String) As Long

Declare Sub DRV_GetErrorMessage Lib "adsapi32.dll" (ByVal lError As Long, ByVal lpszszErrMsg As String)

Declare Function DRV_AIConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIConfig As PT_AIConfig) As Long

Declare Function DRV_AIGetConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIGetConfig As PT_AIGetConfig) As Long

Declare Function DRV_AIBinaryIn Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIBinaryIn As PT_AIBinaryIn) As Long

Declare Function DRV_AIScale Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIScale As PT_AIScale) As Long

Declare Function DRV_AIVoltageIn Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIVoltageIn As PT_AIVoltageIn) As Long

Declare Function DRV_AIVoltageInExp Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AIVoltageInExp As PT_AIVoltageInExp) As Long

Declare Function DRV_MAIConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, MAIConfig As PT_MAIConfig) As Long

Declare Function DRV_MAIBinaryIn Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, MAIBinaryIn As PT_MAIBinaryIn) As Long

Declare Function DRV_MAIVoltageIn Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, MAIVoltageIn As PT_MAIVoltageIn) As Long

Declare Function DRV_MAIVoltageInExp Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, MAIVoltageInExp As PT_MAIVoltageInExp) As Long

Declare Function DRV_TCMuxRead Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, TCMuxRead As PT_TCMuxRead) As Long

Declare Function DRV_AOConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AOConfig As PT_AOConfig) As Long

Declare Function DRV_AOBinaryOut Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AOBinaryOut As PT_AOBinaryOut) As Long

Declare Function DRV_AOVoltageOut Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AOVoltageOut As PT_AOVoltageOut) As Long

Declare Function DRV_AOScale Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AOScale As PT_AOScale) As Long

Declare Function DRV_DioSetPortMode Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioSetPortMode As PT_DioSetPortMode) As Long

Declare Function DRV_DioGetConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioGetConfig As PT_DioGetConfig) As Long

Declare Function DRV_DioReadPortByte Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioReadPortByte As PT_DioReadPortByte) As Long

Declare Function DRV_DioWritePortByte Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioWritePortByte As PT_DioWritePortByte) As Long

Declare Function DRV_DioReadBit Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioReadBit As PT_DioReadBit) As Long

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Declare Function DRV_DioWriteBit Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioWriteBit As PT_DioWriteBit) As
Long
Declare Function DRV_DioGetCurrentDOByte Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioGetCurrentDOByte As
PT_DioGetCurrentDOByte) As Long
Declare Function DRV_DioGetCurrentDOBit Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, DioGetCurrentDOBit As
PT_DioGetCurrentDOBit) As Long
Declare Function DRV_WritePortByte Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, WritePortByte As PT_WritePortByte)
As Long
Declare Function DRV_WritePortWord Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, WritePortWord As
PT_WritePortWord) As Long
Declare Function DRV_ReadPortByte Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ReadPortByte As PT_ReadPortByte) As
Long
Declare Function DRV_ReadPortWord Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ReadPortWord As PT_ReadPortWord)
As Long
Declare Function DRV_CounterEventStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, CounterEventStart As
PT_CounterEventStart) As Long
Declare Function DRV_CounterEventRead Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, CounterEventRead As
PT_CounterEventRead) As Long
Declare Function DRV_CounterFreqStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, CounterFreqStart As
PT_CounterFreqStart) As Long
Declare Function DRV_CounterFreqRead Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, CounterFreqRead As
PT_CounterFreqRead) As Long
Declare Function DRV_CounterPulseStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, CounterPulseStart As
PT_CounterPulseStart) As Long
Declare Function DRV_CounterReset Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ByVal counter As Integer) As Long
Declare Function DRV_QCounterConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, QCounterConfig As
PT_QCounterConfig) As Long
Declare Function DRV_QCounterConfigSys Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, QCounterConfigSys As
PT_QCounterConfigSys) As Long
Declare Function DRV_QCounterStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, QCounterStart As PT_QCounterStart)
As Long
Declare Function DRV_QCounterRead Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, QCounterRead As PT_QCounterRead)
As Long
Declare Function DRV_AlarmConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AlarmConfig As PT_AlarmConfig) As
Long
Declare Function DRV_AlarmEnable Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AlarmEnable As PT_AlarmEnable) As
Long
Declare Function DRV_AlarmCheck Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, AlarmCheck As PT_AlarmCheck) As
Long
Declare Function DRV_AlarmReset Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ByVal chan As Integer) As Long
Declare Function DRV_WDTEnable Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, WDTEnable As PT_WDTEnable) As
Long
Declare Function DRV_WDTRefresh Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long) As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Declare Function DRV_WDTReset Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long) As Long
Declare Function DRV_GetAddress Lib "adsapi32.dll" (lpVoid As Any) As Long
Declare Function DRV_TimerCountSetting Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, TimerCountSetting As
PT_TimerCountSetting) As Long
Declare Function DRV_CounterPWMSetting Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, lpCounterPWMSetting As
PT_CounterPWMSetting) As Long
Declare Function DRV_CounterPWMEnable Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ByVal Port As Integer) As Long
Declare Function DRV_EnableSyncAO Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, ByVal Enableas As Integer) As Long
Declare Function DRV_WriteSyncAO Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long) As Long
Declare Function DRV_AOCurrentOut Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, lpAOCurrentOut As
PT_AOCurrentOut) As Long

' Direct I/O Functions List
Declare Function DRV_outp Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, ByVal Port As Integer, ByVal ByteData As Long)
As Long
Declare Function DRV_outpw Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, ByVal Port As Integer, ByVal ByteData As
Long) As Long
Declare Function DRV_inp Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, ByVal Port As Integer, ByteData As Long) As Long
Declare Function DRV_inpw Lib "adsapi32.dll" (ByVal DeviceNum As Long, ByVal Port As Integer, ByteData As Long) As
Long

' High speed function declaration
Declare Function DRV_FAIWatchdogConfig Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIWatchdogConfig As
PT_FAIWatchdogConfig) As Long
Declare Function DRV_FAIIntStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIIntStart As PT_FAIIntStart) As Long
Declare Function DRV_FAIIntScanStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIIntScanStart As
PT_FAIIntScanStart) As Long
Declare Function DRV_FAIDmaStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIDmaStart As PT_FAIDmaStart) As
Long
Declare Function DRV_FAIDmaScanStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIDmaScanStart As
PT_FAIDmaScanStart) As Long
Declare Function DRV_FAIDualDmaStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIDualDmaStart As
PT_FAIDualDmaStart) As Long
Declare Function DRV_FAIDualDmaScanStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIDualDmaScanStart As
PT_FAIDualDmaScanStart) As Long
Declare Function DRV_FAIIntWatchdogStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIIntWatchdogStart As
PT_FAIIntWatchdogStart) As Long
Declare Function DRV_FAIDmaWatchdogStart Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIDmaWatchdogStart As
PT_FAIDmaWatchdogStart) As Long
Declare Function DRV_FAICheck Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAICheck As PT_FAICheck) As Long
Declare Function DRV_FAIWatchdogCheck Lib "adsapi32.dll" (ByVal DriverHandle As Long, FAIWatchdogCheck As
PT_FAIWatchdogCheck) As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Declare Function CANWaitForMsg Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal RcvBuf As String, ByVal uTimeValue As Long) As Long
Declare Function CANQueryID Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, Ready As Long, IDBuf As Byte) As Long
Declare Function CANWaitForID Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, IDBuf As Byte, ByVal uTimeValue As Long) As Long
Declare Function CANEnableMessaging Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Type1 As Integer, ByVal Enabled As Long, ByVal AppWnd As Long, RcvBuf As String) As Long
Declare Function CANGetEventName Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, RcvBuf As Byte) As Long
Declare Function CANEnableEvent Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Enabled As Long) As Long
Declare Function CANCheckEvent Lib "ads841.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Milliseconds As Long) As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายจักรพงษ์ เกาเทียน เกิดเมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2534 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคโนโลยีการวัดคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2532

ประสบการณ์ในการทำงาน เริ่มเข้าทำงานที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2535 ในตำแหน่งวิศวกร 4 กองควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ฝ่ายระบบส่ง วิศวกร บริษัท วรจักรอินเตอร์เนชันแนล จำกัด วิศวกร บริษัท เทเลคอมเอเชีย จำกัด (มหาชน) ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกร บริษัท ซีเกท (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้