สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

Universal Input and Auto Tune PID Controller

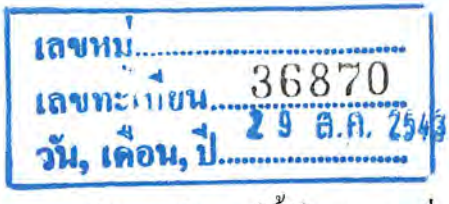
โดย

นางสาว ฉัตต์แก้ว จิรไพโรจน์

นางสาว ศิริวรรณ วิทยาการโกวิท

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สว่าง เลิศธิรสุนทร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2542

สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

Universal Input and Auto Tune PID Controller

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ฉัตต์แก้ว จิรไพโรจน์ เลขประจำตัว 39014101
2. นางสาว ศิริวรรณ วิทยาการโกวิท เลขประจำตัว 39014526

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สว่าง เลิศอิรสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

นางสาว ฉัตต์แก้ว จิรไพโรจน์
นางสาว ศิริวรรณ วิทยาการโกวิท
อาจารย์ สว่าง เลิศฤิรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวควบคุมโดยหาจากผลตอบสนองต่อเวลาของระบบหรือกระบวนการแบบวงเปิดต่ออินพุทแบบขั้นบันได โดยผลตอบสนองของกระบวนการที่เป็นสัญญาณอนาลอกจะผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) แล้วนำมาประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผลทางส่วนแสดงผลและจำลองระบบที่มีตัวควบคุมเพื่อดูผลตอบสนองต่อเวลาโดยใช้ MATLAB

ABSTRACT

In this thesis, a micro-controller-based PID controller design system is studied. Given the unit step response of a plant, the proposed system reads the response through an ADC, automatically determines the controller's parameters that give a satisfactory system performance, and displays the result on a 7-segment. The design accuracy is confirmed by MATLAB simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ระบบควบคุม	3
2.1.1 การควบคุมแบบ On-Off หรือ 2 ตำแหน่ง	5
2.1.2 Proportional Control Action	6
2.1.3 Integral Control Action	8
2.1.4 Derivative Control Action	9
2.1.5 Proportional and Integral Control Action	10
2.1.6 Proportional and Derivative Control Action	10
2.1.7 Proportional Integral and Derivative Active	11
2.2 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุทชนิดต่างๆ	12
2.2.1 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง	12
2.2.2 ผลตอบสนองของระบบอันดับสอง	16
2.3 การปรับเครื่องควบคุม	22
2.3.1 คุณลักษณะของกระบวนการป้อนกลับแบบวงเปิด	22
2.3.2 การทดสอบกระบวนการด้วยสัญญาณสเต็ป	25
2.4. การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	28
2.4.1 การพัฒนารูปแบบตัวควบคุม	28
2.4.2 คุณลักษณะเฉพาะของระบบป้อนกลับ	29
2.4.3 โหมดของตัวควบคุมและตัวแปรที่ใช้ในการปรับตัว	30
2.4.4 ผลสรุปจากการสังเคราะห์ตัวควบคุม	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบวงจร 36
3.1 โครงสร้างโดยรวม 36
3.2 วงจรอินพุทที่ใช้ในการรับสัญญาณต่างๆ 37
3.2.1 วงจร Bridge สำหรับรับสัญญาณจาก RTD 37
3.2.2 วงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล 40
3.2.3. วงจรรับสัญญาณขนาด 1-5V 42
(แปลงสัญญาณจาก 1- 5V เป็นสัญญาณ 0-5V)
3.2.4. วงจรแปลงสัญญาณ 4-20 mA เป็น 0-5 V 43
3.3 ตัวควบคุม 44
3.3.1 ส่วนของ Hardware 45
3.3.2 ส่วนของ Software 51
3.4.ส่วนของวงจรเอาท์พุท 58

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 60
4.1 ผลการทดลองเมื่อนำวงจรรับอินพุทไปรับสัญญาณชนิดต่างๆ 60
4.2 การทดลองเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติกับ 67
กระบวนการอิเล็กทรอนิค
4.2.1 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการเมื่อยังไม่มีตัวควบคุม 68
4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อใช้ 70
ตัวควบคุมแบบพีไอดี
4.2.3 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการอันดับสองเมื่อใช้ตัวควบคุม 73
แบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ 78

กิตติกรรมประกาศ
ภาคผนวก
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบ วงเปิด 3

2.2 ระบบควบคุมแบบ วงปิด 4

2.3 (ก) Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง หรือ แบบ On-Off 5

2.3 (ข) ช่วง Differential Gap 5

2.4 การควบคุมแบบสัดส่วน 6

2.5 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน 6

2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว 7

2.7 Block Diagram ของการควบคุมแบบ Integral 8

2.8 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได 8

2.9 Derivative Control Action 9

2.10 แสดงผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของกิริยาควบคุมแบบ Derivative 10

2.11 การควบคุมแบบพีไอ 10

2.12 การควบคุมแบบ PD 11

2.13 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID กับสัญญาณเข้า แบบขั้นบันได 11

2.14 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเสต็ปของระบบอันดับหนึ่ง 14

2.15 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง เมื่อมีการหน่วงเวลา 15

2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งโพลกับการตอบสนองของกระบวนการ 19

2.17 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณเข้าที่เป็นสเต็ป 21

2.18 แผนผังบล็อกของระบบป้อนกลับทั่วๆ ไป 23

2.19 แผนผังบล็อกเมื่อมีการยุบบล็อกแล้ว 24

2.20 แผนผังบล็อกของวงเปิดเมื่อทดสอบด้วยสัญญาณสเต็ป 25

2.21 กราฟแสดงการหาค่า Δc_s 26

2.22 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองแบบ overdamped 28

2.23 แสดงแผนผังสัญญาณอย่างง่าย 28

2.24 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง 29

2.25 ผลการตอบสนองของระบบที่มีการหน่วงเวลา 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบวงจร

รูปที่ 3.1 Block Diagram โครงสร้างโดยรวมของตัวควบคุม 37

3.2 วงจรบริดจ์ที่ออกแบบใหม่ 37

3.3 วงจร Bridge เดิม 38

3.4 วงจรบริดจ์เมื่อต่อวงจรขยายสัญญาณแล้ว 39

3.5 วงจรบริดจ์ที่ต่อวงจรขยายเมื่อแทนค่าต่างๆแล้ว 40

3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ input และ output ของวงจร Thermocouple 40

3.7 แสดงผลการตอบสนองความถี่ 40

3.8 วงจรเทอร์โมคัปเปิล เดิม 41

3.9 วงจรเทอร์โมคัปเปิล ใหม่ 41

3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุท ของวงจร แปลงสัญญาณ 1-5V เป็น 0-5 V 42

3.11 แสดงวงจรแปลงสัญญาณ 1-5V เป็น 0-5V 42

3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ของวงจรแปลงสัญญาณ 4-20mA เป็น 0-5V 43

3.13 วงจร I / V Converter 43

3.14 วงจร I/V Converter เมื่อแทนค่าที่ได้จากการคำนวณแล้ว 44

3.15 แสดงขาของ 7-Segments 45

3.16 แสดงขาของ Switch 46

3.17 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับสวิตช์ 47

3.18 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับ 8255 48

3.19 วงจรที่ต่อกับ CPU 49

3.20 วงจรการต่อร่วมกันระหว่าง ADC0809 และ 74LS14 50

3.21 วงจร DAC 50

3.22 แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัติ 57

3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ของวงจร V/I Converter 58

3.24 วงจร V / I Converter 59

3.25 วงจร V / I Converter เมื่อแทนค่าที่คำนวณได้แล้ว 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี 61

4.2 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล 63

4.3 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 1-5V 65

4.4 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 4 –20 mA 66

4.5 แบบจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม MATHLAB 67

4.6 (a) แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อไม่มีตัวควบคุม 68

4.6(b)แสดงผลการตอบสนองของระบบอันดับสองแบบ overdamp เมื่อไม่มีตัวควบคุม 69

4.7 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีตัวควบคุมแบบต่างๆ 72

4.8 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบต่างๆ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเสต็ปของระบบอันดับหนึ่ง 14

2.2 แสดงผลการตอบสนองเมื่อค่าของอัตราความหน่วงแตกต่างกัน 18

2.3 โหมดของตัวควบคุมและพารามิเตอร์ในการปรับแต่ง 35

บทที่ 3 การออกแบบวงจร

ตารางที่ 3.1 แสดง Data ของ Seven-Segments 45

3.2 แสดงการเชื่อมต่อขา 89C52 กับ 8255 48

3.3 แสดงค่า Select Bit ที่ส่งไป 8255 48

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี 74

4.2 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล 75

4.3 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 1-5V 77

4.4 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาของโครงงาน

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ ได้มีการนำเครื่องจักรอัตโนมัติมาใช้งาน กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้การทำงานมีความถูกต้องได้มากกว่าการใช้แรงงานคนเป็นอย่างมาก และเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จำเป็นจะต้องมีส่วนควบคุมไว้ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรเหล่านั้นด้วย

ด้วยการเล็งเห็นถึงความสำคัญดังที่กล่าวมา ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงการนำวงจรอิเล็กทรอนิค (Electronics) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาใช้ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยจะทำเป็นตัวควบคุมแบบหลายอินพุท (Universal Input Controller) ที่มีระบบควบคุมภายในเป็นตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ (PID Auto Tune Controller)

ขอบเขตของโครงงาน

1. ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ (Universal Input and Auto Tune PID Controller) สามารถรับสัญญาณอินพุท (input) ได้ทั้งหมด 4 ชนิด คือ สัญญาณจาก เทอร์โมคัปเปิลชนิด K-type (Thermocouple K type), อาร์ทีดี (RTD) ชนิด pt100, สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA และสัญญาณมาตรฐาน 1-5 V

2. Universal Input and Auto Tune PID Controller สามารถรับค่า set point ซึ่งเป็นค่า ณ จุดที่ระบบจะต้องรักษาเสถียรภาพไว้ โดยจะรับผ่านทางปุ่มรับสัญญาณ (keyboard) โดยค่า set point ของอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 0-150 ^{o}C , ค่า set point ของกระแสจะอยู่ในช่วง 4-20 mA และค่า set point ของความต่างศักย์จะอยู่ในช่วง 1-5 V

3. Universal Input and Auto Tune PID Controller สามารถเลือกโหมด (Mode) การรับสัญญาณของ input ทั้ง 4 ชนิดได้ทาง keyboard

4. Universal Input and Auto Tune PID Controller นั้นเป็น PID Controller ในรูปแบบของ Software (Program) ซึ่งอยู่ใน Microcontroller (MCS-51) โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวคำนวณค่า ที่จะต้องส่งไปให้แก่ Plant เพื่อทำให้ค่าตัวแปรของกระบวนการ (Process Variable) ลู่เข้าสู่ค่า Set point ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Universal Input and Auto Tune PID Controller จะส่งสัญญาณควบคุม (Control Signal) เป็นสัญญาณมาตรฐานขนาด 4-20 mA ไปใช้ในการควบคุมระบบ (Plant) ให้มีเสถียรภาพ เช่น ส่ง สัญญาณควบคุม (Control signal)ไปเพิ่ม หรือลดความร้อนของตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อให้อุณหภูมิของ Plant มีค่าเข้าใกล้ค่า Set point

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. แบ่ง Universal Input and Auto Tune PID Controller เป็น 3 ส่วน คือ
   - ส่วนวงจรอินพุท เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณอนาลอก (Analog Input) แล้วแปลงสัญญาณที่ได้รับให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) โดยผ่านทาง ADC (Analog to Digital Converter)
   - ส่วน Microcontroller ทำหน้าที่ควบคุมและคำนวณหาค่าที่เหมาะสมเพื่อส่งไปควบคุมให้ผลตอบสนองของกระบวนการตรงตามที่ต้องการโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแอสเซมบลี (Assembly)
   - ส่วนวงจรเอาท์พุท (Output) โดยจะรับค่าสัญญาณที่เป็น Digital จาก Microcontroller แล้วแปลงเป็น สัญญาณ Analog ส่งไปยัง Plant โดยผ่านทาง DAC (Digital to Analog Converter)
2. ศึกษาถึงพฤติกรรมของการจ่ายสัญญาณเอาท์พุทของ Thermocouple และ RTD รวมทั้ง จัดทำวงจรเพื่อรับค่าเข้ามาคำนวณ
3. จัดทำวงจรขยาย และวงจรรับสัญญาณอินพุทชนิดต่างๆ เพื่อแปลงสัญญาณอินพุท ทั้ง 4 ชนิด ให้เป็น สัญญาณ มาตรฐาน 1- 5 V ก่อนเข้า ADC
4. จัดทำวงจรในส่วนของการนำข้อมูลจาก ADC เข้า Microcontroller และเขียน Program เพื่อใช้ในการรับค่า , คำนวณ และ ประมวลผลเพื่อส่งออกไปยัง DAC
5. จัดทำวงจรรับข้อมูลจาก Microcontroller ผ่าน DAC เพื่อแปลงเปลงเป็นสัญญาณ 1-5V
6. จัดทำวงจรแปลงสัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุม ให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ส่งไปควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ทฤษฎี และ หลักการ

2.1.ระบบควบคุม

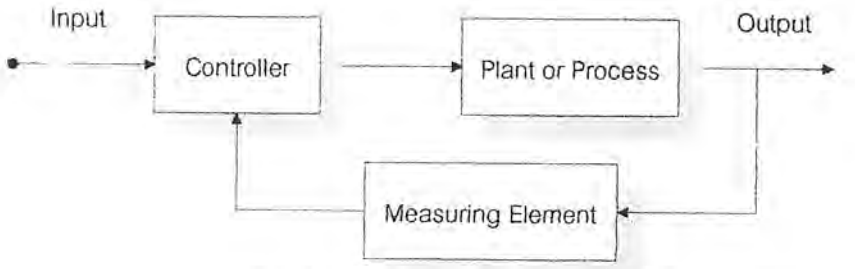
ระบบควบคุมอาจจะแบ่งอย่างง่ายๆ ออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop) และระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop)

ระบบควบคุมแบบ Open-loop เป็นระบบควบคุมที่เอาท์พุทของระบบจะ ไม่มีผลต่อ การควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบ Open-loop นั้น เอาท์พุท ของระบบ จะไม่ถูกวัด หรือถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุท รูปที่ 2.1 เป็น Block Diagram แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุทของระบบควบคุมแบบ Open-loop

รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบ วงเปิด

ระบบควบคุมแบบ Closed-loop เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาท์พุท จะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Closed-loop ก็คือระบบควบคุม แบบป้อนกลับนั่นเอง โดยที่สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาท์พุทของระบบมีค่าตามที่ต้องการ (Set Point) สัญญาณป้อนกลับนี้อาจ เป็นสัญญาณเอาท์พุท โดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชัน หรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาท์พุทก็ได้ ดังรูปที่ 2.2 เป็นแผนผังบล็อก (Block Diagram) ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ของระบบควบคุม แบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบ วงปิด

การควบคุมที่นิยมใช้ในกระบวนการ (Process) ได้แก่ การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ Manual หรือแบบอัตโนมัติก็ได้ ตัวอย่างเช่น ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำ ในอ่างอาบน้ำ ผู้ควบคุมอาจจะใช้มือข้างหนึ่งจุ่มลงในอ่างน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิน้ำดู และใช้มือ อีกข้างปรับน้ำร้อนที่ไหลเข้าให้มากหรือน้อย เพื่อให้น้ำในอ่างมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ การควบคุม แบบนี้จะเรียกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบ Manual

ถ้าผู้ควบคุมใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิแล้ว เขาก็จะสามารถควบคุมอุณหภูมิ ของน้ำในอ่างได้เที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าทำการวัดได้อย่างเที่ยงตรงแล้วก็สามารถ ทำให้ควบคุมได้ดีขึ้น สำหรับในกรณีของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบอัตโนมัตินั้นจะต้องใช้ อุปกรณ์ควบคุมด้วยเครื่องส่งสัญญาณ เพื่อไปทำการเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิของน้ำ ที่ต้องการ ตัวควบคุมก็จะสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์วควบคุม ที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำร้อนที่ไหลเข้าอ่างให้มากขึ้น หรือน้อยลง เพื่อให้น้ำในอ่าง มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ

ชนิดต่างๆ ของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำแนกออกได้ตามลักษณะของการควบคุม ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ ON-OFF หรือตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง (Two Position)
2. ตัวควบคุมแบบพี (Proportional ; P)
3. ตัวควบคุมแบบไอ (Integral ; I)
4. ตัวควบคุมแบบดี (Derivative ; D)
5. ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral ; PI)
6. ตัวควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative ; PD)
7. ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative ; PID)

ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1. การควบคุมแบบ ON-OFF หรือ 2 ตำแหน่ง

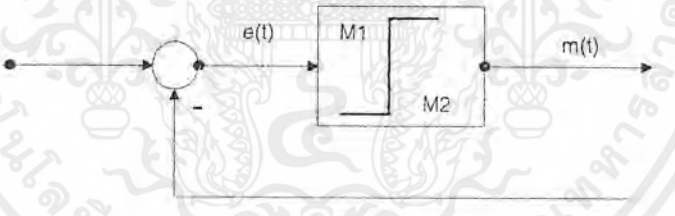
ในระบบควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งการควบคุมจะทำงานในตำแหน่งที่คงที่เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น ในบางครั้งจึงมีชื่อเรียกว่า การควบคุมแบบON หรือ OFF การควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง หรือแบบ ON-OFF นี้จะเป็นการควบคุมแบบง่ายๆ และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม และในกรณีที่ผลจากการแกว่ง (Oscillate) นั้นเป็นที่ยอมรับได้

กำหนดให้สัญญาณเอาท์พุท ของตัวควบคุมเป็น m(t) และสัญญาณค่าความ คลาดเคลื่อนเป็น e(t) ฉะนั้นในการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งนั้น สัญญาณ m(t) จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเป็น + หรือ - นั่นคือ

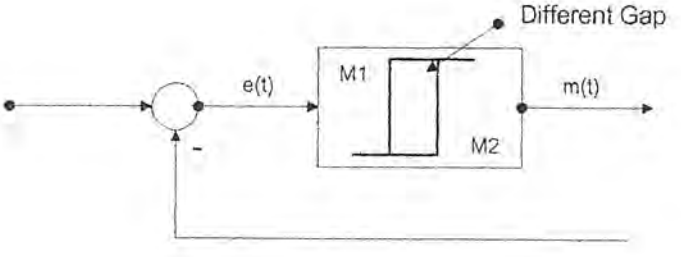
$M(t) = M1$ สำหรับ $E(t) > 0$;โดยที่ M1 และ M2 เป็นค่าคงที่

$M(t) = M2$ สำหรับ $E(t) < 0$

รูปที่ 2.3 (ก) แสดงถึง Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่งสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง (Switching) ของการควบคุมนั้น เรียกว่า Differential Gap ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ช่วง Differential Gap นี้บางครั้งเป็นการทำให้เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยครั้งเกินไป



รูปที่ 2.3 (ก) Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง หรือ แบบ On-Off

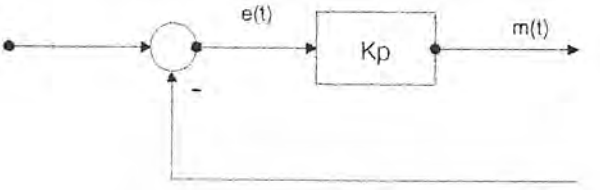


รูปที่ 2.3 (ข) ช่วง Differential Gap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. Proportional Control Action (การควบคุมแบบสัดส่วน)

เป็นกิริยาควบคุมซึ่งค่อนข้างจะสม่ำเสมอและเป็นเชิงเส้น ระหว่างการเปลี่ยนแปลง ของอินพุท และเอาท์พุท สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปของ Block Diagram ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การควบคุมแบบสัดส่วน

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม(หรือเอาท์พุทของตัวควบคุม) m(t) กับสัญญาณ ค่าความคลาดเคลื่อน e(t) คือ

$$m(t) = K_p \times e(t)$$

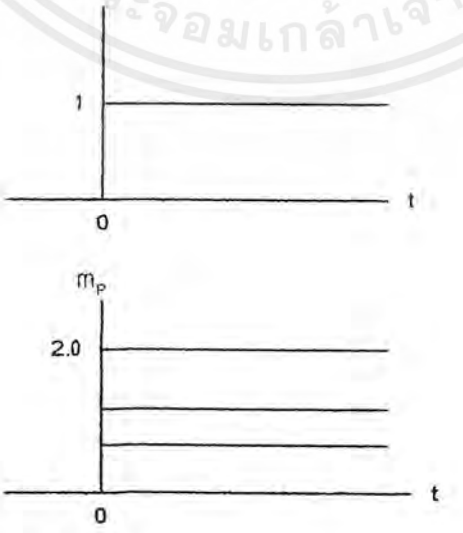
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

$$PB = \left(\frac{1}{K_p}\right) * 100\%$$

โดยที่ K_P จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain

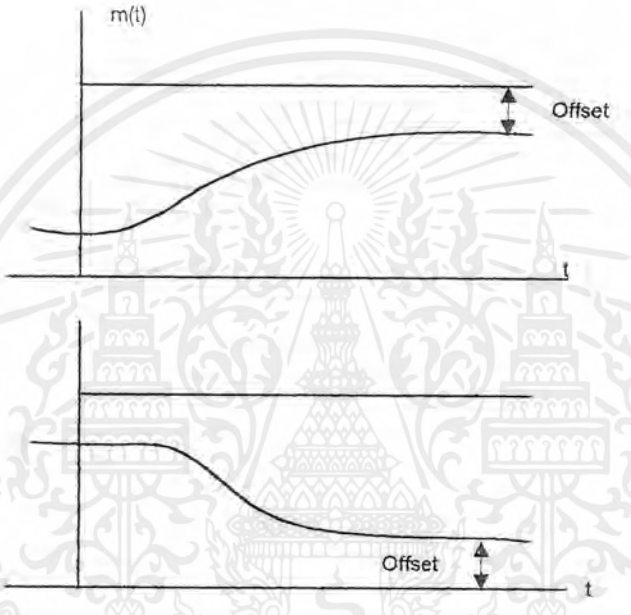
Proportional Band (PB) เป็นการเปลี่ยนแปลงของอินพุทเพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทมากที่สุดในการควบคุมแบบสัดส่วน ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิด Offset เป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบ Proportional ทั้งนี้เนื่องจาก การทำงานของระบบควบคุมแบบ Proportional นั้นไม่สามารถควบคุมระบบที่มี load เปลี่ยน แปลงได้ดีเท่าที่ควรและในกรณีที่ load คงที่แต่เปลี่ยนค่าของระดับ Set point ที่ควบคุมไปก็ เช่นเดียวกัน จะเกิดมี Offset ขึ้น โดยที่ Offset ก็คือ ค่าความแตกต่างของอินพุท และเอาท์พุทที่สภาวะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่นั่นเอง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว

เราสามารถลดค่าของ Offset ได้โดย

1. เพิ่มอัตราการขยายแบบสัดส่วน
2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สภาวะเริ่มต้น (m_0)

$$m_T = (K_p * e) + m_0$$

3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.Intergal Control Action (การควบคุมแบบอินทิกรัล)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาท์พุทเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุท โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทของตัวควบคุม m(t) และค่าความ คลาดเคลื่อน e(t) ดังนี้

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_I \times e(t)$$

หรือ

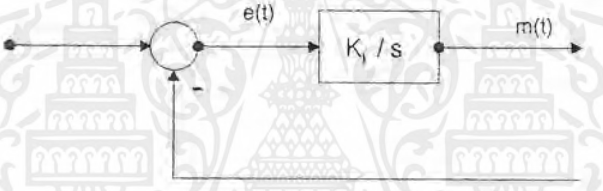
$$m(t) = K_I \times \int_0^t e(t)dt$$

โดยที่ K_I เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) ของตัวควบคุมแบบ Integral คือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{s}$$

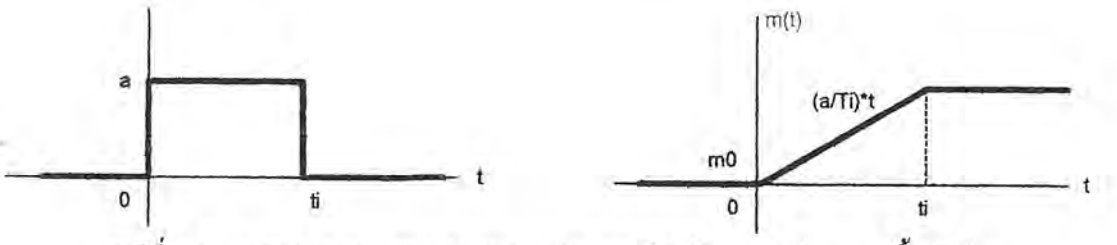
โดยสามารถแสดงในรูปของ Block Diagram ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Block Diagram ของการควบคุมแบบ Integral

ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาท์พุทของตัวควบคุม m(t) จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด e(t) ดังนั้น ถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้น ทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไป จากค่า ที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความผิดพลาดโดยเร็ว (โดยลดให้ค่า error นี้หมดไป) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมส่วนสุดท้าย (Final element control) จะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบอยู่ในสภาวะคงที่แล้วนั่นเอง

ดังนั้นในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่ทำให้เกิดค่า Offset ขึ้นมา ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4. Derivative Control Active (การควบคุมแบบเดริเวทีฟ)

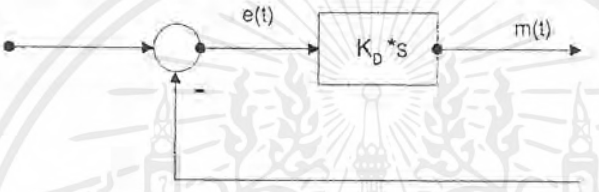
เป็นการควบคุมที่ค่าเอาท์พุทเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุท โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$m(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt}$$

หรือ $$\frac{M(s)}{E(s)} = K_D s$$

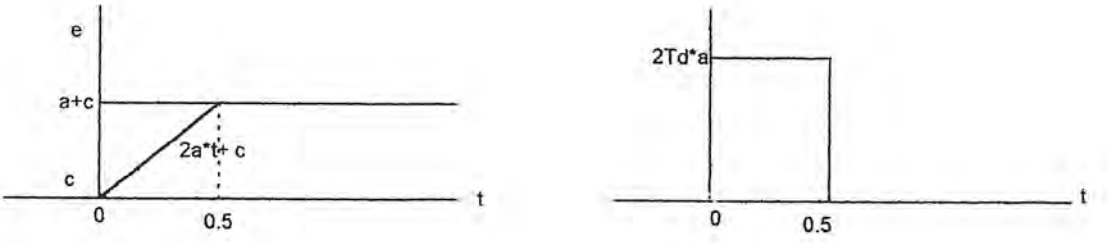
โดยที่ K_D เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ Derivative แสดงได้ดังรูปที่ 2.9

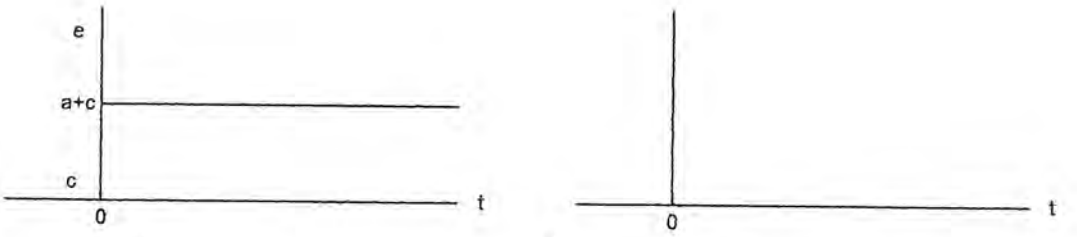


รูปที่ 2.9 Derivative Control Action

เมื่อเพิ่มการควบคุมแบบ Derivative ไปในเครื่องควบคุมจะเป็นการบวกมุมนำใน เครื่องควบคุม เพื่อชดเชยมุมตามในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Loop Transfer Function) ซึ่งขบวนการส่วนใหญ่ จะมีค่ามุมเป็นแบบมุมตาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของกิริยาควบคุมแบบ Derivative

2.1.5. Proportional and Integral Control Active(การควบคุมแบบ PI)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาท์พุท เป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมของค่าอินพุทและ ค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุท โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

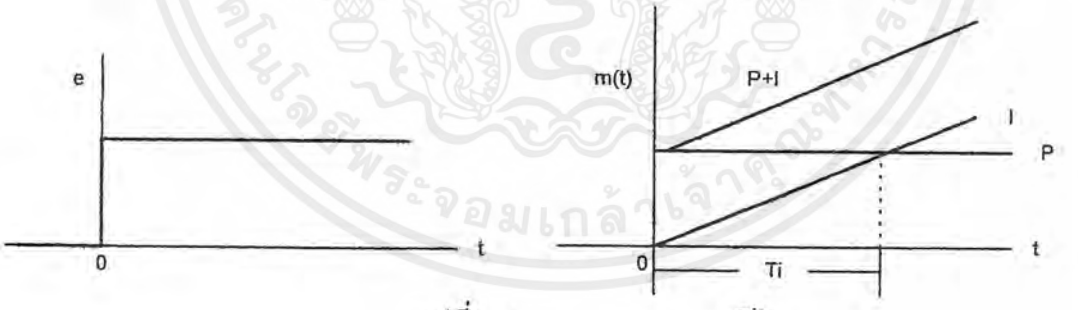
$$m(t) = \left(K_p \times e(t)\right) + \left(\frac{K_p}{T_i}\right)\int_0^t e(t)dt$$

หรือ $$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

โดยที่ K_P เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรือ Gain

Ti เป็นค่าของ Integral Time

ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบพีไอ

ข้อได้เปรียบของการรวมชุดอินทิกรัลและชุดควบคุมแบบสัดส่วน คือ ชุดอินทิกรัลจะกำจัด Offset ของชุดควบคุมแบบสัดส่วนให้หมดไป

2.1.6. Proportional and Derivative Control Action (การควบคุมแบบ PD)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาท์พุทเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุทกับผลคูณคาบเวลากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุท โดยสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

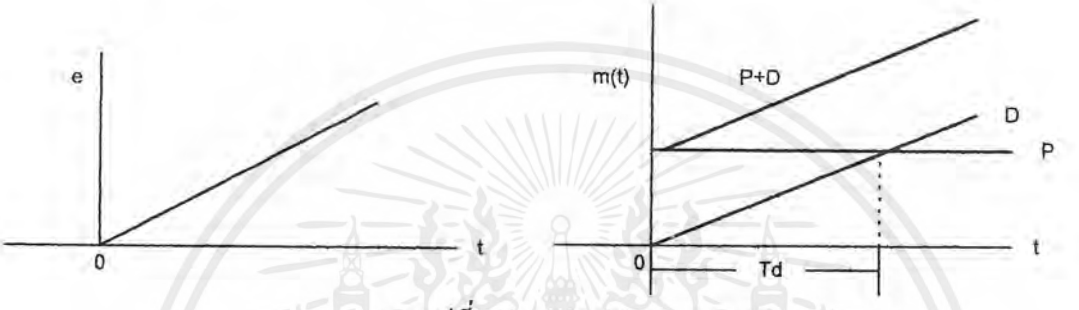
$$m(t) = \left(K_p \times e(t)\right) + \left(K_p \times T_D \times \frac{de(t)}{dt}\right)$$

หรือ $$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + T_D s\right)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional sensitivity หรือ Gain

T_D เป็นค่าของ Derivitive Time

ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การควบคุมแบบ PD

ข้อได้เปรียบในการควบคุมแบบ PD นี้คือเมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นแบบเชิงเส้น (Ramp) จะมีผลตอบสนองทางเวลาได้เปรียบกว่าการควบคุมแบบสัดส่วนเพียงอย่างเดียว

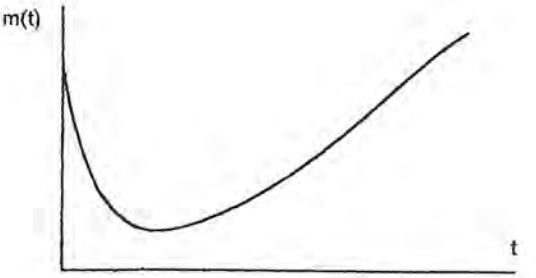
2.1.7. Proportional Integral and Derivative Control Active(การควบคุมแบบ PID)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาท์พุทเป็นสัดส่วนกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุทและค่าผลคูณของเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุท โดยสามารถแสดงได้ตามสมการ ต่อไปนี้

$$m(t) = \left(K_p \times e(t)\right) + \left(K_p \times T_D \times \frac{de(t)}{dt}\right) + \left(\frac{K_p}{T_I}\right)\int_0^t e(t)dt$$

หรือ $$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + T_D s + \frac{1}{T_I s}\right)$$

ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID กับสัญญาณเข้า แบบขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุทชนิดต่างๆ

ในที่นี้จะพิจารณาผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและอันดับสอง ดังนี้

2.2.1 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง (Response of First-Order System)

พิจารณาสมการอันดับหนึ่ง ต่อไปนี้

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt}\right) + \left(a_0 \times y(t)\right) = bx(t) + c \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ y(t) = เอาท์พุท หรือ ตัวแปรตาม (Output or Dependent Variable)

x(t) = อินพุท (Input)

t = เวลา (Time)

a_0 ,a_1 ,b ,c = ค่าคงที่ (Constant)

ถ้าพิจารณาค่า ณ สถานะเริ่มต้น (Initial Steady State) ของระบบ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$a_0 * y(0) = b*x(0) + c \qquad \text{.....(2.2)}$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเริ่มต้นของ x และ y ได้โดยการนำสมการ (2.1) ลบด้วยสมการที่ (2.2) ดังนี้

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt}\right) - \left(a_0 y(0)\right) + \left(a_0 y(t)\right) = bx(0) - bx(0) + c - c$$

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt}\right) + a_0\left(y(t) - y(0)\right) = b\left(x(t) - x(0)\right)$$

ให้ Y(t) = y(t) – y(0)

X(t) = x(t) – x(0)

จะได้ว่า

$$\left(a_1 \times \frac{dy(t)}{dt}\right) + a_0 Y(t) = bX(t) \qquad \text{.....(2.3)}$$

แต่ในความเป็นจริง แล้วค่า $\frac{dy(t)}{dt}$ ก็คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่า ณ.เวลาใดๆ กับค่า ณ. จุดเริ่มต้นอยู่แล้วจึงได้ว่า

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{dY(t)}{dt}$$

ดังนั้นสมการ (2.3) จะกลายเป็น

$$\left(a_1 \frac{dY(t)}{dt}\right) + a_0 Y(t) = bX(t) \qquad \text{.....(2.4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.4) นั้นไม่ได้เป็นรูปแบบมาตรฐาน (Standard Form) แต่เราสามารถทำให้เป็นรูปแบบมาตรฐานได้ โดยการนำค่า a_1 , a_0 หรือ b ค่าใดค่าหนึ่งนำไปหารสมการ (2.4) ดังนั้นเราจะได้รูปแบบมาตรฐาน ดังนี้ (ในที่นี้เรานำ a_0 หารตลอดสมการที่ (2.4))

$$\left(\frac{a_1}{a_0}\right)\frac{dY(t)}{dt}+Y(t)=\left(\frac{b}{a_0}\right)X(t)$$

ให้ $\tau = (a_1 / a_0)$ = ค่าคงที่เวลา (Time Constant)

$K = (b/ a_0)$ = อัตราการขยายสัญญาณ ณ.สถานะคงตัว (Steady-state Gain)

นั่นคือจะได้ว่า

$$\tau\frac{dY(t)}{dt}+Y(t)=KX(t) \qquad \text{.....(2.5)}$$

โดยปกติสมการอันดับหนึ่งทั่วๆ ไปนั้น สามารถแปลงให้อยู่ในรูปมาตรฐานนี้ได้ จากรูปแบบมาตรฐานใช้ลาปลาซ (Laplace) โดยให้ค่าเริ่มต้นของ y(0) = 0 จะได้ว่า

$$\tau sY(s)-y(0)+Y(s)=KX(s)$$

$$\tau sY(s)+Y(s)=KX(s)$$

$$\tau sY(s)(\tau s+1)=KX(s)$$

$$\therefore \quad Y(s)(\tau s+1)=\left[\frac{K}{\tau s+1}\right]X(s) \qquad \text{.....(2.6)}$$

จากรูปแบบนี้จะได้ว่า

K = อัตราขยายของระบบ (Gain)

τ = ค่าคงที่เวลา (Time Constant)

เราจะใช้รูปแบบของสมการ (2.6) ในการพิจารณาผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุทแบบต่างๆ ดังนี้

1.ผลตอบสนองต่ออินพุทแบบเสต็ป (Step Response)

ให้ Δx = ขนาดของสัญญาณเสต็ป (Magnitude)

u(t) = ขนาดของสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับหนึ่ง (Unit Step Function)

จะได้ว่า

$X(t) = \Delta x * u(t)$; $u(t) = 1$

หารูปแบบทรานส์ฟอร์มของสมการโดยการแปลงลาปลาซ จะได้ว่า

$$X(s) = \Delta X / s \qquad \text{.....(2.7)}$$

แทนสมการ (2.7) ใน (2.6) จะได้

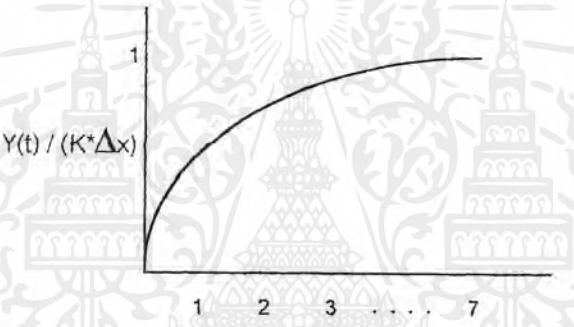
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y(s) = \left(\frac{K}{\varpi s + 1}\right) \times \left(\frac{\Delta x}{s}\right)$$
$$= \left(\frac{-K\Delta x}{s + 1/\tau}\right) + \left(\frac{K\Delta x}{s}\right) \qquad \text{.....(2.8)}$$

อินเวอร์สลาปลาซสมการ (2.8) กลับให้อยู่ในรูปของเวลา จะได้

$$Y(t) = \left(K\Delta x \times u(t)\right) + \left(K\Delta x \times e^{-t/\tau}\right)$$
$$= K\Delta x\left(u(t) - e^{-t/\tau}\right)$$

ซึ่งสามารถแสดงผลตอบสนองของสมการนี้ออกมาเป็นกราฟและตาราง ต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเสต็ปของระบบอันดับหนึ่ง (First-order Step Response)

T/τ	Y(t) / K*
0	0
1	0.632
2	0.865
3	0.95
4	0.982
5	0.993
.	.
.	.
.	.
∞	1

ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเสต็ปของระบบอันดับหนึ่ง (First-order Step Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่า ในช่วงต้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาท์พุทจะมีค่าค่อนข้างมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการเปลี่ยนแปลงก็มีค่าลดลง ในลักษณะของเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) นั่นเอง

2. ผลการตอบสนองเมื่อมีการหน่วงเวลา (Response with Time Delay)

ในกระบวนการบางอย่างจะพบว่ามีการหน่วงเวลาของเอาท์พุท (Time Delay or Transportation Lag or Dead Time) ด้วย โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

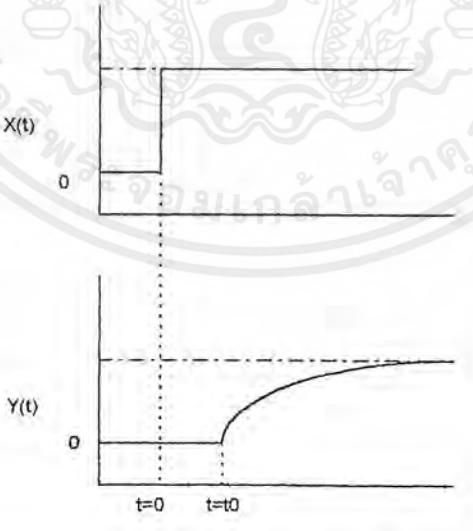
$$Y(s) = \left(\frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} \right) X(s) \qquad \text{.....(2.9)}$$

ซึ่งสมการในวงเล็บเป็นค่าที่สำคัญ เราสามารถใช้สมการส่วนนี้ ในการประมาณค่าผลตอบสนองของระบบที่มีอันดับสูงๆ ได้ เราเรียกสมการ (2.9) นี้ว่า "ระบบอันหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-order-plus-dead time : FOPDT) " ถ้าสัญญาณอินพุทของระบบมีความแตกต่างกัน สมการของการหน่วงเวลานี้ก็จะแตกต่างกันไป ดังนี้

สัญญาณแสต็ป (Step Response) จะได้สมการเป็น

$$Y(t) = \left(K\Delta x \times u(t - t_0) \right)\left(1 - e^{(-(t-t_0)/\tau)} \right)$$

โดยได้ผลตอบสนอง ดังกราฟ



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง เมื่อมีการหน่วงเวลา
(First-order Step Response with Time Delay t_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ผลตอบสนอง ณ.เวลา $t < t_0$ นั้นจะมีค่าเท่ากับ 0 จากพจน์ของ $u(t - t_0)$

<u>สัญญาณเชิงเส้น (Ramp Response)</u> ได้สมการดังนี้

$$Y(t) = u(t-t_0) \times \left(\frac{Kr\tau e^{(-(t-t_0)/\tau)}}{\tau} \right) + \left(Kr(t-t_0-\tau) \right)$$

<u>สัญญาณรูปคลื่น (Sinusoidal Response)</u> ได้สมการเป็น

$$Y(t) = u(t-t_0) \times \left\{ \left(\frac{KA\omega t}{1+\tau^2\omega^2} \right) e^{(-(t-t_0)/\tau)} + \left(\frac{KA}{1+\tau^2\omega^2} \right) \sin\left(\omega(t-t_0)+\theta\right) \right\}$$

2.2.2 <u>ผลตอบสนองของระบบอันดับสอง (Response of Second –order System)</u>

ผลตอบสนองของระบบอันดับสองนี้จะมีความแตกต่างกันขึ้นกับค่ารากของตัวส่วนในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ว่ามีค่าเท่าไร ถ้า

- ค่ารากเป็นจำนวนจริง ผลตอบสนองจะเรียกว่า " ระบบที่มีกระบวนการความหน่วงมาก (Overdamped) "
- ค่ารากเป็นจำนวนเชิงซ้อน ผลตอบสนองจะเรียกว่า "ระบบที่มีกระบวนการความหน่วงน้อย (Underdamped) " ซึ่งมักจะเกิดในกระบวนการที่มีอันดับสูงกว่าอันดับสอง

ระบบอันดับสอง สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้าและตัวแปรออก ในรูปแบบสมการทั่วไป ได้ดังนี้

$$a_2\left(\frac{d^2y(t)}{dt^2}\right) + a_1\frac{dy(t)}{dt} + a_0y(t) = bx(t) + c \qquad \text{.....(2.10)}$$

โดยที่ y(t) = ตัวแปรออก

x(t) = ตัวแปรเข้า

a_0 ,a_1 ,a_2 ,b ,c = ค่าคงที่ (Constant)

สมมุติให้สมการ ณ.สถานะเริ่มต้นมีค่าเป็น

$$a_0 * y(0) = b * x(t) + c \qquad \text{.....(2.11)}$$

นำสมการ (2.10) ลบด้วยสมการ (2.11) จะได้ว่า

$$a_2\left(\frac{d^2Y(t)}{dt^2}\right) + a_1\frac{dY(t)}{dt} + a_0Y(t) = bX(t) \qquad \text{.....(2.12)}$$

โดยที่ Y(t) = y(t) – y(0)

X(t) = x(t) – x(0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แปลงสมการ (2.12) ให้อยู่ในรูปมาตรฐาน (โดยการหารด้วย a_0 ตลอดสมการ) ดังนี้

$$\left(\frac{a_2}{a_0}\right)\left(\frac{d^2Y(t)}{dt^2}\right)+\left(\frac{a_1}{a_0}\right)\frac{dY(t)}{dt}+Y(t)=\left(\frac{b}{a_0}\right)X(t)$$

ให้ τ = $(a_2/a_0)^{1/2}$ = คุณสมบัติของเวลา (Characteristic Time)

ζ = $\frac{a_1}{2\tau a_0}=\frac{a_1}{2\sqrt{a_2a_0}}$ = อัตราความหน่วง (Damping Ration)

K = (b/a_0) = อัตราขยายของกระบวนการ (Steady-state Gain)

จะได้สมการใหม่เป็น

$$\tau^2\left(\frac{d^2Y(t)}{dt^2}\right)+2\zeta\tau\frac{dY(t)}{dt}+Y(t)=KX(t) \qquad \text{.....(2.13)}$$

ลาปลาซสมการที่ (2.13) โดยอาศัยคุณสมบัติเชิงเส้นและสมการอนุพันธ์ จะได้ว่า

$$Y(s)=\left(\frac{K}{\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1}\right)X(s) \qquad \text{.....(2.14)}$$

หาค่ารากของ $\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1$ (โดยพิจารณาเป็นแบบ Quadratic) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1=0$$

$$r_{1,2}=\frac{-\zeta\pm\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}$$

จะพบว่าในการพิจารณาหาค่ารากของระบบ ค่าที่ได้อาจจะเป็นได้ทั้งจำนวนจริง และจำนวนเชิงซ้อน โดยที่ถ้า

- ค่าของอัตราความหน่วงมากกว่า 1 ($\zeta>1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนจริง
- ค่าของอัตราความหน่วง น้อยกว่า 1 ($\zeta<1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนเชิงซ้อน 2 ค่าที่เป็นคอนจูเกตกัน (Conjugate numbers)
- ค่าของอัตราความหน่วงเท่ากับ 1 ($\zeta=1$) ค่ารากที่ได้จะเป็นค่าจริง 2 ค่าที่เท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ $(-1/\tau)$
- ค่าของอัตราความหน่วงเท่ากับ 0 ($\zeta=0$) ค่ารากที่ได้จะเป็นจำนวนเชิงซ้อนที่ส่วนจริง มีค่าเป็น 0 (Real Part = 0) นั่นคือ รากจะมีค่าเท่ากับ $\pm(1/\tau)*i$

อัตราหน่วงที่มีค่าแตกต่างกันดังข้างต้นนี้จะทำให้เกิดผลตอบสนองที่แตกต่างกันซึ่งสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 2.2

ζ	ผลตอบสนอง (Response)
$\zeta>1$	กระบวนการที่มีความหน่วงมาก (Overdamped)

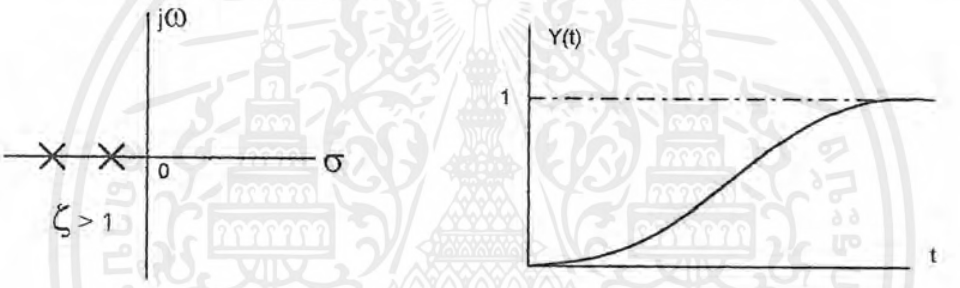
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36870

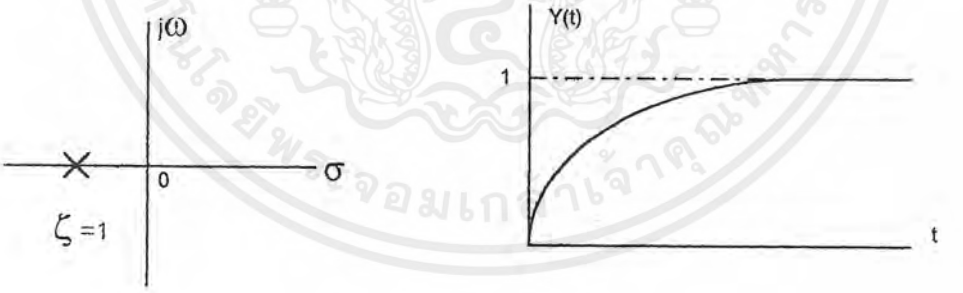
$\zeta = 1$	กระบวนการที่มีความหน่วงวิกฤติ (Critically damped)
$0 < \zeta < 1$	กระบวนการที่มีความหน่วงน้อย (Underdamped)
$\zeta = 0$	กระบวนการที่ไม่มีความหน่วง (Undamped)
$-1 < \zeta < 0$	กระบวนการที่ไม่เสถียร (Unstable)
$\zeta \leq -1$	กระบวนการที่หนีออก (Run - Away)

ตารางที่ 2.2 แสดงผลการตอบสนองเมื่อค่าของอัตราความหน่วงแตกต่างกัน

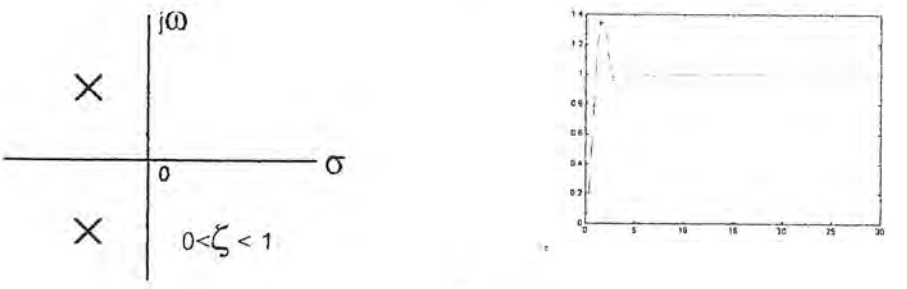
ซึ่งสามารถแสดงผลตอบสนองได้ดังรูปที่ 2.16(a),(b),(c),(d),(e) และ (f) ตามลำดับ ดังนี้



(a)

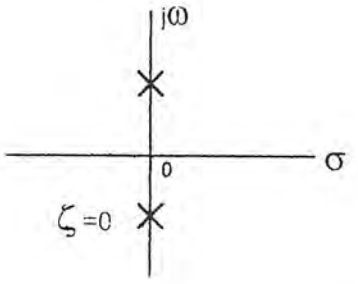


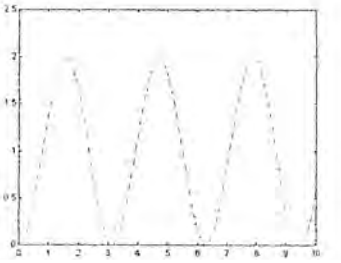
(b)



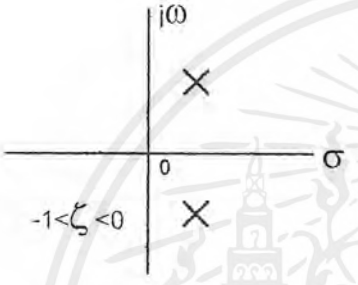
(c)

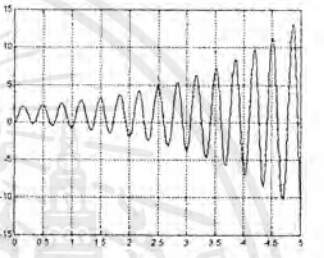
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



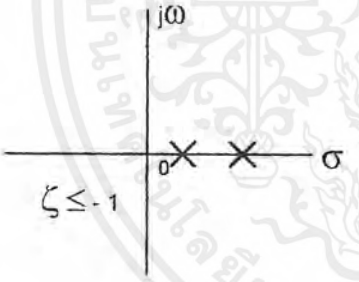


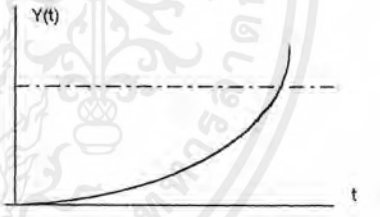
(d)





(e)





(f)

รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งโพลกับการตอบสนองของกระบวนการ

(a)	$\zeta > 1$	*Overdamped*
(b)	$\zeta = 1$	*Critical Damped*
(c)	$0 < \zeta < 1$	*Underdamped*
(d)	$\zeta = 0$	*Undamped*
(e)	$-1 < \zeta < 0$	*Unstable*
(f)	$\zeta \leq -1$	*Run-away*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.1.กระบวนการที่มีความหน่วงมาก (Overdamped Response)

กระบวนการที่มีความหน่วงมาก คือ กระบวนการที่ $\zeta > 1$ ซึ่งจะทำให้ได้ค่ารากเป็นค่าจริง 2 ค่าที่ต่างกัน จากสมการ (2.13) พิจารณาค่ารากโดยแยกตัวส่วนออกเป็น 2 พจน์ ดังนี้

$$\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1 = \tau^2 (s - r_1)(s - r_2)$$
$$= (\tau_{e1} s + 1)(\tau_{e2} s + 1) \qquad \text{.....(2.15)}$$

โดยที่ τ_{e1}, τ_{e2} = Effective Time Constants ซึ่งมีค่าเป็น

$$\tau_{e1} = -1 / r_1 = \frac{\tau}{\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}}$$

$$\tau_{e2} = -1 / r_2 = \frac{\tau}{\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}}$$

แทนสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$Y(s) = \left[\frac{K}{(\tau_{e1} s + 1)(\tau_{e2} s + 1)}\right] X(s) \qquad \text{.....(2.16)}$$

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.16) นี้จะนำไปใช้ในการพิจารณาหาผลตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณชนิดต่างๆ ดังนี้

สัญญาณเข้าเป็นสเต็ป (Step Response)

สมมุติให้สัญญาณเข้าเป็นเสต็ป ที่มีขนาดเป็น Δx ซึ่งมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน คือ $X(s) = \Delta x/s$ เมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้แทนในสมการ (2.16) จะได้ว่า

$$Y(s) = \left[\frac{K}{(\tau_{e1} s + 1)(\tau_{e2} s + 1)}\right]\left[\frac{\Delta x}{s}\right]$$

$$= \left(\frac{A1}{s + 1/\tau_{e1}}\right) + \left(\frac{A2}{s + 1/\tau_{e2}}\right) + \left(\frac{A3}{s}\right) \qquad \text{.....(2.17a)}$$

คำนวณหาค่า A1 ,A2 ,A3 ได้เป็น

$$A1 = \frac{K\Delta x}{\left(-1/\tau_{e1}\right)\left(1 - \tau_{e1}/\tau_{e2}\right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A2 = \frac{K\Delta x}{\left(-1/\tau_{e2}\right)\left(1-\tau_{e1}/\tau_{e2}\right)}$$

$$A3 = K\Delta x$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (2.17) แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$Y(s) = K\Delta x\left\{1-\left(\frac{\tau_{e1}}{\left(\tau_{e1}-\tau_{e2}\right)\left(s+1/\tau_{e1}\right)}\right)-\left(\frac{\tau_{e2}}{\left(\tau_{e2}-\tau_{e1}\right)\left(s+1/\tau_{e2}\right)}\right)\right\}$$

ลาปลาซสมการข้างต้นจะได้ว่า

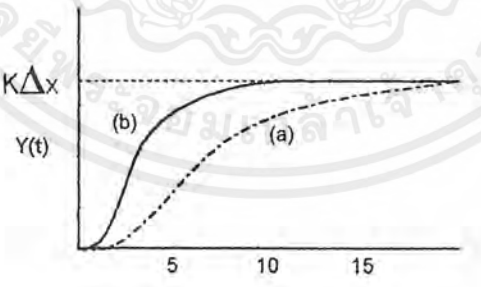
$$Y(t) = K\Delta x\left\{u(t)-\left(\frac{\tau_{e1}}{\tau_{e1}-\tau_{e2}}\right)e^{-t/\tau_{e1}}-\left(\frac{\tau_{e2}}{\tau_{e2}-\tau_{e1}}\right)e^{-t/\tau_{e2}}\right\}$$

2.กระบวนการที่มีความหน่วงวิกฤติ ($\zeta = 1$)

ค่ารากที่ได้ของกระบวนการนี้จะมีค่าเท่ากัน คือ $\tau_{e1} = \tau_{e2} = \tau$ ทำให้ได้ผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุทที่เป็นสเต็ปมีค่าเป็น (โดยการแทนค่าของ τ_{e1} และ τ_{e2} ในสมการที่ (2.17b))

$$Y(t) = K\Delta x\left[u(t)-\left(\frac{t}{\tau}+1\right)e^{-t/\tau}\right]$$

สามารถแสดงผลตอบสนองของระบบที่มีความหน่วงมาก และระบบที่มีความหน่วงวิกฤติต่อสัญญาณเสต็ป ได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณเข้าที่เป็นสเต็ป

(a) Overdamped ($\zeta = 1.5$)

(b) Critically Damped ($\zeta = 1.0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การปรับเครื่องควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมเมื่อสามารถเลือกเครื่องควบคุมที่เหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบระบบควบคุม คือ การเลือกค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการหรือการปรับเครื่องควบคุมให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ดีและมีประสิทธิภาพ วิธีการปรับเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับในกระบวนการอุตสาหกรรมมี 4 วิธี คือ

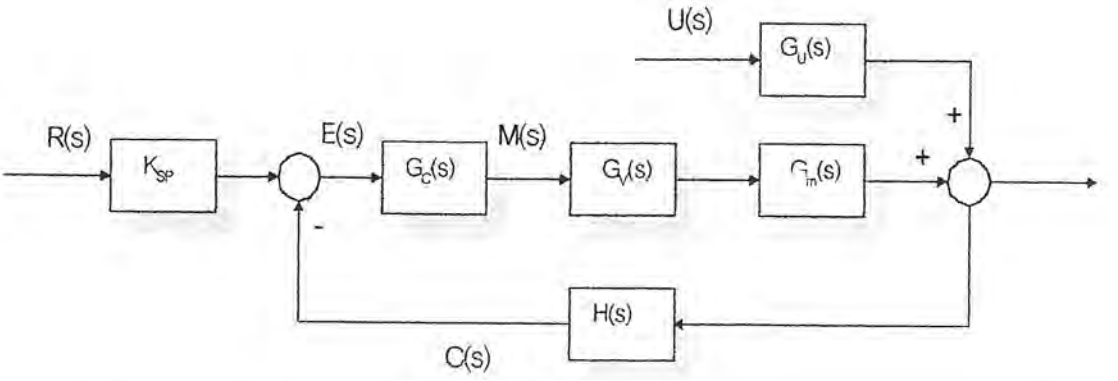
1. ปรับเครื่องควบคุม โดยกำหนดหลักเกณฑ์การควบคุมจากผลการตอบสนองของกระบวนการเฉพาะจุด เช่น ลดค่าการตอบสนองสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุด, ปรับผลการตอบสนองของกระบวนการให้มีค่าอัตราการลดทอน ¼ ,ลดเวลาสู่สมดุลของกระบวนการให้สั้นที่สุด ซึ่งการปรับเครื่องควบคุมโดยวิธีนี้มักทำให้ได้ค่าตัวแปรควบคุมหลายชุด
2. ปรับเครื่องควบคุม โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรตค่าเวลาความคลาดเคลื่อนแบบต่างๆ เช่น ไอเอสอี ,ไอเอดี หรือไอทีเออี การปรับเครื่องควบคุมโดยวิธีนี้ต้องใช้การคำนวณค่อนข้างมาก ทำให้เสียเวลาและมักไม่สามารถใช้กับกระบวนการจริงได้
3. การปรับเครื่องควบคุม โดยใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากการทดลองในการปรับเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากผลการทดลองกับกระบวนการชนิดต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ
   3.1 วิธีปรับเครื่องควบคุม โดยการหาผลการตอบสนองของกระบวนการเปิด (Process Reaction Curve Method)
   3.2 วิธีปรับเครื่องควบคุมโดยการหาผลการแกว่งของระบบปิด(Closed Loop Cycling Method)
4. การปรับเครื่องควบคุม โดยวิธีลองผิดลองถูก

ในที่นี้ขอกล่าวถึงวิธีปรับเครื่องควบคุมโดยการหาผลการตอบสนองของกระบวนการเปิด ดังนี้

2.3.1 คุณลักษณะของกระบวนการป้อนกลับแบบวงเปิด (Open-loop Process Characterization)

จากรูปที่ 2.18 แสดงแผนผังบล็อกของระบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แผนผังบล็อกของระบบป้อนกลับทั่วๆ ไป (Block Diagram of typical Feedback control Loop)

โดยที่ R(s) = ลาปลาซทรานส์ฟอร์มของค่าเป้าหมาย (Setpoint)

M(S) = ลาปลาซทรานส์ฟอร์มของสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม

C(s) = ลาปลาซทรานส์ฟอร์มของสัญญาณขาออกจากทรานส์มิตเตอร์

E(s) = ลาปลาซทรานส์ฟอร์มของค่าความคลาดเคลื่อน

U(s) = ลาปลาซทรานส์ฟอร์มของสัญญาณรบกวน

$G_c(s)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุม

$G_v(s)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย

$G_m(s)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวควบคุมและตัวแปรปรับกระบวนการ

$G_u(s)$ = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวควบคุมและสัญญาณรบกวน

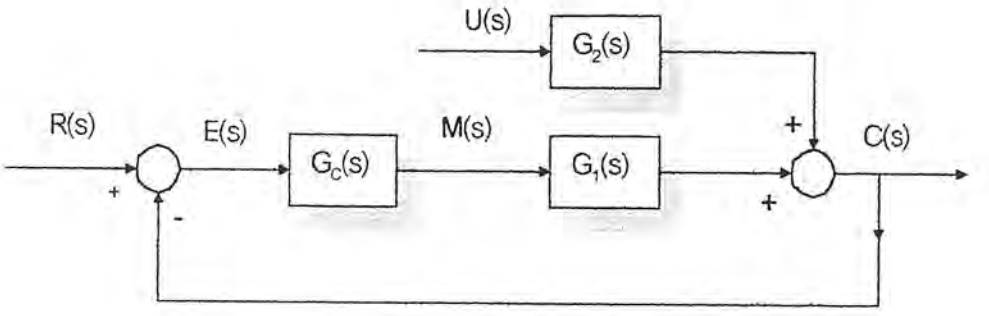
H(s) = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของเซนเซอร์ และ ทรานส์มิตเตอร์

เมื่อยุบแผนผังบล็อก (Block Diagram) ของรูปที่ 2.18 จะได้แผนผังบล็อกใหม่ดังรูปที่ 2.19 โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$G_1(s) = G_v(s)\, G_m(s)\, H(s)$$

$$G_2(s) = G_u(s)\, H(s) \qquad \text{.....(2.21)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แผนผังบล็อกเมื่อมีการยุบบล็อกแล้ว (Equivalent Simplified Block Diagram)

รูปแบบที่นิยมใช้ในการพิจารณาคุณลักษณะของกระบวนการมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1.แบบจำลองระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-Order-Plus-Dead-Time : FOPDT) มีความสัมพันธ์ คือ

$$G_1(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} \qquad \text{.....(2.22)}$$

2.แบบจำลองระบบอันดับสองที่มีการหน่วงเวลา (Second-Order-Plus-Dead-Time : SOPDT) มีความสัมพันธ์ คือ

$$G_1(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

$$G_2(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau^2 + 2\zeta\tau s + 1} \qquad \text{.....(2.23)}$$

โดยที่ K = อัตราขยายของกระบวนการ ณ.สถานะคงตัว

t_0 = ค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ (the effective process dead time)

τ , τ_1, τ_2 = ค่าคงที่เวลาของกระบวนการ (the effective process time constant)

ζ = อัตราความหน่วงของกระบวนการ (the effective process damping ratio)

แบบจำลองระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลานี้เป็นรูปแบบพื้นฐานของการปรับแต่งตัวควบคุม ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัว คือ

- อัตราขยาย (Gain : K)
- ค่าหน่วงเวลา (Dead Time : t_0)
- ค่าคงที่เวลา (Time Constant : τ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการหาตัวแปรเหล่านี้สามารถหาได้โดยใช้วิธี "การทดสอบกระบวนการด้วยสัญญาณสเต็ป (Process Step Testing)"

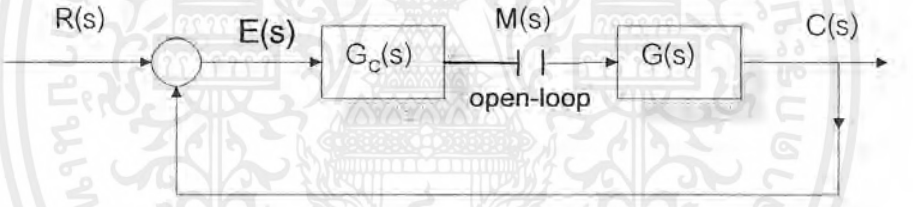
2.3.2 <u>การทดสอบกระบวนการด้วยสัญญาณสเต็ป (Process Step Testing)</u>

ขั้นตอนของการทดสอบกระบวนการด้วยสัญญาณสเต็ป มีขั้นตอนดังนี้

1.ให้ตัวควบคุมอยู่ในระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop) โดยทำการสร้างเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณสเต็ปเพื่อป้อนเป็นอินพุทให้กระบวนการ

2.บันทึกผลตอบสนอง (โดยการ Plot Graph) ของสัญญาณเอาท์พุทจากทรานส์มิตเตอร์ (C (t)) โดยที่ผลจากการพล็อตกราฟ (Plot) ระหว่างค่า C(t) กับเวลา จำเป็นต้องครอบคลุมเวลาตั้งแต่เริ่มต้นป้อนสัญญาณสเต็ปจนถึงเวลาที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ซึ่งอาจจะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีหรืออาจใช้เวลาหลายชั่วโมงขึ้นอยู่ กับความเร็วของการตอบสนองของกระบวนการ

ในที่นี้จะพิจารณาระบบที่ไม่มีตัวรบกวน จากรูปที่ 2.19 สามารถเขียนแผนผังบล็อกที่ไม่มีตัวรบกวนได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แผนผังบล็อกของวงเปิดเมื่อทดสอบด้วยสัญญาณสเต็ป

จากรูปที่ 2.20 จะได้ผลตอบสนองของทรานส์มิตเตอร์ เป็นดังนี้

$$C(s) = G(s)\,M(s) \qquad \text{.....(2.27)}$$

สำหรับระบบ FOPDT ที่มีสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสเต็ปขนาด Δm จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$C(s) = \left(\frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s+1}\right)\left(\frac{\Delta m}{s}\right) \qquad \text{.....(2.28)}$$

$$C(s) = K\Delta m \times e^{-t_0 s}\left[\left(\frac{1}{s}\right)-\left(\frac{1}{\tau s+1}\right)\right] \qquad \text{.....(2.29)}$$

อินเวอร์สลาปลาซสมการที่ (2.29)

$$C(t) = K\Delta m \times u(t-t_0)\left(1-e^{(t-t_0)\tau}\right) \qquad \text{.....(2.30)}$$

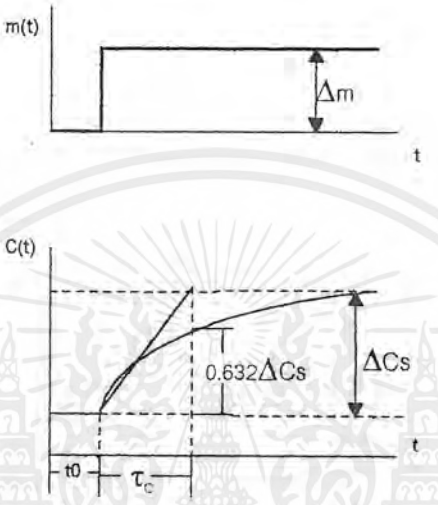
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่เวลา $t < t_0$ จะได้ว่า $C(t) = 0$

จากกราฟของสมการ (2.30) ที่แสดงในรูปที่ 2.21 จะพบว่า

$$\Delta c_s = \lim_{(t \to 0)} C(t) = K^*\Delta m \quad \text{.....(2.31)}$$

โดยที่ Δc_s = Steady –state Change in c(t)



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการหาค่า Δc_s

จากสมการ (2.31) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยาย ณ.สถานะคงตัวของกระบวนการได้ดังนี้

$$K = \Delta c_s / \Delta m \quad \text{.....(2.32)}$$

ส่วนวิธีในการหาค่าหน่วงเวลา (Dead Time : t_0) และค่าคงที่เวลา (Time Constant :τ) นั้นได้ผู้เสนอความคิดต่างๆ ดังนี้

Dr. Cecil L. Smith (1972) ได้เสนอการหาค่าของ t_0 และ τ โดยการพิจารณาผลตอบสนองของกระบวนการ ณ เวลาที่ทำให้ค่าผลตอบสนองของรูปแบบจำลองและผลตอบสนองของกระบวนการจริงมีค่าเท่ากัน นั่นคือ จะพิจารณาที่เวลา $t_0 + \tau/3$ และ $t_0 + \tau$ นำค่าเวลานี้แทนลงในสมการที่ (2.30) จะได้ว่า

$$C(t_0 + \tau) = K\Delta m\left(1 - e^{-1/3}\right) = 0.283\Delta c_s$$

$$C(t_0 + \tau) = K\Delta m\left(1 - e^{-1}\right) = 0.632\Delta c_s$$

กำหนดให้ $t_0 + \tau/3 = t_1$

$t_0 + \tau = t_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า $\tau = (3/2) * (t_2 - t_1)$ .....(2.33a)

$t_0 = t_2 - \tau$ .....(2.33b)

โดยที่ t_1 = เวลาที่ทำให้ $C = 0.283*\Delta c_s$

t_2 = เวลาที่ทำให้ $C = 0.632*\Delta c_s$

สำหรับกระบวนการอันดับสอง จะได้ว่า

$$G(s) = \frac{C(s)}{M(s)} = \frac{K}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)} \quad ; \tau_1 \geq \tau_2 \qquad \text{.....(2.34)}$$

อินเวอร์สลาปลาซสมการ (2.34) จะได้ว่า

$$C(t) = K\left[1 - \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau 2}\right)e^{-t/\tau_1} + \left(\frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2}\right)e^{-t/\tau_2}\right]$$

เมื่อ $t \to \infty$ จะได้ $C(t) \to K$

แทนค่า $t_0' + \tau'/3 = t_1$

$t_0' + \tau' = t_2$

จะได้ว่า

$$C(t) = \left(1 - e^{-1/3}\right)K = K\left[1 - \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau 2}\right)e^{-t_1/\tau_1} + \left(\frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2}\right)e^{-t_1/\tau_2}\right]$$

$$C(t) = \left(1 - e^{-1}\right)K = K\left[1 - \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau 2}\right)e^{-t_2/\tau_1} + \left(\frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2}\right)e^{-t_2/\tau_2}\right]$$

หรือ $$e^{-1/3} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2}\right)\left(e^{-t_1/\tau_1} - \left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)e^{-t_1/\tau_2}\right) \qquad \text{.....(2.35)}$$

$$e^{-1} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2}\right)\left(e^{-t_2/\tau_1} - \left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)e^{-t_2/\tau_2}\right) \qquad \text{.....(2.36)}$$

เมื่อพิจารณากระบวนการอันดับสองในรูปของ FOPDT ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

$$G'(s) = \frac{Ke^{-t_0' s}}{\tau' s+1}$$

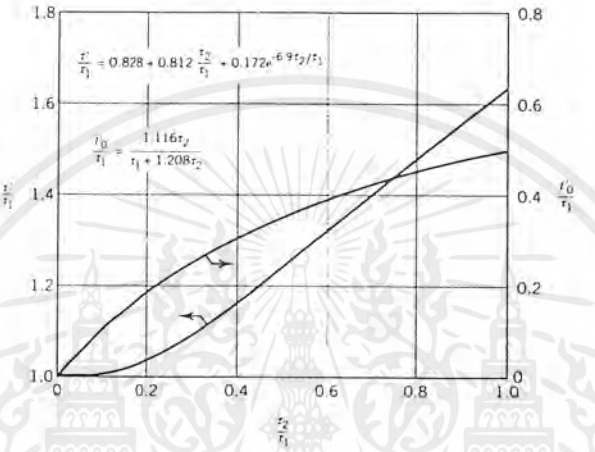
จะได้ว่า

$\tau' = (3/2) * (t_2 - t_1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_0' = t_2 - \tau' \qquad \text{.....(2.37)}$$

ใน ค.ศ. 1975 Martin ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาการปรับตัวควบคุมนี้ และได้ plot graph แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.21 (โดยที่การหน่วงเวลาจะมีผลมากที่สุดเมื่อ ค่าคงที่เวลาทั้งสอง มีค่าเท่ากัน)



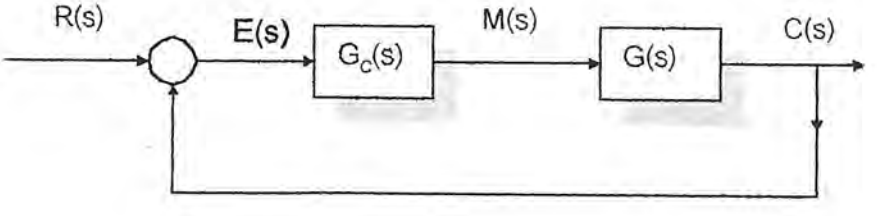
รูปที่ 2.22 ผลตอบสนองของระบบอันดับสองแบบ overdamped

2.4. <u>การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ (Synthesis of Feedback Controller)</u>

ในส่วนนี้จะแสดงถึงวิธีการหาตัวควบคุมชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ของวงควบคุมป้อนกลับ (Feedback Loop) ดังต่อไปนี้

2.4.1 <u>การพัฒนารูปแบบตัวควบคุม (Development of the Controller Synthesis Formula)</u>

พิจารณาแผนผังบล็อกสัญญาณ ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงแผนผังสัญญาณอย่างง่าย (Simplified Block Diagram for controller Synthesis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของรูปที่ 2.22 จะได้ว่า

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)} \qquad \text{.....(2.38)}$$

$$G(s) = \left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{C(s)/R(s)}{1-C(s)/R(s)}\right) \qquad \text{.....(2.39)}$$

ซึ่งเรียกสมการที่ (2.39) นี้ว่า "รูปแบบการสังเคราะห์ตัวควบคุม(Controller Synthesis Function) "

จากสมการข้างต้น ถ้าสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทมีค่าเท่ากัน (Perfect control) C(s) = R(s) แล้วจะได้ว่า [C(s) / R(s)] = 1 ซึ่งจะได้รูปแบบของตัวควบคุมเป็น

$$G_c(s) = \left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{1}{1/(1-1)}\right) = \left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{1}{0}\right)$$

จะพบว่า $G_c(s)$ มีอัตราขยายเป็นอนันต์ (Infinite) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือสำหรับระบบที่เป็น Perfect control นั้น ไม่สามารถใช้กับระบบควบคุมแบบป้อนกลับได้

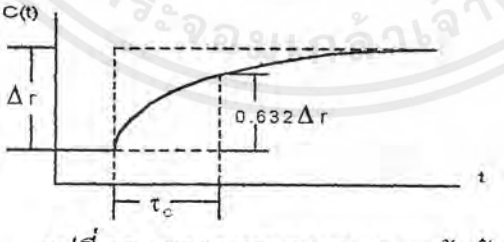
2.4.2<u>คุณลักษณะเฉพาะของระบบป้อนกลับ (Specification of the Closed-loop Response</u>

พิจารณาระบบอันดับหนึ่งซึ่งมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s+1} \qquad \text{.....(2.40)}$$

โดยที่ τ_c = ค่าคงที่เวลาของระบบ (Time Constant)

โดยมีผลตอบสนอง ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง

τ_c เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ซึ่งยิ่งมีค่าน้อยผลตอบสนองก็จะเข้าใกล้ผลตอบสนองทางอุดมคติมากขึ้น การปรับพารามิเตอร์เครื่องควบคุมก็จะยากขึ้นด้วย แทนสมการ (2.40) ในสมการ (2.39) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c(s)=\left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{1/\tau_c s+1}{1-1/\tau_c s+1}\right)$$

$$=\left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{1}{\tau_c s+1-1}\right)$$

$$\therefore \quad G_c(s)=\left(\frac{1}{G(s)}\right)\left(\frac{1}{\tau_c s}\right) \qquad \text{.....(2.41)}$$

จากสมการที่ได้จะพบว่า ตัวควบคุมจะประกอบด้วยพจน์อินทิเกรต (Integral Mode) ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ (2.40) ไม่มีค่าออฟเซต (Offset) ตามคุณสมบัติของการควบคุมแบบ Integral แต่ในระบบอันดับสอง และอันดับที่สูงกว่านี้ ถ้าระบบประกอบด้วยค่าหน่วงเวลา (Dead Time) ผลที่ได้ของระบบป้อนกลับก็จะยังมีพจน์ของการหน่วงเวลาปรากฏอยู่ด้วย

2.4.3 <u>โหมดของตัวควบคุมและตัวแปรที่ใช้ในการปรับตัว (Controller Modes and Tuning Parameters)</u> พิจารณาระบบอันดับต่างๆ ดังนี้

ระบบอันดับหนึ่ง (First-order Process)

จาก $$G(s)=\frac{K}{\tau s+1}$$

แทนในสมการที่ (2.41) จะได้ว่า

$$G_c(s)=\left[\frac{1}{K/\tau s+1}\right]\left(\frac{1}{\tau_c s}\right)$$

$$=\left(\frac{\tau s+1}{K}\right)\left(\frac{1}{\tau_c s}\right)$$

$$=\left(\frac{\tau s}{K\tau_c s}\right)+\left(\frac{1}{K\tau_c s}\right)$$

$$=\left(\frac{\tau}{K\tau_c}\right)\left(\frac{\tau}{\tau K\tau_c s}\right)$$

$$\therefore G_c(s)=\left(\frac{\tau}{K\tau_c}\right)\left(1+1/\tau s\right)$$

โดยที่ τ = ค่าคงที่เวลาของกระบวนการ (Process Time Constant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการที่ได้นี้ จะพบว่าเป็นลักษณะของการควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล (Proportional-Integral Controller :PI) ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ปรับแต่งได้ (Tuning Parameter) คือ

$$K_c = (\tau / K * \tau_c) \qquad \tau_I = \tau \qquad \text{.....(2.42)}$$

ระบบอันดับสอง (Second-order Process)

จาก $$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

แทนค่าลงในสมการ (2.41) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left[\frac{1}{K/(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}\right]\left[\frac{1}{\tau_c s}\right]$$

$$= \left[\frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{K}\right]\left[\frac{1}{\tau_c s}\right]$$

$$\therefore G_c(s) = \left(\frac{\tau_1}{K\tau_c}\right)\left(1 + \frac{1}{\tau_1 s}\right)(\tau_2 s + 1) \qquad \text{.....(2.43)}$$

โดยที่ τ_1 = ค่าคงที่เวลาเด่น (The longer or dominant process time constant)

τ_2 = ค่าคงที่เวลาที่สั้นกว่า (The shorter process time constant)

เปรียบเทียบสมการ (2.43) กับสมการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของตัวควบคุมแบบพีไอดี จะพบว่า

$$G_c(s) = K_c'\left(1 + \frac{1}{\tau_I' s}\right)\left(\frac{\tau_D' s + 1}{\alpha\tau_D' s + 1}\right) \qquad \text{.....(2.44)}$$

โดยจะมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับแต่งได้ คือ

$K_c' = \tau_1 / (K * \tau_c) \qquad \tau_I' = \tau_1 \qquad \tau_D' = \tau_2$

นั่นคือ ในการปรับแต่งนั้น เราต้องปรับให้ค่าเวลาของอินทิกรัล (Integral Time) มีค่าเท่ากับค่าคงที่เวลาเด่น ($\tau_I' = \tau_1$) และค่าเวลาเดริเวทีฟมีค่าคงที่เวลาที่สั้นกว่า ($\tau_D' = \tau_2$) เพื่อเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายของกระบวนการ (Process Gain)

สำหรับระบบที่มีอันดับสูงกว่านี้ ในการปรับแต่งและการหาคุณสมบัติจะค่อนข้างยาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราจะประมาณให้ระบบอันดับสูงเป็นระบบอันดับต่ำที่มีการหน่วงเวลาแทน (Dead Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-Order-Plus-Dead-Time Process)

จากสมการ $$G(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$$

แทนในสมการที่ (2.41) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{Ke^{-t_0 s}}\right)\left(\frac{1}{\tau_c s}\right)$$

$$= \left(\frac{\tau}{K\tau_c}\right)\left(1 + 1/\tau s\right)e^{t_0 s} \qquad \text{.....(2.45)}$$

โดยที่ t_0 = เวลาหน่วงของกระบวนการ (Process Dead Time)

จากสมการที่ (2.45) จะพบว่าเป็นตัวควบคุมที่ไม่อาจเป็นจริงได้ เนื่องจากพจน์ t0 ซึ่งเป็น Process Dead Time นั้นมีค่าเป็นลงซึ่งจะส่งผลให้สมการนี้ไม่อาจเป็นจริงได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการพิจารณาแทน พิจารณารูปที่ 2.24

รูปที่ 2.25 ผลการตอบสนองของระบบที่มีการหน่วงเวลา

(Specification for Closed-loop response of System with Dead Time ;t_0)

จากรูปที่ 2.24 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ให้ $$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1}$$

แทนค่าของ G(s) และ C(s) / R(s) ลงในสมการที่ (2.39) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{Ke^{-t_0 s}}\right)\left[\frac{\left(e^{-t_0 s} \big/ \tau_c s + 1\right)}{1 - \left(e^{-t_0 s} \big/ \tau_c s + 1\right)}\right]$$

$$= \left(\frac{\tau s + 1}{Ke^{-t_0 s}}\right)\left(\frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}}\right)$$

$$\therefore G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{K}\right)\left(\frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}}\right) \qquad \text{.....(2.46)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.46) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอ ได้ โดยแปลงพจน์ของเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Term) โดยใช้กฎของ Pade' (The First-order Pade' Approximation) ดังนี้

$$e^{-t_0 s} = \left(\frac{1 - t_0 s/2}{1 + t_0 s/2} \right) \qquad \text{.....(2.47)}$$

แทนสมการ (2.47) ลงในสมการ (2.46) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau s + 1}{K} \right) \left\{ \frac{1}{\tau_c s + 1 - \left[\left(1 - t_0 s/2 \right) \Big/ \left(1 + t_0 s/2 \right) \right]} \right\}$$

$$= \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + 1/\tau s \right) \left(\frac{1 + t_0 s/2}{1 + t_0 \tau_c s / 2(\tau_c + t_0)} \right)$$

ให้ $\tau' = \dfrac{\tau_c t_0}{2(\tau_c + t_0)}$

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) \left(\frac{1 + t_0 s/2}{1 + \tau' s} \right) \qquad \text{.....(2.48)}$$

เปรียบเทียบกับสมการของตัวควบคุมชนิดพีไอดี ดังสมการ (2.45) จะได้ว่า

$$K_c' = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \qquad \tau_I' = \tau \qquad \tau_D' = t_0/2 \qquad \text{.....(2.49)}$$

พิจารณาที่การหน่วงเวลาน้อย (Small Dead Time ; $t_0 << \tau_C$) จะได้ว่า

$$\tau' = t_0/2$$

แทนค่าในสมการที่ (2.48) จะได้ผลออกมาในรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอ ดังนี้

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau}{K} \right) \left(1 + 1/\tau s \right)$$

ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ ระบบมีค่า Dead Time น้อย แต่สำหรับระบบที่เป็น Long Dead Time ($\tau_c \longrightarrow 0$) ค่าของ τ' จะกลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau' \quad = \quad (\tau_c / 2) \longrightarrow 0$$

แทนในสมการที่ (2.48) จะได้ว่า

$$G_c(s) = \left(\frac{\tau}{K}\right)\left(1+\frac{1}{\tau s}\right)\left(1+{}^{t_0 s}\!/_{2}\right)$$

นั่นคือ สามารถสรุปได้ว่า ถ้ามีการหน่วงเวลานานแล้วจะทำให้ตัวควบคุมอยู่ในรูปของตัวควบคุมชนิดพีไอดี

พิจารณาความสัมพันธ์ต่างๆ ในสมการ (2.49) จะพบว่าค่าการหน่วงเวลา (Dead Time)นี้สามารถใช้ในการกำหนดขอบเขตของอัตราขยายของตัวควบคุมได้ โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$K_{c,MAX} = \lim_{\tau_c \to 0} [\tau / K*(\tau_c + t_0)]$$
$$= \tau / (K * t_0)$$

จะพบว่า การเพิ่มค่าอัตราขยาย อาจจะส่งผลให้เกิดโอเวอร์ชูท (Overshoot) และความไม่เสถียรได้ (Unstability) ได้

กระบวนการแบบอินทิเกรตติง (Integrating Process)

ให้ $G(s) = K / s$

แทนในสมการ (2.41) จะได้ว่า

$$G_c(s) = (s / K) * [1 / (\tau_c * s)]$$
$$= 1 / (K * \tau_c)$$

ซึ่งกลายเป็นตัวควบคุมแบบพี ที่สามารถปรับค่าอัตราการขยายได้

2.4.4 *ผลสรุปจากการสังเคราะห์ตัวควบคุม*

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการสรุปรูปแบบโหมดของตัวควบคุม และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแต่ง ซึ่งเกิดจากวิธีสังเคราะห์ตัวควบคุมของ Dahlin's Response

Process	Controller	Tuning Parameter
$G(s) = K$	I	$K = 1 / (K*\tau)$
$G(s) = K / (\tau*s +1)$	PI	$K = \tau / (K*\tau)$ $\tau_1 = \tau$
$G(s) = \frac{K}{}$	PID	$K_c' = \tau_1 / (K*\tau_c)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G(s) = \frac{K}{[(\tau_1 s+1)(\tau_1 s+1)]}$	PID	$K_c' = \tau_1/(K*\tau_c)$ $\tau_I' = \tau_1$ $\tau_D' = \tau_2$
$G(s) = \frac{[K*\exp(t_0*s)]}{\tau*s+1}$	PID	$K_c' = \tau/[K*(t_0+\tau_c)]$ $\tau_I' = \tau$ $\tau_D' = t_0/2$
$G(s) = K/s$	P	$K_c = 1/K*\tau_c$

ตารางที่ 2.3 โหมดของตัวควบคุมและพารามิเตอร์ในการปรับแต่ง

กระบวนการที่จะใช้การควบคุมในโหมดพีไอดีได้ ควรมีค่า t_0 มากกว่า $\tau/4$ ในกรณีนอกเหนือจากนี้ ควรใช้การควบคุมในโหมดพีไอ

<u>ข้อแนะนำ</u> สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัตินี้จะใช้หลักการของ Minimum IAE (Minimum Integral Absolute Error) โดยใช้ τ_c เป็นตัวกำหนด ซึ่งค่า τ_c ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ จะมีค่าเป็นดังนี้

ตัวควบคุมแบบพีไอ ($\tau_D = 0$) $\tau_c = (2/3) * t_0$

ตัวควบคุมแบบพีไอดี $\tau_c = (1/5) * t_0$

แต่สำหรับระบบที่ต้องการ overshoot $\leq$ 5% เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Set point ควรจะใช้ $\tau_c = t0$ ดังนั้นที่ความต้องการ overshoot $\leq$ 5% จะได้ว่า

$$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + t_0)} = \left(\frac{0.5}{K}\right)\left(\frac{\tau}{t_0}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

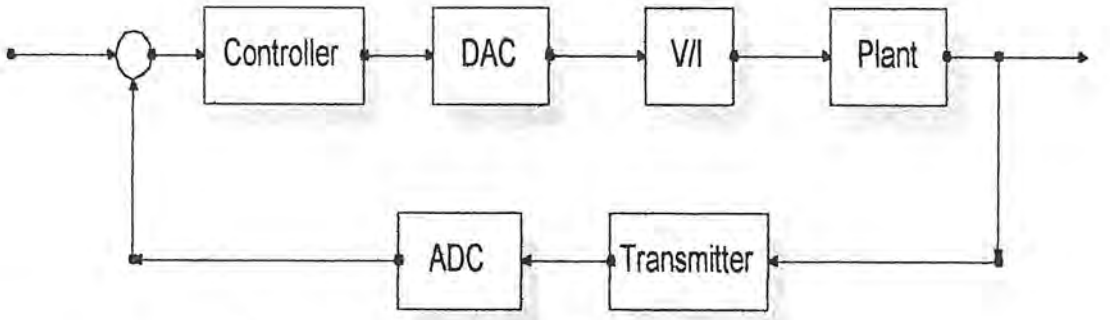
3.1 โครงสร้างโดยรวม

การทำงานของตัวควบคุมพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัตินี้ จะเริ่มจากการรับสัญญาณที่มาจากกระบวนการ (PV หรือ Process Variable) ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในตัวควบคุม ที่มีลักษณะเป็นสัญญาณดิจิตอลได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน โดยผ่านอุปกรณ์ A/D(ADC หรือ Analog to Digital Converter) ก่อน เพื่อทำให้สัญญาณอินพุททั้ง 4 ชนิด คือสัญญาณจากอาร์ทีดี , สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล , สัญญาณมาตรฐาน 1-5 V และ สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA กลายเป็นสัญญาณดิจิตอลที่ตัวควบคุมสามารถนำค่าไปประมวลผลได้ โดยวงจรรับอินพุททั้ง 4 ชนิดนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุท แล้วแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณขนาด 0-5 V เนื่องจากเป็นขนาดของสัญญาณที่ ADC สามารถรับได้

ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมและคำนวณเพื่อปรับค่าตัวแปรต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งได้แก่ ค่า Kp (Proprotion Gain) , Ki (Integration Constant) และ Kd (Derivative Constant) ได้เองอัตโนมัติโดยการเขียนโปรแกรมควบคุม (Software) และสามารถเลือกชนิดของสัญญาณอินพุทที่ต้องการรับ (Input Mode) พร้อมกับรับค่าเซทพอยต์ (Set Point ; SP) ได้จากการป้อนค่าทางปุ่ม keyboard โดยตรง และจะแสดงค่าของกระบวนการออกทางตัวเลขแสดงผล (Seven segment)

สัญญาณควบคุมที่ออกจากตัวควบคุมนั้น เป็นสัญญาณดิจิตอลแต่ สัญญาณของกระบวนการจริงเป็นสัญญาณอนาลอก จึงจำเป็นต้องทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกก่อน โดยการส่งสัญญาณผ่าน D/A (DAC หรือ Digital to Analog Converter) ก่อนนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ แต่เนื่องจากสัญญาณเอาท์พุทของ D/A นั้นเป็นสัญญาณขนาด –10 V ถึง 10 V แต่สัญญาณมาตรฐานโดยทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการนั้นเป็นสัญญาณขนาด 4-20 mA. จึงต้องแปลงสัญญาณแรงดันขนาด 20 Vp-p จาก D/A ให้เป็น กระแส ซึ่งมีขนาด 4-20 mA. โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส (V/I Converter) ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้คือ สัญญาณ MV หรือ Manipulated Variable ที่ส่งไปควบคุมกระบวนการ สามารถแสดงโครงสร้างโดยรวมของระบบ ได้ดัง Block Diagram ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 Block Diagram โครงสร้างโดยรวมของตัวควบคุม

พิจารณาโครงสร้างของการทำงานได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. *ส่วนของวงจรอินพุท*
2. *ส่วนของตัวควบคุม*
3. *ส่วนของวงจรเอาท์พุท*

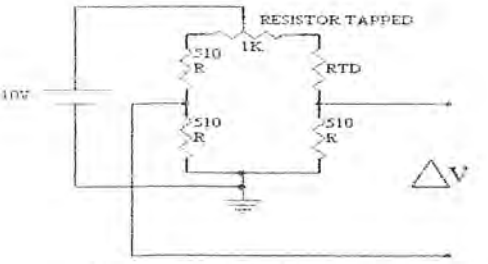
3.2วงจรอินพุทที่ใช้ในการรับสัญญาณต่างๆ

เนื่องจากตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัตินี้สามารถรับสัญญาณอินพุทได้ทั้งหมด 4 ชนิด ดังนี้

- วงจรรับสัญญาณจาก RTD (Resistance Temperature Detectors)
- วงจรรับสัญญาณจาก Thermocouple
- วงจรรับสัญญาณ 1-5V (แปลงสัญญาณขนาด 1-5 V เป็นสัญญาณขนาด 0-5 V)
- วงจรรับสัญญาณ 4-20 mA (แปลงสัญญาณขนาด 4-20 mA เป็นสัญญาณขนาด 0-5V)

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 วงจร Bridge สำหรับรับสัญญาณจาก RTD



รูปที่ 3.2 วงจรบริดจ์ที่ออกแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 พิจารณาที่ภาวะสมดุล ปรับความต้านทานปรับค่าได้จนกระทั่ง

$$Rab = Rac$$

จะได้ $$Rab = (R+1k+100+\Delta R)/2$$

$$= (R+1100+\Delta R)/2$$

เนื่องจากค่า R มีค่าเท่ากับศูนย์ ($\Delta R=0$) ทำให้ ค่าของ $V=0$ ด้วยทำให้ได้ว่า

$$Rab = (R+1100)/2$$

ดังนั้นถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลให้ ΔR เปลี่ยนแปลงด้วย ทำให้ $Rab \neq Rac$ (ทำให้ $\Delta V \neq 0$) โดยที่ อุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระหว่าง 0-209 ^{o}C (ตามคุณสมบัติของ RTD ชนิด pt100) ซึ่งจะมีผลทำให้ ΔR เปลี่ยนแปลงจาก 0-79.51ohm โดยจะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$V = [\{Rbd/(Rab+Rbd)\} - \{Rcd/(Rac+Rcd)\}] * V$$

$$= [\{R/(\underline{R+1100}/2 + R\} - \{R/(\underline{R+1100}/2 + R + \Delta R\}] * V$$

ให้ $\underline{R+1100}/2 + R = Rx$ จะได้ว่า

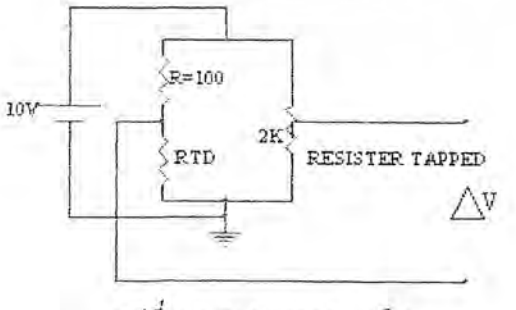
$$\Delta V = [\{R*(Rx+\Delta R) - R*Rx\}/\{Rx*(Rx+\Delta R)\}] * V$$

ถ้า $\Delta R << Rx$ จะมีผลให้สมการมีค่าเป็น

$$\Delta V/V = (R*\Delta R)/Rx^2 \qquad \text{.....(3.1)}$$

(ซึ่ง $\Delta R << Rx$ เนื่องมาจาก $\Delta R << R$ นั่นเอง)

เปรียบเทียบกับวงจร RTD ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร Bridge เดิม

ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RTD = 100 + \Delta R \quad ;\text{โดยที่ } \Delta R < 79.51$$

จะได้ว่า

$$\Delta V = [\{1/2\} - \{(100+\Delta R)/(R+100+\Delta R)\}] * 10$$

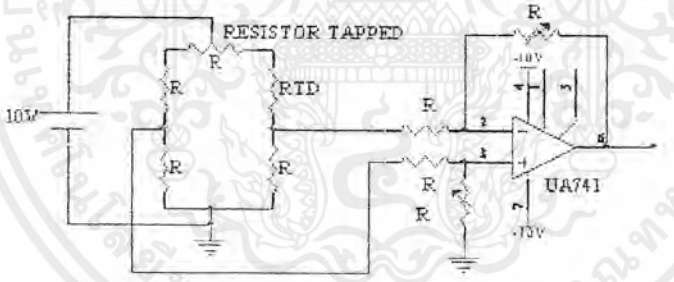
$$= [\{R+100+\Delta R - 2*(100+\Delta R)\} / \{2*(R+100+\Delta R)\}]$$

$$= (R-100-\Delta R) / \{2 * (R+100) + 2\Delta R\}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากสมการที่ได้จะแสดงลักษณะของความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เป็น วงจรที่ไม่นิยมใช้กัน ในปัจจุบันจึงนิยมใช้วงจรดังรูปที่ 3.2 มากกว่า โดยจะแทนค่า R = 510 ohm และค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (3.1) จะได้ว่า

$$\Delta V / V = \{510 * \Delta R\} / (1315)^2$$

แต่สัญญาณที่ได้จากวงจร Bridge นี้จะมีขนาดสัญญาณค่อนข้างเล็ก ซึ่งตัว Microcontroller จะสามารถรับสัญญาณได้ในค่าช่วงระหว่าง 0-5V ทำให้เรามีความจำเป็น จะต้องทำการขยายสัญญาณของวงจร Bridge โดยการต่อวงจรขยาย ดังรูป 3.4 ซึ่งจากการ คำนวณจะพบว่าที่ Vout = 5 V จะได้ค่า ΔR = 79.51 ohm



รูปที่ 3.4 วงจรบริดจ์เมื่อต่อวงจรขยายสัญญาณแล้ว

โดยเราสามารถหาความสัมพันธ์ของวงจรโดยใช้หลักการของ Op-Amp ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

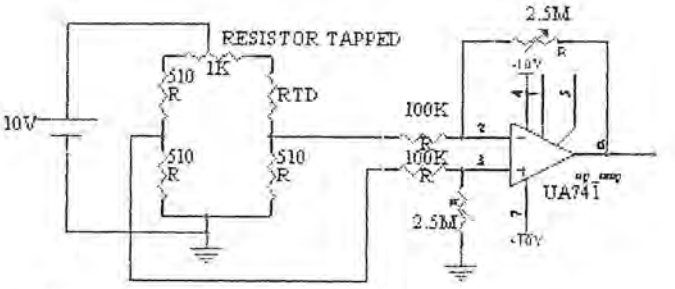
$$Vout = (R2 / R1) * (510/1315) * \Delta R * V$$

$$5 = (R2 / R1) * (510 /1315) * 79.51 * 10$$

$$R2 / R1 = 21.32$$

ดังนั้นถ้าเราเลือก R1 = 100 k จะได้ค่า R2 = 2.132 M ดังรูปที่ 3.5

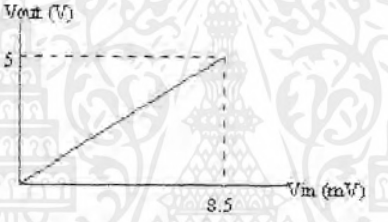
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรบริดจ์ที่ต่อวงจรขยายเมื่อแทนค่าต่างๆแล้ว

3.2.2 วงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล

เป็นวงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-8.5 mA (ตามคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปอร์ชนิด K type) โดยต้องทำการแปลงสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล ให้อยู่ในช่วง 0-5V เพื่อให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับรู้สัญญาณได้ โดยการต่อวงจรขยายสัญญาณช่วยในการแปลงสัญญาณ



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ input และ output ของวงจร Thermocouple

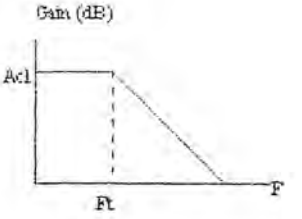
จากกราฟเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณอินพุทและเอาท์พุท ได้ดังนี้

$$\text{Gain} = \text{Vout} / \text{Vin} = \text{slope} = 5 / (8.5 * 10^{-3}) = 588.235$$

จะพบว่า อัตราขยายมีค่าค่อนข้างมากซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการตอบสนองทางความถี่โดย ถ้าพิจารณาผลการตอบสนองทางความถี่ของออปแอมป์ประกอบด้วยจะพบว่าแบรนด์วิธ (Bandwidth) ของออปแอมป์จะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการขยายของวงจรด้วย ดังนี้

$$\text{Bandwidth} \quad \alpha \quad 1 / \text{Gain}$$

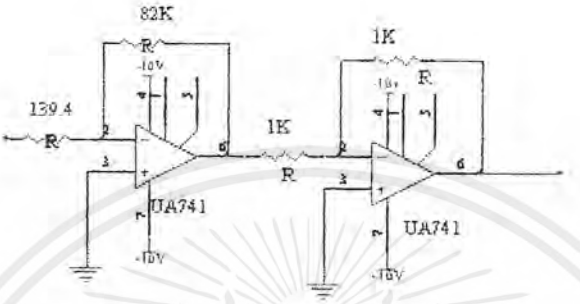
ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงผลการตอบสนองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

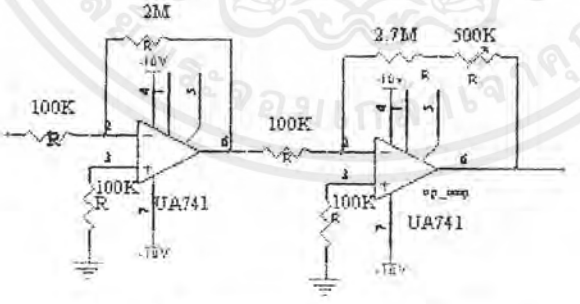
จะพบว่า ถ้าออปแอมป์ มีค่าอัตราการขยายสัญญาณมาก จะทำให้แบรนด์วิธมีค่าน้อยหรือแคบ ซึ่งจะมีผลทำให้ผลการตอบสนองทางความถี่ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น ถ้าต้องการให้วงจรมีอัตราการขยายสัญญาณมากโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการตอบสนองทางความถี่ก็ควรใช้ออปแอมป์ที่มีค่าอัตราการขยายสัญญาณน้อยมาต่ออนุกรมกัน เพื่อทำให้ผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรมีค่าที่ดี



รูปที่ 3.8 วงจรเทอร์โมคัปเปิล เดิม

จากวงจรดังรูปที่ (3.8) จะพบว่าออปแอมป์ ตัวแรกจะมีค่าอัตราการขยายสัญญาณประมาณ 588.235 (gain = 588.235) ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าแบรนด์วิธ (f_T) มีค่าน้อย ไปด้วย เนื่องจากเหตุผล และรูปที่ได้แสดงมาข้างต้น (รูปที่ 3.7)

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ต้องทำการปรับปรุงวงจรในรูปที่ (3.8) ขึ้นมาใหม่เพื่อให้ผลตอบสนองทาง ความถี่มีค่าดีขึ้น ซึ่งจะมีรูปแบบของวงจรดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรเทอร์โมคัปเปิล ใหม่

จากวงจรดังรูปจะพบว่าค่าอัตราการขยายสัญญาณจะมีค่าดังนี้

- อัตราการขยายสัญญาณของออปแอมป์ตัวแรก มีค่า อัตราขยาย = 20
- อัตราการขยายสัญญาณของออปแอมป์ตัวที่สอง มีค่า อัตราขยาย = 29.4
- อัตราการขยายสัญญาณของวงจรรวม มีค่า อัตราขยาย = 20* 29.4

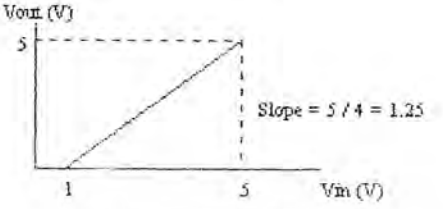
= 588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้ค่าผลตอบสนองทางความถี่และค่า Cut-off Frequency (f_T) มีค่าดีขึ้น

3.2.3. วงจรรับสัญญาณขนาด 1-5V (แปลงสัญญาณจาก 1- 5V เป็นสัญญาณ 0-5V)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่3.10

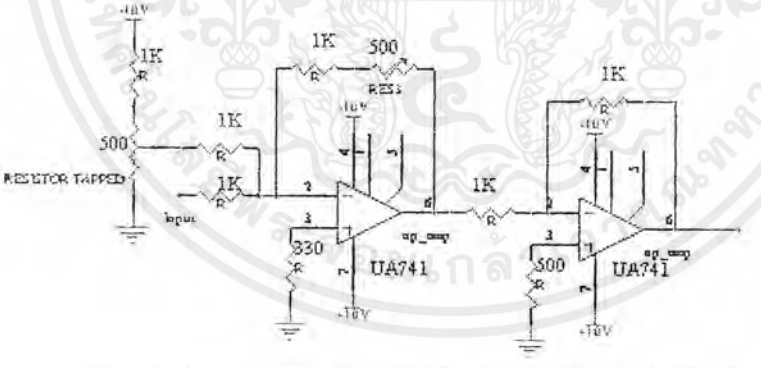


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุท ของวงจร แปลงสัญญาณ 1-5V เป็น 0-5 V

จากกราฟสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุท และเอาท์พุท ได้ดังนี้

$$Vout = 1.25 * Vin - 1.25$$

ซึ่งจากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถนำมาใช้ในการออกแบบ วงจรแปลงสัญญาณ ได้ดังรูปที่ 3.11



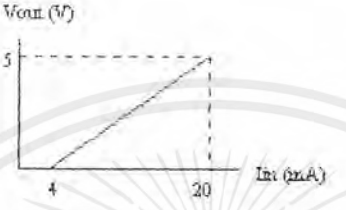
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรแปลงสัญญาณ 1-5V เป็น 0-5V

จากวงจรจะพบว่าออปแอมป์ ตัวแรกจะต่ออยู่ในลักษณะของวงจรบวก (Summing Amp) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอินพุทขนาด 1-5V ให้เป็นเอาท์พุทขนาด (-5V) – 0 V และออปแอมป์ ตัวที่สองจะต่ออยู่ในลักษณะของวงจรกลับเฟส (Inverting Amp) ซึ่งจะทำหน้าที่กลับเฟสสัญญาณจากสัญญาณ ลบให้กลายเป็นสัญญาณบวก (กลายเป็นสัญญาณขนาด 0 – 5V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4. วงจรแปลงสัญญาณ 4-20 mA เป็น 0-5 V

เป็นวงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA แล้วแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณขนาด 0-5V เพื่อให้ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถรับค่าได้ โดยจะใช้วงจรแปลงกระแส เป็นแรงดันชนิดโหลดเทียบกราวด์ (Grounded-load Referenced I/V Converter) โดยสามารถหาค่าของความต้านทาน ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท ดังรูปที่ 3.12

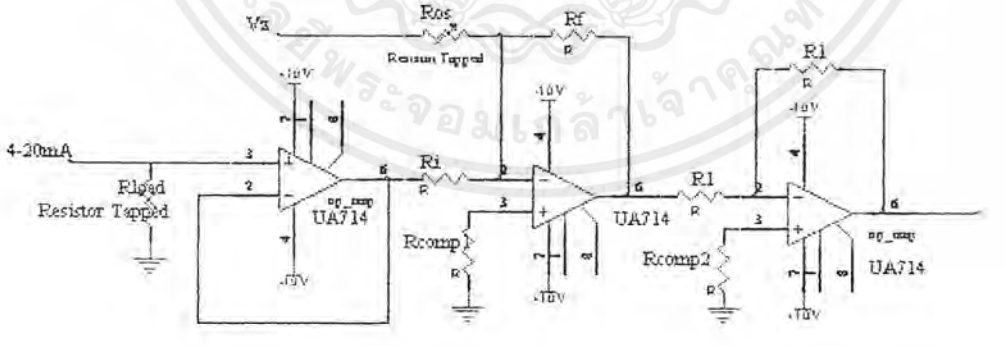


รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ของวงจรแปลงสัญญาณ 4-20mA เป็น 0-5V

จากกราฟเราสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Vout = \{5 / (16 * 10^{-3})\} * Iin - 1.25$$

จากความสัมพันธ์ดังกราฟสามารถนำมาใช้ในการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณความต่างศักย์ (I/V Converter) ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจร I / V Converter

จากวงจร I / V Converter จะได้ว่า

$$Vout = \{(Rf / Ri) * (R_L * Iin)\} + \{(Rf / Ros) * Vz\}$$

จากความสัมพันธ์ก่อนหน้านี้จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(Rf / Ri) * R_L = 5 / (16 * 10^{-3})$

เลือก $(Rf / Ri) = 10$ จะได้ว่า $R_L = 31.25$ ohm

เลือก $Ri = 10$ k จะได้ว่า $Rf = 100$ k

เลือก $R1 = 10$ k

จากความสัมพันธ์ของกราฟ และความสัมพันธ์ของวงจร I / V Converter จะพบว่า

$(Rf / Ros) * Vz = -1.25$

เลือก $Vz = -10$ V จะได้ว่า

$Ros = 800$ k

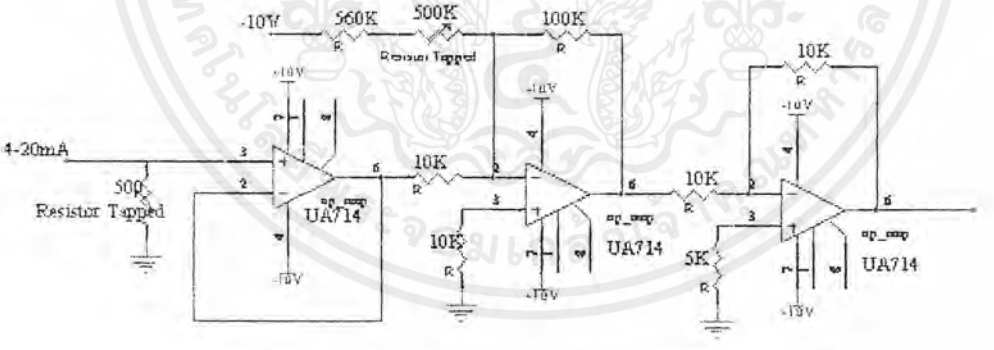
$R_{comp1} = Rf // Ros // Ri$

$= 10$ k

$R_{comp2} = R1 // R1$

$= 5$ k

จากความสัมพันธ์ที่ได้แสดงมาข้างต้น จะพบว่าสามารถหาค่าของความต้านทานต่างๆ ได้ (ตามที่พิสูจน์มาข้างต้น) ซึ่งค่าที่หาได้นี้สามารถนำมาแสดงในวงจร I/V Converter ได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจร I/V Converter เมื่อแทนค่าที่ได้จากการคำนวณแล้ว

3.3 <u>ตัวควบคุม</u>

จะพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ

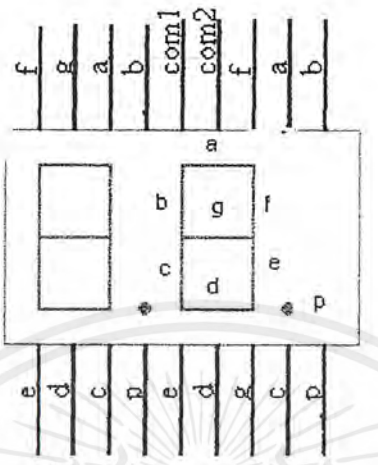
1. ส่วนของ Hardware
2. ส่วนของ Software

ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ส่วนของ Hardware ประกอบด้วยอุปกรณ์และวงจรที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุม (MCS-51) ดังนี้

1. ตัวเลขแสดงผล (Seven-Segment)



รูปที่ 3.15 แสดงขาของ 7-Segments

ในที่นี้ใช้ Seven-Segments ชนิด Common Cathode ในการแสดงค่าต่างๆ ของกระบวนการ (Process Value) ซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.15 โดย seven-segments นี้จะประกอบด้วย 8 Segments คือ a,b,c,d,e,f,g และ p โดยมี p เป็นจุด (Point) ขาทั้ง 8 นี้ ต่อเข้าโดยตรงกับ Port B ของ 8255 โดยตรง หากต้องการให้ Segment บิทใดติด ก็ส่ง 1 (5 V) ไปที่ขา Segment นั้น หากต้องการให้ดับ ก็ส่ง 0 (0 V) ตัวเลข 0-9 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตาราง 3.1

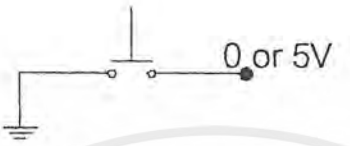
ตัวเลข	**P g f e d c b a**	**Hex**
0	0 0 1 1 1 1 1 1	3F
1	0 0 0 0 0 1 1 0	06
2	0 1 0 1 1 0 1 1	5B
3	0 1 0 0 1 1 1 1	4F
4	0 1 1 0 0 1 1 0	66
5	0 1 1 0 1 1 0 1	6D
6	0 1 1 1 1 1 0 1	7D
7	0 0 0 0 0 1 1 1	07
8	0 1 1 1 1 1 1 1	7F
9	0 1 1 0 0 1 1 1	67

ตารางที่ 3.1 แสดง Data ของ Seven-Segments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขา Com1 และ Com2 เป็นขาที่ใช้เลือกตำแหน่ง (Bit Select) ที่จะแสดงผล หากต้องการให้ตำแหน่งใดติด ให้ส่ง 0 ไปที่ขานั้น พร้อมกับข้อมูลทั้ง 8 บิท (ในที่นี้เราใช้ port1 บิท 0,1,2,3 ในการเลือกตำแหน่งที่จะใช้ในการแสดงผล และรับค่าข้อมูลทั้ง 8 บิท จาก Port Bของ 8255)

2. *ปุ่มรับค่า (Keyboard)*

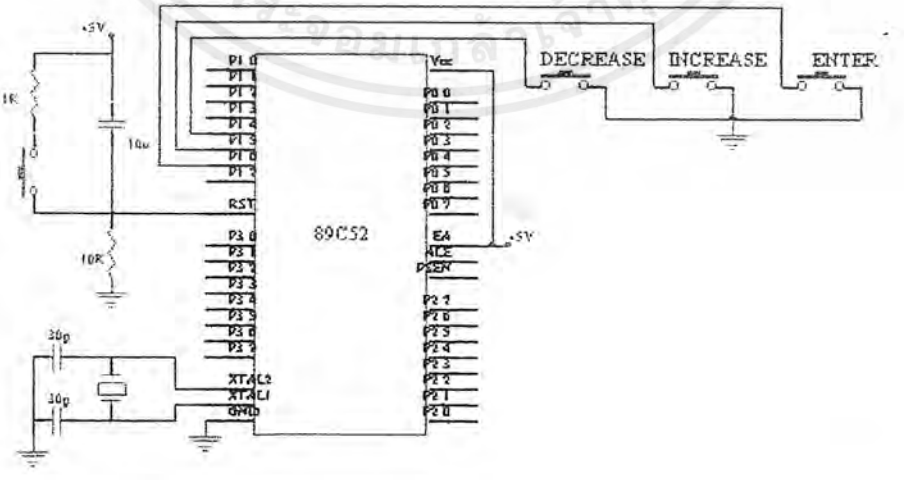


รูปที่ 3.16 แสดงขาของ Switch

จากรูป 3.16 แสดงวงจรของสวิตช์ (Switch) ชนิดปกติเปิด (Normally Open) ที่ใช้ในการรับค่าในตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ เมื่อสวิตช์ไม่ถูกกด ค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับจะมีค่าเป็น 5V เนื่องจากสถานะลอยของขาของ 89C52 และเมื่อสวิตช์ถูกกด ค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับจะมีค่าเป็น 0 V (Ground)

ในตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัตินี้ ใช้สวิตช์ทั้งหมดจำนวน 3 ตัวเป็น Keyboard คือ ตกลง(Enter) , เพิ่มค่า(Increase) และ ลดค่า (Decrease) โดยต่อเข้ากับ Port 1 Bit 4 , 5 และ 6 ตามลำดับ

การเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับสวิตช์ สามารถแสดงได้ดังรูป 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. PORT

89C52 มี Port อยู่ 4 Port คือ Port0, Port 1, Port 2 และ Port3 โดย Port3 ถูกใช้ในการรับข้อมูลจาก ADC ,Port2 ใช้ในการติดต่อกับ 8255 (เราใช้ 8255 เป็นพอร์ตในการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ส่วนอื่น) Port 1 ใช้ในการเลือกตำแหน่งของ seven-segment และปุ่มรับค่า และ Port0 ใช้ในการติดต่อกับ 8255 และ ADC

8255 มี Port ให้เลือกใช้ได้ 3 Port คือ Port A, Port B และ Port C ซึ่งสามารถกำหนดให้ Port ใดเป็นพอร์ตอินพุท หรือพอร์ตเอาท์พุทก็ได้ โดยการส่งคำสั่งควบคุม (Control Word) ไปที่ 8255 ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม (ในที่นี้ กำหนดให้ Port A เป็นพอร์ตเอาท์พุทส่งข้อมูลไป D/A Port B เป็นพอร์ตเอาท์พุทส่งข้อมูลจาก 89C52 ไปแสดงผลยัง seven-segment)

การเชื่อมต่อ 89C52 กับ 8255 ทำได้โดยต่อ Port2 ของ 89C52 เข้ากับ Data Byte (D0-D7) ของ 8255 และส่งสัญญาณไปควบคุม 8255 อีก 5 Bit ดังตาราง 3.2 ส่วนขา Cs (Chip Select) จะลง Ground ตลอดเวลา (Active Low)

89C52	8255
Port 0 Bit 0	A0
Port 0 Bit 1	A1
Port 0 Bit 2	RESET
Port 0 Bit 3	RD
Port 0 Bit 4	WR

ตารางที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อขา 89C52 กับ 8255

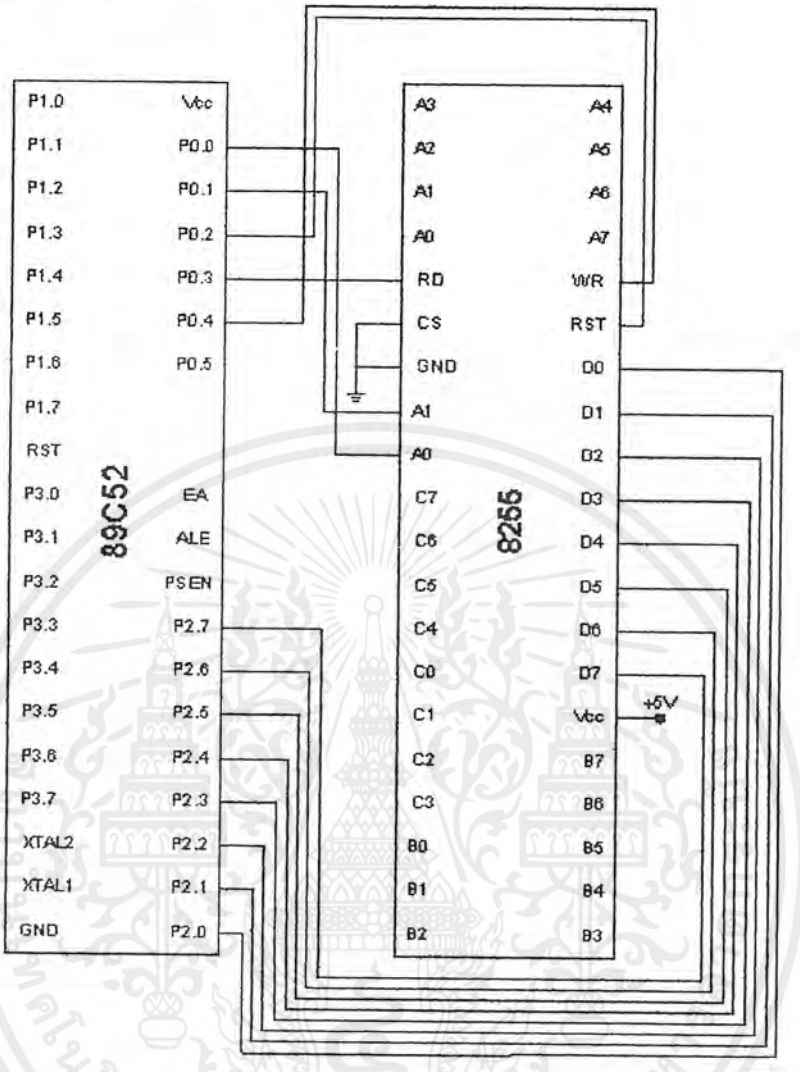
การรีเซต 8255 จะทำในส่วนตอนต้นของโปรแกรมครั้งเดียว และเมื่อใดที่ต้องการติดต่อกับ 8255 จะต้องส่งสัญญาณ 4 Bit ไปก่อนดังตาราง 3.3

WR	RD	A1	A0	ความหมาย
0	1	0	0	ส่งข้อมูล ไป Port A
0	1	0	1	ส่งข้อมูล ไป Port B
0	1	1	1	ส่งคำสั่งควบคุม

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า Select Bit ที่ส่งไป 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับ 8255 แสดงได้ดังรูปที่ 3.18

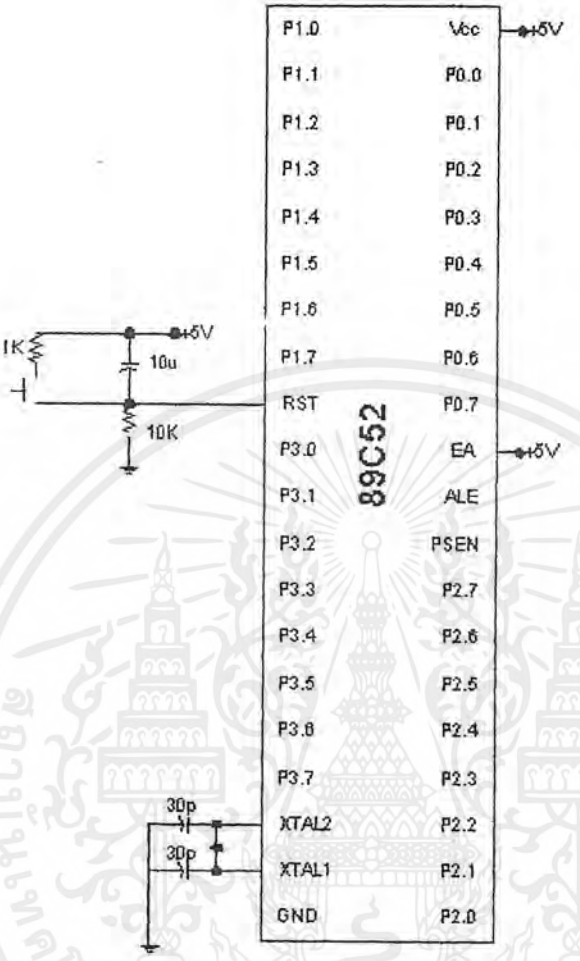


รูปที่ 3.18 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 89C52 กับ 8255

3.<u>วงจรรีเซตและวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่</u>

ในที่นี้จะใช้ตัวกำเนิดสัญญาณความถี่ขนาด 12MHz โดยสามารถแสดงการต่อวงจรรีเซตและวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ได้ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 วงจรที่ต่อกับ CPU

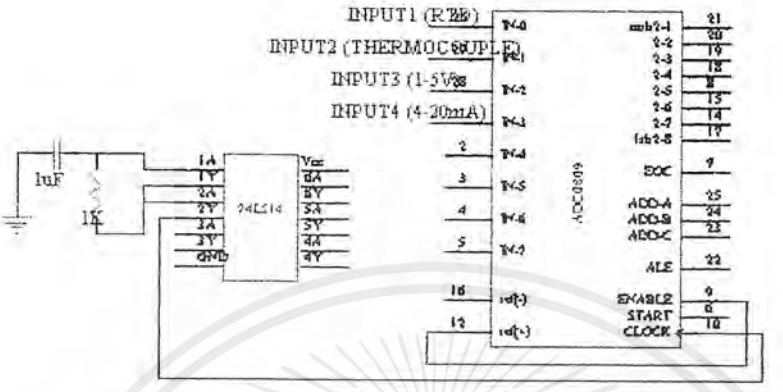
5. A/D (Analog to Digital Converter)

ในตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัตินี้ เลือกใช้ ADC เบอร์ 0809 เพราะมี Multiplexer ในตัว 8 Channel ซึ่งต้องใช้ในการเลือก Input 0-5 V ที่จะรับเข้ามาแปลงสัญญาณ ซึ่งจะใช้เพียง 4ช่องสัญญาณเท่านั้น (Channel) เพื่อรองรับสัญญาณอินพุททั้งสี่ จาก RTD , Thermocouple , สัญญาณมาตรฐาน 1-5 V และ สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA

ADC 0809 ต้องการสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 500 kHz ซึ่งสามารถสร้างได้จาก 74LS14 (Schmitt Trigger Inverter) โดยสามารถแสดงวงจรระหว่าง ADC และ 74LS14 ได้ดังรูปที่ 3.20 การทำงานของ A/D เริ่มต้นได้โดยการเขียนคำสั่งใน 89C52 ส่งสัญญาณเลือกช่องสัญญาณมายัง ADC และส่งคำสั่งเริ่มต้นให้ ADC ทำการแปลงสัญญาณตามช่องสัญญาณที่ได้เลือกไว้ในตอนต้น ขาเลือกช่องสัญญาณของ A/D นั้นจะต่ออยู่กับ Port0 บิท5 และบิท 6 ของ 89C52 และต่อขาบอกการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

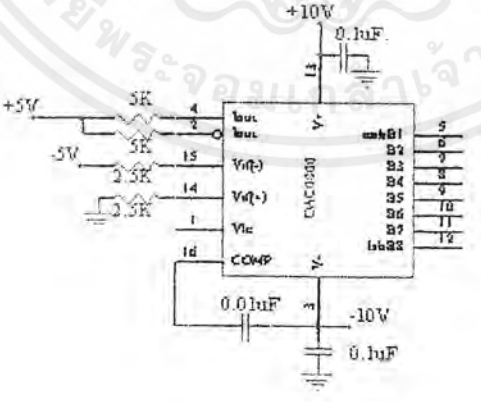
เริ่มต้น กับ Port0 บิท 7 ส่วนขา OE (Output Enable) ของ A/D ต่อกับสัญญาณขนาด 5V เพื่อให้ A/D ทำการส่งสัญญาณเอาท์พุท (ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอล) ออกมาทันทีเมื่อทำการแปลงสัญญาณข้อมูลเสร็จแล้ว โดยที่ขาส่งข้อมูลของ A/D ต่ออยู่กับ Port 3 ของ 89C52



รูปที่ 3.20 วงจรการต่อร่วมกันระหว่าง ADC0809 และ 74LS14

6. D/A (Digital to Analog Converter)

ในที่นี้ใช้ DAC เบอร์ 0800 ซึ่งสามารถทำการแปลงสัญญาณได้เองโดยไม่ต้องมีสัญญาณใดๆไปควบคุม โดยที่ค่าอินพุท (ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอล) ของ DAC จะรับมาจาก Port A ของ 8255 แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจาก DAC0800 นี้จะมีขนาดระหว่าง –5V ถึง 5V แต่สัญญาณที่นำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการนั้นจะเป็นสัญญาณกระแสซึ่งมีขนาดเป็นสัญญาณมาตรฐานขนาด 4-20 mA ดังนั้นเราจึงต้องทำการแปลงสัญญาณโดยผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณความต่างศักย์ให้เป็นสัญญาณกระแส (V/I Converter) สามารถแสดงการต่อวงจรของ DAC ได้ดังรูปที่ 3.21



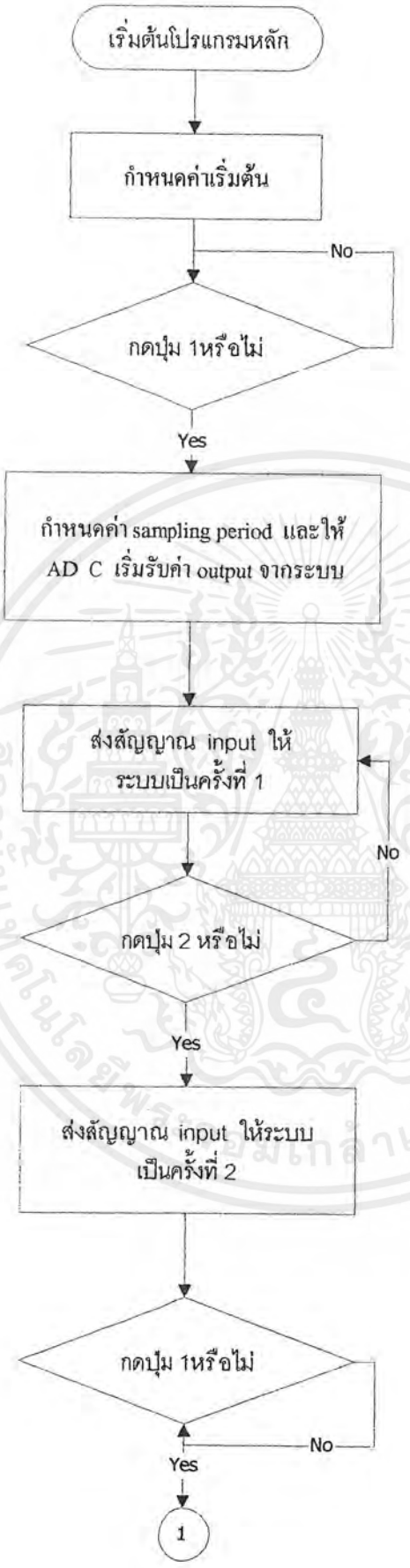
รูปที่ 3.21 วงจร DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

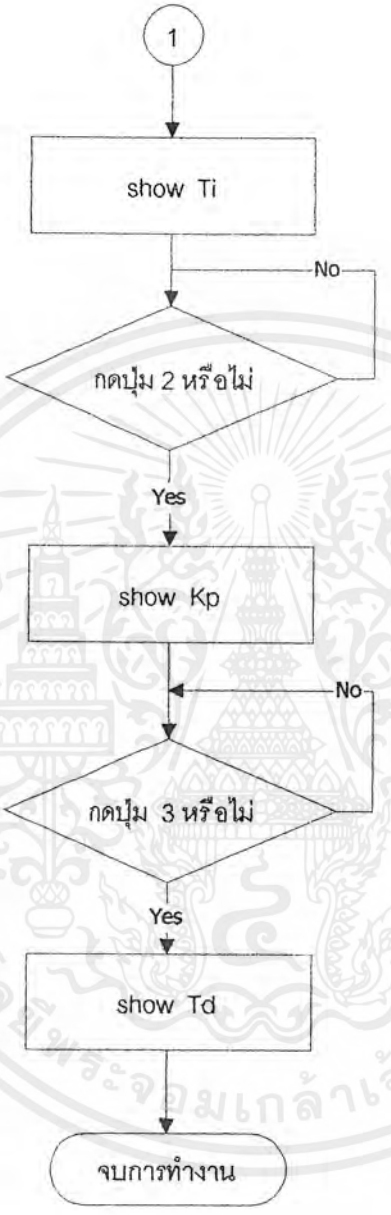
3.3.2 ส่วนของ Software การเขียนโปรแกรมในตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัตินี้จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี (Assembly) ซึ่งเป็นภาษาที่สามารถใช้ได้กับตัวควบคุมซึ่งเป็น Microcontroller ตระกูล MCS51 และเนื่องจากการคำนวณสัญญาณควบคุมแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัตินี้จะเกี่ยวข้องกับตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่งจำนวนมาก ทำให้สัญญาณควบคุมที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมนี้ อาจมีค่าผิดพลาด (Error) เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการที่ไม่สามารถเก็บค่าทศนิยมเหล่านั้นได้อย่างสมบูรณ์นั่นเอง

หลักการของโปรแกรมสามารถแสดงได้ด้วย flowchart ดังรูปที่ 3.22 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมสามารถอ้างอิงได้จากแผ่นโปรแกรม

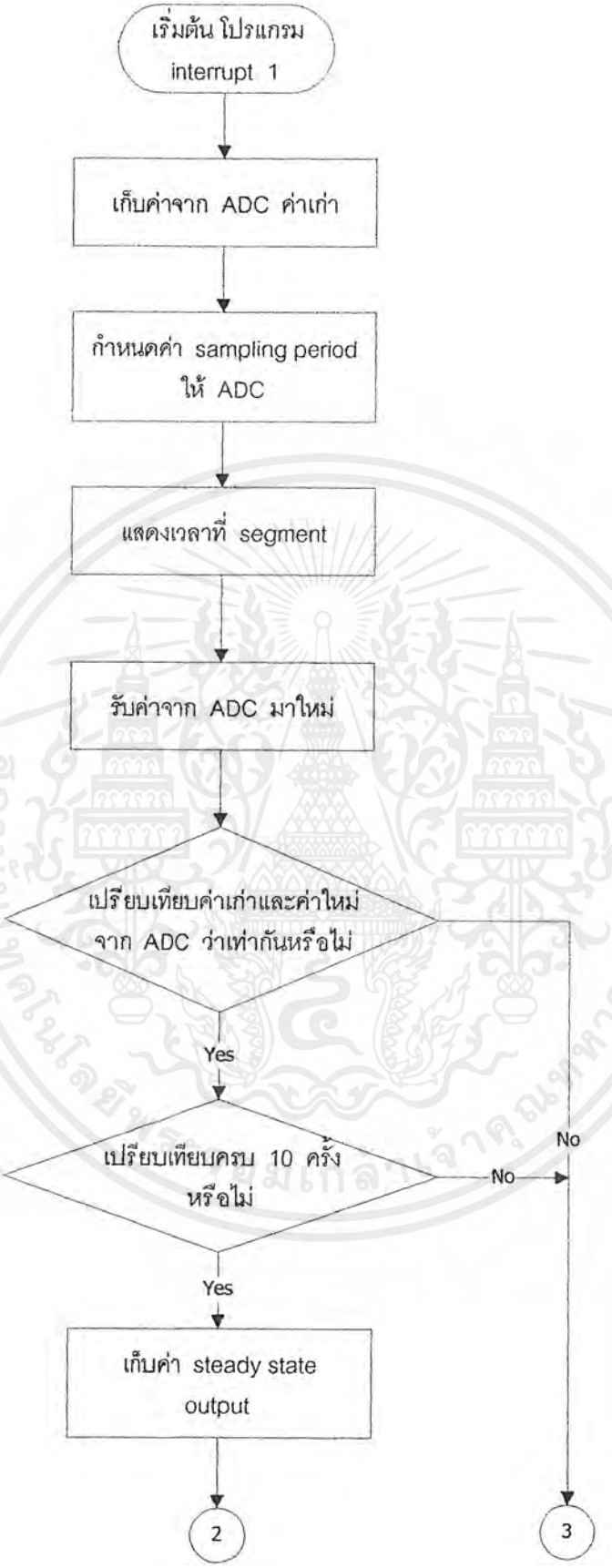
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



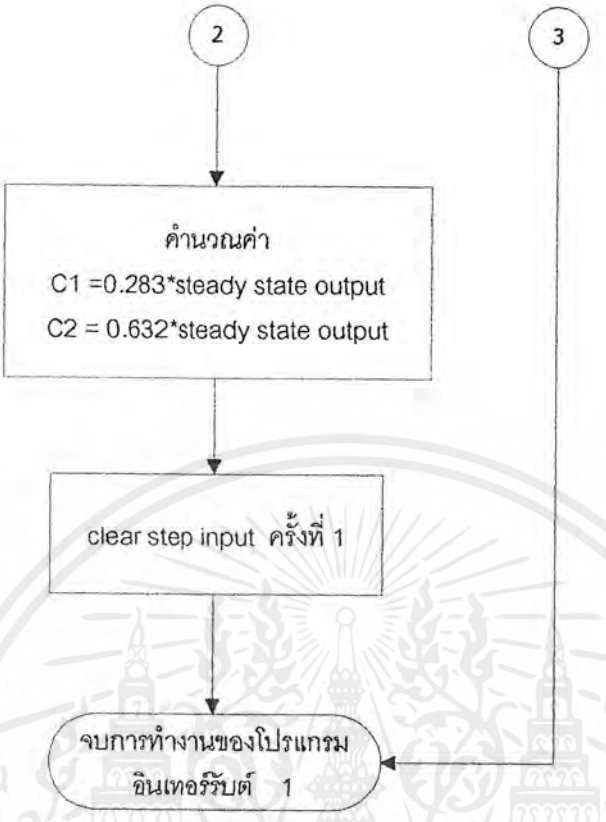
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



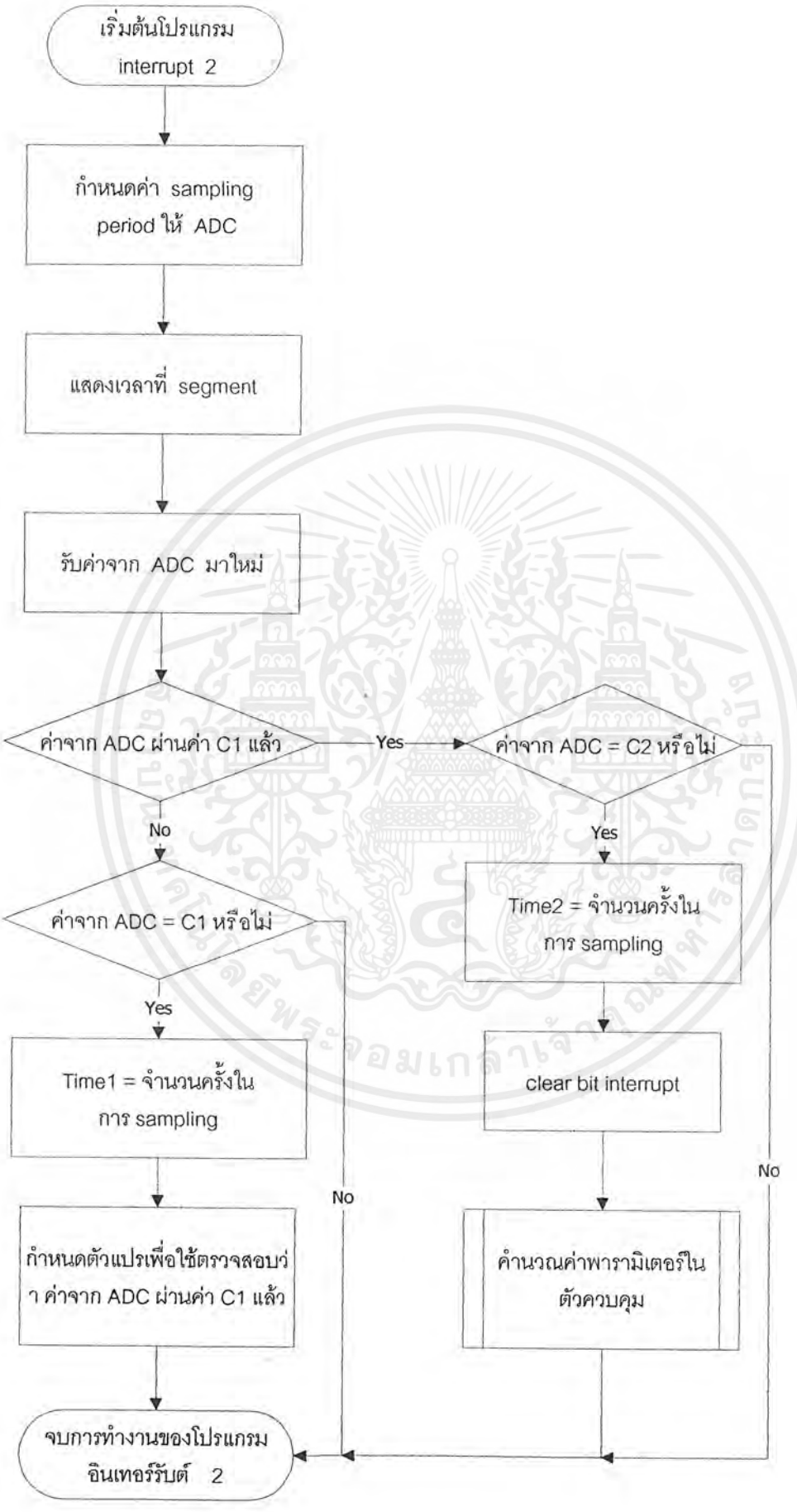
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



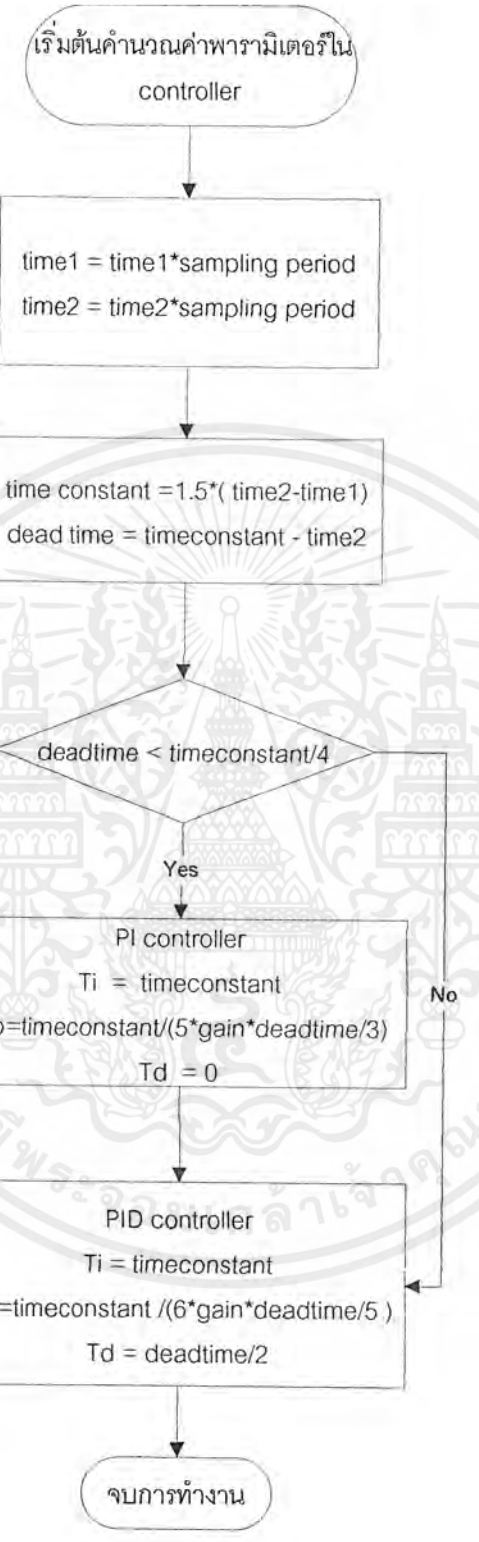
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

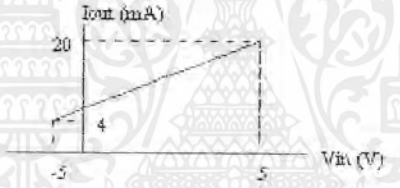
3.4.ส่วนของวงจรเอาท์พุท

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงแรงดังเป็นกระแสขนาด 4-20 mA โดยผ่านทางวงจร V/I Converter เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมกระบวนการ ดังนี้

วงจรแปลงสัญญาณ (-5)-5V เป็น 4-20 mA (V/I Converter)

เป็นวงจรที่ใช้ ในการแปลงสัญญาณเอาท์พุทจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง (-5)-5V ให้เป็นค่ากระแสที่มีขนาด 4-20 mA เพื่อส่งให้กระบวนการต่างๆ เหตุที่ต้องแปลงสัญญาณจากตัวควบคุมให้เป็นกระแส ไม่แปลงเป็นความต่างศักย์ เนื่องจากกระแสสามารถแปลงเป็นค่าความต่างศักย์ได้ง่ายกว่าที่เราจะ แปลงค่าความต่างศักย์เป็นกระแส และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือ กระแสสามารถส่งได้ระยะทางไกล โดยจะไม่มีการสูญเสียไปกับค่าความต้านทานของสาย ไม่เหมือนกับความต่างศักย์ ที่จะมี การสูญเสียไปในสายตัวนำ ดังนั้นจึงนิยมส่งสัญญาณในรูปของกระแสมากกว่าความต่างศักย์ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทและเอาท์พุท ดังรูปที่ 3.23



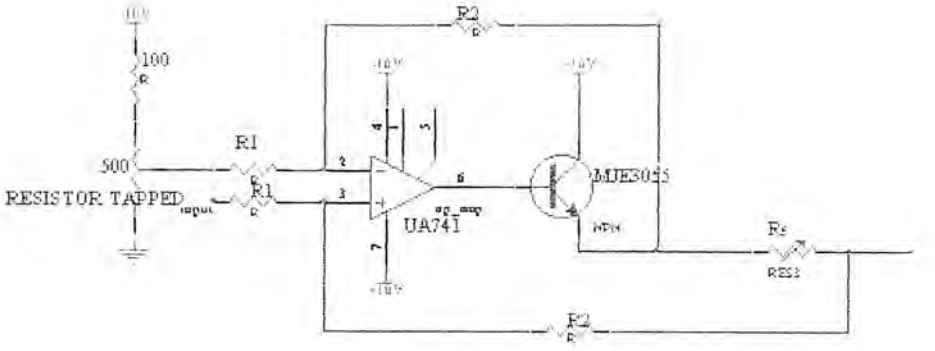
รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ของวงจร V/I Converter

จากกราฟสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท และเอาท์พุทได้เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าความพารามิเตอร์ต่างๆ ในวงจรได้ดังนี้

$$Iout = [\{(16 * 10^{-3}) / 2\} * Vin] + (12 * 10^{-3})$$

โดยที่วงจรแปลงสัญญาณความต่างศักย์เป็นกระแส (V / I Converter) มีรูปแบบวงจรดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 วงจร V / I Converter

จากวงจร หาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_{out} = (V_{in} - V_{ref}) / R_s$$

$$= \{(1/R_s) * V_{in}\} - \{(1/R_s) * V_{ref}\}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

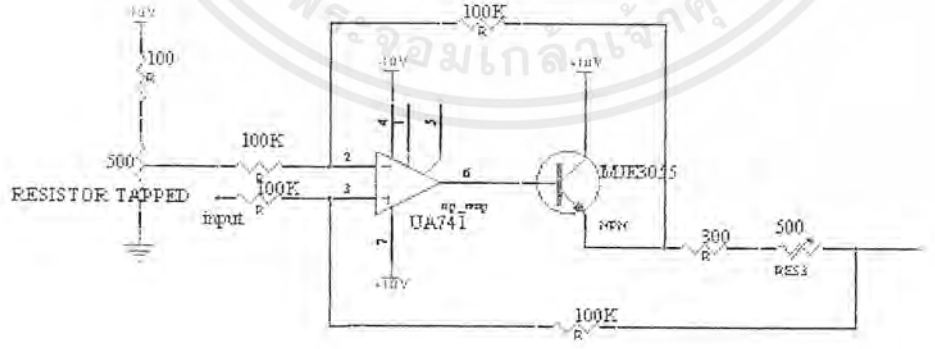
$$(1/R_s) = (16 * 10^{-3}) / 10$$

จะได้ $R_s = 625$ ohm

$$-(1/R_s) * V_{ref} = 12 * 10^{-3}$$

$$V_{ref} = -(12 * 10^{-3}) * 625 = -7.5 \text{ V}$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้นเราจะพบว่าสามารถนำมาเขียนวงจร V/I Converter ชนิดโหลดเทียบ กราวด์ (Grounded –Load V / I Converter) เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่หาได้แล้ว ได้ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 วงจร V / I Converter เมื่อแทนค่าที่คำนวณได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเมื่อนำวงจรรับอินพุทไปรับสัญญาณชนิดต่างๆ

จากสัญญาณอินพุททั้งสี่ชนิด ที่ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าเองอัตโนมัติสามารถรับได้ ซึ่งประกอบด้วย

- สัญญาณจากอาร์ทีดี
- สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล
- สัญญาณมาตรฐาน 1-5 V
- สัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA

ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของวงจรต่างๆ ไว้ในบทที่ 3 แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่เกิดขึ้นจากการนำวงจรอินพุทต่างๆ เหล่านี้ ไปรับสัญญาณ ดังนี้

1.**วงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี** เป็นวงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณความต่างศักย์จากอาร์ทีดี (ในที่นี้ จะไม่ได้รับสัญญาณจากอาร์ทีดีจริงๆ แต่จะรับสัญญาณความต่างศักย์ ที่สมมุติขึ้นมาตามคุณสมบัติของอาร์ทีดี ชนิด pt100) ได้ผลการทดลอง ดังนี้

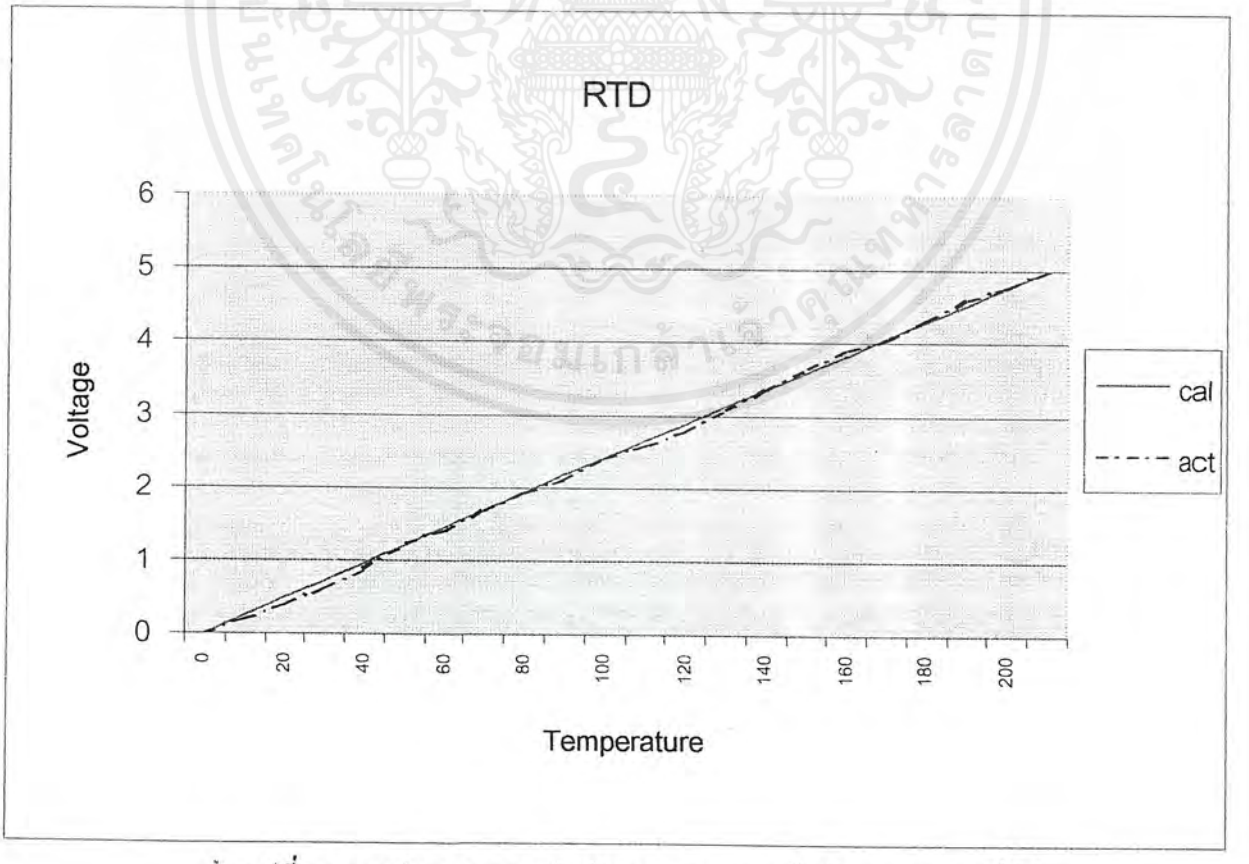
อุณหภูมิ (C)	ความต้านทาน (Ohm)	เอาท์พุท (V) (คำนวณ)	เอาท์พุท (V) (วัดจริง)
0	100	0	0.002
10	103.9	0.245	0.21
20	107.79	0.49	0.41
30	111.67	0.734	0.61
40	115.54	0.977	0.877
50	119.4	1.22	1.24
60	123.24	1.461	1.42
70	127.07	1.702	1.692
80	130.89	1.942	1.95
90	134.7	2.182	2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100	138.5	2.421	2.403
110	142.28	2.659	2.598
120	146.06	2.896	2.789
130	149.82	3.133	3.089
140	153.57	3.368	3.358
150	157.32	3.604	3.664
160	161.05	3.839	3.901
170	164.76	4.072	4.07
180	168.47	4.305	4.33
190	172.16	4.537	4.602
200	175.84	4.769	4.778
210	179.51	5	4.998

ตารางที่ 4.1 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี

ซึ่งสามารถแสดงผลการรับสัญญาณเป็นกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

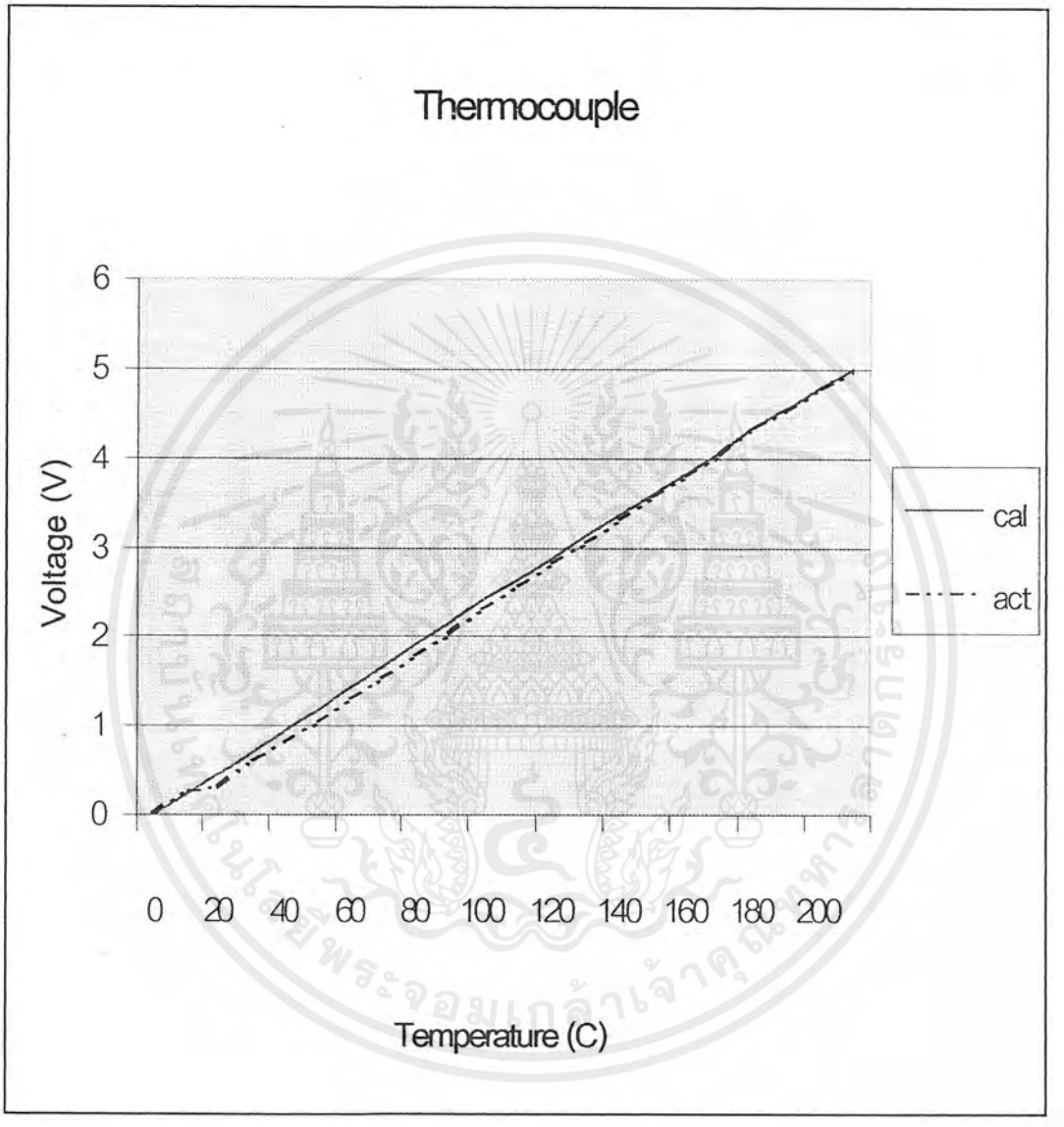
2. **วงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล** เป็นวงจรที่รับสัญญาณความต่างศักย์จากเทอร์โมคัปเปิล (ในที่นี้ก็ใช้การสมมุติสัญญาณในลักษณะเดียวกันกับการทดลองของวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี แต่จะใช้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K-type) จะได้ผลการทดลอง ดังนี้

อุณหภูมิ (C)	ค่าเอาท์พุทจาก Thermocouple (V)	เอาท์พุทจากวงจร (V) (คำนวณ)	เอาท์พุทจากวงจร (V) (วัดจริง)
0	0	0	0.001
10	0.397	0.233	0.281
20	0.798	0.469	0.32
30	1.203	0.707	0.62
40	1.611	0.947	0.83
50	2.022	1.189	1.045
60	2.436	1.432	1.31
70	2.85	1.676	1.55
80	3.266	1.92	1.8
90	3.681	2.164	2.04
100	4.095	2.408	2.31
110	4.508	2.651	2.58
120	4.919	2.892	2.82
130	5.327	3.132	3.07
140	5.733	3.371	3.31
150	6.137	3.609	3.57
160	6.539	3.845	3.82
170	6.939	4.08	4.04
180	7.388	4.344	4.34
190	7.737	4.549	4.54
200	8.137	4.785	4.8
209	8.497	4.996	4.98

ตารางที่ 4.2 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟ ได้ดังกราฟรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

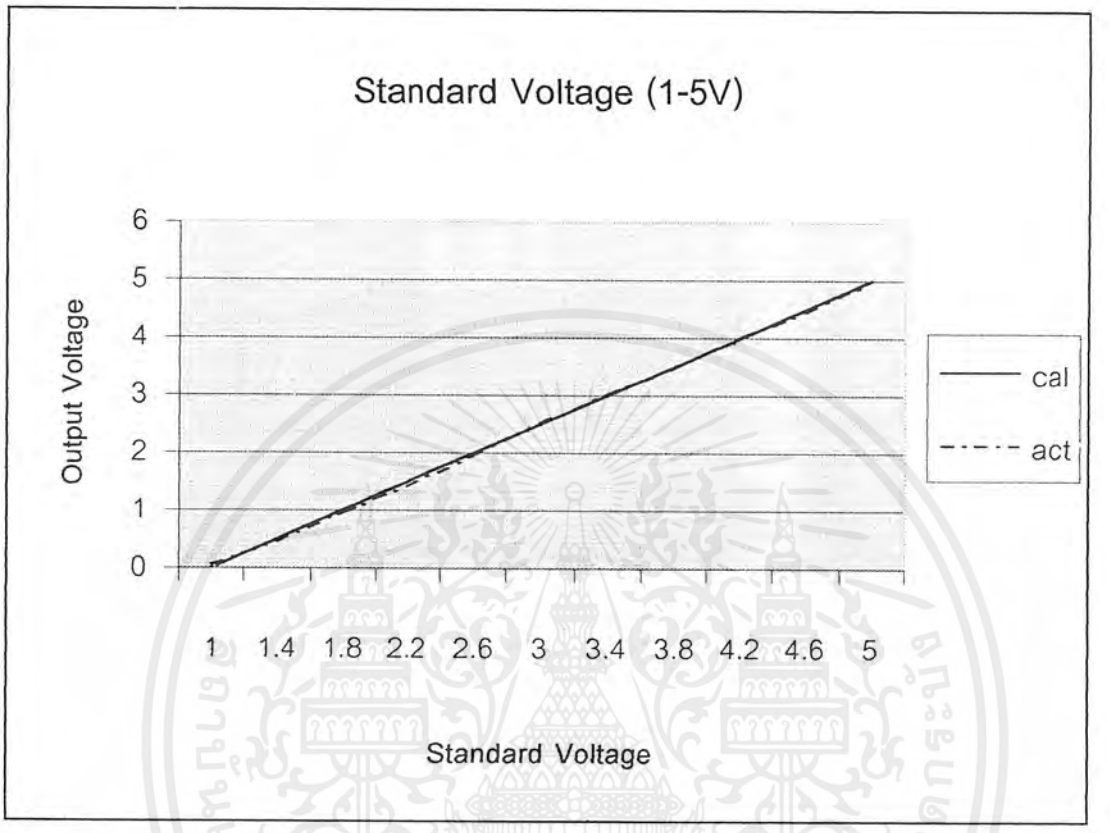
3. **วงจรรับสัญญาณมาตรฐานขนาด 1-5V** เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณมาตรฐานขนาด 1-5V ให้เป็นสัญญาณขนาด 0-5 V ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ค่าความต่างศักย์ที่รับมา (V)	ค่าเอาท์พุท (V) (คำนวณ)	ค่าเอาท์พุท (V) (วัดจริง)
1	0	0.07
1.4	0.5	0.48
1.8	1	0.97
2.2	1.5	1.45
2.6	2	1.96
3	2.5	2.53
3.4	3	3.02
3.8	3.5	3.5
4.2	4	4.02
4.6	4.5	4.48
5	5	4.99

ตารางที่ 4.3 ผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐานขนาด 1-5V

ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟ ได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 1-5V

4. **วงจรรับสัญญาณมาตรฐานขนาด 4-20 mA** เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mAแล้วแปลงเป็นสัญญาณขนาด 0-5 V โดยผ่านทางวงจร (I/V Converter) จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

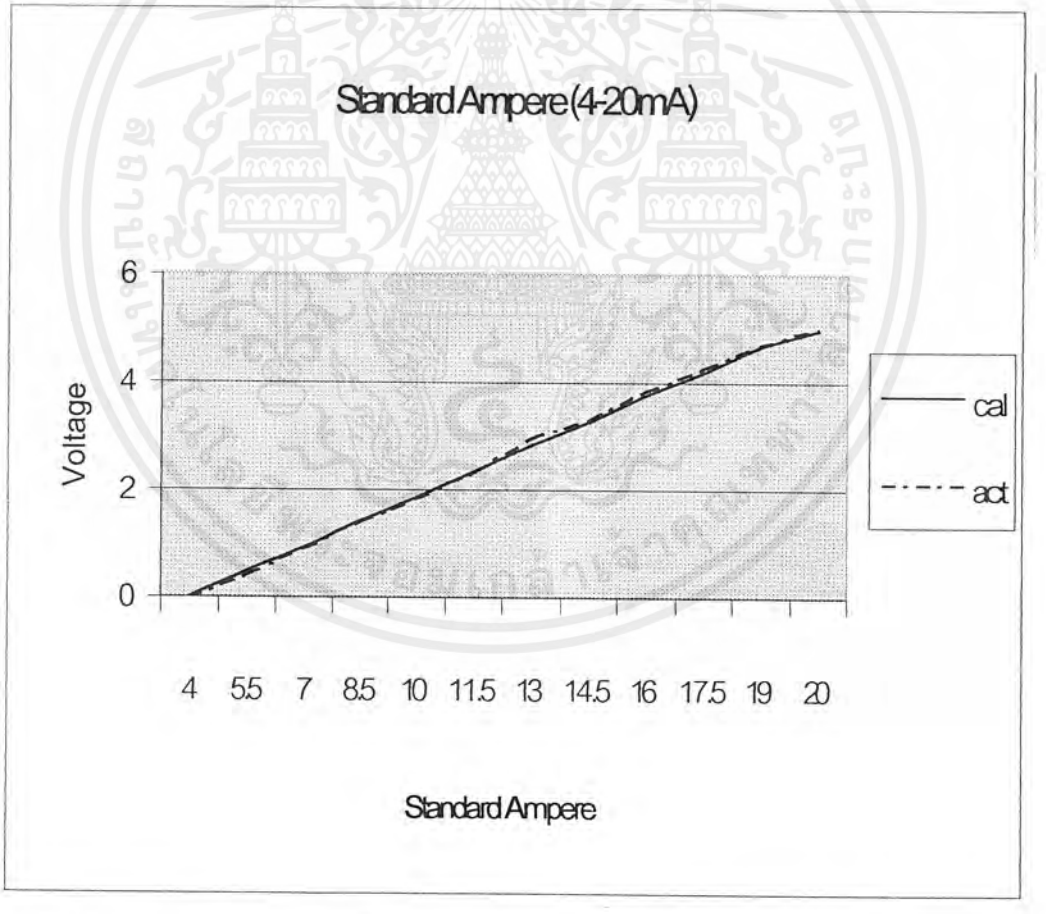
ค่ากระแสที่รับมา (A)	ค่าเอาท์พุท (V) (คำนวณ)	ค่าเอาท์พุท (V) (วัดจริง)
4	0	0.02
5.5	0.469	0.456
7	0.938	0.907
8.5	1.406	1.4
10	1.875	1.845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.5	2.344	2.344
13	2.813	2.99
14.5	3.281	3.33
16	3.75	3.83
17.5	4.219	4.3
19	4.688	4.712
20	5	5.03

ตารางที่ 4.4 ผลการรับสัญญาณมาตรฐานของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA

ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตารางได้ดังกราฟรูปที่ 4.4



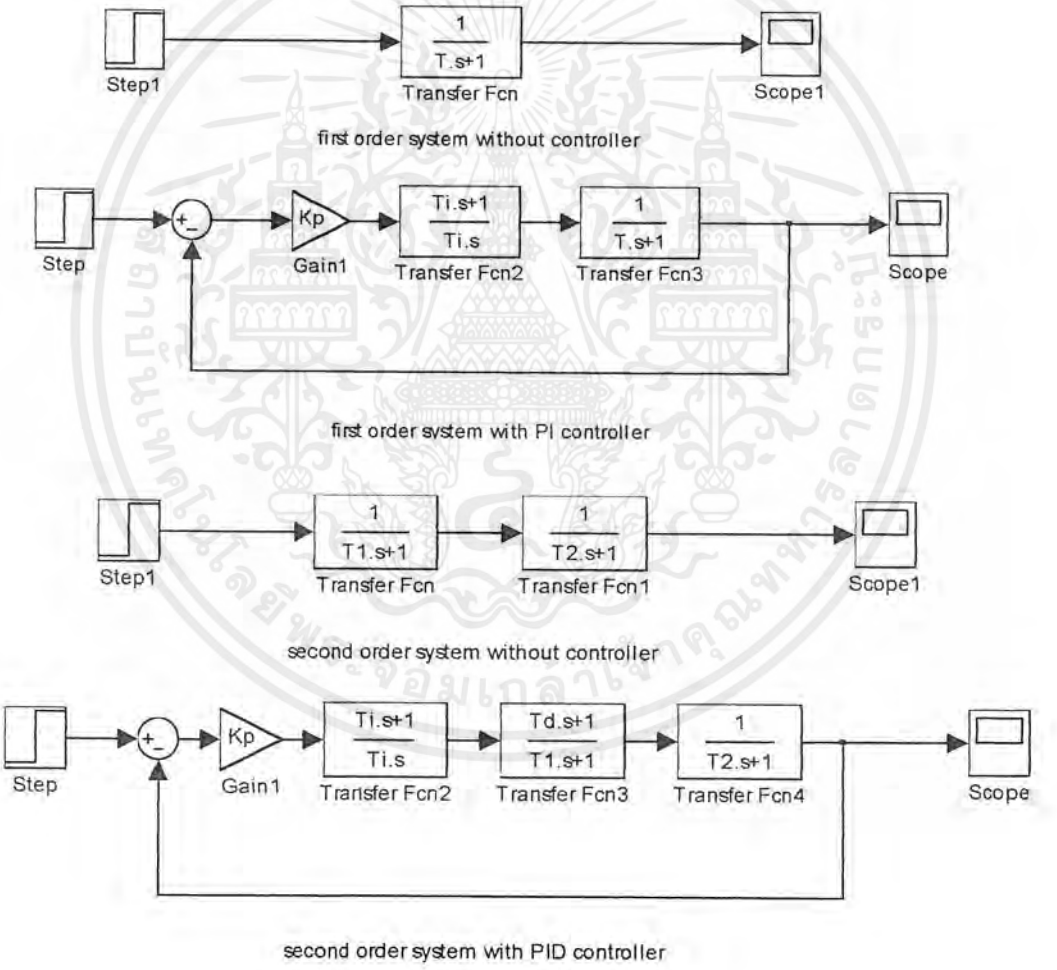
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการรับสัญญาณของวงจรรับสัญญาณมาตรฐาน 4 –20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติกับกระบวนการอิเล็กทรอนิค

ได้ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ Kp , Ti ,Td ให้กับพีไอดีคอลโทรลเลอร์โดยทำการทดลองกับกระบวนการอิเล็กทรอนิค โดยการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิคเป็นกระบวนการอันดับหนึ่งและกระบวนการอันดับสอง ไมโครคอลโทรลเลอร์จะพิจารณากระบวนการใด ๆ อยู่ในรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี deadtime

นำค่า Kp , Ti , Td ที่ได้จากการประมวลผลมาสร้างเป็นพีไอดีคอลโทรลเลอร์และใช้เป็นตัวควบคุมให้กับกระบวนการอิเล็กทรอนิคโดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองระบบขึ้นมาเพื่อดูผลตอบสนองของระบบ โดยระบบที่ใช้ MATLAB จำลองขึ้นมาเป็นดังรูปที่ 4.5

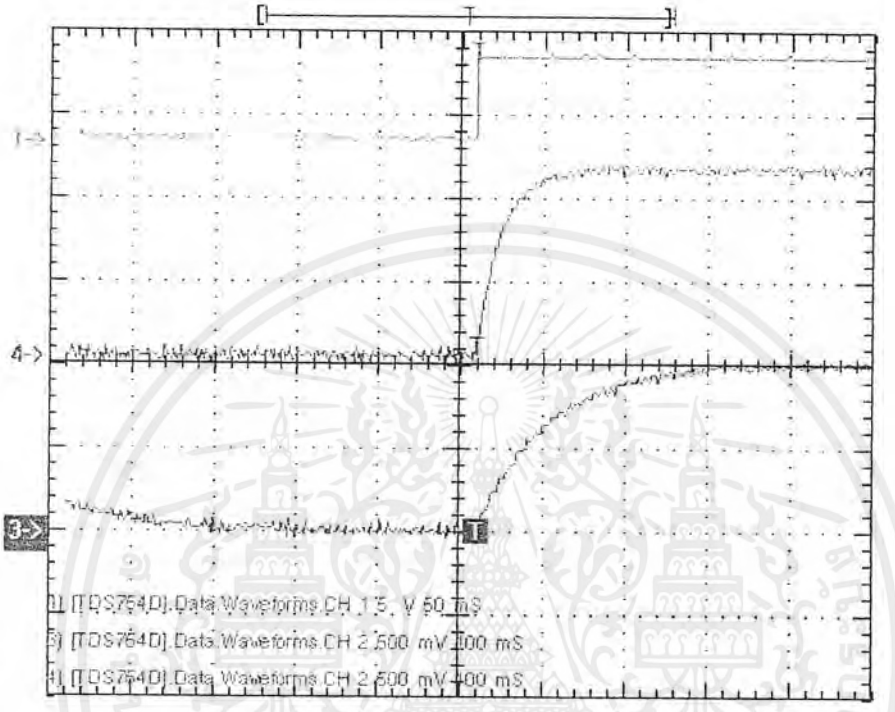


รูปที่ 4.5 แบบจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม MATHLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการเมื่อยังไม่มีตัวควบคุม

ผลตอบสนองของกระบวนการอิเล็กทรอนิกเมื่อยังไม่มีตัวควบคุมสามารถวัดผลและบันทึกค่าโดย scope ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.6



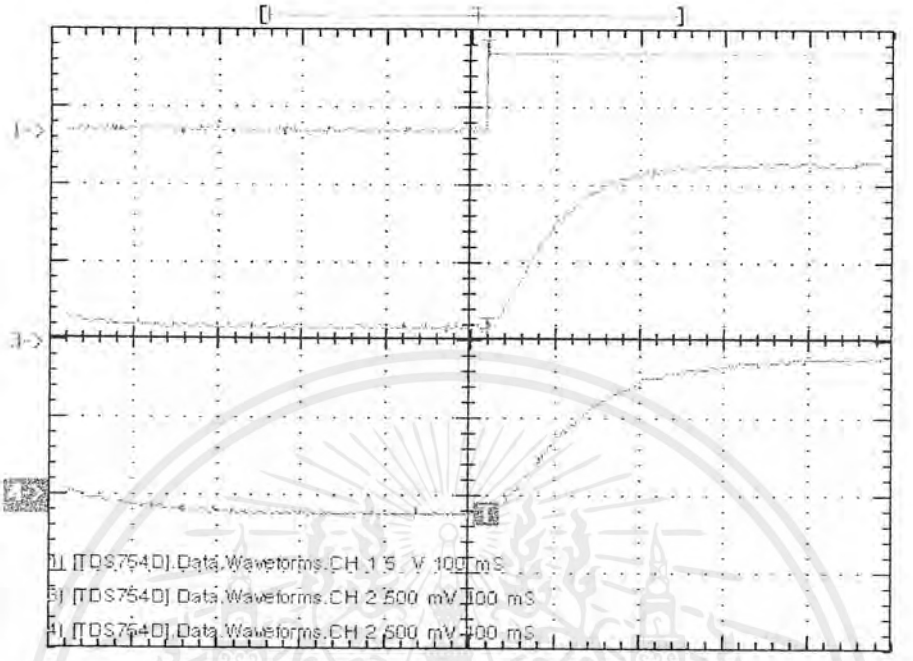
รูปที่ 4.6 (a) แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อไม่มีตัวควบคุม

จากรูปที่ 4.6(a) เส้นที่ 1 คือ อินพุทแบบขั้นบันได

เส้นที่ 4 คือ ผลตอบสนองของระบบเมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $\frac{1}{0.03s+1}$

เส้นที่ 3 คือ ผลตอบสนองของระบบเมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $\frac{1}{0.09s+1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6(b)แสดงผลการตอบสนองของระบบอันดับสองแบบ overdamp เมื่อไม่มีตัวควบคุม

จากรูปที่ 4.6(b) เส้นที่ 1 คือ อินพุทแบบขั้นบันได

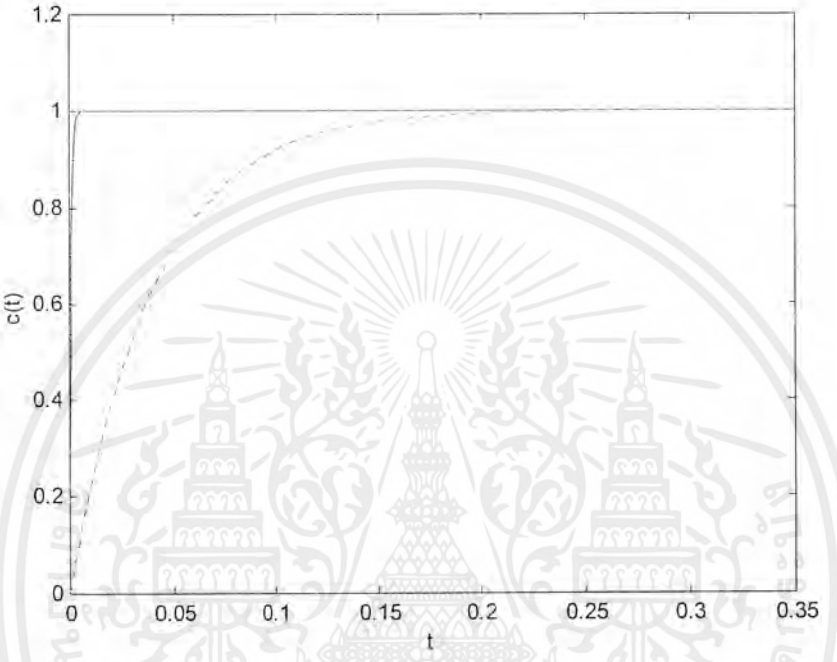
เส้นที่ 3 คือ ผลตอบสนองของระบบเมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $\frac{1}{(0.03s+1)(0.04s+1)}$

เส้นที่ 4 คือ ผลตอบสนองของระบบเมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $\frac{1}{(0.03s+1)(0.07s+1)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการอันดับหนึ่งเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.7(a),(b) และ (c) ตามลำดับ ดังนี้



(a) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.040s+1)} \right)$$

------ ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งไม่มีตัวควบคุม

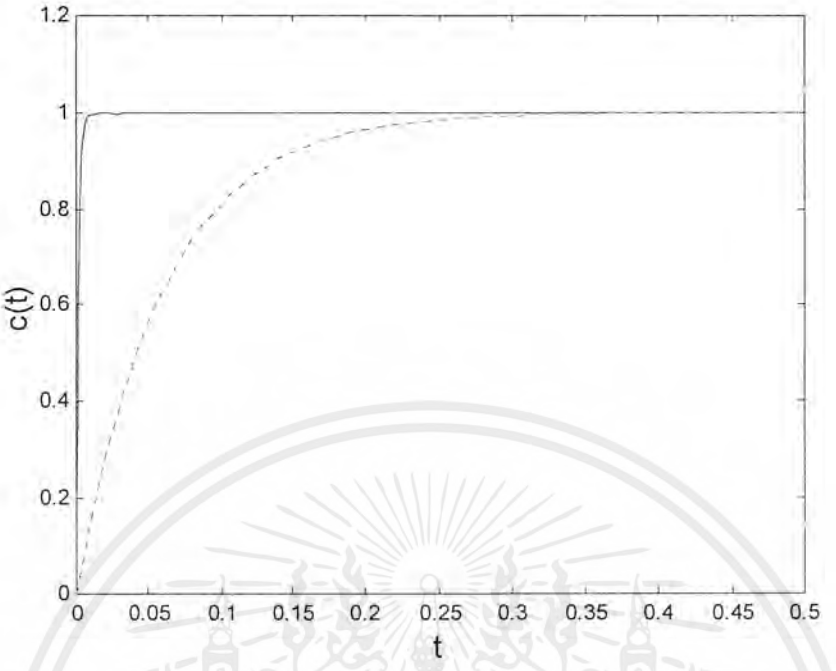
$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.04s+1)} \right)$$

——— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีตัวควบคุมแบบ PI

$$\left(G(s) = \frac{50(0.042s+1)}{0.042s(0.040s+1)+50(0.042s+1)} \right)$$

Kp = 50 ,Ti = 42 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.060s+1)} \right)$$

------ ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งไม่มีตัวควบคุม

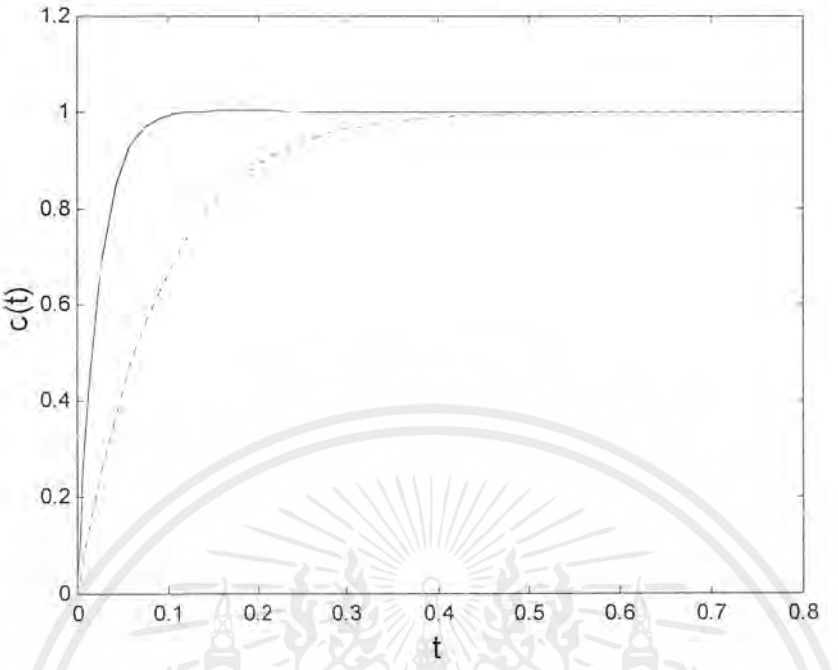
$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.060s+1)} \right)$$

—— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีตัวควบคุมแบบ PI

$$\left(G(s) = \frac{40(0.067s+1)}{0.067s(0.060s+1)+40(0.067s+1)} \right)$$

Kp = 40,Ti = 67 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.090s+1)} \right)$$

------ ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งไม่มีตัวควบคุม

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.090s+1)} \right)$$

—— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีตัวควบคุมแบบ PI

$$\left(G(s) = \frac{4(0.087s+1)}{0.087s(0.090s+1)+4(0.087s+1)} \right)$$

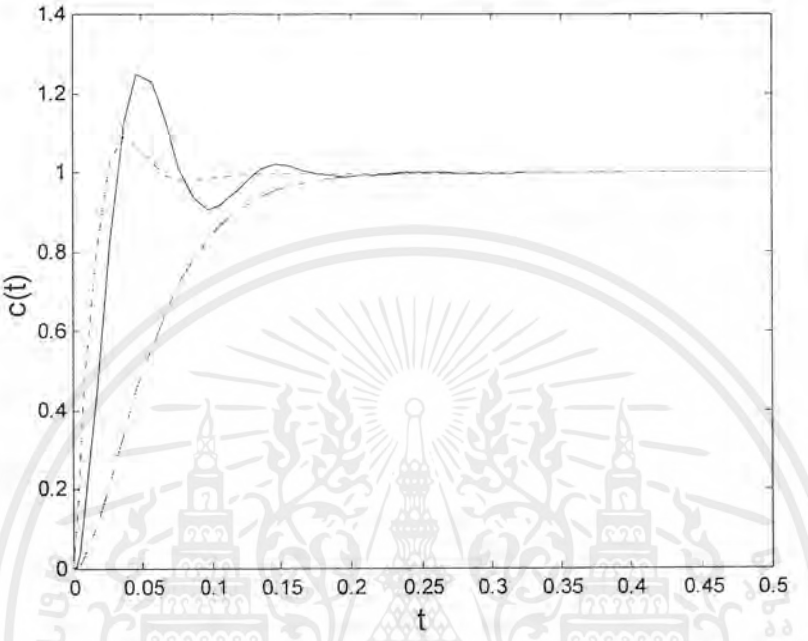
Kp = 4 ,Ti = 87 msec

รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับหนึ่งมีตัวควบคุมแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการอันดับสองเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.8 (a),(b),(c) และ (d) ตามลำดับ ดังนี้



(a) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.03s+1)} \right)$$

—·—·— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองไม่มีตัวควบคุม

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.03s+1)} \right)$$

——— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองถูกมองในรูปของกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี deadtime และมีตัวควบคุมแบบ PI

$$\left(G(s) = \frac{4(0.054s+1)}{0.054s(0.030s+1)(0.030s+1)+4(0.054s+1)} \right)$$

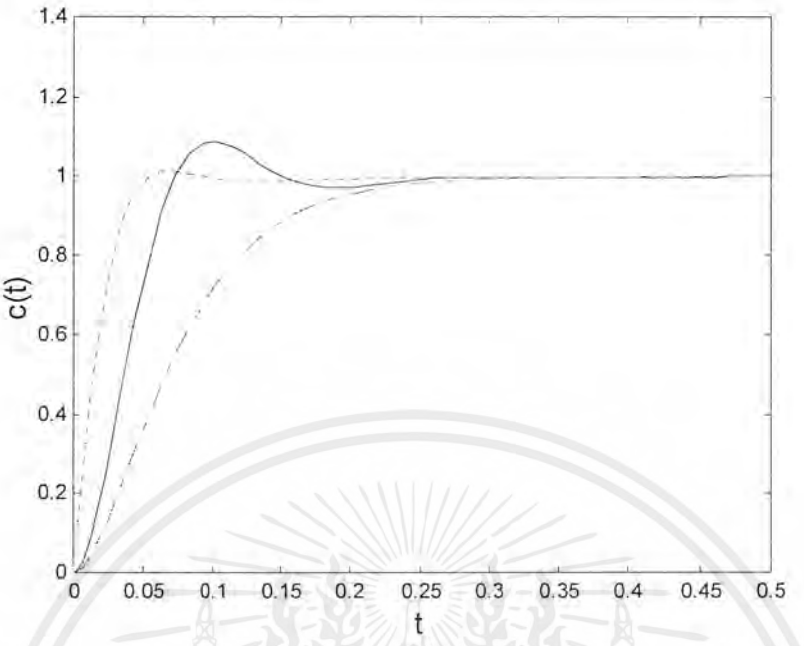
Kp = 4 , Ti = 54msec

..... ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{30(0.054s+1)(0.008s+1)}{0.054s(0.03s+1)(0.03s+1)+30(0.054s+1)(0.008s+1)} \right)$$

Kp = 30 , Ti = 54 msec ,Td = 8 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.05s+1)} \right)$$

—·—·— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองไม่มีตัวควบคุม

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.05s+1)} \right)$$

——— ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองถูกมองในรูปของกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี deadtime และมีตัวควบคุมแบบ PI

$$\left(G(s) = \frac{2(0.070s+1)}{0.070s(0.03s+1)(0.05s+1)+4(0.070s+1)} \right)$$

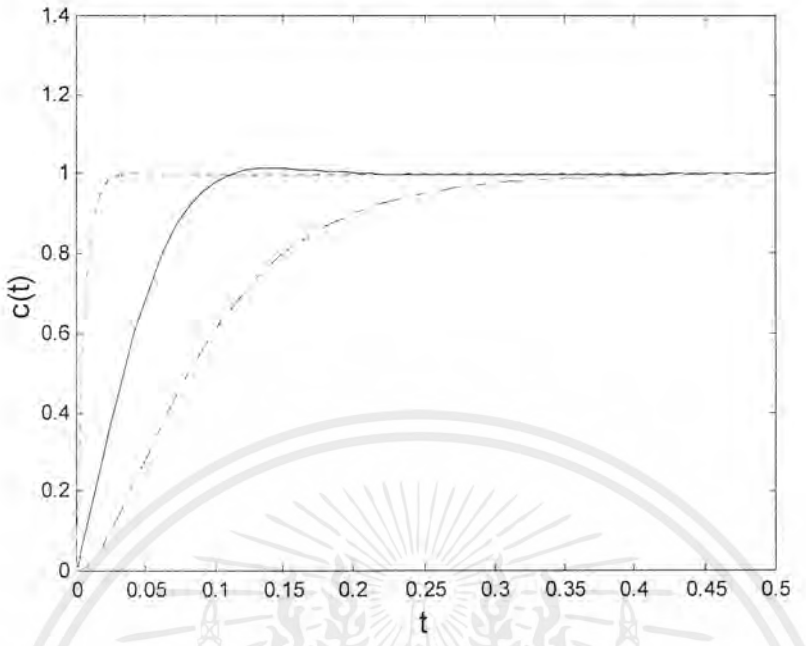
Kp = 2 , Ti = 70 msec

- - - - - - ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{21(0.070s+1)(0.016s+1)}{0.070s(0.03s+1)(0.05s+1)+21(0.070s+1)(0.016s+1)} \right)$$

Kp = 21 ,Ti = 70 msec ,Td = 16 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.07s+1)} \right)$$

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองไม่มีตัวควบคุม

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.07s+1)} \right)$$

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองถูกมองในรูปของกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี deadtime และมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{2(0.076s+1)(0.014s+1)}{0.076s(0.03s+1)(0.07s+1)+2(0.076s+1)(0.014s+1)} \right)$$

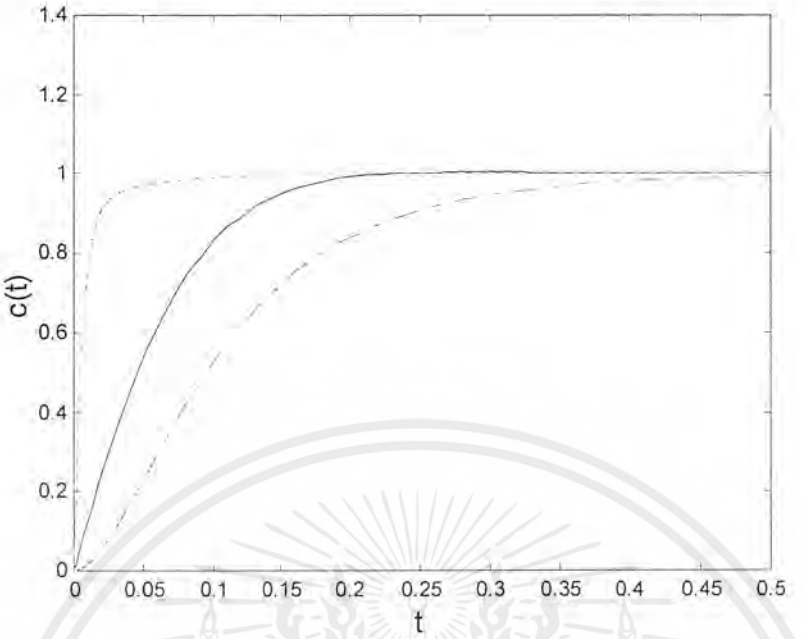
Kp = 2 , Ti = 76 msec ,Td = 14 msec

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{13(0.076s+1)(0.028s+1)}{0.076s(0.03s+1)(0.07s+1)+14(0.076s+1)(0.028s+1)} \right)$$

Kp = 13 , Ti = 76 msec ,Td = 28 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.09s+1)} \right)$$

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองไม่มีตัวควบคุม

$$\left(G(s) = \frac{1}{(0.03s+1)(0.09s+1)} \right)$$

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองถูกมองในรูปของกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี dead time และมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{1.5(0.084s+1)(0.023s+1)}{0.084s(0.03s+1)(0.09s+1)+1.5(0.084s+1)(0.023s+1)} \right)$$

Kp = 1.5 , Ti = 84 msec , Td = 23 msec

ผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบ PID

$$\left(G(s) = \frac{9(0.084s+1)(0.047s+1)}{0.084s(0.03s+1)(0.09s+1)+9(0.084s+1)(0.047s+1)} \right)$$

Kp = 9 , Ti = 84 msec ,Td = 47 msec

รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อกระบวนการอันดับสองมีตัวควบคุมแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการอันดับหนึ่งเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากระบบสามารถตอบสนองได้เร็วขึ้นและไม่มี Overshoot เนื่องจากค่า Ti ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่า Time constant มาก สำหรับระบบอันดับสองนั้นการหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะได้ผลดีในกรณีที่ T1<< T2 และจากผลการทดลองสรุปว่า การควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อพิจารณากระบวนการเป็นกระบวนการอันดับหนึ่งแบบมี dead time จะให้ผลตอบสนองที่ไม่ดีเท่าการควบคุมกระบวนการอันดับสองเมื่อพิจารณากระบวนการเป็นกระบวนการอันดับสองโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์

สรุปผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา สามารถสรุปงานการทำงานได้ดังนี้

1. ส่วนวงจรรับอินพุท

- ศึกษาการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น ออปแอมป์ (Op-amp) ความต้านทาน(Resistance) และ ตัวเก็บประจุ (Capacity)
- ศึกษาการทำงานและชนิดของตัวตรวจอุณหภูมิ ได้แก่ อาร์ทีดี (RTD) และเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
- ศึกษาและออกแบบวงจรรับอินพุทชนิดต่างๆ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นความต่างศักย์ (I/V Converter) และ วงจรบริดจ์ (Bridge)
- ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรที่นำออปแอมป์มาเป็นส่วนประกอบ เช่น วงจรอินเวอร์ทติง (Inverting amp) และ วงจรบวก (Summing amp)
- ศึกษาการทำงานของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)
- ปรับปรุงวงจรรับอินพุทชนิดต่าง ๆ ให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด

2. ส่วนโปรแกรม

- ศึกษาและเลือกใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์เบอร์ 89C52
- ศึกษาการทำงานของ 8255 และการใช้งานร่วมกับ 89C52
- ศึกษาการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าแบบอัตโนมัติ
- ศึกษาการใช้งาน ADC และหาคาบการสุ่มสัญญาณ ที่น้อยที่สุดที่ ADC ยังสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง
- เขียนโปรแกรมในการสร้างสัญญาณเสต็ป ให้กับกระบวนการอิเล็กตรอนิคจำลอง (Electronic Process) และกำหนดค่าคาบการสุ่มสัญญาณ ให้กับ ADC เพื่อรับสัญญาณจากกระบวนการ มาประมวลผลโดยไมโครคอลโทรลเลอร์
- เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอลโทรลเลอร์คำนวณหาค่า Kp , Ti , และ Td

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ส่วนวงจรเอาท์พุท

- ศึกษาการทำงานของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก (Digital to Analog Converter)
- ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรแปลงสัญญาณความต่างศักย์เป็นกระแส (V/I Converter)

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. ส่วนรับอินพุท

ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะเกิดจากความไม่เที่ยงตรง (Linerity) ของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ความต้านทาน , ออปแอมป์ และอุปกรณ์วัดสัญญาณซึ่งมีความละเอียดไม่เพียงพอในการวัดสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะในวงจรรับสัญญาณจากอาร์ทีดี ที่ค่าความต้านทานมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความผิดพลาด (Error) ได้ อีกทั้งปัญหาที่เกิดในวงจรส่วนอื่นก็มักจะเกิดจากปัญหาของ ออปแอมป์ที่มีค่าออฟเซท ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไปจากค่าที่คำนวณตามทฤษฎี

สามารถแก้ไขได้ โดยการใช้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคที่มีความเป็นเชิงเส้น และออปแอมป์ที่สามารถแก้ออฟเซทได้ รวมทั้งการใช้อุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดสูงเพื่อใช้วัดสัญญาณต่างๆ ที่มีขนาดเล็กได้ อย่างเช่นสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งมีหน่วยเป็น mV

2. ส่วนโปรแกรม

เนื่องจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Assembly มีความสามารถจำกัดในการบวกลบคูณหารเลขคือทำได้เฉพาะเลขจำนวนเต็มและมีค่าไม่เกิน 255 ซึ่งเป็นเลขขนาด 1 ไบต์ ทำให้การเก็บข้อมูลทั้งที่เป็นเลขจำนวนเต็มมากๆ และเลขทศนิยมเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์

3. ส่วนการทดลอง

- การทดลองนั้นทำโดยสร้างวงจรอิเล็คทรอนิกขึ้นมาแทน process จริงและสร้างสัญญาณอินพุทเป็น pulse ซึ่งสามารถดูผลเอาท์พุทได้ทาง scope แต่ scope ไม่สามารถจับสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ๆ ได้ซึ่งหมายความว่าถ้าวงจรมีค่า time constant มากเราจะไม่สามารถทราบได้ว่าค่าเอาท์พุทที่ได้ถูกต้องหรือไม่
- วงจรอิเล็กทรอนิกที่สร้างขึ้นมานั้นยังมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเมื่อ ADC ทำการแปลงสัญญาณนั้นทำให้ค่าที่ได้จาก ADCมีความผิดพลาดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการพัฒนา

เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัตินี้ เป็นเครื่องช่วยหาค่าพารามิเตอร์ PID ที่ต้องใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีเท่านั้นซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนผู้ชำนาญและลดเวลาในการปรับค่าพารามิเตอร์ PID ลงได้ระดับหนึ่ง พารามิเตอร์ที่ได้นี้อาจใช้ได้ผลที่ไม่ดีเท่าที่ควรในบางกระบวนการ เช่น ในบางกระบวนการอาจไม่ต้องการผลตอบสนองที่มี overshoot เลยหรือในบางกระบวนการอาจมีการเปลี่ยนแปลงค่า set point บ่อยทำให้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมอาจไม่เหมาะสมกับ set point บางค่า ซึ่งในส่วนนี้อาจจะใช้การคำนวณแบบ Adaptive Control เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์สว่าง เลิศถิรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ต่าง ๆ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ของผู้จัดทำที่ได้อุปการะผู้จัดทำและยังเป็นผู้ให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความเป็นเพื่อนและให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ

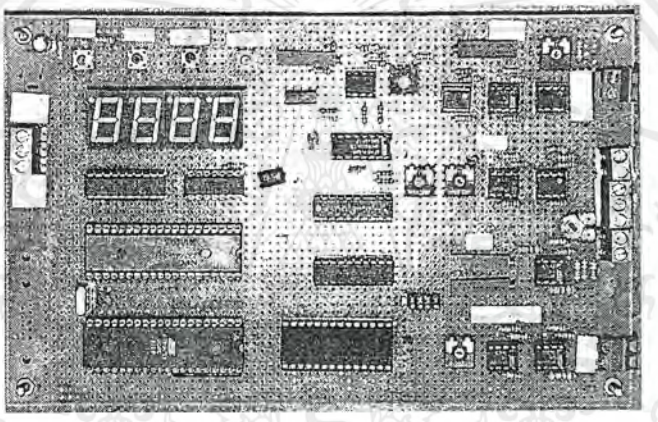
ผู้จัดทำ
นางสาวฉัตต์แก้ว จิรไพโรจน์
นางสาวศิริวรรณ วิทยาการโกวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

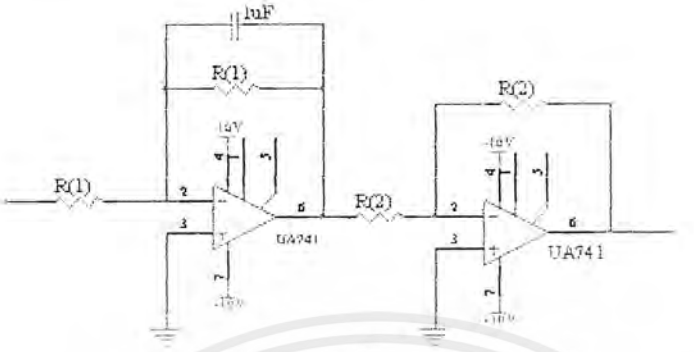
ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ



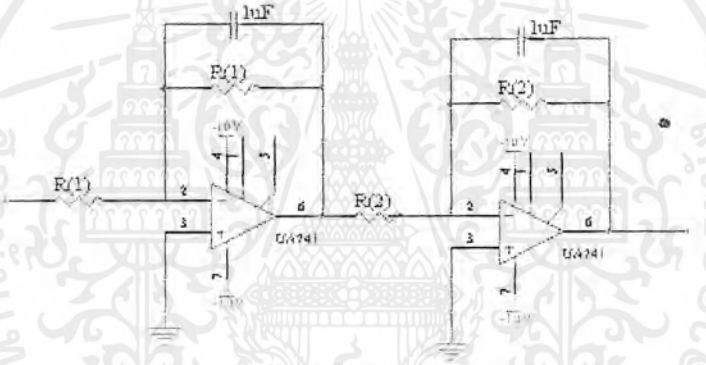
รูปแสดงตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหาค่าอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิคโพรเซส (Electronics Process)

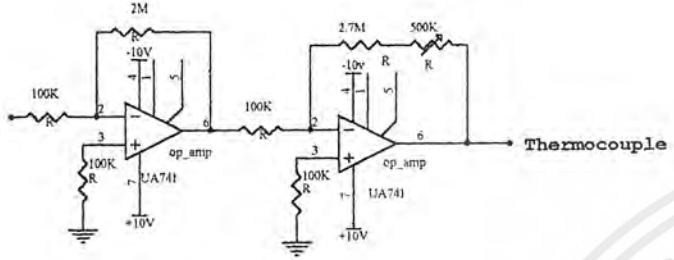


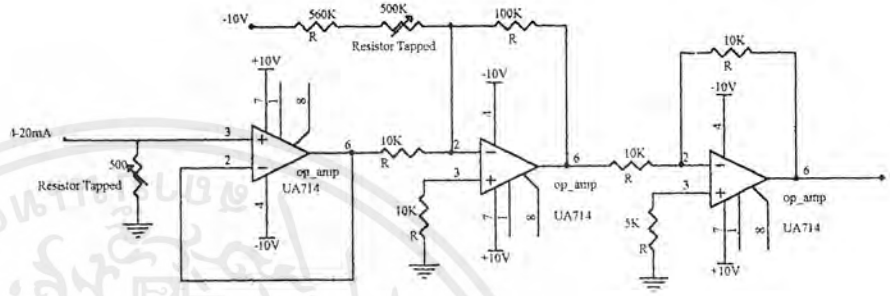
ระบบอันดับหนึ่ง (First order)

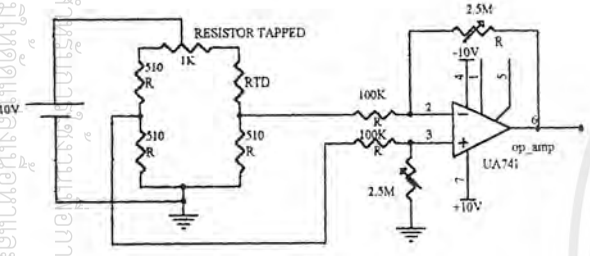


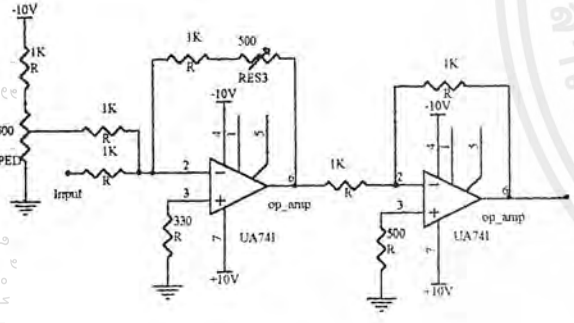
ระบบอันดับสอง (Second t order)

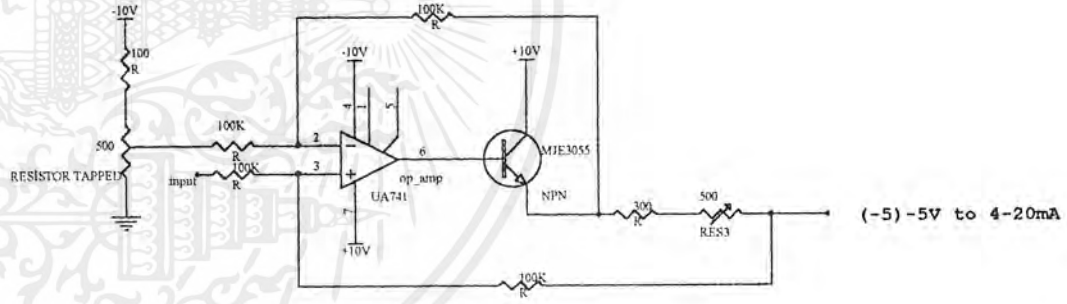
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



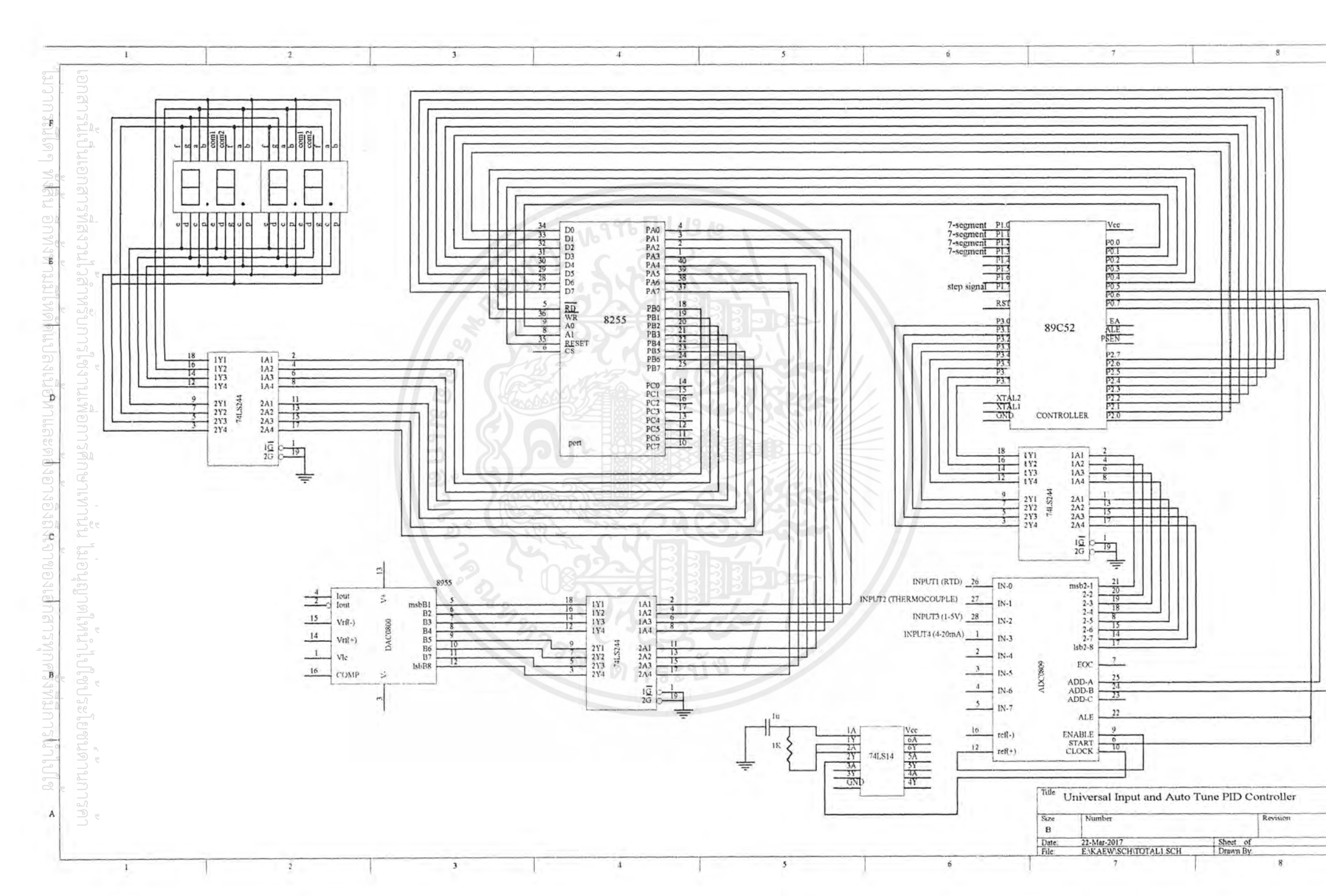








Title: Universal Input		
Size: B	Number	Revision
Date: 22-Mar-2017		Sheet of
File: E:\KAEWGOLD_SCH\INPUT.SCH		Drawn By:


8255
89C52
CONTROLLER
74LS244
DAC0800
ADC0809
74LS14
Universal Input and Auto Tune PID Controller
Size B
Number
Revision
Date: 22-Mar-2017
Sheet of
File: E:\KAEW\SCH\TOTAL1.SCH
Drawn By

หนังสืออ้างอิง

สุเธียร เกียรติสุนทร, "พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น),2536

ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, " คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,2521

ผศ. พิพัฒน์ เลาหสงคราม , "ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-48 ,MCS-51)" , ภาควิชาทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เจษฎา ตั้งเขตมงคลสุข และ แมนรัตน์ รุ่งวัฒนโยธิน , "ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดหลายอินพุท" ,ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาระบบควบคุม,ปีการศึกษา 2541

ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี และวีระชัย สัตยภิวัฒน์, "PID Temperature Controller" , ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,ปีการศึกษา 2528

Carlos A. Smith , Ph.D., P.E. and Armando B.Corripio , Ph.D. , P.E. ," Principles and Practice of Automatic Process Control " , John Wiley & Sons, Inc , 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้