

การควบคุมกระบวนการ

PROCESS CONTROL



โดย

นางสาวกระเกด จันทสังข์

นายสิทธิชัย โจนร์ศรีมิกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50195

วัน,เดือน,ปี 27 ส.ค. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมกระบวนการ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวการะเกด จันทสังข์ รหัสประจำตัว 42010016
2. นายสิทธิชัย โลจน์รัมย์กุล รหัสประจำตัว 42010380



*Surang*

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์สว่าง เลิศศิริสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมกระบวนการ

การะเกด จันทสังข์  
สิทธิชัย โลจันรัศมีกุล  
อ.สว่าง เลิศดิทรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันตัวควบคุมแบบ PID ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงอุตสาหกรรมร่วมกับวิธีการปรับแต่งพารามิเตอร์ PID ของ Ziegler-Nichols หรือ Dahlin และอื่นๆ ในอดีตการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้ใช้วิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นสิ่งที่สิ้นเปลืองเวลาและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมในการปรับแต่งเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการ และในปัจจุบันได้มีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่สามารถปรับตัวเองได้อัตโนมัติเข้าไปในตัวควบคุม PID เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากและการเสียเวลาดังกล่าว

ปฏิญานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาออกแบบโปรแกรมเพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติขึ้น ซึ่งใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ PID แบบ Dahlin และ Ziegler-Nichols โดยนำค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้มาไปควบคุมระดับของน้ำของระบบจำลอง และนำผลการควบคุมที่ได้จากวิธี Dahlin และ Ziegler-Nichols มาเปรียบเทียบกัน อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้นี้จะให้ผลตอบสนองดีในระดับหนึ่งเท่านั้น ในการใช้งานจริงควรจะทำการปรับละเอียดอีกเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PROCESS CONTROL

Karaket Chantasang  
Sitthichai Roadrussameekul  
Mr.Sawang Leardthirasoonthorn Advisor

2002

### **Abstract**

Presently, the PID (Proportional-Integral-Derivative) controller is widely used in the industries with well-known Dahlin tuning method and other varieties. In the past, most of the PID controller was required trail and error adjustment, which is a time consuming process and needs operator experiences to obtain the best results for each process. Nowadays, the self-tuning control function are added to the general purpose controller with PID function in order to reduce the complication and the time consuming of the controller parameter tuning.

This thesis proposes a design of an automatic PID controller parameter program by using Dahlin and Ziegler-Nichols method. Then use that PID parameter to control the water level model and compare the controlled result between Dahlin and Ziegler -Nichols. However, their parameters derived from this method use for normally controlling. In practice, Fine-tuning method is done once again for the best response.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 Piping (or Process) and Instrumentation Diagram(P&IDs)	4
2.3 เครื่องมือวัดและตัวควบคุม	5
2.3.1 เครื่องกรองอากาศและปรับความดัน	5
2.3.2 วาล์วควบคุม	6
2.3.3 โฟชันเนอร์	7
2.3.4 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม	8
2.3.5 เครื่องมือวัดระดับ โดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า	9
2.4 การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล(Analog to Digital Conversion)	9
2.4.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง	10
2.5 การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก(Digital to Analog Conversion)	11
2.5.1 การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก	11
2.5.2 การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบตัวต้านทานแบบขั้นบันได	13
2.6 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	13
2.6.1 ประวัติความเป็นมาของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	13
2.6.2 ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด(On-Off controller)	14
2.6.3 ตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller)	15
2.6.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ	16
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	27
3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ	28
3.2 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ด้วยวิธีการของ Dahlin  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID	34
ด้วยวิธีการของ Ziegler – Nichols	
3.3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธี	35
Process Reaction Curve	
3.3.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธี	37
Ultimate Method	
3.4 PID Control สำหรับ Digital Signal	39
3.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและการแปลงสัญญาณ	40
ดิจิตอลเป็นอนาลอก	
3.5.1 ลักษณะต่างๆ ไปของ ET-PCDIO CARD	40
3.5.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	40
3.5.3 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	40
3.6 การพัฒนาด้านซอฟต์แวร์	41
3.7 การออกแบบตัวควบคุม	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 กล่าวนำ	44
4.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ	44
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	53
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	53
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป	4
รูปที่ 2.2 เครื่องกรองอากาศและปรับความดัน	5
รูปที่ 2.3 ไดอะแฟรมวาล์วชนิดรีเวอร์ส	6
รูปที่ 2.4 โพซิชั่นเนอร์	7
รูปที่ 2.5 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม	8
รูปที่ 2.6 แสดง P&ID ของวาล์วควบคุมที่ต่อกับไอทูปี้	8
รูปที่ 2.7 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.8 แสดงตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล แบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง	10
รูปที่ 2.9 แสดงวงจร D/A Converter แบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก	12
รูปที่ 2.10 แสดงวงจร D/A Converter แบบตัวต้านทานขั้นบันได	13
รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบเปิด-ปิด	15
รูปที่ 2.12 ระบบควบคุมการไหล	15
รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	16
รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบ P ในทางอุดมคติ	18
รูปที่ 2.15 การควบคุมแบบ P ในทางปฏิบัติ	19
รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PI ต่อการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันไดของ $e(t)$	20
รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบวงเปิด	24
รูปที่ 2.18 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพี เมื่อแปรค่า $K_p$	24
รูปที่ 2.19 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพีไอ	25
รูปที่ 2.20 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า $T_d$	26
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	28
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป	28
รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด	29
รูปที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดหลังจากป้อนสัญญาณขั้นบันได	30
รูปที่ 3.5 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT	31
รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบแบบลูปปิดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน	32
รูปที่ 3.7 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา $t_0$	32
รูปที่ 3.8 ก. แสดง โครงสร้างของระบบควบคุมแบบ PID	35

ข. ผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols	35
รูปที่ 3.9 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Process Reactive Curve	36
รูปที่ 3.10 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ultimate Method	38
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $e(t)$ กับ $t$	39
รูปที่ 3.12 แสดงการคอินเทอร์เฟส	40
รูปที่ 3.13 ผังขั้นตอนการทำงาน	42
รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ	43
รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ	44
รูปที่ 4.2 การหาพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมระดับน้ำโดยป้อนสัญญาณระดับที่ค่าเป้าหมาย 75%	45
รูปที่ 4.3 แสดงผลการควบคุมโดยวิธีค่าห้ลนที่ระดับเป้าหมาย 75%	47
รูปที่ 4.4 แสดงผลการควบคุมโดยวิธีซิกเลอร์-นิโคลที่ระดับเป้าหมาย 75%	47
รูปที่ 4.5 แสดงผลการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 25% และทำการเปลี่ยนค่าระดับที่ควบคุมไปที่ 50 % และเปลี่ยนระดับที่ควบคุมไปอีกที่ 40% โดยวิธีการควบคุมแบบค่าห้ลน	48
รูปที่ 4.6 แสดงผลการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 25% และทำการเปลี่ยนค่าระดับที่ควบคุมไปที่ 50 % และเปลี่ยนระดับที่ควบคุมไปอีกที่ 40% โดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคล	48
รูปที่ 4.7 ผลการควบคุมระดับน้ำโดยใส่สัญญาณรบกวน (Step Disturbance) ที่ค่าเป้าหมาย 50% โดยวิธีการควบคุมแบบค่าห้ลน	49
รูปที่ 4.8 ผลการควบคุมระดับน้ำโดยใส่สัญญาณรบกวน (Step Disturbance) ที่ค่าเป้าหมาย 50% โดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคล	49
รูปที่ 4.9 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุดโดยวิธีการควบคุมแบบค่าห้ลนสำหรับกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 10%	50
รูปที่ 4.10 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุดโดยวิธีการควบคุมแบบค่าห้ลนสำหรับกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 90%	50
รูปที่ 4.11 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุดโดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคลสำหรับกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 5 %	51
รูปที่ 4.12 แสดงค่าระดับควบคุมที่สูงสุดโดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคลสำหรับ	51
เอกสารกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 85 %	52
รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอกกราฟผลการควบคุมระดับน้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี	52

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ Dahlin	34
ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process reaction	37
ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method	38
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยวิธีดาห์ลินกับซิกเลอร์-นิโคล	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

กระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีการควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือในการควบคุมกระบวนการผลิตต่างๆ จะใช้ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุม (Controller) ควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ ในขณะที่เดียวกันต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากผู้มีประสบการณ์หรือความชำนาญ

ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแต่ละกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามต้องการ โดยตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตก็คือตัวควบคุมแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) เป็นเวลากว่า 50 ปีแล้วที่ตัวควบคุม PID ถูกนำมาใช้และได้รับการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่การทำงานของตัวควบคุมเป็นแบบนิวแมติกส์ (Pneumatics) มาเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ได้มีการนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาใช้ในการออกแบบสร้างตัวควบคุม โดยการทำงานแบบดิจิทัล ทำให้งานควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยทั่วไป การนำตัวควบคุม PID มาควบคุมกระบวนการอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมรวมทั้งวิธีการปรับแต่งพารามิเตอร์ PID ของ Dahlin, Ziegler-Nichols และอื่นๆ ซึ่งในอดีตการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้ใช้วิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นสิ่งที่สิ้นเปลืองเวลาและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมในการปรับแต่งเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการ และในปัจจุบันได้มีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่สามารถปรับตัวเองได้อัตโนมัติเข้าไปในตัวควบคุม PID เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากและการเสียเวลาดังกล่าว

ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาออกแบบ โปรแกรมเพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติขึ้น โดยจะใช้วิธีปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ PID ของ Dahlin และ Ziegler-Nichols ไปใช้ในการควบคุมระดับของของเหลวของระบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ดีตามต้องการอย่างไรก็ตามวิธีของ Dahlin และ Ziegler-Nichols ให้ผลดีในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถใช้ได้กับทุกกระบวนการ ถ้าต้องการให้ได้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามต้องการอย่างแท้จริงนั้นจึงต้องมีการปรับละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง ด้วยวิธีการลองผิดลองถูกซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและต้องอาศัยผู้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะ แต่เนื่องจากตัวควบคุมประเภทนี้จะมีขีดความสามารถ

เฉพาะกับงานควบคุมบางประเภทเท่านั้นและมีราคาแพงประกอบกับกระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศส่วนใหญ่ยังใช้ตัวควบคุมแบบเดิมอยู่ การที่จะเปลี่ยนตัวควบคุมให้เป็นแบบปรับตัวเองได้อัตโนมัติจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของการทำงานของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก
2. เพื่อศึกษาหลักการการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาหลักการและแนวคิดในการเขียน โปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผล
4. เพื่อศึกษาหลักการหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของระบบ
5. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ (Automatic PID Controller) โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

## 1.3 ขอบเขตของปริิญญานิพนธ์

1. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำ
2. ศึกษาการติดต่อกับระหว่างคอมพิวเตอร์กับระบบ โดยใช้การรับและส่งสัญญาณอนาลอกกับระบบและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการของระบบ
3. ใช้ภาษาวิซวลเบสิกในการเขียน โปรแกรมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อใช้ในการติดต่อกับระบบ , การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ, คำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบ และนำมาแสดงผลบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

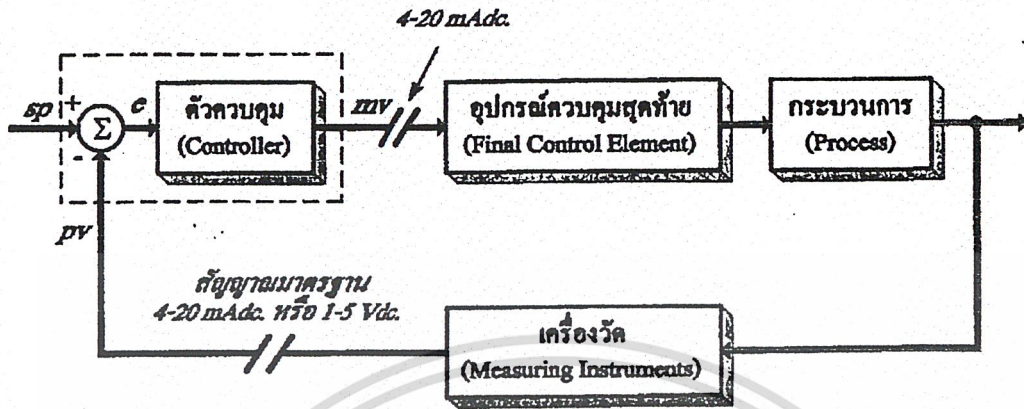
### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

1. ตัวควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุทหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ตัวควบคุมจะมีหลายแบบเช่นตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF), ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบไอ, ตัวควบคุมแบบดี หรือการใช้ตัวควบคุมหลาย ๆ แบบร่วมกันเช่นตัวควบคุมแบบพีไอ ตัวควบคุมแบบพีดี และตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมคือตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable)
2. อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกันเช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม
3. กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึงระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้สถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว หรือกระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)
4. อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึงอุปกรณ์ซึ่งอาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor), ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20 mA.), สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1 - 5 โวลต์ (1 - 5 Vdc.) หรือสัญญาณลมขนาด 3 - 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว (3 - 15 psi. หรือ 0.2 - 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกโคโตะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไป

## 2.2 Piping (or Process) and Instrument Diagrams (P&IDs)

P&IDs เป็นลักษณะรายละเอียดของระบบ ซึ่งจะแสดงท่อ เครื่องมือ และการใช้เครื่องมือที่สัมพันธ์กับระบบที่แสดงการทำงานของระบบทั้งหมดที่อยู่ในระบบ และมีหลายรูปแบบขึ้นกับแต่ละบริษัท โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ซึ่งมีตั้งแต่อธิบายอย่างง่ายจนถึงให้รายละเอียดปลีกย่อย ไม่มีแบบใดที่สมบูรณ์แบบที่สุด และจะมีเอกสารที่ใช้สำหรับอ้างอิงในการเขียนภาพ ( Legend sheet ) ที่ทำให้ผู้อ่านทราบอย่างชัดเจนว่า P&IDs ไม่ได้มาจากสามัญสำนึก มันจะบอกถึงการใช้ของสัญลักษณ์ และข้อบังคับที่เป็นหลักและมาตรฐาน ซึ่งมักจะอ้างอิงเอกสารที่ใช้สำหรับอ้างอิงในการเขียนภาพมาจาก ANSI/ISA-S5.1 ซึ่งจะแสดงดังตัวอย่างดังต่อไปนี้

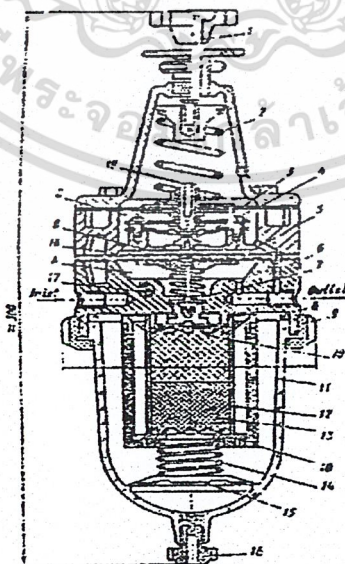
Item	Schematic symbol
Piping or mechanic linkage from measured object to indicator, controller, transmitter, or other instrument or device.	— // // // //
Pneumatic piping	— + + + + +
Hydraulic pressure piping	— — — — —
Electrical wiring	— - - - -
Capillary	— x x x x x —

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kind of actuator	Schematic symbols for actuator	Schematic symbols for valve
Diaphragm or bellows type		 Diaphragm type control valve
Motor-driven or electromagnetic type		 Electromagnetic type valve
Piston type		 Piston type control valve
Manual type		 Manual control Valve

## 2.3 เครื่องมือวัดและตัวควบคุม

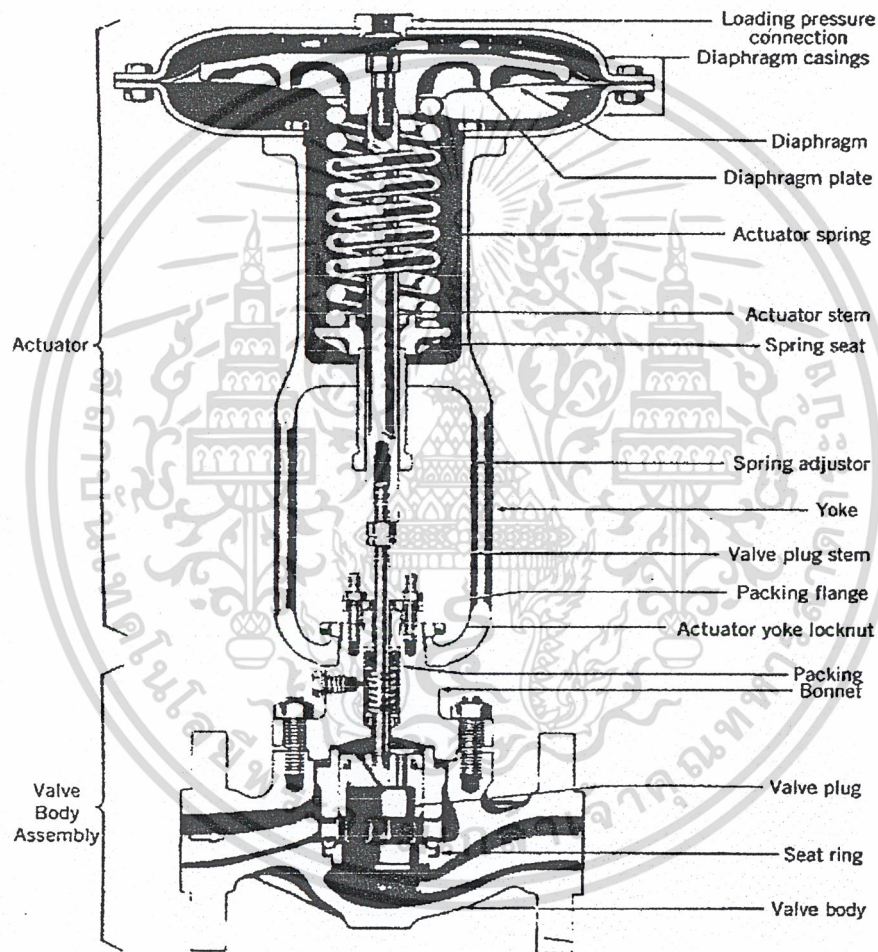
### 2.3.1 เครื่องกรองอากาศและปรับความดัน (Air filters and pressure regulator)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.2 เครื่องกรองอากาศและปรับความดัน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องมือที่ร่วมกันระหว่างเครื่องกรองอากาศ (Air filter) และเครื่องปรับความดัน (Pressure regulator) จุดประสงค์เพื่อทำความสะอาดอากาศที่เข้ามาในระบบและปรับค่าความดันที่ต้องการใช้งานให้ได้ตามต้องการ โดยส่งผ่านไปส่วนแสดงผลในการวัด (Air gage indicating unit)

### 2.3.2 วาล์วควบคุม (Control valve)



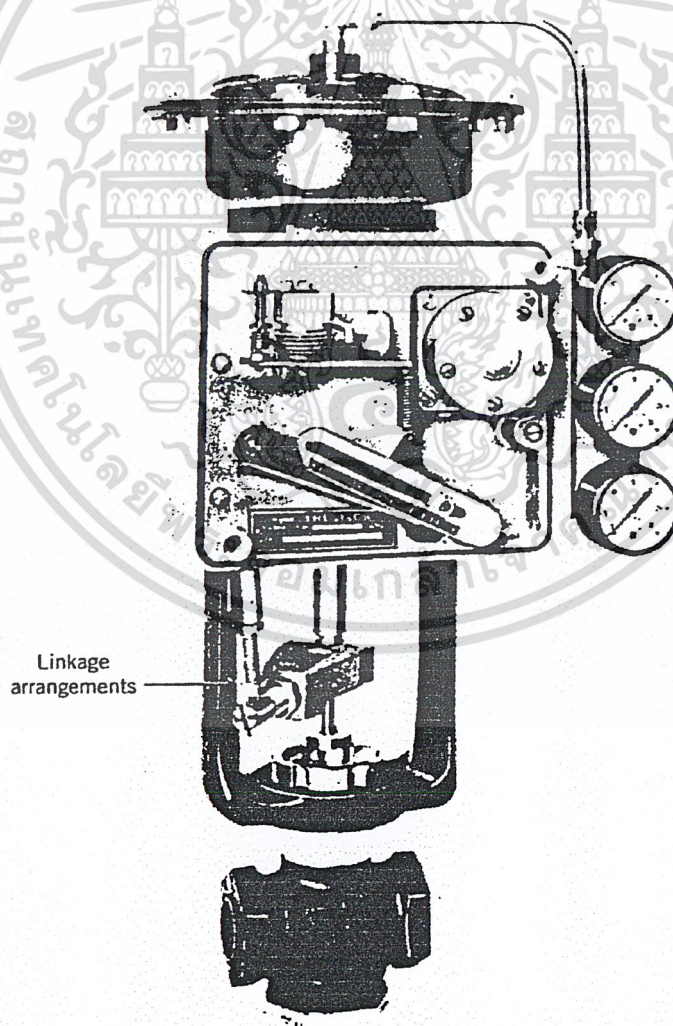
รูปที่ 2.3 ไดอะแฟรมวาล์วชนิดรีเวอร์ส

เป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final control element) ที่ทำงานเชื่อมต่อกันระหว่าง ตัวควบคุม (Controller) กับกระบวนการ (Process) และยังเป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการ ได้อีกด้วย วาล์วควบคุม ประกอบด้วยตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงาน (Power actuator) และตัววาล์ว (Valve body) และที่ตัววาล์วมีซีท (seat) และปลั๊ก (Plug) ตัวกระตุ้นจะควบคุมการเคลื่อนที่ของปลั๊กขึ้นลงในแนวตั้งให้หนึ่งที่ซีท ตามสัญญาณควบคุมของตัวควบคุม เป็นการบังคับพื้นที่ส่วนที่ไหลของเหลวไหลผ่าน (Port area)

เพื่อควบคุมอัตราการไหลของของเหลวให้คงที่ หรือที่เรียกว่า Throttle the flow และส่วนของตัวกระตุ้นประกอบด้วย ไดอะแฟรมเคส (diaphragm case), ไดอะแฟรมเพลท (diaphragm plate) และสปริง (spring) ทั้งตัวกระตุ้น และตัววาล์ว สามารถออกแบบให้ทำงานแบบทางตรง (direct (normally open)) และกลับทาง (reverse (normally closed))

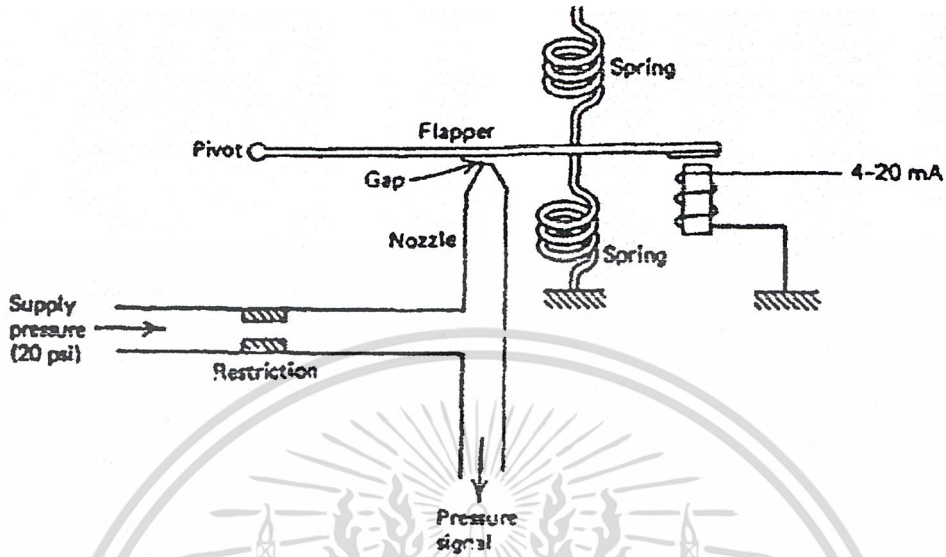
### 2.3.3 โฟชันเนอร์ (Positioners)

Positioners เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับตัวควบคุมแบบพี หน้าที่ของ Positioners คือการเปรียบเทียบสัญญาณจากตัวควบคุมกับ Valve stem Position ถ้า stem ไม่ได้ตำแหน่งตามสัญญาณจากตัวควบคุม Positioners จะเพิ่มขนาดสัญญาณจนกระทั่ง valve stem ได้ตำแหน่งตามที่ได้รับมาจากสัญญาณจากตัวควบคุม



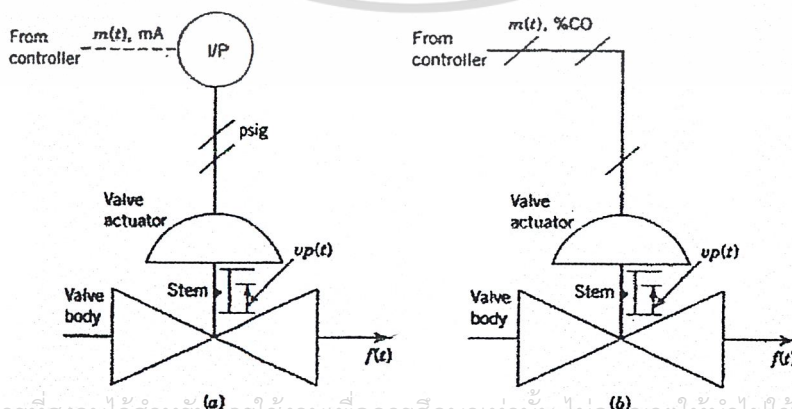
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงที่ 2.4 โฟชันเนอร์ ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม (Current-to-pressure converter)



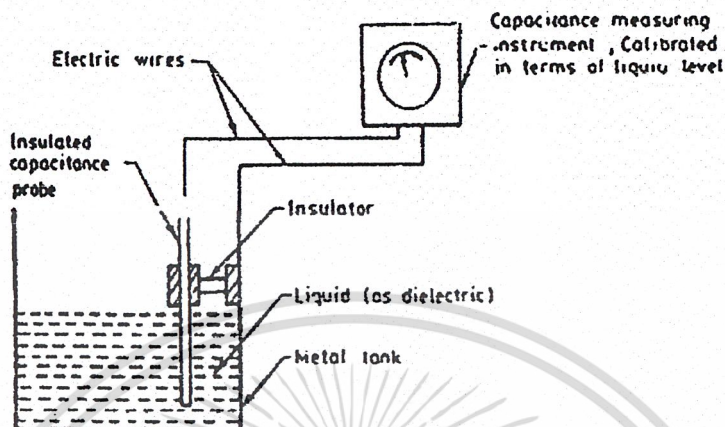
รูปที่ 2.5 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม

เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม (I/P converter) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการควบคุม (Process control) เพราะเมื่อเราต้องการใช้งานสัญญาณกระแสที่มีค่าน้อยๆ สะดวกและจะให้ค่าเป็นเชิงเส้น โดยแปลง 4-20 mA. (มิลลิแอมป์) ไปเป็น 3-15 psig ซึ่งเครื่องแปลงชนิดนี้มีหลายรูปแบบ แต่ที่เป็นพื้นฐานสำคัญจะประกอบไปด้วย นอซเซิล (nozzle) / แพลนเปออร์ (flapper) รูปที่ 2.5 จะแสดงวิธีทางพื้นฐานของเครื่องเปลี่ยน สังเกตในรูปภาพ กระแสจะผ่านขดลวดและสร้างแรงที่จะขับแพลนเปออร์ลงเพื่อปิดช่องว่าง ค่ากระแสหลายๆจะสร้างความดันสูง ดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้ กระทำโดยวิธีทางตรง การปรับสปริงและตำแหน่ง สัมพันธ์กับแกนหมุนที่ติดกับแพลนเปออร์ ให้ปรับวัดขนาด 4 mA. ให้เท่ากับ 3 psig และ 20 mA. ให้เท่ากับ 15 psig



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.6 แสดง P&ID ของวาล์วควบคุมที่ต่อกับไอพูพี  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 เครื่องมือวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.7 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า

ถ้าเราใส่ตัวนำ (Electrode) ติดตั้งลงไปแนวตั้งของภาชนะดังรูปที่ 2.7 เมื่อป้อนไฟฟ้าไปที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเกิดเป็นตัวประจุไฟฟ้า (Capacitor) โดยขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเป็นแผ่นโลหะสองแผ่นที่มีตัวเก็บประจุคือสารที่ถูกประจุอยู่ในภาชนะนั้น สารทุกชนิดมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกส์ (Dielectric Constant) ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำของสารนั้นๆ ดังรูปที่ 2.7 ค่าประจุระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 จะมีค่าเปลี่ยนไปตามสมการ

$$C=K A/D \quad (2-1)$$

- เมื่อ
- C= ค่าประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด
  - K= ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกส์ของตัวกลาง มีหน่วยเป็น ฟารัดต่อตารางเมตร
  - A= พื้นที่ตั้งฉากของแผ่นโลหะกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
  - D= ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ มีหน่วยเป็นเมตร

เพราะฉะนั้น ถ้าเรากำหนดค่า A และ D เป็นค่าคงที่ ค่าของประจุไฟฟ้าจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกส์

### 2.4 การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Conversion)

ในการที่จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์รับรู้สัญญาณอนาลอกได้ จะต้องมีการแทนสัญญาณ

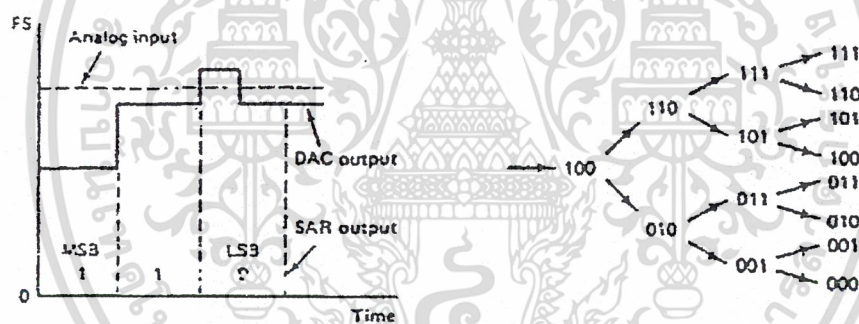
อนาลอกระดับค่าหนึ่งๆด้วยค่าของตัวเลข ไบนารีเรียกว่าการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล วิธีการใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลมีหลายวิธี และมีใช้ในปัจจุบันอาจแยกได้ 4 วิธี ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบอินทิเกรต ( Integrating)
2. แบบขนาน ( Flash)
3. แบบไบนารีแรมพ์ ( Binary Ramp)
4. แบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง ( Successive Approximation)

ซึ่งปฏิญญาพันธ์นี้เลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง

#### 2.4.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง ( Successive Approximation A/D Converter)

ประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกซึ่งจะแปลง โวลต์เปรียบเทียบ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต โดยค่าที่เปรียบเทียบแต่ละครั้ง จะเป็นเอาต์พุตของค่าดิจิทัลของแต่ละบิต จากบิตสูง ไปบิตต่ำ โดยจะมีพัลส์จากสัญญาณนาฬิกาขยส่งให้เปรียบเทียบทีละบิต ถ้าตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมี 8 บิต ก็ต้องการพัลส์ 8 ลูก เพื่อทำการเปรียบเทียบค่านั้นๆ



รูปที่ 2.8 แสดงตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล แบบประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง

จากรูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการทำงานของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ขนาด 3 บิต โดยที่พัลส์ลูกแรก ค่าจากตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกจะมีค่าเท่ากับค่ากลางของแรงดันอ้างอิง (คือ 100) ซึ่งน้อยกว่าอินพุตค่าในรีจิสเตอร์ภายในจึงเป็น “1” เมื่อมีพัลส์ลูกที่ 2 ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกจะเพิ่มค่าขึ้นเป็น 110 ซึ่งน้อยกว่าอินพุตอยู่อีก ค่าบิตที่ 2 จึงเป็น “1” เมื่อมีพัลส์ลูกที่ 3 ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกจะเพิ่มค่าขึ้นเป็น 111 มากกว่าอินพุตค่าบิตที่ 3 จึงเป็น “0” สังเกตว่าความจริงสัญญาณอินพุตจะมีค่ามากกว่า 110 แต่น้อยกว่า 111 ซึ่งตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกขนาด 3 บิต มีความละเอียดไม่พอที่จะเปรียบเทียบได้ ต้องทำการเพิ่มขนาดบิตของตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก จึงจะได้เอาต์พุตที่มีค่าใกล้เคียงกับอินพุตขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวงจรแบบนี้ คือความละเอียดของวงจรขึ้นกับบิต ถ้าต้องการให้เอาที่พุทละเอียดมากขึ้นก็เพิ่มขนาดของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและเวลาที่ใช้ในการแปลงคงที่ทุกๆค่า

## 2.5 การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก ( Digital to Analog Conversion)

การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกจะใช้วงจรหรืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลซึ่งอาจเป็นแรงดันหรือกระแสให้เป็นสัญญาณอนาลอกที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณดิจิตอลที่ป้อนเข้าไปเป็นอินพุทของวงจร

การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกจะแบ่งตามการใช้ตัวต้านทานซึ่งจะมีการใช้ตัวต้านทานโดยทั่วไป อยู่ 2 ลักษณะคือ แบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก (Binary Weighted Resistor Ladder) และแบบใช้ตัวต้านทานแบบขั้นบันได (R-2R Ladder)

### 2.5.1 การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก ( Binary Weighted Resistor Ladder)

การใช้ตัวต้านทานแบบนี้จะเป็นการแปลงข้อมูลดิจิตอลให้เป็นอนาลอกโดยตรง จะมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) โดยจะมีอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ใช้ในการ เปิด-ปิดสัญญาณ ตามสถานะของสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีได้ 2 ระดับคือ ลอจิก “0” และ “1” การต่อลักษณะนี้ค่าของตัวต้านทานจะมีค่าในแต่ละน้ำหนักที่คูณด้วย 2 ตลอดคือจะมีตั้งแต่ R, 2R, 4R ... จนถึง nR หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า  $2^{(n-1)}R$  โดยที่ n คือจำนวนบิตของเลขไบนารีที่จำทำการแปลง

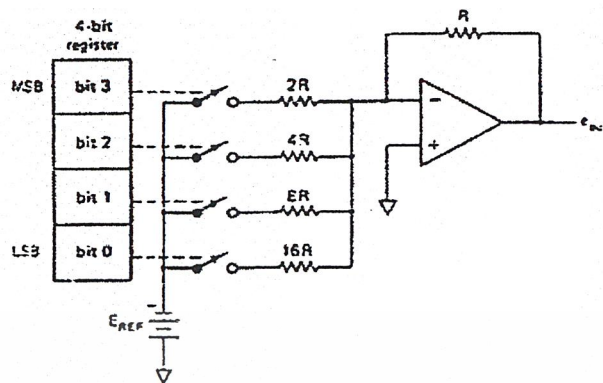
เมื่อตัวต้านทานตัวนั้นถูกต่อลงกราวด์จะไม่มีการไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่ออยู่ แต่ถ้าตัวต้านทานตัวนั้นต่ออยู่กับแรงดันอ้างอิง แทนด้วยระดับลอจิกที่ตรงข้ามกับการต่อตัวต้านทานค่า R

และ 2R ถูกต่อกับแรงดันอ้างอิงพร้อมกัน ก็จะมีการไหลผ่านตัวต้านทาน R มีค่าเท่ากับ  $\frac{V_{ref}}{R}$

และกระแสไหลผ่าน 2R มีค่าเท่ากับ  $\frac{V_{ref}}{2R}$  ค่ากระแสทั้ง 2 ไหลมารวมกันที่จุดผสม

( Summing Point) ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงวงจร D/A Converter แบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก

จากรูปสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

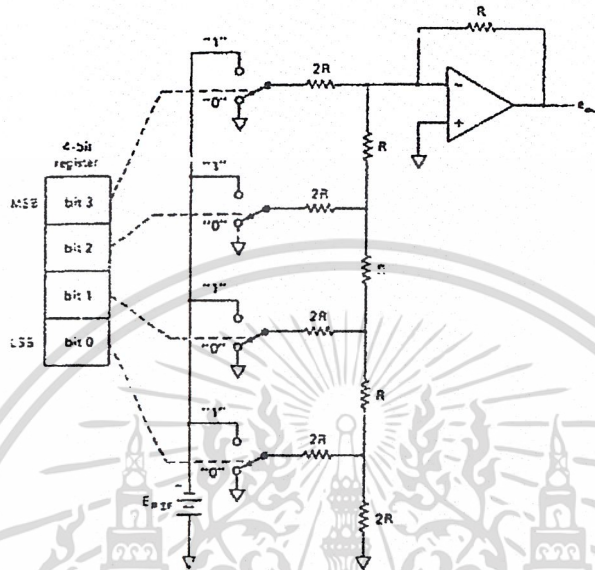
$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R} \times \left[ \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{2^{(i-1)}} \right] \quad (2-2)$$

โดยที่  $I_{out}$  = กระแสเอาต์พุต (สัญญาณอนาล็อก) มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)  
 $b_i$  = ค่าตัวเลขไบนารีอินพุต  
 $R$  = ค่าตัวต้านทานตัวแรกที่มีค่าที่สูงสุด (เป็นค่า  $R$  ของบิตนัยสำคัญสูงสุด MSB- Most Significant Bit)

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าค่าตัวต้านทานที่ทำให้กระแสไหลได้สูงสุด คือ  $R$  ดังนั้นตัวต้านทาน  $R$  จะเป็นตัวต้านทานของบิตนัยสำคัญสูงสุด จะเห็นว่าค่าของตัวต้านทานจะเพิ่มขึ้นทีละมากๆ เช่น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตแล้วถ้าใช้ค่าความต้านทาน  $R = 10k\Omega$  แล้วตัวต้านทานตัวที่ 8 จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ  $2^{(8-1)}R = 128R = 128 \times 10k\Omega = 1280k\Omega = 1.28M\Omega$  จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานตัวนี้น้อยมากและจากธรรมชาติที่ว่าตัวต้านทานค่ามากจะสร้างได้ยากและยังมีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอีก คือความร้อนจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป ( โดยเฉพาะตัวต้านทานที่มีค่ามากๆ ) ทำให้ความละเอียดและความแม่นยำของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบนี้ลดลง ดังนั้นจากข้อจำกัดที่ว่าเมื่อมีจำนวนบิตสูงขึ้นจะทำให้ต้องใช้ตัวต้านทานที่มีค่ามากๆซึ่งหาได้ยากและสร้างได้ยาก รวมถึงยังมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการแปลง เพราะฉะนั้นเมื่อมีจำนวนบิตสูงขึ้นจึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงไปใช้แนวตัวต้านทานแบบขั้นบันได ( R-2R Ladder ) ซึ่งเป็นการขจัดปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ได้ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 การแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบตัวต้านทานชั้นบันได (R-2R Ladder D/A Converter)



รูปที่ 2.10 แสดงวงจร D/A Converter แบบตัวต้านทานชั้นบันได

จะมีวงจรดังรูปที่ 2.10 โดยที่การใช้การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบใช้ตัวต้านทานชั้นบันได นี้จะแก้ไข้ปัญหาของแบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก (Binary Weighted Resistor Ladder) ที่ต้องใช้ความต้านทานหลายค่าซึ่งอาจจะหาค่าได้ไม่ตรงกับที่ต้องการ มาใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่าเท่านั้นในการแปลงแบบนี้ คือค่า R และ 2R ดังนั้นจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R} \times \left[ \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{2^{(i-1)}} \right] \quad (2-3)$$

ซึ่งเป็นสมการเดียวกันกับแบบใช้ตัวต้านทานแบ่งน้ำหนัก

## 2.6 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

### 2.6.1 ประวัติความเป็นมาของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

การควบคุมป้อนกลับแบบอัตโนมัติมักถูกเข้าใจว่าเป็นวิทยาการสมัยใหม่ แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบควบคุมแบบป้อนกลับถูกคิดค้นโดยชาวกรีก เมื่อ 250 ปีก่อนคริสตกาล เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำ โดยมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับตัวควบคุมระดับน้ำ (Level Regulator) ซึ่งใช้

ในสุขภัณฑ์ที่ใช้ในปัจจุบัน ต่อมาในปี ค.ศ.1788 เจมส์ วัตต์ ได้ประดิษฐ์เครื่องควบคุมลูกลอย (Fly-ball governor) เป็นครั้งแรก เพื่อใช้ในเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบพลังไอน้ำในเวลาต่อมา ในทศวรรษที่ 30 (ค.ศ. 1930-1939) การควบคุมแบบป้อนกลับมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาตัวขยายเชิงดำเนินการ (Operation Amplifier) ที่มีอัตราขยายสูง ซึ่งต่อมาได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และตลอดทศวรรษที่ 30 นี้ ตัวควบคุม PID เริ่มมีการวางจำหน่ายในท้องตลาด และบทความทางทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมระบบได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในช่วงทศวรรษนี้ ในช่วงทศวรรษที่ 40 (ค.ศ.1940-1949) ตัวควบคุม PID แบบนิวแมติกส์ ก็เป็นที่ยอมรับในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และคู่มือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของตัวควบคุมชนิดนี้ได้เข้าสู่ท้องตลาดในช่วงทศวรรษที่ 50 (ค.ศ.1950-1959) ในปลายทศวรรษนี้คอมพิวเตอร์ควบคุมกระบวนการในงานอุตสาหกรรมได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรก และตลอด 20 ปีที่ผ่านมาฮาร์ดแวร์ของดิจิทัลคอมพิวเตอร์ก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำงานของตัวควบคุมกระบวนการด้วยเช่นกัน

### 2.6.2 ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-Off controller)

ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิดเป็นตัวควบคุมที่มีรูปแบบการทำงานง่ายที่สุดและมีราคาถูก นิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงนัก และผลของความคลาดเคลื่อน ไม่มีผลต่อการควบคุม เช่นการควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้ในบ้านหรือใช้ในงานอุตสาหกรรมที่มีการทำงานไม่ซับซ้อน การควบคุมระดับน้ำบางประเภทและใช้ในการควบคุมระบบความร้อน แต่ข้อเสียคือการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมชนิดนี้อาจมีผลต่อความต่อเนื่องของผลตอบสนองของกระบวนการได้

การควบคุมแบบเปิด-ปิดในทางทฤษฎี เอาท์พุทของตัวควบคุมจะเป็นไปได้เพียง 2 ค่าคือ

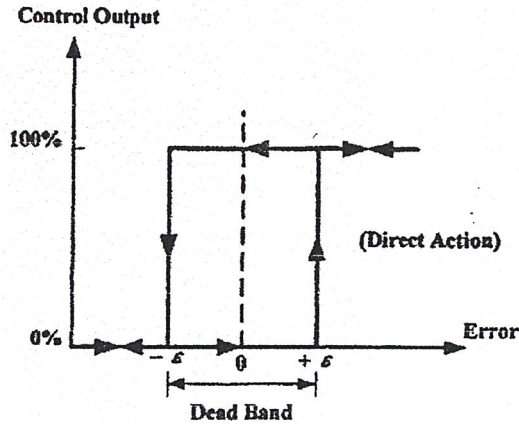
$$p(t) = \begin{cases} p_{\max}, & e \leq 0 \\ p_{\min}, & e < 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

เมื่อ  $e$  คือสัญญาณผิดพลาด (error)

$p_{\max}$  และ  $p_{\min}$  คือค่าในการควบคุมสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ เช่นในตัวควบคุมนิวแมติกส์จะกำหนดให้  $p_{\max} = 15$  psi และ  $p_{\min} = 3$  psi หรือ  $p_{\max} = 20$  mA และ  $p_{\min} = 4$  mA ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จากสมการที่ (2-4) จะพบว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิด เป็นการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งหรือแบบแองกอนโทรล (Bang-Bang Control) หรืออาจพิจารณาว่าเป็นการควบคุมแบบ P ชนิดพิเศษที่มีอัตราขยายสูงมากก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

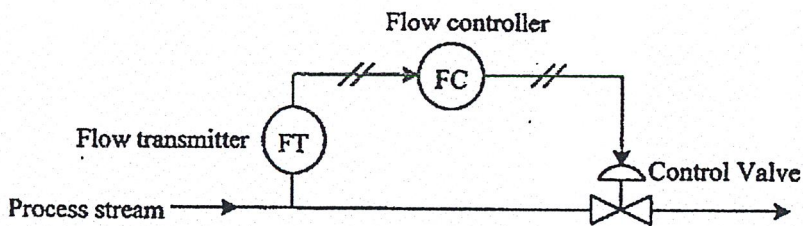


รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบเปิด-ปิด

ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด สามารถปรับปรุงให้รวมค่าเดดแบนด์(Dead band) เป็นสัญญาณความผิดพลาดได้ เพื่อลดความไวต่อสัญญาณรบกวนในเครื่องมือวัดหรือเพื่อป้องกันไม่ให้ทำงานบ่อยครั้งจนเกินไป จากรูปที่ 2.11 หากค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเกินค่าวิกฤต (Critical Value) หรือ  $+\epsilon$  ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจึงจะเปลี่ยนจาก  $p_{min}$  เป็น  $p_{max}$  เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดต่ำกว่าหรือ  $-\epsilon$  และเมื่อถึงจุดนี้ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก  $p_{max}$  เป็น  $p_{min}$

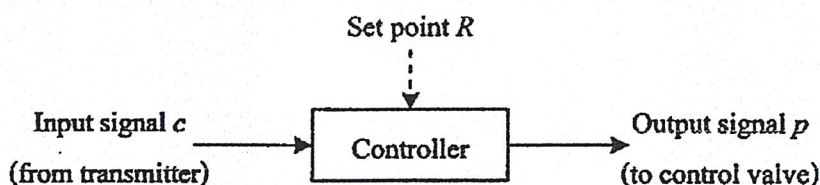
2.6.3 ตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller)

การควบคุมป้อนกลับมีพื้นฐานอยู่ 3 แบบที่ใช้งานกันทั่วไปคือ การควบคุมแบบ Proportional (P) , การควบคุมแบบ Integral (I) และการควบคุมแบบ Derivative (D) จากรูปที่ 2.12 เมื่อวัดและแปลงอัตราการไหลของไอน้ำเป็นสัญญาณนิวแมติกส์ให้กับตัวควบคุมการไหลแล้ว ตัวควบคุมจะเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าเป้าหมาย (set point) หรือ SP แล้วจึงส่งสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมแก่วาล์วควบคุม สัญญาณนิวแมติกส์ให้สัญลักษณ์พื้นฐานคือเส้นขนานตัดเส้นตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.12 ระบบควบคุมการไหล ป้อนญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ค่าเป้าหมายแสดงโดยใช้เส้นประซึ่งถูกกำหนดโดยการป้อนค่าหรือการกำหนดตำแหน่งที่ตัวควบคุมซึ่งเรียกว่า Local Set point ตัวควบคุมบางตัวสามารถตั้งค่าเป้าหมายระยะไกลหรือ Remote set point ได้โดยยินยอมให้ตัวควบคุมรับสัญญาณค่าเป้าหมายจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นตัวควบคุมอีกตัวหนึ่งหรือเครื่องดิจิทัลคอมพิวเตอร์ อินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นที่สัญญาณนิวแมติกส์และสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

## 2.6.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ

### 2.6.4.1 การควบคุมแบบ Proportional (P) วัตถุประสงค์ของการควบคุมแบบ

ป้อนกลับคือการลดสัญญาณผิดพลาด (Error) หรือ  $e(t)$  ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังสมการ

$$e(t) = R(t) - c(t) \quad (2-5)$$

เมื่อ  $R(t)$  = ค่าเป้าหมาย

$c(t)$  = ผลตอบสนองของกระบวนการหรือค่าสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)

จากสมการที่ (2-5) จะพบว่าค่าเป้าหมายสามารถเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาได้

การควบคุมกระบวนการแบบ P เอาท์พุทของตัวควบคุมจะแปรผันตามสัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นดังสมการ

$$p(t) = \bar{p} + K_p e(t) \quad (2-6)$$

เมื่อ  $p(t)$  = ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุม  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการตีพิมพ์ ทั้งสิ้น Bias ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$K_p$  = อัตราขยายของตัวควบคุม โดยปกติจะไม่มีหน่วย  
เงื่อนไขของการควบคุมแบบ P

1. อัตราขยายของตัวควบคุม :  $K_p$  สามารถปรับค่าได้ เพื่อให้เอาต์พุตของตัวควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ไวดำเนินความต้องการและทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่เป้าหมาย

2. การเลือกค่า  $K_p$  สามารถทำให้เอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ค่า  $\bar{p}$  สามารถปรับได้โดยที่เอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่าเท่ากับ  $\bar{p}$  ก็ต่อเมื่อค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์ ซึ่งในสถานะนี้อาจกล่าวได้ว่าค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมรวมไปถึงผลตอบสนองของกระบวนการอยู่ในสถานะคงที่ (Steady-State) สำหรับตัวควบคุมที่ใช้งานกับ โดยทั่วไปค่า  $K_p$  จะไม่มีหน่วยเพราะค่า  $p(t)$  และ  $e(t)$  มีหน่วยเดียวกัน เช่น ในกรณีของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือทางนิวแมติกส์ หรืออาจอยู่ในรูปของตัวเลข 0-100% เพื่อความสะดวกในการทำงานของตัวแสดงกราฟฟิกและซอฟต์แวร์ควบคุมคอมพิวเตอร์ ในอีกกรณีหนึ่งค่าสัญญาณผิดพลาดจะอยู่ในรูปของหน่วยทางวิศวกรรม เช่น หน่วยของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส ( $^{\circ}C$ ) หรือหน่วยของความหนาแน่นเป็น mol/L ซึ่งในกรณีนี้  $K_p$  และอัตราขยายที่สถานะคงที่ (Steady - State Gain) ของอุปกรณ์ในวงรอบควบคุมตัวอื่นๆ เช่น ทรานส์มิเตอร์หรือวาล์วควบคุมก็จะมีหน่วยเช่นกัน

ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมบางตัวจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า  $K_p$  ซึ่ง PB จะมีหน่วยเป็น % และจะใช้กรณีที่ค่า  $K_p$  ไม่มีหน่วยเท่านั้น

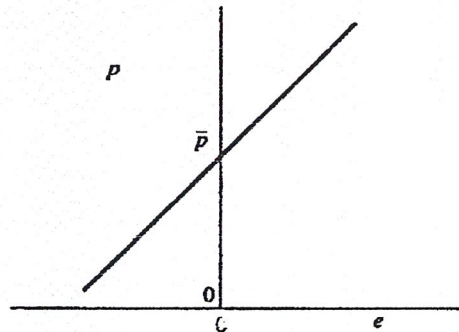
$$PB = \frac{100\%}{K_p} \quad (2-7)$$

ตัวควบคุมแบบ P ในทางอุดมคติจะไม่พิจารณาถึงข้อจำกัดทางกายภาพของเอาต์พุตตัวควบคุม ซึ่งปกติแล้วตัวควบคุมจะเกิดการอิ่มตัวเมื่อถึงขอบเขตทางกายภาพคือ  $P_{max}$  และ  $P_{min}$

ในการพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ P จะกำหนดให้

$$p'(t) = p(t) - \bar{p} \quad (2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบ P ในทางอุดมคติ (ความชันของเส้นตรงเท่ากับ)

ดังนั้น

$$p'(t) = K_p e(t) \quad (2-9)$$

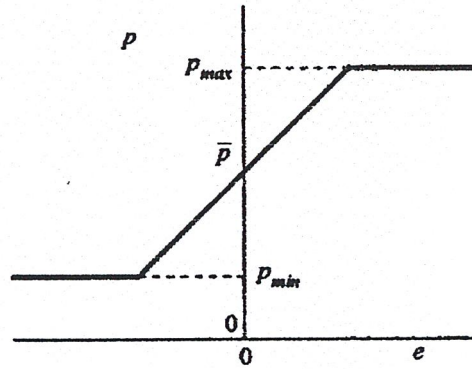
สมการลาปลาซซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมคือ

$$\frac{p'(s)}{E(s)} = K_p \quad (2-10)$$

ข้อเสียซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการควบคุมแบบ P คือไม่สามารถกำจัด Steady – State error ที่เกิดขึ้นหลังจากการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายหรือการได้รับสัญญาณรบกวนจากโหลด ซึ่งจะเกิดขึ้นกับการควบคุมแบบ P ในทุกๆค่า  $K_p$  ในทางทฤษฎีค่าออฟเซตสามารถกำจัดได้โดยการตั้งค่าเป้าหมายหรือค่า  $\bar{p}$  ขึ้นใหม่หลังจากเกิดออฟเซต แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่ได้เป็นวิธีการที่ดีที่สุดเนื่องจากต้องอาศัยผู้มีความชำนาญเพียงพอและการหาค่าเป้าหมายหรือค่า  $\bar{p}$  ใหม่ก็ต้องใช้การลองผิดลองถูกซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ การแก้ไขปัญหานี้ในทางปฏิบัติจะใช้การทำงานของ การควบคุมแบบ Integral (I) เข้ามาช่วยซึ่งจะได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น เนื่องจากการควบคุมแบบ I จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการควบคุมเพื่อลดออฟเซตได้โดยอัตโนมัติ

ในการควบคุมกระบวนการบางอย่างที่ไม่ต้องคำนึงถึงการเกิดค่าออฟเซต การควบคุมแบบ P ก็มีความเหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากมีรูปแบบในการทำงานที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เช่น การควบคุมระดับของเหลวที่ไม่จำเป็นต้องรักษาระดับให้อยู่ในค่าเป้าหมายแต่ต้องการเพียงควบคุมไม่ให้ของเหลวล้นถังหรือหมดถังเท่านั้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การควบคุมแบบ P ในทางปฏิบัติ

#### 2.6.4.2 การควบคุมแบบ Integral (I) และการควบคุมแบบ PI การควบคุมแบบ I

หมายถึงการควบคุมแบบรีเซตหรือแบบลอย (Floating) โดยที่ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอินทิเกรตสัญญาณผิดพลาด คั่งสมการ

$$p(t) = \bar{p} + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2-11)$$

เมื่อ  $T_i$  คือเวลาอินทิเกรตหรือเวลารีเซตซึ่งมีหน่วยเป็นหน่วยของเวลาและสามารถปรับค่าได้ตามความเหมาะสม

การควบคุมแบบ I เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะสามารถใช้งานได้ดีและสามารถกำจัดออฟเซตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากสมการที่ (2-11) เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ สัญญาณผิดพลาดและเอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่าคงที่ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า  $p(t)$  จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาจนกระทั่ง  $e(t) = 0$  ดังนั้นเมื่อใช้การควบคุมแบบ I ค่า  $p(t)$  จะให้ค่าในการควบคุมซึ่งจะทำให้สัญญาณผิดพลาดในสภาวะคงที่มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งสัญญาณผิดพลาดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายหรือได้รับสัญญาณรบกวนจากโหลดและการกำจัดสัญญาณผิดพลาดให้เท่ากับศูนย์จะกระทำ ได้ก็ต่อเมื่อเอาต์พุตของตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายยังไม่ถึงขอบเขตการอิ่มตัวแต่หากเกินช่วงขอบเขตนี้ไปแล้วค่าของกระบวนการจะไม่สามารถกลับสู่ค่าเป้าหมายได้ ซึ่งการอิ่มตัวเกิดจากสัญญาณรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายเกินช่วงของค่า  $p(t)$

วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมแบบ I คือการกำจัดออฟเซต (Offset) แต่ตัวควบคุมแบบ

I ไม่นิยมใช้งานเพียงตัวเดียวเพราะจะให้ผลในการควบคุมน้อยมากจนกว่าจะเกิดสัญญาณผิดพลาด เอ้าขึ้นมาอย่างต่อเนื่องในบางเวลาเท่านั้น ดังนั้นจึงมักนำการควบคุมแบบ I มาทำงานร่วมกับการขนด้านการค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกร้นำไปใช้

ควบคุมแบบ P หรือที่เรียกว่าตัวควบคุมแบบ PI เพราะการควบคุมแบบ P จะให้ผลในการควบคุมแบบทันทีทันใดในขณะที่ตรวจพบสัญญาณผิดพลาด

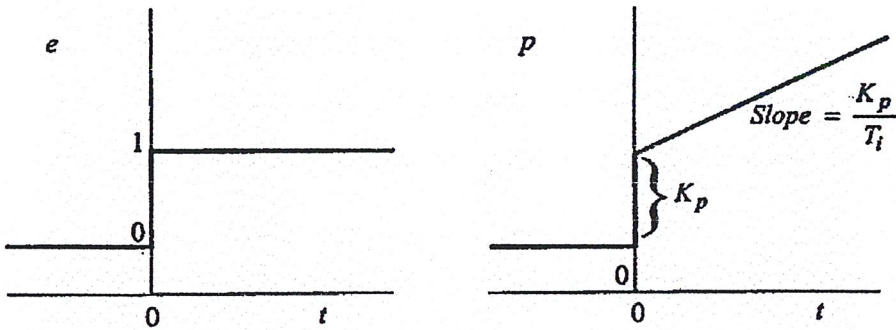
สมการของตัวควบคุมแบบ PI คือ

$$p(t) = \bar{p} + K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \tag{2-12}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PI ในรูปของสมการลาปลาซคือ

$$\frac{P'(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) = K_p \left( \frac{T_i s + 1}{T_i s} \right) \tag{2-13}$$

ในรูปที่ 2.16 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PI ต่อการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันไดของ  $e(t)$  ที่เวลา  $t = 0$  เอ้าท์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงพร้อมกับค่าผิดพลาด โดยเกิดจากการควบคุมแบบ P การควบคุมแบบ I จะทำให้  $p(t)$  เพิ่มขึ้นในลักษณะลาดชัน (Ramp) เมื่อ  $t > 0$  ที่  $t = T_i$  เทอม I จึงให้ค่าในการควบคุมเท่ากับเทอม P



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PI ต่อการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันไดของ  $e(t)$

ตัวควบคุมบางตัวจะใช้เทอม  $\frac{1}{T_i}$  (ครั้ง/นาที) แทนการใช้  $T_i$  (นาที) เช่นถ้า

$T_i = 0.2$  นาที แล้ว  $\frac{1}{T_i} = 5$  ครั้ง/นาที เป็นต้น

ข้อเสียของการควบคุมแบบ I คือระบบจะมีการตอบสนองแบบแกว่งทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ แต่ในบางครั้งก็สามารถยอมรับได้หากการแกว่งเกิดขึ้นพร้อมกับการตอบสนองของนำไปใช้

กระบวนการที่รวดเร็ว แต่ข้อเสียของการควบคุมแบบ I ก็สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการปรับใช้ค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมหรือเพิ่มการควบคุมแบบ D ซึ่งจะสามารถลดผลตอบสนองที่ไม่มีเสถียรภาพลงได้

### 2.6.4.3 การควบคุมแบบ Derivative (D) การควบคุมแบบ Proportional Plus derivative (PD) และการควบคุมแบบ Proportional plus integral plus derivative (PID)

การควบคุมแบบ D หมายถึงการควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate action) หรือการทำนายล่วงหน้า (Pre-act) โดยจะทำนายพฤติกรรมของสัญญาณผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณผิดพลาด เช่น ในกรณีที่เตาปฏิกรณ์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $10^{\circ}\text{C}$  ในเวลา 3 นาที ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเกิดขึ้นเร็วกว่าในกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $10^{\circ}\text{C}$  ในเวลา 30 นาที และสามารถประเมินประสิทธิภาพในการแก้ไขสถานะของการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นได้ ถ้าการควบคุมเตาปฏิกรณ์ใช้ระบบปรับด้วยมือ (Manual) ผู้ควบคุมที่มีประสบการณ์สามารถประเมินผลตอบสนองที่จะเกิดขึ้นและแก้ไขสถานการณ์ได้อย่างเหมาะสมในเวลาอันรวดเร็วเพื่อทำการลดอุณหภูมิลง แต่การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติตัวควบคุมแบบ P จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเท่านั้น แต่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบ I ซึ่งโดยปกติแล้วจะสร้างสัญญาณควบคุมที่แปรผันตามระยะเวลาของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสัญญาณรบกวนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆก็สามารถทำให้ตัวควบคุมสร้างสัญญาณควบคุมที่มีค่ามากขึ้นมาได้

การทำงานของตัวควบคุมแบบ D ในทางอุดมคติมีสมการดังนี้

$$P(t) = \bar{P} + T_d \frac{de}{dt} \quad (2-14)$$

เมื่อ  $T_d$  คือเวลา Derivative มีหน่วยเป็นหน่วยของเวลา

เอาที่พุดของตัวควบคุมมีค่าเท่ากับ  $\bar{P}$  เมื่อสัญญาณผิดพลาดมีค่าคงที่หรือเมื่อ  $\frac{de}{dt} = 0$

การควบคุมแบบ D จะไม่ใช้งานเพียงตัวเดียวแต่จะใช้งานร่วมกับการควบคุมแบบ P หรือ PI เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การควบคุมแบบ PD มีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

ไม่มีการแก้ไขข้อผิดพลาดที่สังเกตได้ทันที ไม่มีเหตุขัดแย้งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P'(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s) \quad (2-15)$$

การควบคุมแบบ D ทำให้กระบวนการมีเสถียรภาพและลดแนวโน้มความไม่มีเสถียรภาพของการควบคุมแบบ I นอกจากนี้ยังนำมาใช้เพื่อปรับปรุงผลตอบสนองทางพลศาสตร์ โดยลดเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่ (Setting time) ของกระบวนการลง ซึ่งทำให้กระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วขึ้น แต่ในกรณีที่เครื่องมือวัดในกระบวนการมีสัญญาณรบกวนความถี่สูงและมีการแกว่งไม่มีแบบแผน การควบคุมแบบ D จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างและสัญญาณรบกวนจะถูกขยายแต่สามารถป้องกันได้โดยการกรองความถี่ โดยปกติแล้วการควบคุมแบบ D จะไม่นิยมใช้กับการควบคุมการไหลเนื่องจากวงรอบการควบคุมมีการตอบสนองที่รวดเร็วและเครื่องมือวัดอัตราการไหลมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง

การควบคุมแบบ D สามารถทำงานร่วมกับการควบคุมแบบ P และ I หรือที่เรียกว่าตัวควบคุม PID ซึ่งมีสมการคือ

$$P(t) = \bar{P} + K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \right] \quad (2-16)$$

ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{P'(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2-17)$$

แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และนิวแมติกส์ที่เป็นตัวควบคุมแบบ D ในทางอุดมคติไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้จริง เนื่องมาจากข้อจำกัดทางกายภาพ จึงจำเป็นต้องมีการประมาณพฤติกรรมทางอุดมคติของตัวควบคุมในสมการที่ 2-17 ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\frac{P'(s)}{E(s)} = K_p \left( \frac{T_i s + 1}{T_i s} \right) \left( \frac{T_d s + 1}{\alpha T_d + 1} \right) \quad (2-18)$$

เมื่อ  $\alpha$  เป็นค่าระหว่าง 0.05-0.2

ข้อเสียอีกประการหนึ่งของตัวควบคุม PID ทางอุดมคติคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายอย่างรวดเร็วจะทำให้ค่าจาก D มีค่ามาก และทำให้เกิดค่าควบคุม D พุ่งสูง (Derivative kick) ในอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย การหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงค่าการควบคุมแบบ D โดยใช้ค่าสัญญาณจากเครื่องมือวัดแบบ B แทนการใช้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณผิดพลาด โดยแทน  $\frac{de}{dt}$  ด้วย  $-\frac{de}{dt}$  ในสมการที่ 2-15 ได้

$$P(t) = \bar{P} + K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt - T_d \frac{dB}{dt} \right) \quad (2-19)$$

การกำจัดค่าควบคุม D พุ่งสูงเป็นทฤษฎีมาตรฐานที่นิยมใช้กันในตัวควบคุมส่วนใหญ่แต่ในบางทฤษฎีจะกำจัดค่าเป้าหมายในทอม P และทอม D เพื่อป้องกันการเกิดค่าควบคุม P พุ่งสูง (Proportional kick) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย แต่ทฤษฎีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

**2.6.4.4 สมการ PID สำหรับการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์** จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น คอมพิวเตอร์ไม่สามารถนำสมการนี้ไปใช้ในการประมวลผลได้โดยตรงจึงต้องทำการแปลงเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลต่อเนื่องแบบย่อย (Discrete Differential Equation) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำการประมวลผลได้ดังนี้

สมการ PID พื้นฐานคือ

$$p(t) = v_o(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2-20)$$

จากสมการที่ 2-20 ได้สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งคือ

$$\begin{aligned} \frac{dV_o(t)}{dt} &= K_p \left[ \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_i} \frac{d}{dt} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} \left( \frac{de(t)}{dt} \right) \right] \\ &= K_p \left[ \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_i} e(t) + T_d \frac{d^2e(t)}{dt^2} \right] \end{aligned}$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} e(t) &= e_o \\ \frac{dV_o(t)}{dt} &= \frac{\Delta V_o}{\Delta t} = \frac{V_{o_n} - V_{o_{n-1}}}{\Delta t} \\ \frac{de(t)}{dt} &= \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (2-21)$$

ดังนั้น

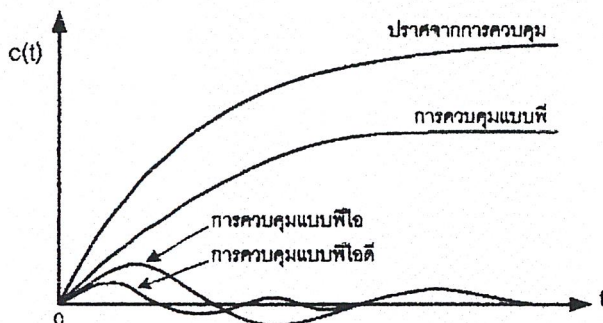
$$\begin{aligned} \frac{V_{o_n} - V_{o_{n-1}}}{\Delta t} &= K_p \left[ \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t} + \frac{1}{T_i} e_n + T_d \frac{d}{dt} \left( \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t} \right) \right] \\ &= K_p \left[ \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t} + \frac{1}{T_i} e_n + T_d \left( \frac{e_n - e_{n-1} - (e_{n-1} - e_{n-2})}{\Delta t^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (2-22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{o_n} = V_{o_{n-1}} + K_p \left[ (e_n - e_{n-1}) + \frac{\Delta t}{T_i} e_n + \frac{T_d}{\Delta t} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right]$$

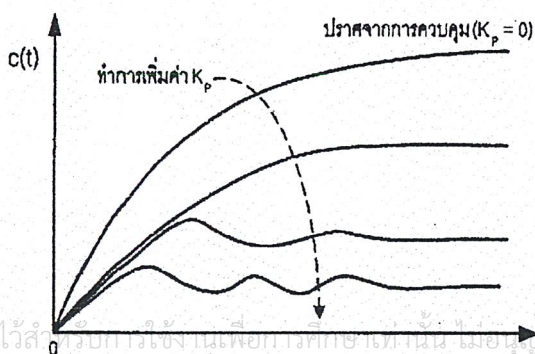
เมื่อ  $V_o(t)$  คือสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกไปควบคุมคอนโทรลล่าว

2.6.4.5 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบป้อนกลับแต่ละชนิด



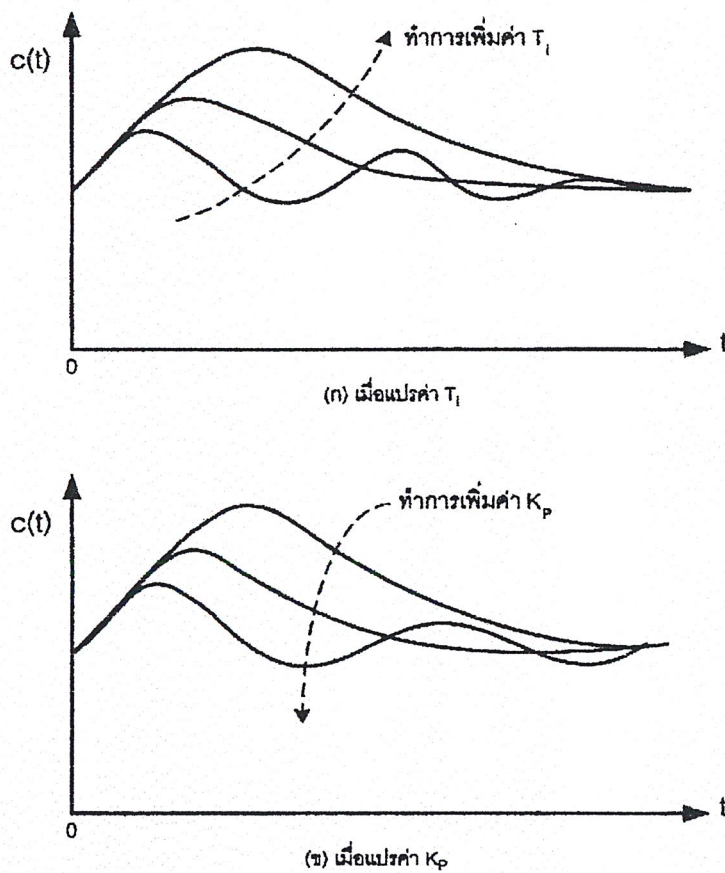
รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบวงเปิด

ในรูปที่ 2.17 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบขั้นบันได ผลตอบสนองของกระบวนการแทนด้วย C ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายเริ่มต้น หากไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับกระบวนการจะต้องใช้เวลานานมากในการเข้าสู่สภาวะคงที่ การควบคุมแบบ P จะเร่งการตอบสนองของกระบวนการและลดค่าออฟเซต การควบคุมแบบ PI จะกำจัดค่าออฟเซตแต่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่ง ส่วนการควบคุมแบบ PID จะลดองศาการแกว่งและลดเวลาในการตอบสนองลง จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ตัวควบคุม P, PI, และ PID จะไม่มีผลตอบสนองของกระบวนการที่มีการแกว่งเสมอไป แต่จะขึ้นอยู่กับทางเลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม  $K_p, T_i, T_d$  และส่วนประกอบอื่นๆของกระบวนการ ซึ่งอยู่ในรูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติ



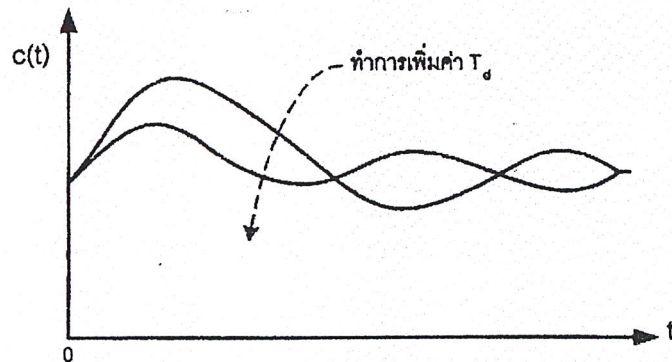
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 2.18 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพี เมื่อแปรค่า  $K_p$  ที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18-2.20 แสดงผลกระทบเชิงคุณภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในรูปที่ 2.18 แสดงผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราขยาย  $K_p$  ของกระบวนการ ตามปกติแล้วการเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุมมีแนวโน้มที่จะทำให้การตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้า  $K_p$  มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งที่ไม่ต้องการหรืออาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้ ดังนั้นการตั้งค่า  $K_p$  ให้พอเหมาะจึงให้ผลตอบสนองที่ดี ทั้งในการควบคุมแบบ P และ PI รวมถึงการควบคุมแบบ PID ด้วย



รูปที่ 2.19 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพีไอ  
(ก) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า  $T_i$  , (ข) เมื่อแปรค่า  $K_p$

ในรูปที่ 2.19 ก และ 2.19 ข การเพิ่มค่า  $T_i$  ทำให้การควบคุมแบบ PI และ PID มีผลตอบสนองของกระบวนการที่ช้าลง ในทางทฤษฎีออฟเซตจะถูกกำจัดได้ในทุกค่าของ  $T_i$  ซึ่งมีค่าระหว่าง  $0 - \infty$  แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโพลหรือค่าเป้าหมาย  $T_r$  ที่มีค่ามากๆ จะทำให้การร่นด้านการค่าตอบสนองเข้าสู่ระบบสู่ค่าเป้าหมายได้ช้าลง เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $T_d$

ผลของ  $T_d$  ที่มีต่อกระบวนการนั้นสรุปได้ยาก เพราะที่  $T_d$  มีค่าน้อยการเพิ่มค่า  $T_d$  จะให้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น โดยจะลดเวลาในการตอบสนอง, ลดการเบี่ยงเบนและลดองศาการแกว่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.20 แต่อย่างไรก็ตามหาก  $T_d$  มีค่ามาก สัญญาณรบกวนของเครื่องมือวัดจะถูกขยายและผลตอบสนองจะเกิดการแกว่ง ดังนั้นจึงควรตั้งค่า  $T_d$  ให้เหมาะสมในการใช้งาน

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

ในการวิเคราะห์และออกแบบตัวควบคุมนั้น จำเป็นต้องศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะของกระบวนการ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งหมด เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการเมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอกหรือได้รับการควบคุมจากเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ในอันที่จะได้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไป การศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติต่างๆของกระบวนการที่ใช้กันอยู่ มี 2 วิธีคือ

1. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยใช้วิธีการทดสอบ วิธีนี้การวิเคราะห์กระบวนการสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดและเครื่องควบคุมทดลองป้อนสัญญาณเข้าและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของกระบวนการและอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งผลของสัญญาณขาออกนี้จะนำไปพยากรณ์หรือประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เพื่อยธิบายคุณลักษณะกระบวนการต่อไป

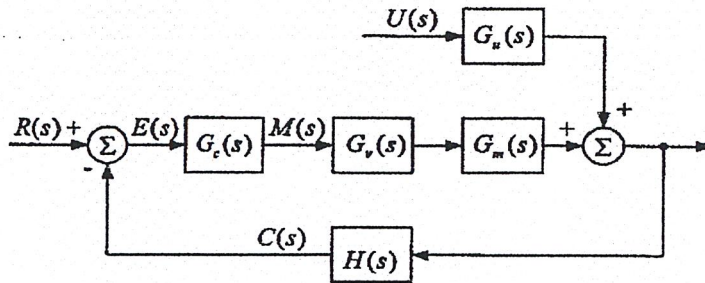
2. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ วิธีนี้การวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์และกระบวนการจะถูกแสดงในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการพีชคณิต สมการอนุพันธ์ (Differential Equation) และสมการความแตกต่าง (Difference Equation) และวิเคราะห์คุณสมบัติของกระบวนการจากการหาคำตอบของสมการเหล่านี้

การศึกษารวมธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยผู้มีความรู้และความชำนาญ ดังนั้น ในทางปฏิบัติระบบควบคุมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยวิธีการทดลองป้อนสัญญาณเข้าให้กระบวนการ เพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้นในสภาพความเป็นจริงและนำค่าพารามิเตอร์หรือค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบการ

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เมื่อ  $R(s)$  = การแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ของค่าอินพุตอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย

$E(s)$  = การแปลงลาปลาซของค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

$M(s)$  = การแปลงลาปลาซของสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม

$C(s)$  = การแปลงลาปลาซของสัญญาณเอาต์พุตของ Transmitter

$U(s)$  = การแปลงลาปลาซของสัญญาณรบกวน (Disturbance)

$G_c(s)$  = ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม

$G_v(s)$  = ฟังก์ชันถ่ายโอนของวาล์วควบคุม (อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย)

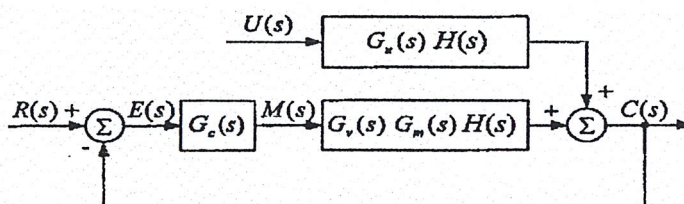
$G_m(s)$  = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุมและสัญญาณการทำงาน

$G_u(s)$  = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุมและสัญญาณรบกวน

$H(s)$  = ฟังก์ชันถ่ายโอนของ Sensor – Transmitter

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 3.1 สามารถลดรูปเพื่อให้เข้าใจง่าย ดังรูป

ที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ การรวมกันของ  $G_v(s)G_m(s)H(s)$  เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการดังนี้

$$G(s) = G_v(s)G_m(s)H(s) \quad (3.1)$$

และโดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะถูกอนุมานให้เป็นรูปแบบของ กระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (First-order Lag Plus Dead Time (FOPDT)) เนื่องจากการอนุมานที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของ กระบวนการแบบ FOPDT แสดงตามสมการ (3.2)

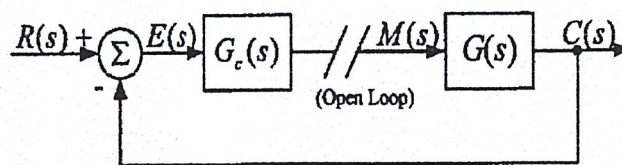
$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (3.2)$$

โดยที่  $K$  = อัตราการขยายของกระบวนการ (Process Gain)

$t_0$  = ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ (Process Dead Time)

$\tau$  = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant)

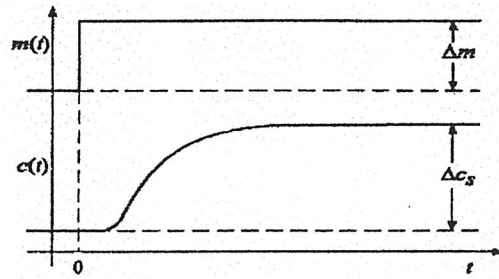
จากสมการ (3.2) จะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของกระบวนการอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบกระบวนการ เนื่องจากคุณลักษณะของกระบวนการเป็นเพียงค่าของกระบวนการเท่านั้น ไม่ใช่ทั้งรูปการควบคุม ดังนั้น ในการทดสอบจะกระทำเฉพาะส่วนของ กระบวนการ นั่นคือ ทำการทดสอบแบบ Open – Loop หรือแบบไม่มีการป้อนกลับ และไม่ พิจารณาสีงรบกวน โดยการป้อนสัญญาณ  $M(s)$  แบบ Step ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด

จากการทดสอบจะได้ผลตอบสนองของกระบวนการที่มีลักษณะเป็นรูปตัว S ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งรูปแบบของผลตอบสนองแบบนี้จะครอบคลุมไปถึงกระบวนการระบบอันดับสอง และ กระบวนการอันดับสูง (Second and Higher-Order Process) ที่มีอัตราหน่วง (Damping Ratio) มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดหลังจากป้อนสัญญาณขั้นบันได

จากรูปที่ 3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของผลตอบสนองกระบวนการ คือ

$$C(s) = G(s)M(s) \quad (3.3)$$

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุม  $\Delta m$  และกระบวนการตามรูปแบบของ FOPDT ในรูปของการแปลงลาปลาซ จะได้

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \cdot \frac{\Delta m}{s} \\ &= K\Delta m e^{-t_0s} \left[ \frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \end{aligned} \quad (3.4)$$

แปลงลาปลาซผกผันให้อยู่ในรูปโดเมนเวลา จะได้ว่า

$$\Delta c(t) = K\Delta m \quad u(t-t_0) \left[ 1 - e^{-(t-t_0)/\tau} \right] \quad (3.5)$$

โดย  $\Delta c(t) = c(t) - c(0)$  เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตของกระบวนการ จากค่าสถานะเริ่มต้น (Initial Value) ส่วนฟังก์ชัน Unit Step ( $u(t-t_0)$ ) เป็นพจน์ที่กำหนดที่ทำให้  $\Delta c(t) = 0$  ที่เวลา  $t \leq t_0$

ดังนั้นเมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่ที่สถานะคงที่ (Steady State)  $\Delta c(t)$  จะแทนที่ด้วย  $\Delta c_s$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ

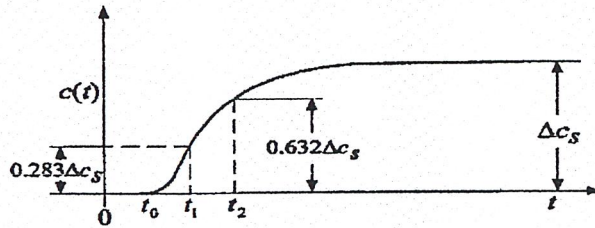
$$\Delta c_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta c(t) = K\Delta m \quad (3.6)$$

ดังนั้นค่าคุณลักษณะของกระบวนการตัวแรกที่สามารถหาได้คืออัตราขยายซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่เหลือนคือ  $\tau$  และ  $t_0$  สามารถหาได้โดยการประมาณค่า(Curve Fitting) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT

พิจารณาที่เวลา  $t = (t_0 + \tau)$  และ  $t = (t_0 + \tau/3)$  แทนในสมการ (3.5) จะได้

$$\begin{aligned}\Delta c(t_0 + \tau) &= K\Delta m(1 - e^{-1}) = 0.632\Delta c_s \\ \Delta c(t_0 + \frac{\tau}{3}) &= K\Delta m(1 - e^{-1/3}) = 0.283\Delta c_s\end{aligned}\quad (3.8)$$

กำหนดให้เวลาที่  $t = (t_0 + \tau/3)$  และ  $t = (t_0 + \tau)$  เป็น  $t_1$  และ  $t_2$  ตามลำดับคือ

$$\begin{aligned}t_1 &= t_0 + \frac{\tau}{3} \\ t_2 &= t_0 + \tau\end{aligned}\quad (3.9)$$

ดังนั้น

$$t_0 = t_2 - \tau\quad (3.10)$$

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$$

เมื่อ  $t_1 =$  เวลาที่  $\Delta c = 0.283\Delta c_s$

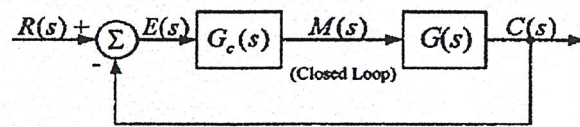
$t_2 =$  เวลาที่  $\Delta c = 0.632\Delta c_s$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้ง 3 ค่า คือ  $K, \tau$  และ  $t_0$  นี้ จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID คือ ค่า  $K_c, T_i$  และ  $T_d$  ที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Dahlin

การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการโดยการทดสอบคั้งที่กล่าวมา จะพิจารณาในลักษณะรูปเปิด ซึ่งต่างจากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ทำการพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบรูปปิด เนื่องจากต้องพิจารณารวมไปถึงตัวควบคุมด้วย ดังนั้น จากรูปที่ 3.1 ระบบควบคุมรูปปิด เมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวนจะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบแบบรูปปิดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน

จากรูปที่ 3.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปปิด คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (3.11)$$

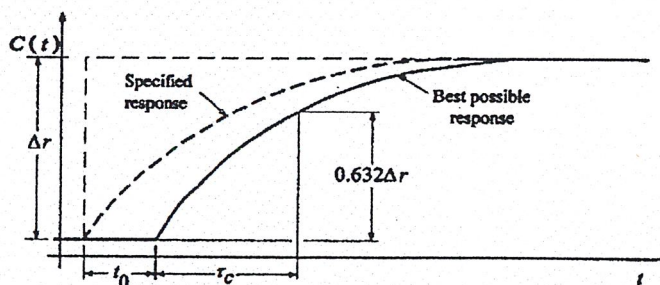
จัดสมการ (3.11) ให้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ คือ

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{C(s)/R(s)}{1 - [C(s)/R(s)]} \quad (3.12)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จะใช้สำหรับสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

พิจารณาผลตอบสนองแบบวงปิดเป็นผลตอบสนองแบบอันดับหนึ่งที่มีค่าหน่วงเวลาเท่ากับ  $\tau_c$  ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1} \quad (3.13)$$



รูปที่ 3.7 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา  $t_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากสมการ (3.2), (3.12) และสมการ (3.13) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมตามกระบวนการแบบ FOPDT คือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \cdot \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}}$$

หรือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (3.14)$$

ถึงแม้ว่าตัวควบคุมชนิดนี้มีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎี แต่อย่างไรก็ตามการทำให้เกิดผลในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปได้ยาก สาเหตุที่สำคัญที่สุดคือตัวควบคุม PID แบบดั้งเดิมนั้นมีการทำงานในแบบอนาลอกและพจน์  $e^{-t_0 s}$  ไม่สามารถทำให้เกิดผลได้จริงในทางปฏิบัติด้วยอุปกรณ์ทางอนาลอก แต่ตัวควบคุม PID ในปัจจุบันประกอบขึ้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และดิจิทัลคอมพิวเตอร์จึงทำให้พจน์ของการหน่วงเวลาเกิดผลได้จริง ซึ่งเมื่อมีการทำงานในพจน์นี้จะเรียกว่าพจน์ตัวทำนาย (Predictor) หรือพจน์การชดเชยการหน่วงเวลา (Dead – time compensation)

เทอมเอ็กซ์โพเนนเชียล ( $e^{-t_0 s}$ ) สามารถประมาณค่าได้โดยอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series Expansion) คือ

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s + \frac{1}{2!} (t_0 s)^2 - \frac{1}{3!} (t_0 s)^3 + \dots \quad (3.15)$$

ใช้เฉพาะ 2 เทอมแรก คือ  $1 - t_0 s$  (สำหรับกระบวนการอันดับหนึ่ง) แทนในสมการ (3.14) จะได้

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{(\tau_c + t_0)s} \\ &= \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \end{aligned} \quad (3.16)$$

จากสมการ (3.16) แสดงให้เห็นว่า จากกระบวนการที่เป็นแบบ FOPDT เมื่อนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะได้เป็นตัวควบคุมแบบ PI เท่านั้น โดยมีค่าพารามิเตอร์ คือ

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad \text{และ} \quad T_i = \tau \quad (3.17)$$

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบลูปปิดของ Dahlin ตามกระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคือ

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)}, T_i = \tau \quad \text{และ} \quad T_d = \frac{t_0}{2} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ สูตรสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ Dahlin ในโหมด PID ควรใช้เมื่อค่า  $t_0$  มากกว่า  $\tau/4$  กรณีนอกเหนือจากนี้ ควรใช้การควบคุมแบบ PI และสำหรับความต้องการการควบคุมให้ค่าพุ่งเกินมีค่าไม่เกิน 5% สำหรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายแนะนำให้ใช้  $\tau_c = t_0$  ดังนั้นที่ความต้องการค่าพุ่งเกิน 5%

$$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + t_0)} = \frac{0.5}{K} \left( \frac{\tau}{t_0} \right) \quad (3.19)$$

ตารางหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของ PID ของ Dahlin แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ Dahlin

Process	Controller Type	Tuning Parameters
$G(s) = K$	P	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ tunable
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PI	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ tunable
$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ $\tau_1 > \tau_2$	PID	$K_c = \frac{\tau_1}{K\tau_c}, T_i = \tau_1, T_d = \tau_2$ tunable
$G(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$	PID <sup>a</sup>	$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_c)}, T_i = \tau, T_d = \frac{t_0}{2}$ tunable

<sup>a</sup> ใช้ได้ทั้งตัวควบคุมแบบ PID และ PI ( $T_d = 0$ ) โดยแบบ PID ใช้ได้เมื่อค่า  $t_0$  มากกว่า  $\tau/4$

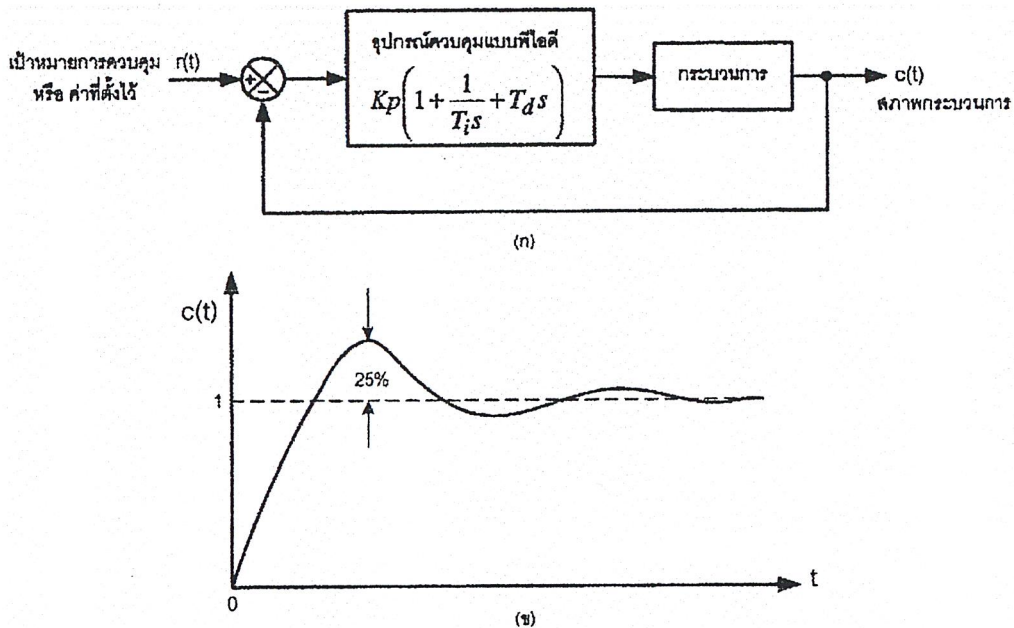
### 3.3 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดี ด้วยวิธี Ziegler-Nichols

วิธี Ziegler-Nichols เป็นวิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดี แบบหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน รูปแสดงการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.8 ก โดยการหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการซึ่งก็คือ  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response) ของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งจะมีอยู่สองวิธี ดังนี้

1. การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธี Process Reaction Curve
2. การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธี Ultimate Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั้งสองวิธีนั้นต่างก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือ จะให้ผลตอบสนองของกระบวนการต่อสัญญาณอินพุตแบบสัญญาณระดับหนึ่งหน่วย มีค่าพุ่งเกินสูงสุด (Maximum Overshoot) ไม่เกิน 25 % ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ข



รูปที่ 3.8 ก. แสดง โครงสร้างของระบบควบคุมแบบ PID

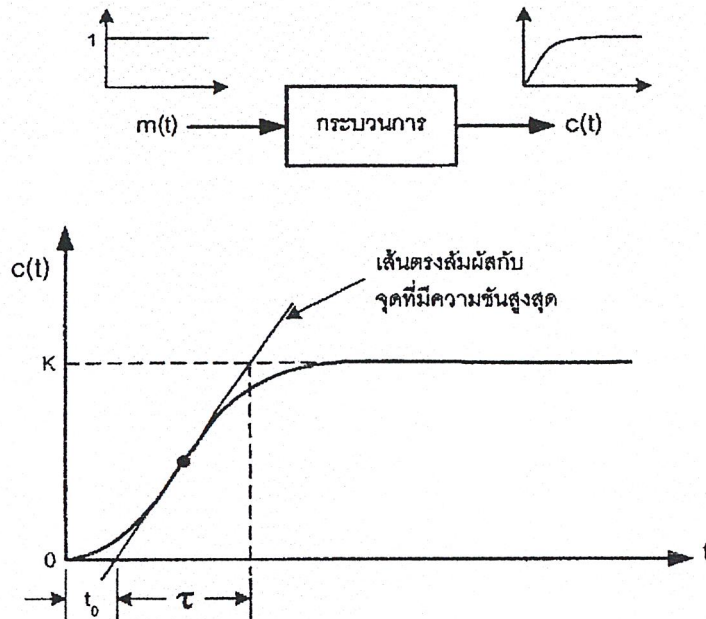
ข. ผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์

ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

### 3.3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการด้วยวิธี Process Reaction Curve

วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการการควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีแบบ Process Reactive Curve นี้จะอาศัยการพิจารณาจากผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณระดับหนึ่งหน่วย โดยในกรณีนี้กระบวนการหรือระบบต้องไม่มีตำแหน่งโพลอยู่ที่จุดกำเนิด หรือต้องไม่มีตำแหน่งโพลเชิงซ้อน (Dominant Complex Conjugate Poles) ดังนั้นผลตอบสนองของกระบวนการในเชิงเวลาจะอยู่ในลักษณะตัว S ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งวิธีการนี้จะไม่สามารถใช้กับระบบหรือกระบวนการที่ไม่มีผลตอบสนองในลักษณะตัว S เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Process Reactive Curve

วิธีการนี้จะแยกการพิจารณาค่าคงที่ได้สองค่า คือค่าเวลาหน่วง (Delay time,  $t_0$ ) และค่าคงที่เวลา (Time Constant,  $\tau$ ) ซึ่งหาได้โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับจุดที่มีความชันสูงสุด และจะได้เส้นตรงเส้นนี้ตัดกับแกนเวลาและแกนเอาต์พุต  $c(t)$  ที่จุด  $c(t) = K$  ดังนั้นเมื่ออาศัยการประมาณฟังก์ชันด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา จึงสามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ได้ดังนี้

$$\frac{C(s)}{M(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (3.20)$$

จากวิธี Process Reactive Curve สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแต่ละชนิดที่ให้ผลตอบสนองของกระบวนการที่เหมาะสม โดยสรุปได้ดังตารางที่ 3.2 และสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของวิธีดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

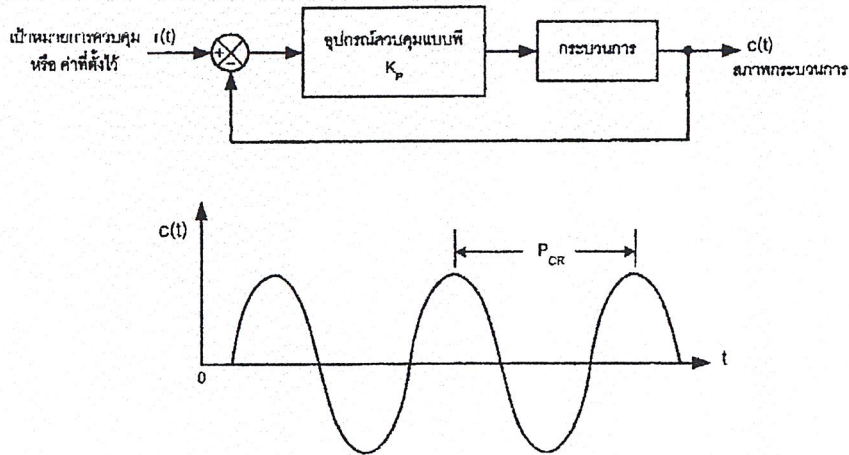
ข้อดี ของการใช้วิธี Process Reactive Curve

1. สามารถทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว

2. สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ง่าย

3. ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูก





รูปที่ 3.10 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ultimate Method

จากวิธี Ultimate Method จึงสามารถกำหนดหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแต่ละชนิด และนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method

Controller-Type		Proportional Gain $K_c$	Integral Time $T_i$	Derivative Time $T_d$
Proportional	P	$K_{cr} / 2$	-	-
Proportional-Integral	PI	$K_{cr} / 2.2$	$T_{cr} / 1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative	PID	$K_{cr} / 1.7$	$T_{cr} / 2$	$T_{cr} / 8$

เมื่อ  $K_{cr}$  คืออัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ( Critical Gain)

$T_{cr}$  คือคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ( Oscillation Period)

แต่เนื่องจากต้องปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการให้มีการทำงานใกล้เคียงกับความไม่เสถียรภาพและยังใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีอัตราหน่วงมากๆ เช่น กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้วิธีการ Ultimate Method

นี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันมากนักจากวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols ทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นไม่

สามารถนำไปใช้ได้ทันที ทั้งนี้เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการประมาณให้ใกล้เคียงเท่านั้น รวมทั้งผลตอบสนองของกระบวนการยังมีค่าพุ่งเกินสูงสุดถึง 25% อีกด้วย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงควรต้องปรับละเอียดค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้

### 3.4 PID CONTROL สำหรับ DIGITAL SIGNAL

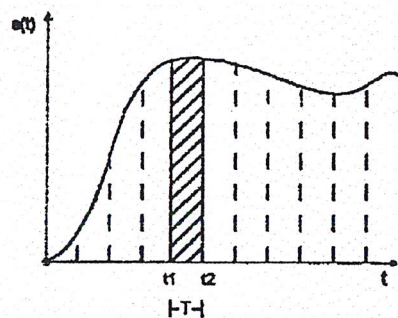
เนื่องจากสัญญาณที่ Controller นำมาคำนวณนี้เป็นสัญญาณ Digital ดังนั้น สมการในการคำนวณ PID เดิม ที่ใช้สำหรับสัญญาณอนาลอก จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง สามารถพิจารณาได้ดังนี้

สัญญาณควบคุม(Controller Signal) จาก PID Controller สามารถคำนวณได้จาก

$$E(t) = SP - PV(t) \quad (3.21)$$

โดยพิจารณาเป็น 3 ส่วนคือ

$$M(t) = M_p(t) + M_i(t) + M_d(t) \quad (3.22)$$



$T =$  sampling period

$e(t) =$  Error value

รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $e(t)$  กับ  $t$

เมื่อพิจารณาดูรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าค่าในส่วนของ Proportional Controller จะมีค่าเท่ากับ

$$M_p(t_2) = K_p * e(t_2) \quad (3.23)$$

ค่าของ Integral Controller โดยพิจารณาดูรูป จะเห็นว่าค่าในส่วนของ Integral ก็คือพื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง เมื่อกำหนด  $T$  เป็นคาบในการ sampling มีค่าน้อยมากๆแล้ว จะคิดพื้นที่ที่เป็นสี่เหลี่ยมคางหมูได้นั้นก็คือ

$$M_i(t_2) = K_i * e(t_2) \quad ; e(t_2) = e(t_1) + \frac{T}{2} [e(t_2) + e(t_1)] \quad (3.24)$$

ค่าของ Derivative Controller จากรูป ค่าในส่วนของ Derivative ก็คือความชัน (Slope) ของกราฟนั่นเอง เพราะฉะนั้น

$$M_d(t2) = K_d * [e(t2) - e(t1)] / T \quad (3.25)$$

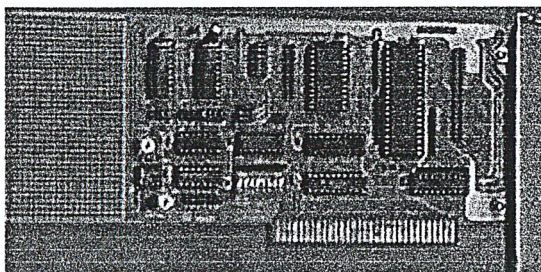
เมื่อรวมเข้าด้วยกัน จะได้ว่า สัญญาณควบคุมที่เป็น Digital Signal สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M(t2) = K_p * e(t2) + K_i * e(t2) + K_d [e(t2) - e(t1)] / T \quad (3.26)$$

### 3.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกได้ใช้ การ์ดอินเทอร์เฟซ ET-PCDIO ซึ่งเป็นการ์ดที่ใช้การติดต่อผ่าน Port ISA ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคล ศึกษาคู่มือการใช้ได้ที่ภาคผนวก ก

#### 3.5.1 ลักษณะทั่วไปของ ET-PCDIO CARD



รูปที่ 3.12 แสดงการ์ดอินเทอร์เฟซ

ET-PCDIO CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุต ให้ใช้งาน ได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง ET-PCDIO CARD สามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุต ได้ทั้งในรูปของอนาลอกและดิจิตอล ทำให้มีความสามารถในการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ในงานต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น

#### 3.5.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ET-PCDIO CARD สามารถรับอินพุตในรูปของสัญญาณอนาลอกได้ 1 CHANNEL และมีความละเอียด 8 BITS ซึ่งขนาดของสัญญาณอนาลอกที่รับเข้ามานั้นสามารถที่จะรับได้ โดยตรงสูงถึง 5 VDC

#### 3.5.3 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก

ET-PCDIO CARD สามารถส่งสัญญาณอนาลอกได้ 1 CHANNEL และมีความละเอียด ถึง 8 BITS เพื่อออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งขนาดของสัญญาณอนาลอกมีวงจรรอบแอมป์ เพื่อขยายขนาดของสัญญาณ ซึ่งสามารถปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0V – 10.66 VDC เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คาร์ดิอินเทอร์เฟส ET-PCDIO ในการควบคุมกระบวนการนั้นจะใช้รับสัญญาณจาก LEVEL TRANSMITTER ซึ่งสัญญาณจาก LEVEL TRANSMITTER นั้นจะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ และแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า 1-5 VDC โดยใช้ค่าความต้านทาน 250 โอห์ม แบบ 1 %

สำหรับส่วนเอาต์พุตจากคาร์ดิอินเทอร์เฟสนั้นจะส่งสัญญาณ 0-10 VDC เพื่อนำไปควบคุมวาล์วควบคุม โดยใช้ SIGNAL CONVERTER แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-10 VDC ไปเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์

### 3.6 การพัฒนาด้านซอฟต์แวร์

ในการทดลองได้ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก เนื่องจากวิชวลเบสิกเป็นภาษาที่ง่ายต่อการเขียน การทำความเข้าใจ และสามารถพัฒนาได้ง่าย โดยในการออกแบบโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

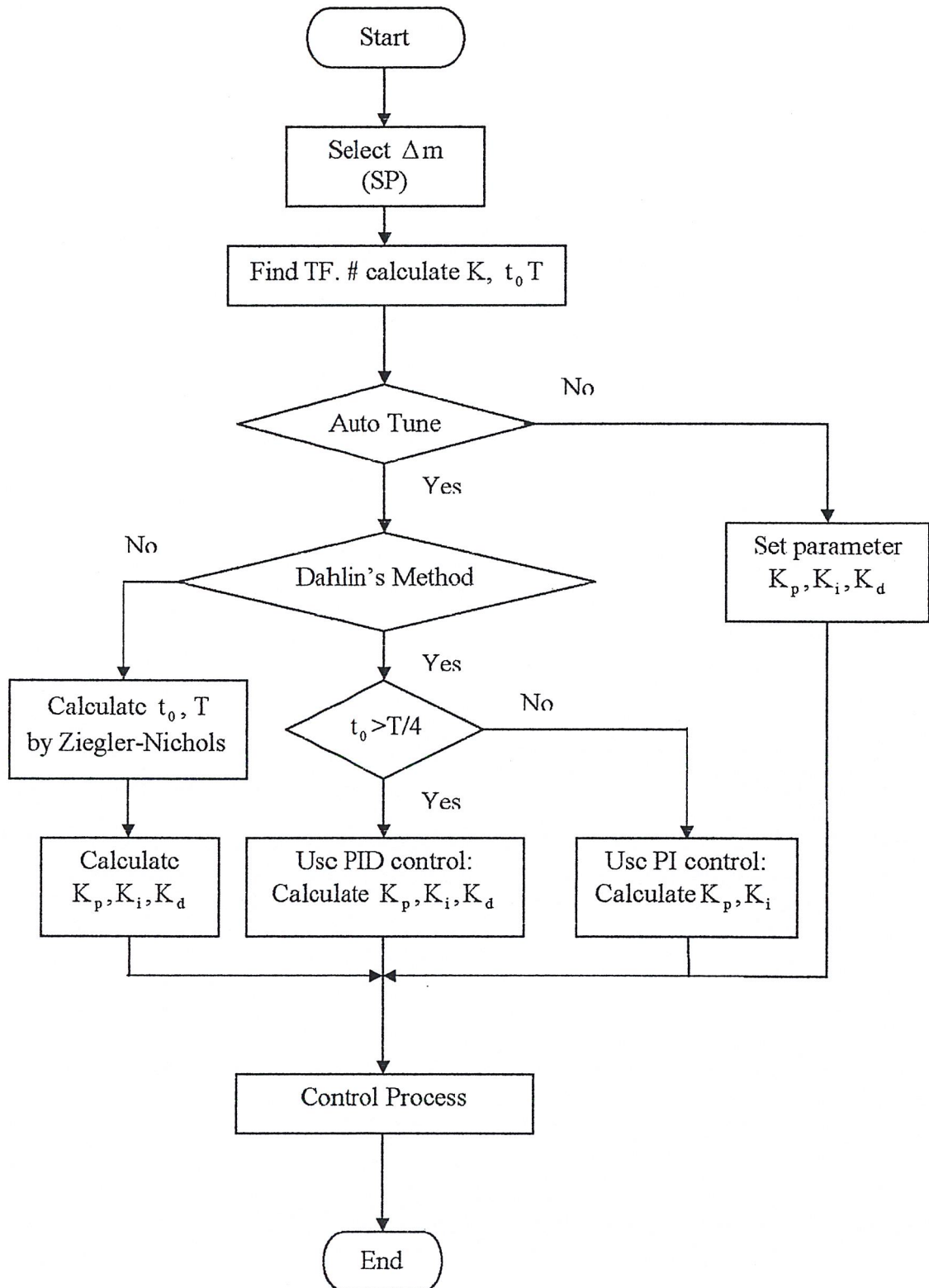
1. ส่วนติดต่อและควบคุมคาร์ดิอินเทอร์เฟส
2. ส่วนแสดงผลการทำงานขึ้นบนจอภาพ

### 3.7 การออกแบบตัวควบคุม

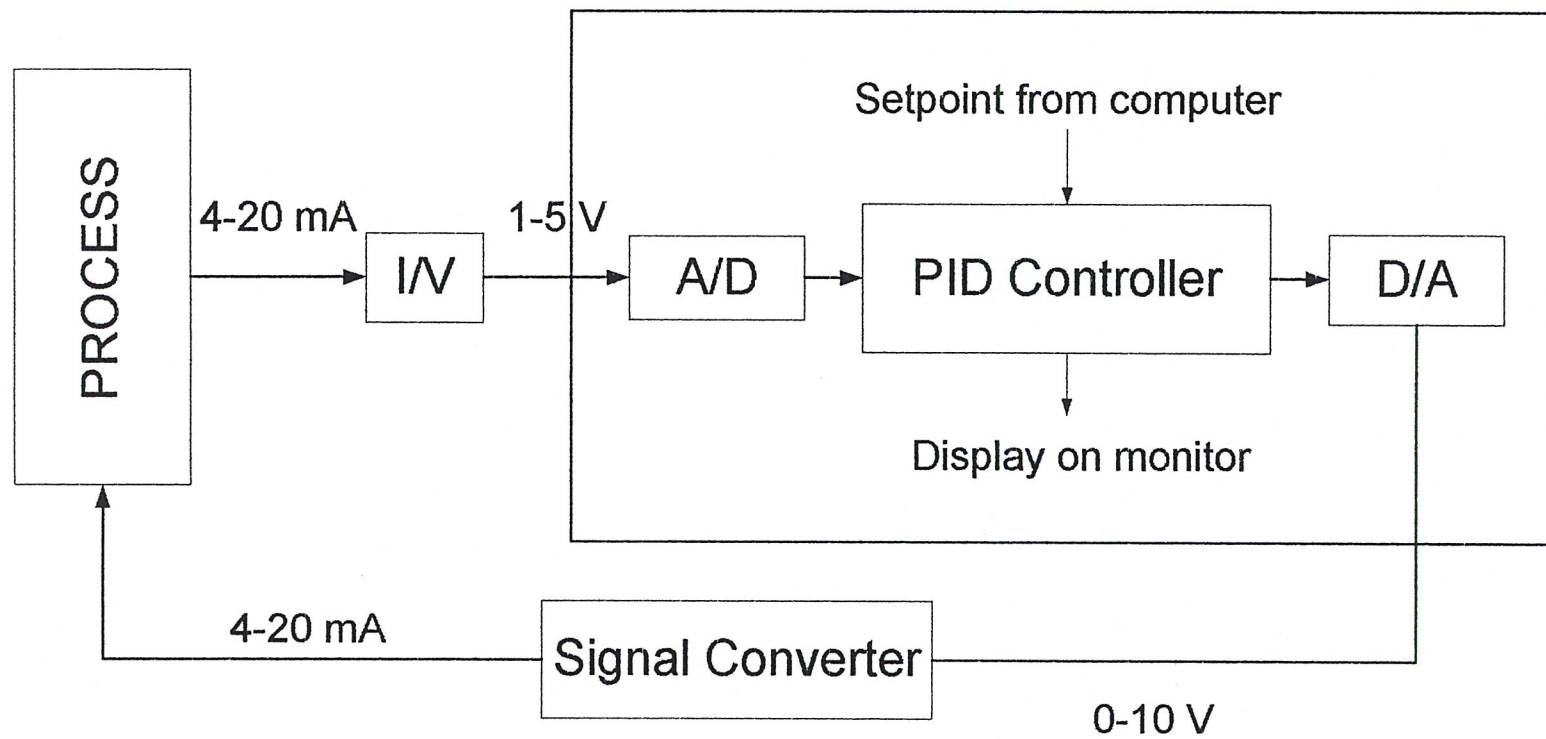
ระบบของของเหลวจำลองที่ใช้ในการควบคุมนี้ ได้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่ควบคุม ซึ่งสามารถวิเคราะห์และปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับกระบวนการอย่างอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก สัญญาณผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการในลักษณะของแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลต์ จะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ผ่านการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วยคาร์ดิอินเทอร์เฟส ET-PCDIO เพื่อทำการวิเคราะห์และคอมพิวเตอร์จะส่งค่าการควบคุมผ่านคาร์ดิอินเทอร์เฟส ET-PCDIO อีกครั้ง เป็นสัญญาณ 0-10 โวลต์ และถูกส่งไปยัง Signal converter เพื่อแปลงสัญญาณเป็นกระแสขนาด 4-20 มิลลิแอมป์ ให้กับกระบวนการ

ในการหาคุณลักษณะของกระบวนการจะทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณขั้นบันไดให้กับกระบวนการ โดยสามารถเลือกขนาดสัญญาณได้ตามความเหมาะสม เมื่อกระบวนการเข้าสู่สถานะคงที่แล้ว จะสามารถหาค่า  $K, \tau, t_0$  ได้จากโปรแกรมการคำนวณตามวิธี Fit 3 จากนั้นผู้ใช้ก็สามารถเลือกวิธีการ tune แบบอัตโนมัติได้ ซึ่งมี 2 วิธี คือ วิธีของ Dahlin และ Ziegler- Nichol บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะทำการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงผล

ค่า  $K_p, K_i, K_d$  บนหน้าจอภาพ และนำไปใช้ในส่วนของการควบคุม ดังแสดงในผังขั้นตอนการทำงานรูปที่ 3.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.13 ผังขั้นตอนการทำงาน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram of Process Control

รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ

## บทที่ 4

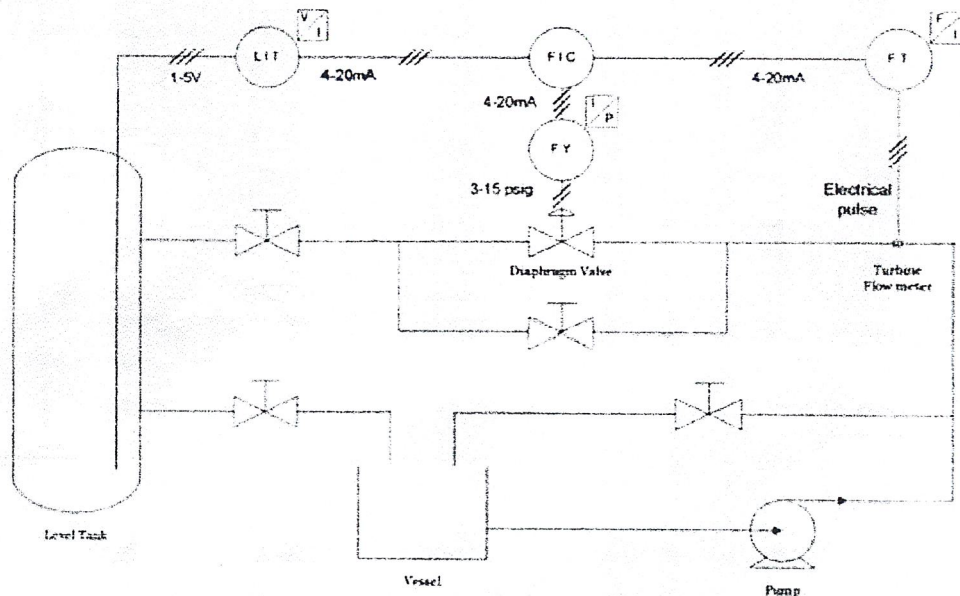
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี เพื่อนำไปใช้กับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ โดยให้ผลตอบสนองของระบบที่ค่าเป้าหมายต่างๆที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีจากเครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ในที่นี้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่คอมพิวเตอร์นำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการจะคำนวณโดยเลือกใช้วิธีของคาล์ลันและซิกเลอร์-นิโคลนนั่นเอง

#### 4.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ

การทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยจะทดลองทั้งวิธีของคาล์ลันและซิกเลอร์-นิโคล ซึ่งจะใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำโดยโครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับน้ำนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

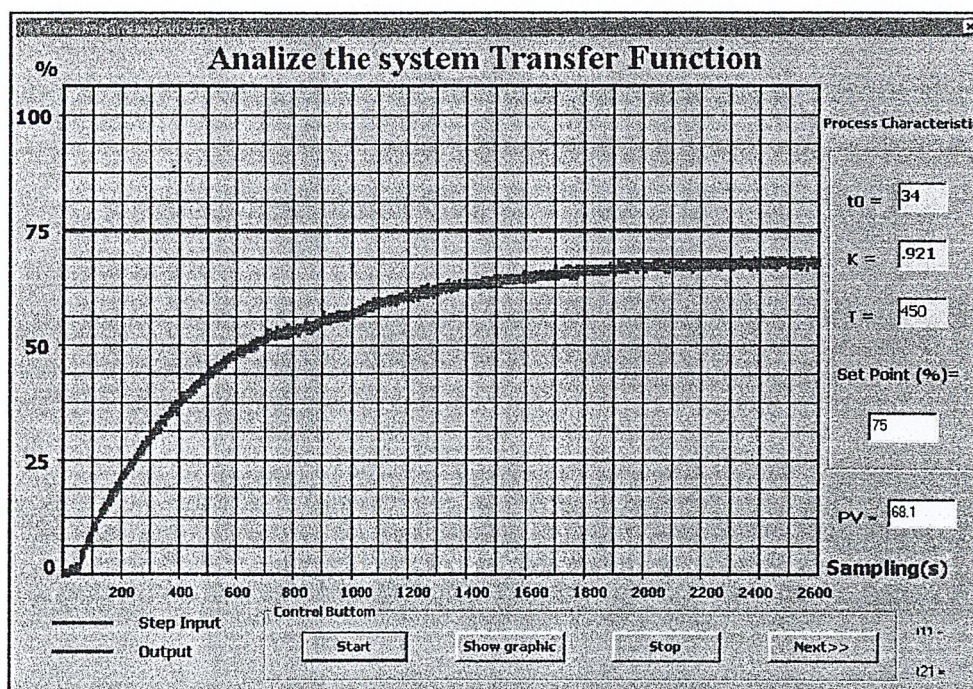


รูปที่ 4.1 แสดง โครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของการทดลองจะเริ่มจากปั๊มจะทำหน้าที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำ (Vessel) ขึ้นไปตามท่อตลอดระยะเวลาในการทดลองซึ่งน้ำที่ถูกสูบจะถูกส่งไปยังถังกระบวนการ (Level Tank) ผ่านตัววาล์วควบคุม โดยเริ่มแรกวาล์วควบคุมจะปิดสนิทจนกว่าจะได้รับสัญญาณระดับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะทำการป้อนสัญญาณระดับที่ 75% (7.5 โวลต์) ผ่านการ์ดอินเทอร์เฟซและผ่านตัวแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส (Voltage to Current) เพื่อแปลงสัญญาณที่ระดับ 75% ไปเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 14 มิลลิแอมป์ โดยจะถูกจ่ายให้กับตัวแปลงสัญญาณกระแสเป็นความดันลม (Current to Pneumatic) เพื่อสั่งให้วาล์วเปิด 75% น้ำที่ถูกสูบก็จะสามารถไหลเข้าสู่กระบวนการได้ ซึ่งระดับน้ำในถังจะถูกวัดโดย LT (Level Transmitter) โดยจะให้สัญญาณ 4-20 มิลลิแอมป์ และสัญญาณกระแสนี้จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันโดยผ่านความต้านทาน 250 โอห์ม และป้อนกลับมาเป็นสัญญาณอินพุทให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะเริ่มจับเวลาของผลตอบสนองของกระบวนการเพื่อทำการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอคิตต่อไป เมื่อเสร็จสิ้นแล้วก็จะแสดงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการได้ดังนี้

$$K = 0.921, t_0 = 34 \text{ sec}, \tau = 450 \text{ sec}$$



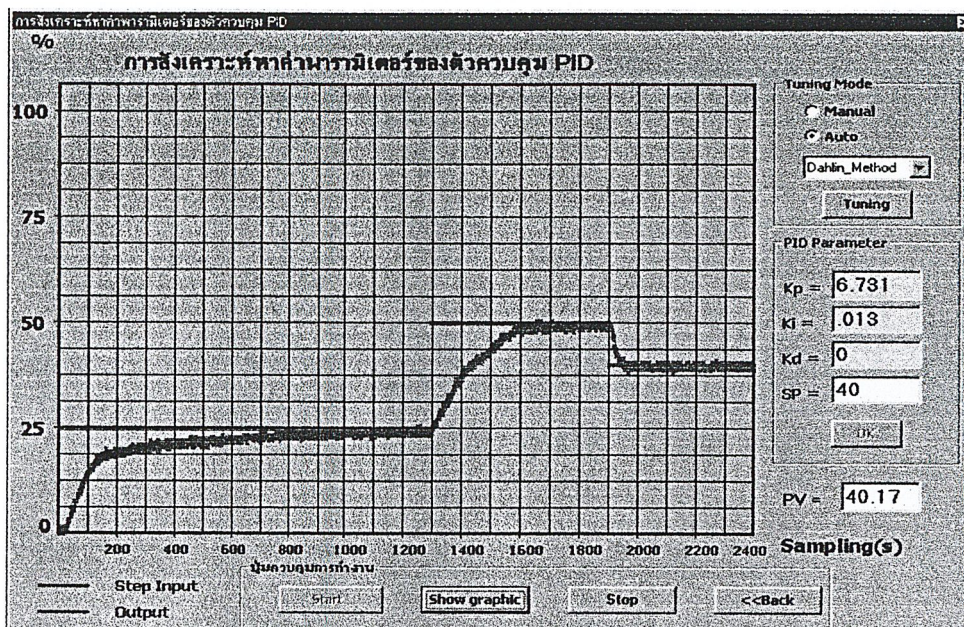
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.2 การหาพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ โดยใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังได้ประโยชน์จากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยป้อนสัญญาณระดับที่ค่าเป้าหมาย 75%

ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับจากค่าควบคุมแต่ละค่าเป้าหมาย (Setpoint) จะแสดงดังรูปโดยที่

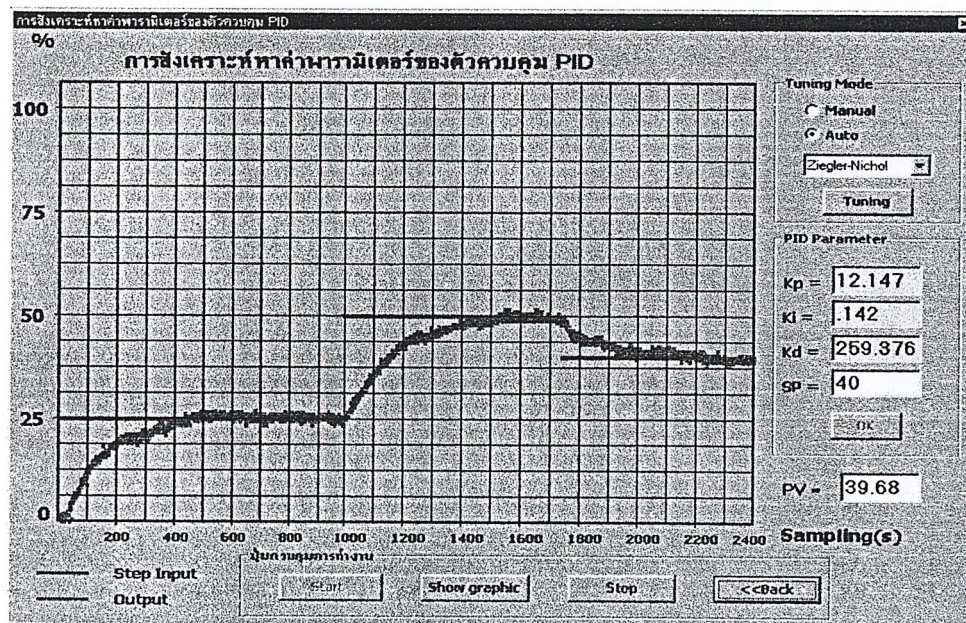
- รูปที่ 4.3 แสดงการควบคุมที่ระดับเป้าหมายที่ 75% ด้วยวิธีการของคาล์ลิน
- รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของระบบที่ค่าเป้าหมายที่ 75% ด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล
- รูปที่ 4.5 จะแสดงผลตอบสนองของระบบด้วยวิธีการของคาล์ลินที่ค่าเป้าหมายที่ 25% และทำการเปลี่ยนระดับการควบคุมไปที่ 50% และทำการเปลี่ยนเป็น 40%
- รูปที่ 4.6 จะแสดงผลตอบสนองของระบบด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลที่ค่าเป้าหมายที่ 25% และทำการเปลี่ยนระดับการควบคุมไปที่ 50% และทำการเปลี่ยนเป็น 40%
- รูปที่ 4.7 จะแสดงการควบคุมที่ระดับเป้าหมาย 50% โดยเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวได้ทำการใส่สัญญาณรบกวนเป็นปริมาณน้ำขนาดประมาณ 2 ลิตร (วิธีการของคาล์ลิน)
- รูปที่ 4.8 จะแสดงการควบคุมที่ระดับเป้าหมาย 50% โดยเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวได้ทำการใส่สัญญาณรบกวนเป็นปริมาณน้ำขนาดประมาณ 2 ลิตร (วิธีการของซิกเลอร์-นิโคล)
- รูปที่ 4.9-4.10 แสดงการควบคุมที่ระดับเป้าหมายต่ำสุด (10%) และสูงสุด (90%) ตามลำดับ โดยที่สามารถควบคุมได้โดยวิธีการของคาล์ลิน
- รูปที่ 4.11-4.12 แสดงการควบคุมที่ระดับเป้าหมายต่ำสุด (5%) และสูงสุด (85%) ตามลำดับ โดยที่สามารถควบคุมได้โดยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล
- รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอกกราฟฟิการควบคุมระดับน้ำ

โดยจะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการได้ทั้งวิธีของคาล์ลินและวิธีของซิกเลอร์-นิโคล



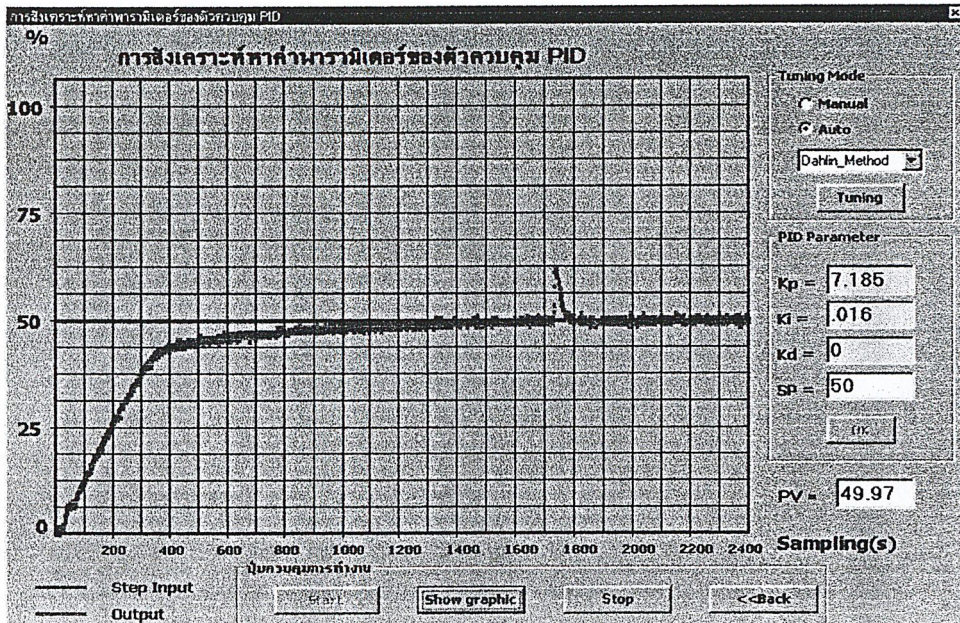


รูปที่ 4.5 แสดงผลการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 25% และทำการเปลี่ยนค่าระดับที่ควบคุมไปที่ 50 % และเปลี่ยนระดับที่ควบคุมไปอีกที่ 40% โดยวิธีการควบคุมแบบคาค์ลิน

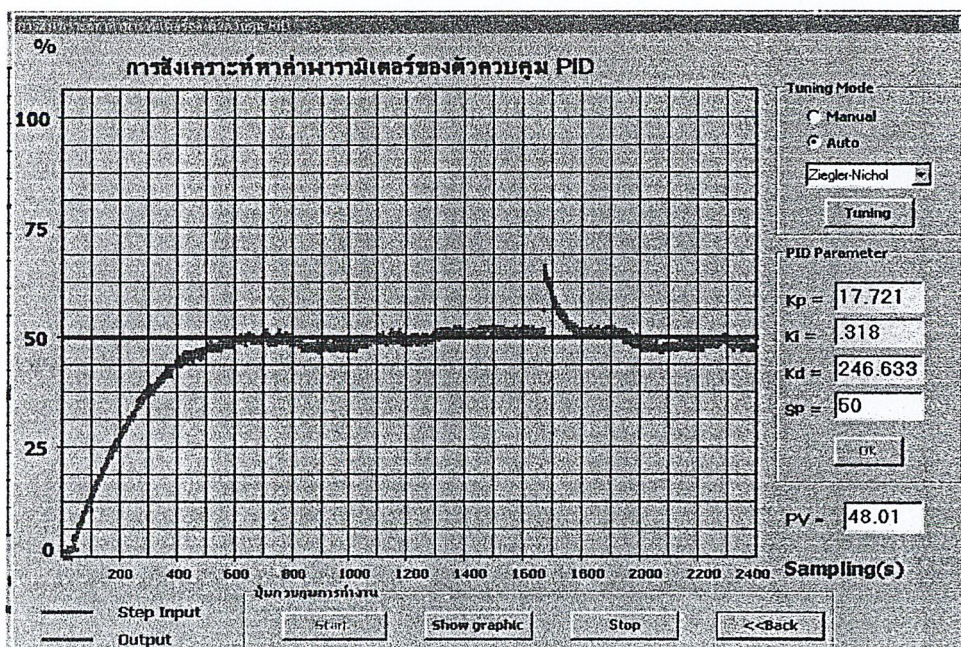


รูปที่ 4.6 แสดงผลการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 25% และทำการเปลี่ยนค่าระดับที่ควบคุมไปที่ 50 % และเปลี่ยนระดับที่ควบคุมไปอีกที่ 40% โดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

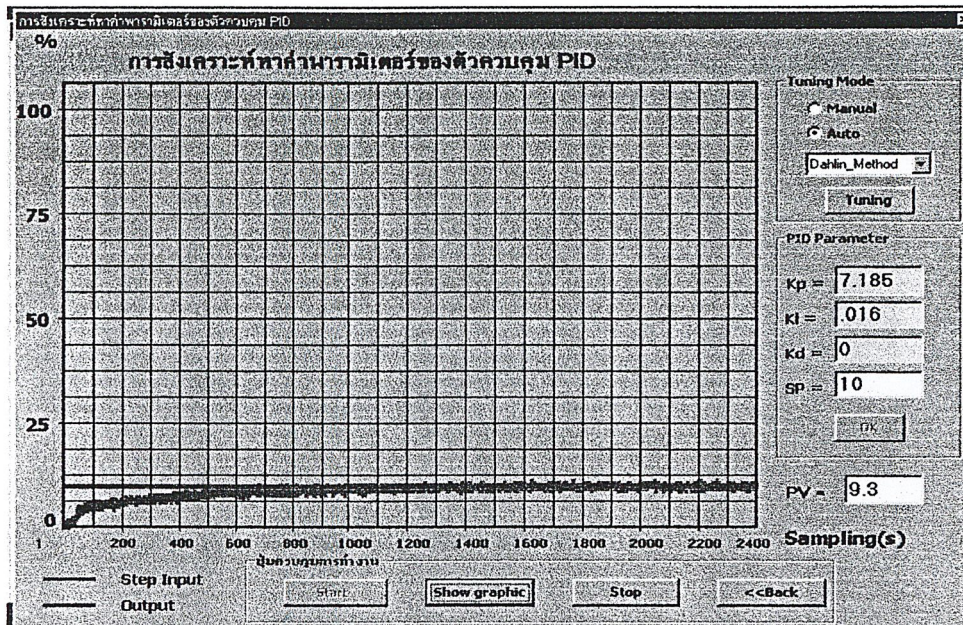


รูปที่ 4.7 ผลการควบคุมระดับน้ำโดยใส่สัญญาณรบกวน (Step Disturbance) ที่ค่าเป้าหมาย 50%  
โดยวิธีการควบคุมแบบคาล์ลิน

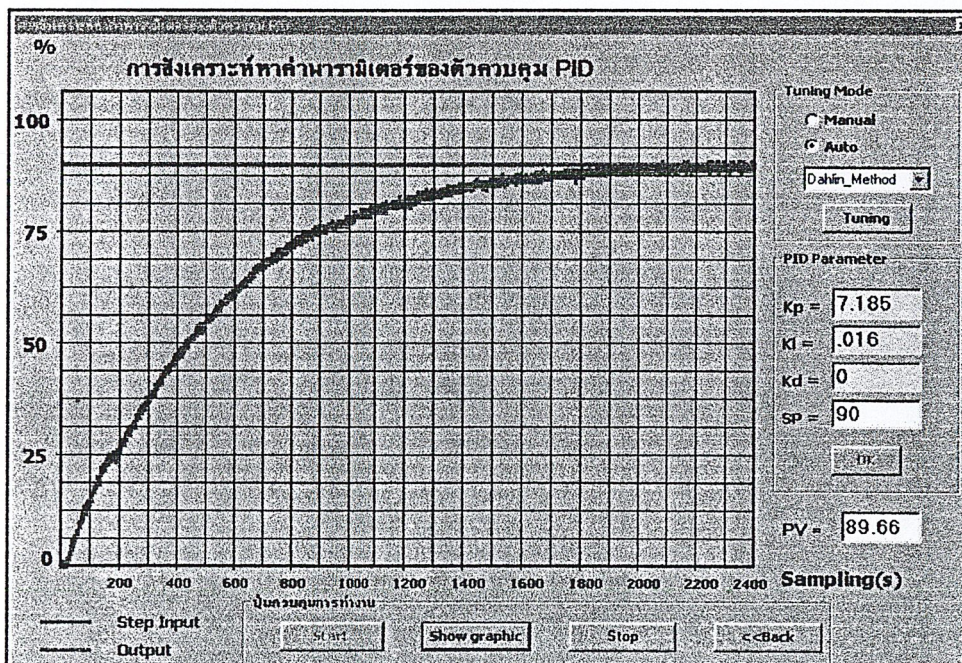


รูปที่ 4.8 ผลการควบคุมระดับน้ำโดยใส่สัญญาณรบกวน (Step Disturbance) ที่ค่าเป้าหมาย 50%  
โดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานำไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

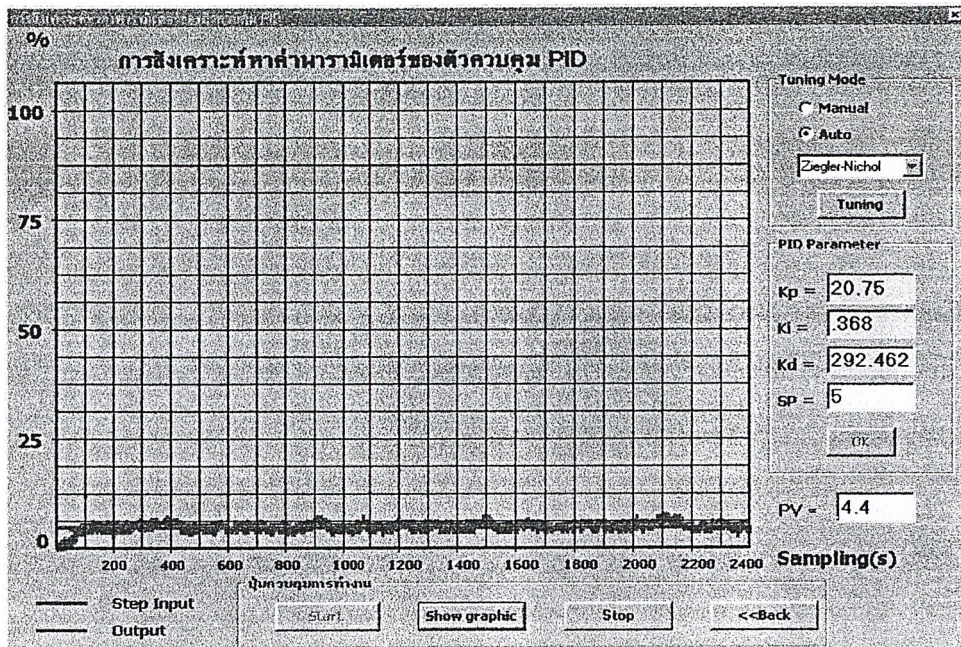


รูปที่ 4.9 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุด โดยวิธีการควบคุมแบบค่าหัดลินสำหรับกระบวนการควบคุม  
ระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 10%

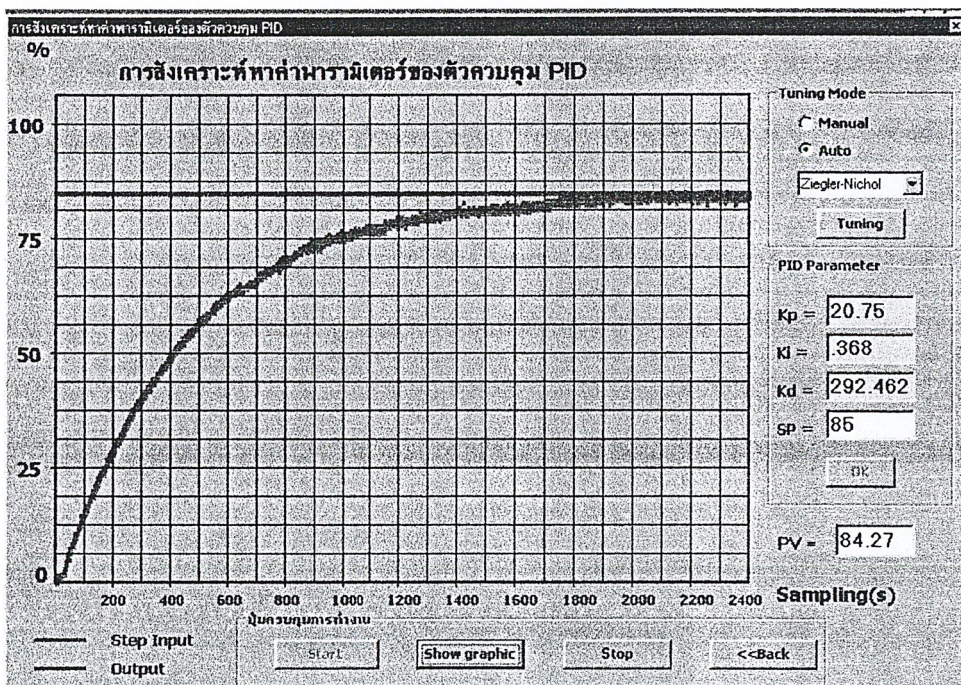


รูปที่ 4.10 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุด โดยวิธีการควบคุมแบบค่าหัดลินสำหรับกระบวนการควบคุม  
ระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 90%

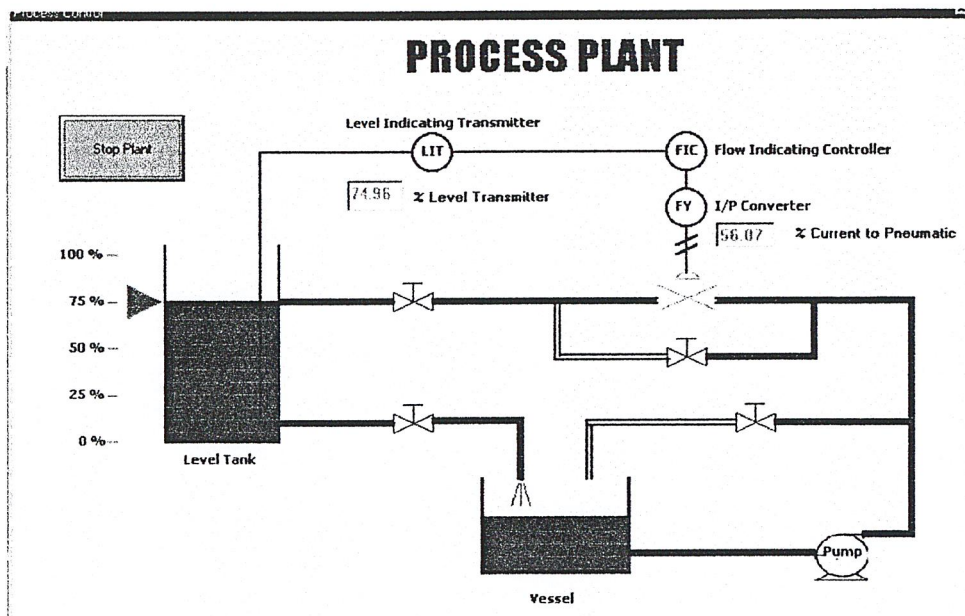
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าระดับควบคุมที่ต่ำสุดโดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคลสำหรับกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 5 %



รูปที่ 4.12 แสดงค่าระดับควบคุมที่สูงสุดโดยวิธีการควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคลสำหรับกระบวนการ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 85 % อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอกราฟฟิกการควบคุมระดับน้ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยวิธีด่าห์ลินกับซิกเลอร์-นิโคล

Parameter	Method	Dahlin	Ziegler-Nichols
Proportional Gain ( $K_p$ )		7.185	20.75
Integral ( $K_i$ )		0.016	0.368
Derivative ( $K_d$ )		0	292.462

หมายเหตุ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้น ได้จากการทดสอบการควบคุมระดับน้ำที่ 75% ของ Level Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของระบบควบคุมระดับน้ำและการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องใช้การแปลงสัญญาณดิจิทัลกับสัญญาณอนาล็อกซึ่งทำได้โดยใช้การ์ดอินเตอร์เฟส ET-PCDIO ในการแปลงสัญญาณเพื่อควบคุมกระบวนการ ใช้ภาษาวิซวลเบสิกเขียนโปรแกรมเพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเคิแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมไปใช้ในการควบคุมระดับน้ำในกระบวนการควบคุมได้ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การควบคุมระดับน้ำที่ระดับ 75% โดยวิธีของดาห์ลินจะให้ผลตอบสนองที่ช้ากว่าวิธีของซิกเลอร์-นิโคล เนื่องจากค่า  $K_p$  ที่ทำการ Auto Tune ด้วยวิธีของดาห์ลินจะมีค่าน้อยกว่าวิธีของซิกเลอร์-นิโคลจึงทำให้ระดับน้ำที่ต้องการควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้ากว่าการใช้ค่าตัวควบคุมโดยวิธีของซิกเลอร์-นิโคล
2. จากการทดลองปรับค่า set point ของระดับน้ำเป็นระดับอื่นๆ แล้วพบว่าการควบคุมทั้งวิธีของดาห์ลินและซิกเลอร์-นิโคลสามารถควบคุมระดับน้ำให้เข้าสู่ set point ใหม่ได้ไม่ว่าจะเพิ่มระดับ setpoint หรือลดระดับ set point
3. จากการทดลองใส่ Disturbance เป็นน้ำปริมาตร 2 ลิตร ลงใน Level Tank ในขณะที่ระบบเข้าสู่ Steady State แล้ว พบว่าการควบคุมทั้ง 2 วิธีสามารถควบคุมระดับน้ำให้เข้าสู่ระดับ set point ได้ดังเดิม โดยวิธีของ Dahlin จะสามารถควบคุมให้ระดับน้ำเข้าสู่ set point ได้เร็วกว่าวิธีของ Ziegler-Nichols
4. สำหรับระบบการควบคุมระดับน้ำนี้ได้ทำการทดลองแล้วพบว่าเมื่อใช้การควบคุมแบบดาห์ลินจะสามารถควบคุมระดับน้ำได้ตั้งแต่ 10% - 90% ของระดับน้ำใน Level Tank แต่ถ้าเป็นการควบคุมโดยวิธีของซิกเลอร์-นิโคลจะสามารถควบคุมระดับน้ำได้ตั้งแต่ 5% - 85% ของระดับน้ำใน Level Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ET - PCDIO**

ETT CO.,LTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ET - DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD

### ET - PCDIO CARD

#### ลักษณะทั่ว ๆ ไปของ ET-DIO CARD

ET-DIO CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับเครื่อง PC เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุต ให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง ET-DIO CARD สามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปแบบของ ANALOG และ DIGITAL ทำให้มีความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่ง ET-DIO CARD มีอุปกรณ์ร่วมและมีจุดเด่น ๆ ของตัวมันเองดังนี้คือ

-มี IC 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERAL INTERFACE) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตตามความต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 BITS I/O ในรูปของสัญญาณ DIGITAL นั้นเอง

-มี IC 8253 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER) จำนวน 1 ตัว ทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น

1. โปรแกรมให้ทำงานเป็นวงจรสร้างฐานเวลาแบบต่าง ๆ
2. โปรแกรมให้เป็นวงจรนับแบบต่าง ๆ
3. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ INTERRUPT ให้เครื่อง PC
4. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ SQUARE WARE
5. โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างความถี่

ซึ่ง IC 8253 นี้มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนล ทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ

-มี IC ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTER) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ ADC0804 (8 BIT) หรือ ADC1001 (10 BITS) ซึ่งทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับ หรือการวัดสัญญาณหรือรับสัญญาณอินพุตในรูปของสัญญาณ ANALOG ได้ 1 CHANNEL ซึ่งขนาดของสัญญาณ ANALOG ที่รับเข้าสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรขยายย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้ ET-DIO CARD สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น

1. เครื่องวัดแรงดัน
2. เครื่องวัดกระแส
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความต้านทาน
5. เครื่องวัดความจุ

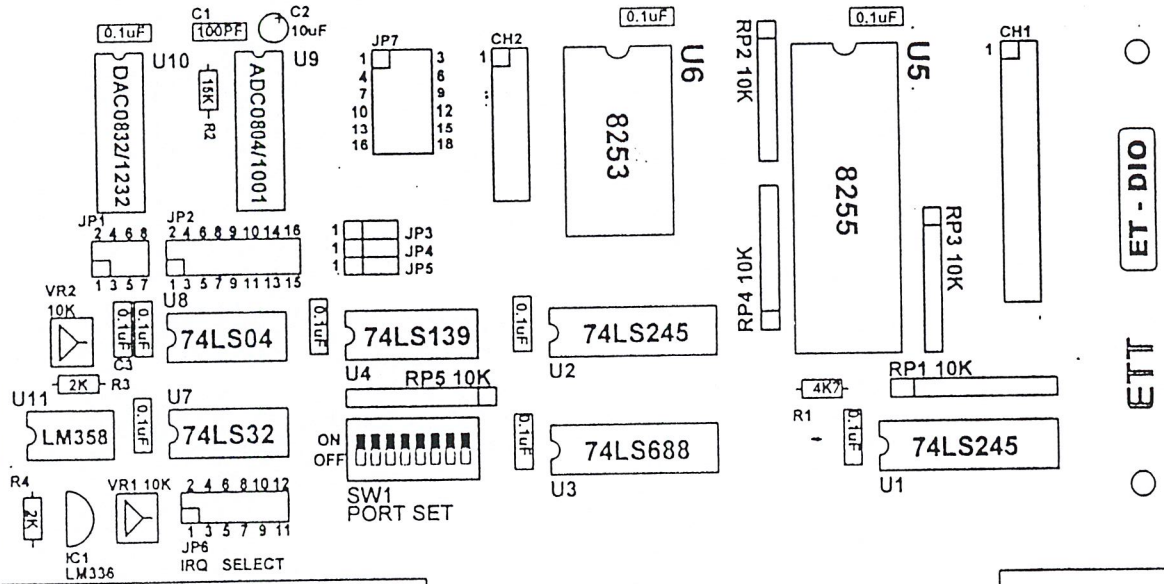
ซึ่งผลของการวัดแบบต่าง ๆ สามารถที่จะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือแสดงผลในรูปแบบอื่น ๆ ได้ตามต้องการโดยผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเอง

-มีไอซี DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTER) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 BIT) หรือ DAC1232 (12 BIT) ซึ่งเลือกได้โดยการ SET JUMPER JP1 (ดูรายละเอียดเรื่องการ SETUP JUMPER) ทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ โดยส่งสัญญาณในรูปของ ANALOG ออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งขนาดของสัญญาณ ANALOG มีวงจร OP-AMP เพื่อขยายขนาดของสัญญาณอยู่แล้วซึ่งผู้ใช้สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0V-10.66 VDC

-มีวงจรถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งาน ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งานได้ง่ายโดยการ SET DIP-SWITCH ทำให้มีความอ่อนตัวในการใช้งานและสามารถที่จะจํา ET-DIO CARD ต่อร่วมกับเครื่อง PC ได้มากกว่า 1 CARD โดยกำหนดพอร์ตใช้งานที่แตกต่างกัน (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ DECODE PORT)

-มี WORKING AREA มากถึง 5 CM x 9 CM ทำให้มีพื้นที่ว่างใช้งานมากยิ่งขึ้นจึงทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานต่อวงจรหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้มากมายและสะดวกยิ่งขึ้น

WORKING AREA



ET - DIO

ETT

## การ DECODE PORT

ตำแหน่งของพอร์ต บน ET-DIO CARD จะใช้ IC TTL 74LS688 (U3) 74LS139 (U4) 74LS32 (U7) SWITCH DIP-8 (SW1) ต่อร่วมกันเป็นวงจร DECODE PORT โดยใช้ SWITCH1 เป็นตัวกำหนดเบอร์ พอร์ต ตามความต้องการของผู้ใช้โดยใน ET-DIO CARD จะใช้ตำแหน่งของพอร์ต 12 พอร์ต คือ

XX0H = PORT PA ของ 8255  
XX1H = PORT PB ของ 8255  
XX2H = PORT PC ของ 8255  
XX3H = PORT CONTROL ของ 8255  
XX4H = PORT COUNTER 0 ของ 8253  
XX5H = PORT COUNTER 1 ของ 8253  
XX6H = PORT COUNTER2 ของ 8253  
XX7H = PORT CONTROL ของ 8253  
XX8H = PORT CONTROL ของ DAC  
XX9H = PORT CONTROL ของ DAC  
XXAH = PORT CONTROL ของ ADC  
XXBH = PORT CONTROL ของ ADC

เราสามารถที่จะกำหนดพอร์ตได้โดยการกำหนดระดับ LOGIC ให้กับตำแหน่ง ADDRESS นั้น ๆ ตามความต้องการซึ่งบน ET-DIO CARD สามารถที่จะกำหนดระดับของ LOGIC ให้กับตำแหน่ง ADDRESS ได้ ๆ โดยใช้ SWITCH1 ซึ่งหาก ON SWITCH จะได้ระดับ LOGIC "0" หาก OFF SWITCH จะได้ระดับ LOGIC "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

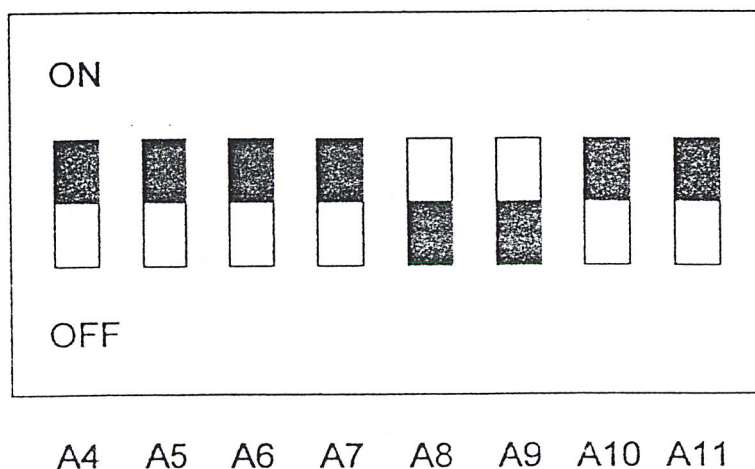
ตัวอย่าง เช่น ถ้าเราต้องการกำหนดตำแหน่ง PORT ADDRESS เป็น 300H สามารถที่จะทำได้ดังนี้คือ

1. กำหนดระดับ LOGIC ให้กับ ADDRESS ต่าง ๆ ให้เท่ากับ 300H คือ

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	1	1	0	0	0	0	X	X	X	X
3				0				0			

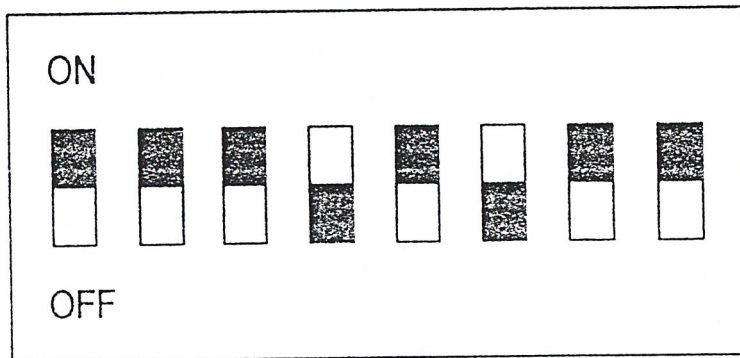
จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง PORT 300H เราต้องให้ LOGIC "1" กับตำแหน่ง ADDRESS A8,A9 และต้องให้ LOGIC "0" กับ ADDRESS A11,A10,A7, A6,A5,A4 (ซึ่ง A4-A11 ถูกต่อไว้กับ DIP-SWITCH SW1) ส่วน A0-A3 ถูก DECODE ด้วยไอซี 74LS139 อีกทีหนึ่ง ดังนั้น SW1 จึงมีหน้าเลือก ADDRESS เพียงสองหลักเท่านั้น

2. SET SWITCH เพื่อกำหนด LOGIC ให้ตำแหน่ง ADDRESS ตามข้อ 1



ถ้าต้องการกำหนดตำแหน่ง ADDRESS 280H จะได้

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	1	0	1	0	0	0	X	X	X	X
		2				8					0



A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11

ซึ่งเมื่อเรากำหนดให้ ET-DIO CARD มีค่าตำแหน่งเท่าได้แล้วการใช้งานอุปกรณ์ใด ๆ บน ET-DIO CARD ต้องอ้างตำแหน่งนั้น ๆ เสมอ เช่น เรากำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ตำแหน่ง 300H (ON SWITCH ที่ตำแหน่ง 1,2,3,4,7,8 และ OFF SWITCH ที่ตำแหน่ง 5,6) จะมีผลทำให้เบอร์ PORT เป็นดังนี้คือ

- 300H = PORT PA ของ 8255
- 301H = PORT PB ของ 8255
- 302H = PORT PC ของ 8255
- 303H = PORT CONTROL ของ 8255
- 304H = PORT COUNTER0 ของ 8253
- 305H = PORT COUNTER1 ของ 8253
- 306H = PORT COUNTER2 ของ 8253
- 307H = PORT CONTROL ของ 8253
- 308H = PORT CONTROL ของ DAC
- 309H = PORT CONTROL ของ DAC
- 30AH = PORT CONTROL ของ ADC
- 30BH = PORT CONTROL ของ ADC

I/O ADDRESS MAP

Hex Range	Usage
000H – 00FH	DMA Chip 8237A – 5
020H – 021H	Interrupt 8259A
040H – 043H	Timer 8253 – 5
060H – 063H	PPI 8255A – 5
080H – 083H	DMA Page Registers
0AX*	NMI Mask Register
0CX	Reserved
0EX	Reserved
200H – 20FH	Game Control
210H – 217H	Expansion Unit
220H – 24FH	Reserved
278H – 27FH	Reserved
2F0H – 2F7H	Reserved
2F8H – 2FFH	Asynchronous Communications (Secondary)
300H – 31FH	Prototype Card
320H – 32FH	Fixed Disk
378H – 37FH	Printer
380H – 38CH**	SDLC Communication
380H – 389H**	Binary Synchronous Communications (Sec.)
3A0H – 3A9H	Binary Synchronous Communications (Pri.)
3B0H – 3BFH	IBM Monochrom Display/Printer
3C0H – 3CFH	Reserved
3D0H – 3DFH	Color/Graphics
3E0H – 3E7H	Reserved
3F0H – 3F7H	Diskette
3F8H – 3FFH	Asynchronous Communications (Primary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERAL INTERFACE)

IC 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERAL INTERFACE) เป็นไอซีประกอบด้วยพอร์ตใช้งานถึง 3 พอร์ตและ พอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) อีก 1 พอร์ตรวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่งไอซี 8255 สามารถที่จะโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุตได้ทั้ง 3 พอร์ต หรือ 24 BIT I/O โดยการกำหนดที่พอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) ซึ่งการโปรแกรมเพียงแต่ส่งค่า CONTROL WORD CODE ไปให้พอร์ตควบคุมเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255 ซึ่งมีรายละเอียดและตัวอย่างการโปรแกรมดังนี้คือ

D0 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C ล่าง (PC0 - PC3) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D1 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต B (PBO -PB7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D2 ใช้สำหรับกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C ล่างและพอร์ต B คือ

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 0

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 1

D3 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C บน (PC4 - PC7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D4 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต A (PA0 - PA7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D6,D5 ใช้สำหรับกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C บนและพอร์ต A คือ

ถ้าเป็น 00 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 0

ถ้าเป็น 01 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 1

ถ้าเป็น 1X หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 2

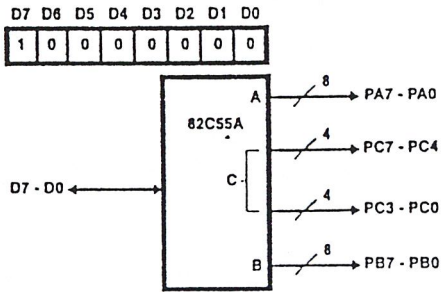
D7 ใช้สำหรับกำหนด MODE SET FLAG คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึง ACTIVE ซึ่งต้องกำหนดให้ BIT นี้เป็น 1 เสมอ

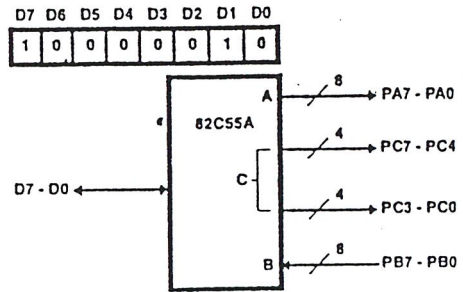
ถ้าเป็น 0 หมายถึง NON-ACTIVE

Mode 0 Configurations

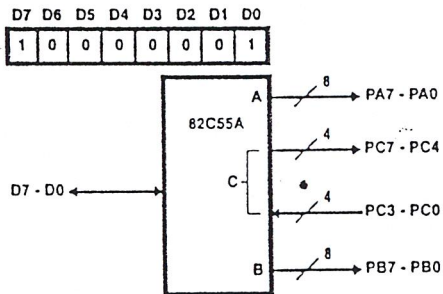
CONTROL WORD #0



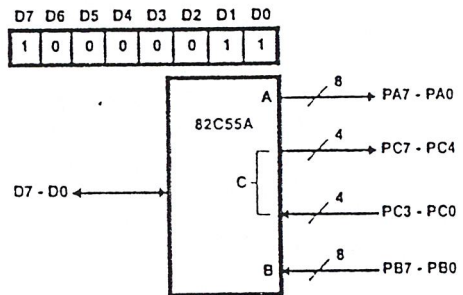
CONTROL WORD #2



CONTROL WORD #1

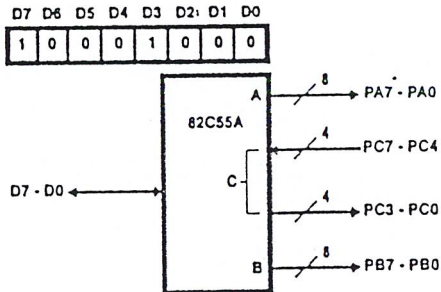


CONTROL WORD #3

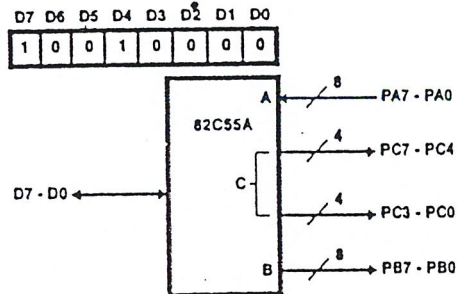


Mode 0 Configurations (Continued)

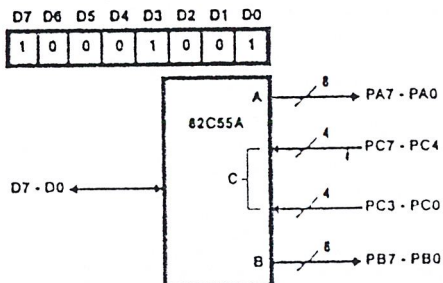
CONTROL WORD #4



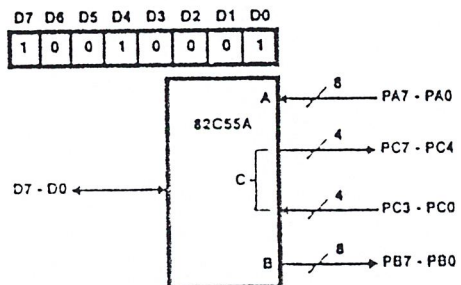
CONTROL WORD #8



CONTROL WORD #5

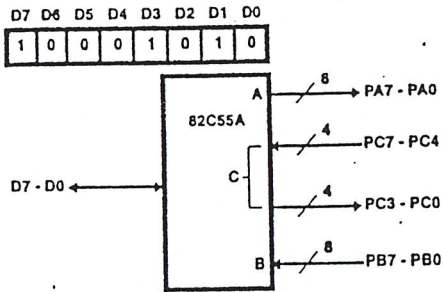


CONTROL WORD #9

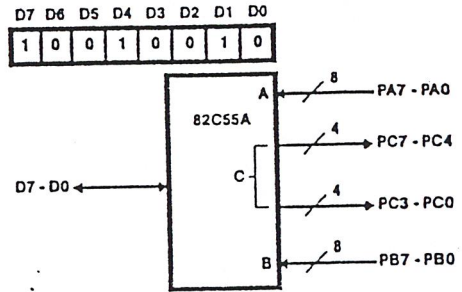


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

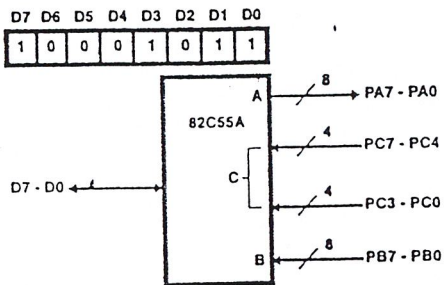
CONTROL WORD #6



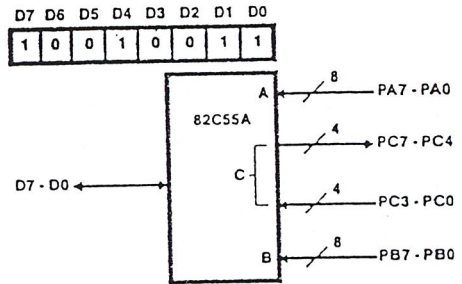
CONTROL WORD #10



CONTROL WORD #7

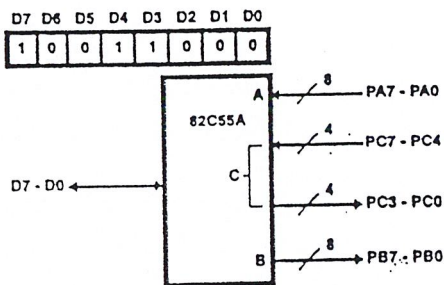


CONTROL WORD #11

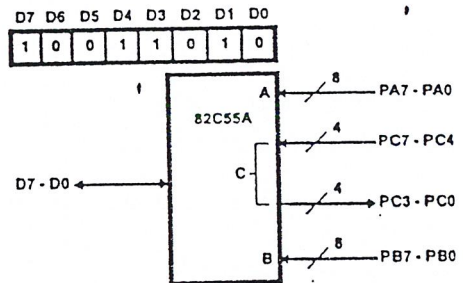


Mode 0 Configurations (Continued)

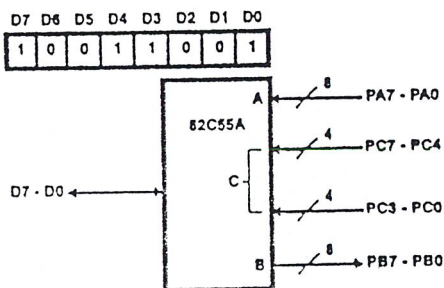
CONTROL WORD #12



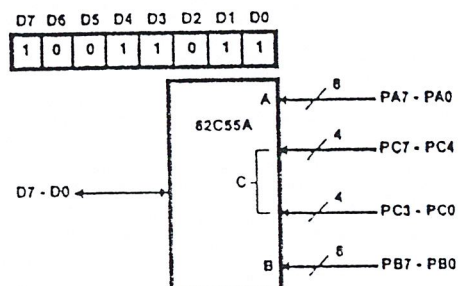
CONTROL WORD #14



CONTROL WORD #13



CONTROL WORD #15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง เช่น เราต้องการให้ทั้ง 3 พอร์ต ของ 8255 (PA,PB,PC) เป็นเอาต์พุตทั้งหมด  
จะได้ CONTROL WORD CODE ดังนี้คือ

D7	D6	D5	D4		D3	D2	D1	D0
1	0	0	0		0	0	0	0

8

0

ดังนั้นจะได้ CONTROL WORD CODE = 80H

เมื่อได้ CONTROL WORD CODE แล้วการโปรแกรมให้ 8255 ทำงานตาม CONTROL WORD CODE ก็เพียงแต่ส่งค่า CONTROL WORD CODE ไปยังพอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) การโปรแกรมจะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

ตัวอย่าง เช่น เราเลือกแอดเดรสของ ET-DIO CARD ไว้ที่ 300H จะได้ตำแหน่งพอร์ต ดังนี้คือ

300H = PORT PA ของ 8255

301H = PORT PB ของ 8255

302H = PORT PC ของ 8255

303H = PORT CONTROL ของ 8255

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ DECODE PORT)

การโปรแกรมทำได้โดยการส่งค่า CONTROL WORD CODE (ในที่นี้คือ 80H) ให้ พอร์ตควบคุม (ในที่นี้ คือ 303H)

ตัวอย่างการโปรแกรมด้วยภาษา PASCAL คือ

```
PORT [$303] := $80;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งาน 8253 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER)

IC 8253 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER) เป็น ไอซีซึ่งประกอบด้วย พอร์ตใช้งาน 3 พอร์ต และพอร์ตควบคุมการทำงาน (CONTROL PORT) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่ง 8253 เหมาะสำหรับการใช้งานในด้านฐานเวลาต่าง ๆ ซึ่งมี INPUT 2 INPUT (CLK และ GATE) และ OUTPUT 1 OUTPUT (OUT) ต่อ 1 แชนแนล ซึ่งใน 8253 มีให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนลยังแยกการทำงานกันอย่างอิสระ 8253 แต่ละแชนแนลสามารถเลือกการทำงานได้ 6 โหมด การโปรแกรมให้ 8253 ทำงานในโหมดใดนั้นทำได้โดยการส่งค่า CONTROL WORD ให้กับ REGISTER MODE CONTROL (PORT CONTROL 8253) ซึ่งมีรายละเอียดการโปรแกรมดังนี้คือ

บิต	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
หน้าที่	--SC1	SC0	RL1	RL0	M2	M1	M0	RCD

บิต D7,D6 (SC1,SC0):

SELECT COUNTER ใช้สำหรับเลือกแชนแนลที่ต้องการ คือ

SC1	SC0	แชนแนลที่ถูกเลือก
0	0	แชนแนล 0
0	1	แชนแนล 1
1	0	แชนแนล 2
1	1	-

BIT D5,D4 (RL1,RLO) :

READ/LOAD ใช้สำหรับกำหนดไบต์ในการอ่าน/เขียนข้อมูล

RL1	RLO	หน้าที่
0	0	ทำการแลทซ์ค่าในรีจิสเตอร์ – เคาน์เตอร์
0	1	อ่าน / เขียน เฉพาะข้อมูลใน 8 บิต ล่าง (LSB)
1	0	อ่าน / เขียน เฉพาะข้อมูลใน 8 บิต บน (MSB)
1	1	อ่าน / เขียน ข้อมูลทั้ง 16 บิต โดยเริ่มจาก 8 บิต ล่างก่อน จากนั้นจึงอ่าน / เขียนข้อมูลใน 8 บิต บน

บิต D3,D2,D1 (M2 , M1 , M0) :

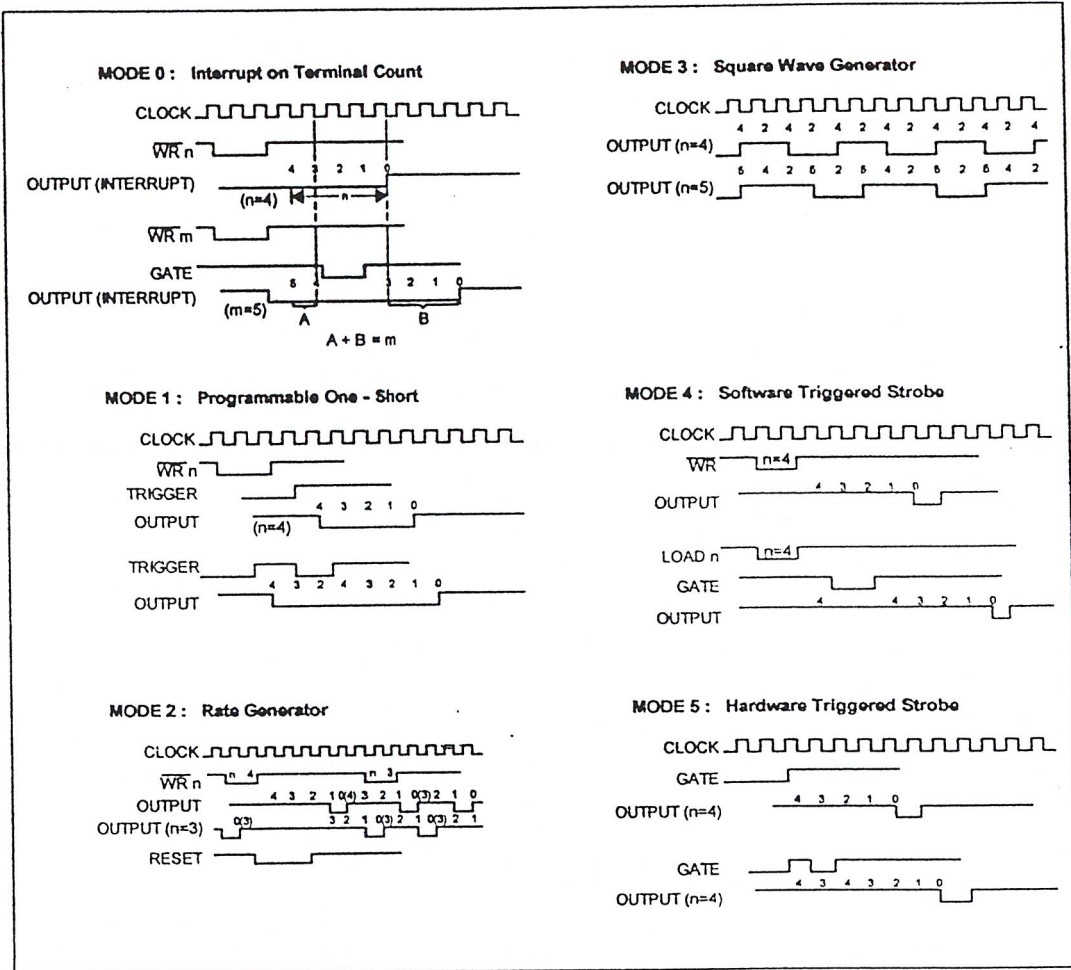
MODE ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของ 8253 คือ

M2	M1	M0	โหมดการทำงาน
0	0	0	โหมด 0 : Interrupt On Terminal
0	0	1	โหมด 1 : Programmable One-Shot
X	1	0	โหมด 2 : Rate Generator
X	1	1	โหมด 3 : Square Wave Generator
1	0	0	โหมด 4 : Software Trigger Strobe
1	0	1	โหมด 5 : Hardware Trigger Strobe

BCD : ใช้กำหนดลดค่าข้อมูลใน รีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์ กล่าวคือ

ถ้าเป็น 1 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์จะถูกลดแบบ BCD

ถ้าเป็น 0 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เค้าน์เตอร์จะถูกลดแบบ BINARY



UM8253 Timing Diagrams

ตัวอย่าง เช่น เราต้องการให้ แชนแนล 0 ทำงานในโหมด 0 (INTERRUPT) จะได้ CONTROL WORD ดังนี้คือ

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	1	0	0	0	0

ดังนั้นจะได้ CONTROL WORD = 10H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงหมายเลขและการใช้งานอินเทอร์รัพต์

หมายเลข Int	การใช้งาน
\$0	สงวนไว้สำหรับกรณิหารด้วยศูนย์
\$1	สงวนไว้เพื่อการทำงานจิงหวะเดียว (สำหรับ DEBUG)
\$2	HARD WARE INTERRUPT แบบ NMI (PARITY ERROR)
\$3	สงวนไว้สำหรับจุด BREAK POINT
\$4	สงวนไว้สำหรับกรณีเลขล้นหลัก (OVERFLOW)
\$5	สำหรับพิมพ์หน้าจอ (PRINT SCREEN)
\$6	สงวนไว้
\$7	สงวนไว้
\$8	อินเทอร์รัพต์ตามเวลา (IRQ0)
\$9	อินเทอร์รัพต์ทาง HARDWARE ของ KEY BOARD (IRQ1)
\$A	สงวนไว้สำหรับ HARDWARE (IRQ2)
\$B	สงวนไว้สำหรับช่องการสื่อสารหมายเลข 2 (IRQ3)
\$C	สงวนไว้สำหรับช่องการสื่อสารหมายเลข 1 (IRQ4)
\$D	อินเทอร์รัพต์สำหรับ HARD DISK (IRQ5)
\$E	อินเทอร์รัพต์สำหรับ DISKKET (IRQ6)
\$F	สงวนไว้
\$10	สำหรับควบคุมการแสดงผลหน้าจอ
\$11	ตรวจสอบอุปกรณ์ในระบบ
\$12	ตรวจสอบขนาดของหน่วยความจำ
\$13	สำหรับควบคุมและการอ่านเขียน DISKKET
\$14	สำหรับการรับส่งข้อมูลของพอร์ดอนุกรม
\$15	สำหรับติดต่อกับเทปคาสเซต (เฉพาะไอบีเอ็มพีซี)
\$16	รับข้อมูลจาก KEY BOARD
\$17	ส่งข้อมูลออกไปที่เครื่องพิมพ์
\$18	เรียก ROM BASIC
\$19	บูตสแตร์ปจุดเริ่มต้นของการเรียก DOS
\$1A	เวลาของวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\$1B	สวงนไว้สำหรับการหยุดทำงานโดย KEY BOARD
\$1C	สวงนไว้สำหรับการหยุดทริกเวลา
\$1D	การอ่านพารามิเตอร์สำหรับแสดงผลบนจอ
\$1E	การอ่านพารามิเตอร์ของ DISKKET
\$1F	สำหรับสร้างอักขระกราฟิก

### การใช้งาน ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTER)

IC ADC0804 เป็น IC ทำหน้าที่รับสัญญาณ INPUT ในรูปของ ANALOG แล้วเปลี่ยนเป็น DIGITAL เพื่อส่งให้ CPU ประมวลผล ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อ (INTERFACE) กับอุปกรณ์ภายนอกที่ให้สัญญาณเป็น ANALOG ซึ่ง ET-DIO CARD สามารถรับสัญญาณ ANALOG ได้โดยตรงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยผู้ใช้เพียงเพิ่มเดนมวงจรรขยายย่านวัด เช่นเดียวกับเครื่องวัดทั่ว ๆ ไป ซึ่งขนาดของสัญญาณได้โดยการควบคุมขนาดของ V1- และ VREF/2 ซึ่ง V1- จะเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นหรือค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามาโดยบน ET-DIO CARD ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP4 คือถ้า SHORT JP4 ที่ตำแหน่ง 1-2 (GROUND) จะทำให้สัญญาณเริ่มต้นจาก 0V จนถึง MAXIMUM (ไม่ควรเกิน 5 V) แต่ถ้าผู้ใช้ SHORT JP4 ที่ตำแหน่ง 2-3 จุดเริ่มต้นของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ V1- จากภายนอกที่ต่อมาจาก CONNECTOR CN2 ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนดเองซึ่งโดยปรกติแล้วต้องมีค่ามากกว่า 0V แต่ต่ำกว่า VREF/2 เสมอ ส่วนสัญญาณ VREF/2 จะเป็นตัวกำหนดขนาดสูงสุดของสัญญาณที่รับเข้ามา (MAXIMUM) นั่นคือ

ถ้าสัญญาณ ANALOG ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 2 เท่าของ VREF/2 จะได้ DATA = FFH

ถ้าสัญญาณ ANALOG ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 1 เท่าของ VREF/2 จะได้ DATA = 7FH

ถ้าสัญญาณ ANALOG ที่รับเข้ามามีค่าเท่ากับ V1- จะได้ DATA = 00H

ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของ DATA ที่มีต่อขนาดของสัญญาณจะเป็นเชิงเส้นตลอด (LINEAR) ซึ่งขนาดของสัญญาณ  $V_{REF}/2$  ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP5 กล่าวคือถ้าผู้ใช้ SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2 จะได้  $V_{REF}/2 = 2.50V$  ถ้า SHORT ที่ตำแหน่ง 2-3 ขนาดของสัญญาณ  $V_{REF}/2$  จะขึ้นอยู่กับขนาดที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาต้องมีค่ามากกว่า 0V และไม่ควรเกิน 2.50V ด้วยเช่นกัน

ตัวอย่าง เช่น ผู้ใช้เลือก V1- เท่ากับ 0V (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2) และเลือก  $V_{REF}/2$  เท่ากับ 2.50V (JP5 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2) แล้วจะเห็นว่าช่วงของสัญญาณ ANALOG INPUT จะต้องอยู่ระหว่าง 0V-5.0V เท่านั้น ซึ่งความละเอียดของแต่ละช่วงสัญญาณที่รับเข้ามามีความละเอียดถึง 256 ระดับ นั่นคือ

ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 0V จะได้ DATA เท่ากับ 00H

ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 2.50V จะได้ DATA เท่ากับ 7FH

ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 5.0V จะได้ DATA เท่ากับ FFH

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นจะได้ความละเอียดของสัญญาณ} &= (5v - 0v)/256 \\ &= 0.0195 v \end{aligned}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่าผู้ใช้สามารถรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 0V -5.0V โดยมีความแตกต่างของแต่ละช่วง (STEP) เป็น 0.0195V

หรืออีกกรณีหนึ่งคือ หากผู้ใช้เลือก V1- เท่ากับ 0.50V จากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง CONNECTOR CN2 (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 2-3) และเลือก  $V_{REF}/2$  เท่ากับ 1.50V (JP5 SHORT ที่ตำแหน่ง 2-3) แล้ว จะได้ว่าช่วงของสัญญาณ ANALOG INPUT จะต้องอยู่ระหว่าง 0.50V - 3.50V นั่นเอง

สำหรับ IC A TO D บน ET-DIO CARD สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งหมด 2 โหมดการทำงานโดยการเลือกที่ JUMPER JP2 คือ

- โหมดทำงานปรกติ (FREE RUN MODE)

- โหมดอินเทอร์รัพท์ (INTERRUPT MODE)

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET-UP และปรับแต่ง ET-DIO CARD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งาน DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTER)

IC DAC มีลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับไอซี ADC กล่าวคือมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ DIGITAL ให้เป็นสัญญาณ ANALOG ซึ่งนิยมใช้งานในด้านการควบคุมต่างๆ ซึ่งบน ET-DIO CARD มี IC DAC ให้ใช้งาน 1 ตัว โดยสามารถที่จะเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 BITS) หรือ DAC1232 (12 BITS) ตัวใดตัวหนึ่งโดยการเลือกที่ JUMPER JP1

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET-UP และการปรับแต่ง ET-DIO CARD)

ซึ่งการควบคุมขนาดของสัญญาณ ANALOG OUTPUT นั้นทำได้โดยการส่งค่า DATA ออกไปยังพอร์ตควบคุมของ IC DAC (PORT CONTROL DAC) ซึ่งอัตราส่วนของขนาดสัญญาณ ANALOG OUTPUT ที่ได้นั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้น (LINEAR) นั่นคือ

ถ้าส่งค่า DATA ค่า FFH จะได้ขนาดสัญญาณ OUTPUT สูงสุด

ถ้าส่งค่า DATA ค่า 7FH จะได้ขนาดสัญญาณ OUTPUT ครึ่งหนึ่ง

ถ้าส่งค่า DATA ค่า 00H จะได้ขนาดสัญญาณ OUTPUT ต่ำสุด

ซึ่งขนาดของสัญญาณ ANALOG OUTPUT นั้นมีความละเอียดถึง 256 ค่า จากย่านความกว้างของสัญญาณทั้งหมด (RANGE) หรือคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความละเอียดของช่วงสัญญาณ} = (V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) / 256$$

ตัวอย่าง เช่น ต้องการขนาดสูงสุดของสัญญาณ 10 V โดยให้ขนาดต่ำสุดของสัญญาณเป็น 0V จะได้ความละเอียดของสัญญาณเป็น 0.039V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ SETUP และการปรับแต่งต่าง ๆ เกี่ยวกับ ET-DIO CARD

JP1 DAC SELECT ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของ IC DAC (U10)ว่าจะใช้ IC DAC ขนาด 8 BITS (DAC0832) หรือ 12 BITS (DAC1232) โดยมีวิธีการ SET ดังนี้คือ

เบอร์ของ ไอซี DAC	การจัดการต่าง ๆ เกี่ยวกับ JUMPER JP1			
DAC0832 8 BITS	OPEN 1 - 2	OPEN 3 - 4	SHORT 5 - 6	SHORT 7 - 8
DAC1232 12 BITS	SHORT 1 - 2	SHORT 3 - 4	OPEN 5 - 6	OPEN 7 - 8

JP2 ADC SELECT MODE ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของ IC ADCว่าจะใช้ทำงานในโหมดปกติ (FREE RUN) หรือโหมดอินเทอร์รัพท์ (INTERRUPT) โดยมีวิธีการ SET ดังนี้คือ

Mode	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP2							
FREE RUN Mode	OPEN 1 - 2	OPEN 3 - 4	OPEN 5 - 6	OPEN 7 - 8	SHORT 9 - 10	SHORT 11 - 12	SHORT 13 - 14	SHORT 15 - 16
INTERRUPT Mode	SHORT 1 - 2	SHORT 3 - 4	SHORT 5 - 6	SHORT 7 - 8	OPEN 9 - 10	OPEN 11 - 12	OPEN 13 - 14	OPEN 15 - 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP3 INTERRUPT SELECT ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณ INTERRUPT โดยเลือกว่าจะใช้สัญญาณ INTERRUPT จาก ADC หรือ 8253 โดยมีวิธีการดังนี้คือ

Interrupt Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP1	
Interrupt จาก ADC	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
Interrupt จาก 8253	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

JP4 Vi- SELECT ใช้เลือก Vi- ให้ ADC โดยเลือกระหว่างให้ Vi- ของ ADC = 0 V (GROUND) หรือ Vi- จากภายนอกที่ต่อเข้ามาทาง CN2

VI - Select Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP4	
0V Reference (Ground)	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
External Reference	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

JP5 VREF/2 SELECT ใช้สำหรับเลือกแรงดันอ้างอิง (VREF/2) ให้กับ ADC ระหว่างแรงดันอ้างอิงมาตรฐาน 2.50 VDC บน ET-DIO เอง หรือแรงดันอ้างอิงจากภายนอก ซึ่งต่อเข้ามาทาง CN2

Vref / 2 Select Source	การจัดการต่างๆ เกี่ยวกับ Jumper JP5	
2.50v Reference (Internal)	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3
External Reference	OPEN 1 - 2	SHORT 2 - 3

\*\* หมายเหตุ VREF ถ้าเลือกจากภายนอกต้องควบคุมไม่ให้เกิน 2.50 V ด้วย \*\*

JP6 INTERRUPT NUMBER SELECT ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของสัญญาณ INTERRUPT ที่ต้องการจะส่งให้เครื่อง PC มีรายละเอียดดังนี้คือ

เบอร์ Interrupt	JP6 Short	เบอร์ Interrupt	JP6 Short
IRQ 2	11 - 12	IRQ 5	5 - 6
IRQ 3	1 - 2	IRQ 6	7 - 8
IRQ 4	3 - 4	IRQ 7	9 - 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP7 8253 SET-UP ในส่วนของ JP7 ใช้เลือกสัญญาณให้ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 2 กลุ่ม สัญญาณด้วยกันคือ กลุ่มสัญญาณ OUTPUT และกลุ่มสัญญาณ GATE ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

กลุ่มของสัญญาณ OUTPUT ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณ OUTPUT ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 OUTPUT (OUT0,OUT1 และOUT2) ออกไปใช้งานควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ภายนอก หรือส่งสัญญาณไป INTERRUPT เครื่อง PC การ SET ทำได้ดังนี้คือ

Channel Out put	OUT = IRQ. Signal Jumper JP7 SET		OUT = EXT. Signal Jumper JP7 SET	
	Channel 0 ( OUT 0 )	SHORT 1 - 2	OPEN 2 - 3	SHORT 2 - 3
Channel 1 ( OUT 1 )	SHORT 4 - 5	OPEN 5 - 6	SHORT 5 - 6	OPEN 4 - 5
Channel 2 ( OUT 2 )	SHORT 7 - 8	OPEN 8 - 9	SHORT 8 - 9	OPEN 7 - 8

กลุ่มของสัญญาณ CATE ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณ GATE ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 CHANNEL (GATE0,GATE1 และ GATE2) ทำงานตลอดเวลาตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาเพียงอย่างเดียว (เหมาะที่จะใช้กับกรณีที่โปรแกรมให้ 8253 ทำงานสร้างสัญญาณ INTERRUPT หรือโหมดอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการการควบคุมจากภายนอก) หรือจะให้สัญญาณ GATE ถูกควบคุมจากสัญญาณภายนอก การ SET ทำได้ดังนี้คือ

Channel Out put	OUT = VCC. Signal		GATE = EXT. Signal	
	Jumper JP7	SET	Jumper JP7	SET
Channel 0 ( GATE 0 )	SHORT 10 - 11	OPEN 11 – 12	SHORT 11 – 12	OPEN 10 – 11
Channel 1 ( GATE 1 )	SHORT 13 - 14	OPEN 14 – 15	SHORT 14 – 15	OPEN 13 – 14
Channel 2 ( GATR 2 )	SHORT 16 - 17	OPEN 17 – 18	SHORT 17 - 18	OPEN 16 – 17

CN1 เป็น CONNECTOR ขนาด 34 PIN มาตรฐาน ETT ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อของสัญญาณ INPUT/OUTPUT ระหว่าง 8255 และอุปกรณ์ภายนอก

CN2 เป็น CONNECTOR ขนาด 20 PIN ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อของสัญญาณระหว่าง 8253 ,ADC และ DAC กับอุปกรณ์ภายนอก

### การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง (2.50V บน ET-DIO CARD)

ET-DIO CARD มีวงจรควบคุมแรงดันอ้างอิงซึ่งประกอบอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้วซึ่งใช้ไอซี LM336 เป็นอุปกรณ์หลักโดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR1) เป็นตัวปรับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งขนาดของแรงดันอ้างอิงนี้กำหนดให้มีขนาด = 2.50V โดยใช้เป็นค่าแรงอ้างอิงของ IC DAC และ IC ADC ซึ่งการปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิงนี้ทำได้โดยการใช้โวลท์มิเตอร์วัดเทียบระหว่าง GND และจุดกำเนิดแรงดันอ้างอิง 2.50 V (ขา 8 ของ DAC0832 หรือ ขา 1 ของ JP5) แล้วทำการปรับ VR1 จนได้แรงดัน 2.50 VDC พอดี

**\*\*หมายเหตุ\*\*** ถ้าค่าแรงดันอ้างอิงนี้ไม่เที่ยงตรงจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับไอซี DAC และ IC ADC อาจทำให้ผลการวัดต่าง ๆ ได้ค่าที่ผิดพลาดตามไปด้วย

### การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ ANALOG

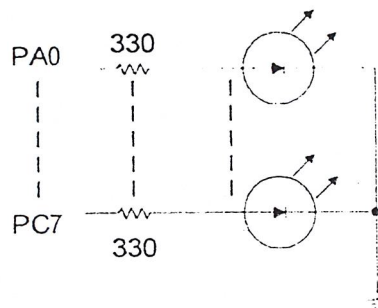
สัญญาณ ANALOG ที่ได้จาก IC D TO A มีวงจร OP-AMP. เพื่อทำการขยายให้มีขนาดสัญญาณสูงขึ้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ซึ่งขนาดของสัญญาณนี้สามารถกำหนดและปรับแต่งได้ตั้งแต่ 0V = 10.6 V โดยประมาณ การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ ANALOG ของ D TO A ทำได้โดย

1. กำหนดค่าของสัญญาณสูงสุดที่ต้องการใช้
2. ส่งค่า DATA = FFH ให้ PORT CONTROL ของ DAC ( XX8 OR XX9 )
3. ปรับ VR2 ให้ได้ขนาดของสัญญาณตามต้องการ

**\*\*หมายเหตุ\*\*** การปรับขนาดของสัญญาณ ANALOG ต้องทำหลังจากปรับแต่งแรงดันอ้างอิง VREF 2.50 VDC เรียบร้อยแล้วจึงจะได้ผลที่แน่นอน

## ตัวอย่างโปรแกรม

โปรแกรมที่ 1 เป็นตัวอย่างโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC 8255 โดยกำหนดให้ IC 8255 ทำงานในโหมด 0 และกำหนดให้ทุก PORT (PA,PB และ PC) เป็น OUTPUT ทั้งหมดทุก BITS การขับ OUTPUT ของ IC 8255 ในโปรแกรมนี้นี้ให้แสดงผลโดยหลอดแสดงผล LED ในรูปลักษณะของไฟวิ่งการทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อหลอดแสดงผล LED และตัวต้านทานตามวงจร



การทำงานของโปรแกรม เริ่มจากการควบคุมให้หลอดแสดงผล LED ติด-ดับ ในลักษณะของไฟวิ่งแบบต่าง ๆ โดยทำที่ละ PORT คือเริ่มจาก PORT PA ก่อนเมื่อเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนไป PORT PB และ PORT PC ตามลำดับ

โปรแกรมที่ 2 เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC ซึ่งกำหนดให้ IC ADC ทำงานเป็น DC โวลท์มิเตอร์ โดยใช้จอภาพของเครื่อง PC เป็นตัวแสดงผลค่าตัวเลขที่วัดได้จาก IC ADC การทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อแรงดันไฟตรงขนาด 5 โวลท์และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ตามวงจร



การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการอ่านค่าของแรงดันไฟตรงที่ไอซี ADC รับเข้ามา และเปลี่ยนเป็นสัญญาณทาง DIGITAL แล้ว และนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณและแสดงผลค่าที่รับเข้ามาทางจอภาพของเครื่อง PC การทดสอบให้ปรับค่าของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่ผู้ใช้ต่อไว้ตามวงจรทดลอง ซึ่งจอภาพของเครื่อง PC จะแสดงค่าแรงดันตามการปรับของผู้ใช้

### แนวทางการพัฒนาโปรแกรม

จากตัวอย่างโปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถนำโครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลงและพัฒนาเพื่อใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่น การวัดค่าอุณหภูมิ การวัดค่ากระแส การวัดค่าความจุ การวัดค่าความต้านทาน โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผลและสูตรในการคำนวณต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแต่ละงาน

หมายเหตุ ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อประกอบการทดลองดังนี้

1. กำหนด V1- เป็น 0V (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2)
2. กำหนด VREF/2 เป็น 2.50V (JP5 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2)

โปรแกรมที่ 3 เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC DAC โดยกำหนดให้ IC DAC ทำหน้าที่เป็นเครื่องจ่ายแรงดันโดยให้ผู้ใช้เติมค่าแรงดันที่ต้องการเป็นตัวเลขให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-5 ซึ่งหากผู้ใช้เติมค่าแรงดันไม่ตรงตามกำหนดหรือค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงแล้วโปรแกรมจะจัดการปรับให้ใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งการทดสอบโปรแกรมทำได้โดยใช้ DC โวลท์มิเตอร์ตั้งย่านการวัดไว้ที่ประมาณ 10 VDC วัดระหว่างสัญญาณ ANALOG (ขา 14 ของ CN2) เทียบกับกราวด์ ซึ่งก่อนการทดสอบต้องปรับค่า Vmax (สัญญาณ ANALOG) ให้ได้ 5V (ดูรายละเอียดเรื่องการปรับแต่ง ET-DIO CARD)

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการรับค่าตัวเลขที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาและตรวจสอบค่าว่าตรงตามเงื่อนไขหรือไม่พร้อมทั้งปรับค่าให้อยู่ในเงื่อนไข แล้วจึงทำการคำนวณค่าเพื่อส่งให้กับ IC DAC ซึ่ง IC DAC จะรับค่าที่ได้นี้และเปลี่ยนเป็นแรงดันส่งออกไปภายนอก

แนวทางการพัฒนาโปรแกรม จากตัวอย่างโปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถนำโครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลงและพัฒนาเพื่อใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมกระแส หรืออื่น ๆ โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผลและสูตรในการคำนวณต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแต่ละงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

Writele( ' ค่าแรงดันสูงกว่าพิกัดที่เครื่องจะสามารถทำได้ ');
Writeln( ' เครื่องจะทำการเปลี่ยนเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ');
End;
Writeln;
Stepout := Wantout/Step; {คำนวณค่า Step ที่ต้องใช้}
Outport := StepReal-1;
OutValue := StepReal * Step; { คำนวณค่าแรงดันที่ส่งออกจริง }
Writeln( ' ค่าแรงดันที่ต้องการส่งออก           = ',Wantout :5: 2, ' โวลท์ ');
Writeln( ' ความละเอียด ต่อ STEP                = ',Step :5 : 2,' โวลท์ ');
Writeln( ' ค่าแรงดันที่ได้จริง                    = ',OutValue : 5 : 2, ' โวลท์ ');
Port [$308] := OutPort; {ส่งค่าข้อมูลที่จะออกให้ Port Control DAC}
Writeln;
Writeln( ' กรุณาคลิกใดๆ เพื่อทำงานต่อ หรือ กดคีย์ "Esc" เพื่อยกเลิกการทำงาน ');
Ch := Readkey;
IF Ch = #27 then Quit := True
else Quit := False;
until Quit;
end.

```

Program Test ADC;

{ โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC โดยให้ IC ADC ทำงานเป็น DC VOLT METER  
และกำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ PORT 300H }

Uses crt;

Var

AdjustIn : integer;

InValue : real;

Begin

Clrscr;

Repeat

AdjustIn := port[\$30A]; { อ่านค่าการวัดจาก Ic ADC }

InValue := AdjustIn \* ( 5/256 ); -- { คำนวณผลการวัดเพื่อแสดงผลหน้าจอ }

gotoxy ( 20,2 ); write ( ' โปรแกรมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ET-DIO CARD ' );

gotoxy ( 17,4 ); write ( ' ตัวอย่างการนำ ET-DIO CARD ใช้งานเป็น DC Volt Meter ' );

gotoxy ( 5,10 ); write ( ' กรุณาปรับ Volume เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน ' );

gotoxy ( 5,15 ); write ( ' ผลการวัดค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็น : ' );

textattr := 15;

highvideo;

gotoxy ( 48,15 ); write ( ' [ ' , InValue :4:1,' VDC ] ' );

textattr := 11;

normvideo;

gotoxy ( 26,19 ); writeln ( ' กรุณา กดคีย์ใดๆ เพื่อยกเลิกการทดสอบ ' );

delay ( 200 );

until keypressed;

end.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program TestOut 8255 ;

{ ทดสอบการทำงานของ IC 8255 โดยให้ IC 8255 ขับหลอดแสดงผล LED เป็นโปรแกรมไฟ  
วิ่งทั้ง 3 PORT โดยให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ PORT 300H }

Uses Crt;

```
Var          StepPort          : integer;
              StepOut           : integer;
Type         DataOut           = Array [1..24] of integer;
              PortNo            = Array [1..3] of integer;
Const OutValue : DataOut      = ($01,$02,$04,$08,$10,$20,$40,$80,
                                  $C0,$E0,$F0,$F8,$FC,$FE,$FF,$7E,
                                  $3C,$18,$00,$18,$3C,$7E,$FF,$00);
                                  {กำหนดการ ติด-ดับ ของ LED ทั้ง 8 BITS}
              OutPort           ; PortNo      = ($300,$301,$302);
```

Begin

```
Port[$303] := $80; { กำหนด CONTROL Word Code ให้ Control Port
                    ของ 8255 โดยกำหนดให้เป็น OUTPUT ทั้ง 3 PORT }
```

```
For StepPort := 1 to 3 do
```

```
  Begin
```

```
    For StepOut := 1 to 24 do
```

```
      Begin
```

```
        Port [OutPort[StepPort]] := OutValue[ StepOut ] ;
```

```
        Delay(100);
```

```
      End;
```

```
    End;
```

```
End.
```

**\*\*หมายเหตุ ตัวอย่างโปรแกรมมีอยู่ในแผ่น Disk สามารถเปิดดู Source Program ได้ \*\***

## คำแนะนำในการประกอบ

1. ตรวจสอบความเรียบร้อยของแผ่นวงจร
2. ใส่อุปกรณ์ตามลำดับ คือ ตัวต้านทาน,ตัวเก็บประจุ,SOCKET IC
3. ตัวเก็บประจุต้องใส่ให้ถูกต้องตามขั้วด้วย
4. การบัดกรีให้ทำเฉพาะด้านล่างเพียงด้านเดียว ด้านบนไม่ต้องบัดกรี
5. เมื่อเรียบร้อยแล้วให้ใส่ไอซีลงใน SOCKET ระวังอย่าให้ผิดตำแหน่งหรือกลับหัว
6. ประกอบแผ่นหลักยึดแผ่นวงจรให้เรียบร้อยถูกต้อง

## รายการอุปกรณ์ ET – DIO CARD

- IC 8255	1 ตัว	- SOCKET IC 40 PIN	1 ตัว
- IC 8253	1 ตัว	- SOCKET IC 24 PIN	1 ตัว
- IC ADC0804(ADC1001)	1 ตัว	- SOCKET IC 20 PIN	5 ตัว
- IC DAC0832(DAC1232)	1 ตัว	- SOCKET IC 16 PIN	1 ตัว
- IC 74LS688	1 ตัว	- SOCKET IC 14 PIN	2 ตัว
- IC 74LS245	2 ตัว	- SOCKET IC 8 PIN	1 ตัว
- IC 74LS139	1 ตัว	- HEADER 34 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC 74LS32	1 ตัว	- HEADER 20 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC 74LO04	1 ตัว	- HEADER 16 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC LM358N	1 ตัว	- HEADER 12 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- IC LM336	1 ตัว	- HEADER 8 PIN (2 แถว)	1 ตัว
- CAPACITOR 10UF/16V	1 ตัว	- HEADER 3 PIN (1 แถว)	3 ตัว
- CAPACITOR 0.1UF/50V	10 ตัว	- HEADER 18 PIN (3 แถว)	1 ตัว
- CAPACITOR 100PF/50V	1 ตัว	- JUMPER	21 ตัว
- RESISTOR 15K	1 ตัว	- VARIABLE RES. 10K	2 ตัว
- RESISTOR 2K	2 ตัว	- SIP RES. 10K 9 PIN	5 ตัว
- RESISTOR 4K7	1 ตัว	- DIP SWITCH 8 จุด	1 ตัว
- แผ่นวงจร	1 แผ่น	- แผ่นหลักยึดแผ่นวงจร	1 อัน

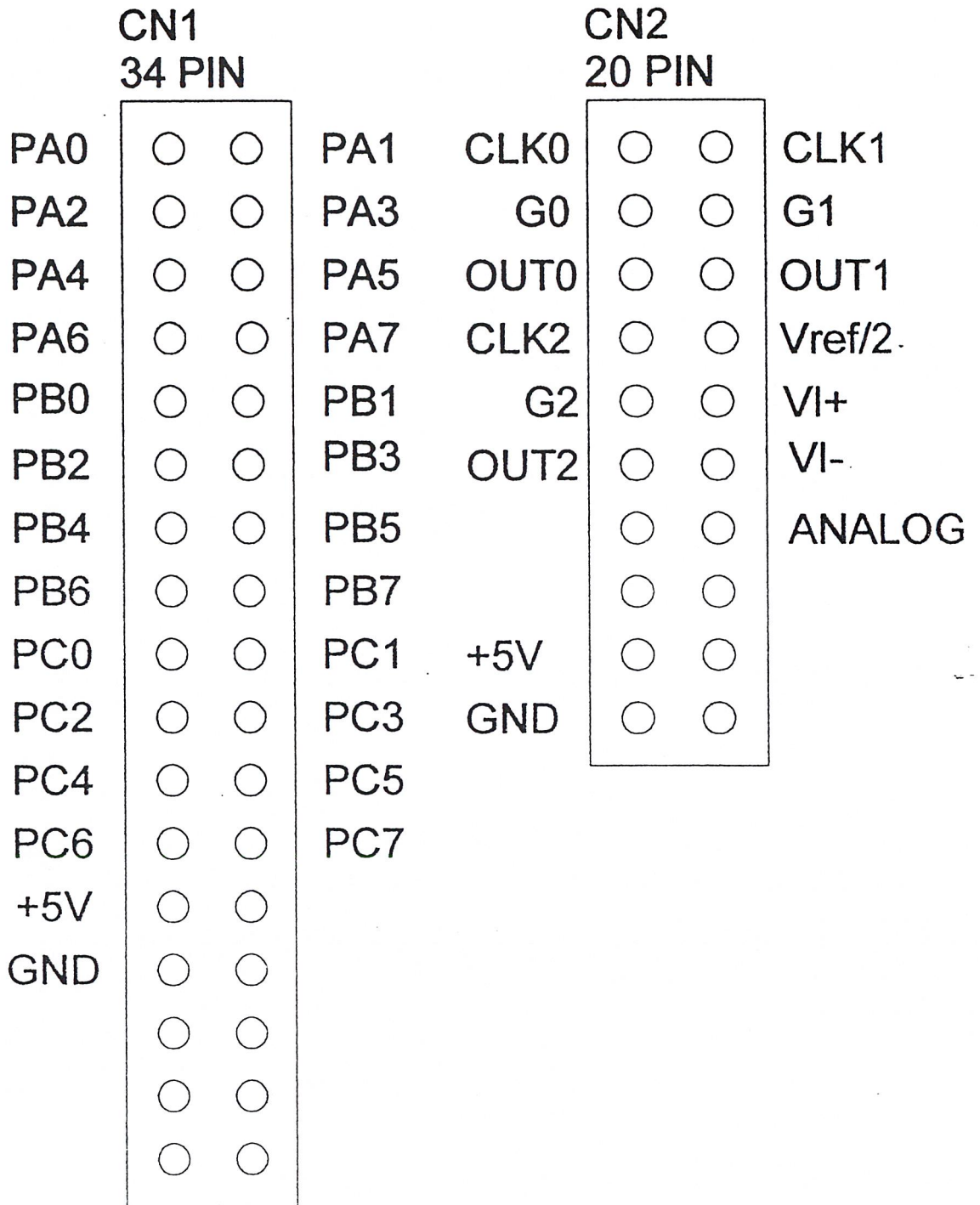
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

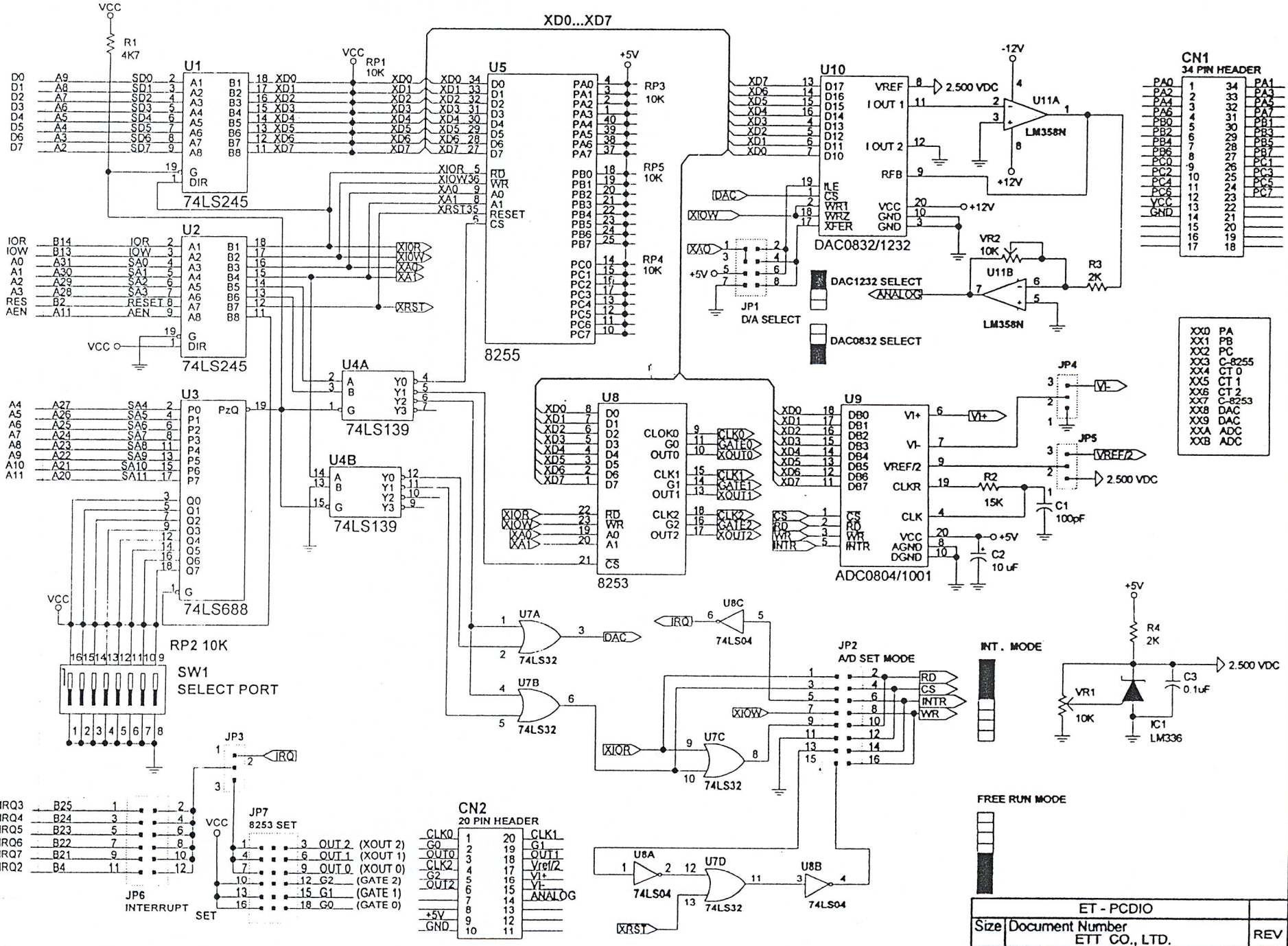
## SPECIFICATIONS

DESCRIPTION	MIN	MAX	UNITS
INPUT LOGIC LOW	-0.5	0.8	VOLT
INPUT LOGIC HIGH	-2.0	5.5	VOLT
OUTPUT LOGIC LOW	-	0.45	VOLT
OUTPUT LOGIC HIGH	2.4	5.0	VOLT
FREQUENCY INPUT	-	2.6	MHz
ANALOG INPUT (V1+)	0	5	VOLT
ANALOG OUTPUT	0.1	10.67	VOLT
VREF/2 (DAC)	-	2.50	VOLT
VREF/2 (ADC)	0.1	2.50	VOLT
V1-	0.0	5.0	VOLT

VCC	: + 5V
	: + 12V
	: - 12V
	: GND
SIZE	: HALF SLOT (9 X 17 CM)
	: WORKING AREA (9 X 5 CM)
	: TOTAL AREA (9 X 22 CM)
DIGITAL I/O	: 3 PORT (24 BITS I/O 8255)
TIMER/COUNTER	: 3 CHANNAL (8253)
ANALOG INPUT	: 1 CHANNAL (ADC 8 BITS OR 10 BITS OPTION)
ANALOG OUTPUT	: 1 CHANNAL (DAC 8 BITS OR OPTION)
CONNECTOR	: 34 PIN x 1 (HEADER 17 PIN X 2 ROW)
	: 20 PIN x 1 (HEADER 10 PIN X2 ROW)
DECODE PORT	: 8 POSITION DIP SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





**CN1  
34 PIN HEADER**

PA0	1	34	PA1
PA2	2	33	PA3
PA4	3	32	PA5
PA6	4	31	PA7
PA8	5	30	PA9
PA10	6	29	PA11
PA12	7	28	PA13
PA14	8	27	PA15
PA16	9	26	PA17
PA18	10	25	PA19
PA20	11	24	PA21
PA22	12	23	PA23
PA24	13	22	PA25
PA26	14	21	PA27
PA28	15	20	PA29
PA30	16	19	PA31
PA32	17	18	PA33
PA34	18	17	PA35

XX0	PA
XX1	PB
XX2	PC
XX3	C-8255
XX4	CT 0
XX5	CT 1
XX6	CT 2
XX7	C-8253
XX8	DAC
XX9	DAC
XXA	ADC
XXB	ADC

ET - PCDIO		
Size	Document Number	REV
ETT CO., LTD.		
Date	March 10, 1994	Sheet 1 of 1

# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FORM 1

Public t11, t21, x, y, c1, c2, processgain As Double

Public pvinp, cvoltage, var As Double

Private Sub Stop\_Plant\_Click()

Out &H308, 0

Timer1.Enabled = False

End Sub

Private Sub Timer1\_Timer()

count1 = count1 + 1

pvinp = Inp(&H30A) ' input process variable

cvoltage = pvinp \* 0.0196

cvoltage = (cvoltage - 1) \* 1.25

If cvoltage < 0 Then

cvoltage = 0

ElseIf cvoltage > 5 Then

cvoltage = 5

End If

per1(count1) = (cvoltage / 5) \* 100

pv.Text = per1(count1)

var = per1(count1)

process.levelvalue.Text = var

process.water.Height = var \* 1.6

process.water.Top = 360 - process.water.Height

y = per1(count1) \* 57.6 ' map value to graph

PSet (600 + x, 6720 - y), QBColor(2) ' plot to graph

ScaleMode = 1

DrawWidth = 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x = x + (9360 / 2600)

.....  
' if finish sample for test transfer funtion calculate Darlin OR Ziegler-Nichol Method  
.....

If count1 > 2600 Then

Timer1.Enabled = False

processgain = per1(2600) / setpoint1

K = Round(processgain, 3)

c2 = per1(2600) \* 0.632

c2 = Round(c2, 0)

c1 = per1(2600) \* 0.283

c1 = Round(c1, 0)

check1 = 0

check2 = 0

t11 = 0

t21 = 0

For num = 1 To 2600

If Round(per1(num), 0) = c2 And (check1 <> 1) Then

t21 = num

check1 = 1

End If

If Round(per1(num), 0) = c1 And (check2 <> 1) Then

t11 = num

check2 = 1

End If

Next num

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
t1.Caption = "t11 = " & t11  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

t2.Caption = "t21 = " & t21
T = (t21 - t11) * 1.5
T = Round(T, 2)
t0 = t21 - T
kparameter.Text = K
t0parameter.Text = t0
tparameter.Text = T

End If

End Sub

Private Sub next1_click()

    Load form2

    form2.Show

    process.itopvalue.Text = setpoint1

End Sub

Private Sub show1_click()

    process.Show

    process.Image3.Top = 184 + (160 / 100) * (Abs(100 - setpoint1))

    process.itopvalue.Text = setpoint1

End Sub

Private Sub form_load()

    start1.Enabled = False

    stop_plant.Enabled = False

    StartTF = 0

    count1 = 0

    next1.Enabled = False

    start = False ' set status for change activity

```

End Sub

Private Sub sp1\_change()

If sp1.Text <> "" Then

start1.Enabled = True

Else

start1.Enabled = False

End If

End Sub

Private Sub start1\_click()

Dim xpos As Double

stop\_plant.Enabled = True

StartTF = 1

next1.Enabled = True

Timer1.Enabled = True

setpoint1 = Val(sp1.Text)

ypos = setpoint1 \* 57.6

setpoint = setpoint1 \* 255 / 100

Out &H308, setpoint '255

process.Image3.Top = 184 + (160 / 100) \* (Abs(100 - setpoint1))

process.Image3.Visible = True

process.water.Height = var \* 1.6

process.water.Top = process.water.Top - process.water.Height

process.levelvalue.Text = var

process.itopvalue.Text = setpoint1

For i = 1 To 2600

PSet (600 + xpos, 6720 - ypos), QBColor(12) ' plot to graph

DrawWidth = 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xpos = xpos + (9360 / 2600)
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

## FORM 2

```
Option Explicit
```

```
Public count2 As Integer
```

```
Public pvinp2, spvolt, cvolt, cvolt2, var2, xcontrol, ycontrol As Double
```

```
Dim per2(3000) As Double
```

```
Dim xsp2, ysp2 As Double
```

```
Dim DA(3000) As Double
```

```
Dim DAbuffer As Double
```

```
Dim cvolt3(3000), cvoltk(3000) As Double
```

```
Dim kout, a, ei, eiold As Double
```

```
Dim kin(3000) As Double
```

```
Dim xp1, xp2, xp3, xp4, yp1, yp2, yp3, yp4 As Double
```

```
Private Sub stop1_Click()
```

```
Out &H308, 0 'stop get value from process
```

```
Timer1.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub form_load()
```

```
count2 = 0
```

```
eiold = 0
```

```
a = 0
```

```
startplant.Enabled = False
```

```
stop1.Enabled = False
```

```
Startcontrol = 0
```

```
ok2.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

kptext.Enabled = False
kitext.Enabled = False
kdtext.Enabled = False
sp2.Enabled = False
pv.Enabled = False
tuning.Enabled = False
choosemethod.Enabled = False
Startcontrol = 0
xsp2 = 0
process.Image3.Visible = False
End Sub
Private Sub show2_click()
    Startcontrol = 1
    process.Show
    process.Image3.Top = 184 + (160 / 100) * (Abs(100 - setpoint2))
    process.Image3.Visible = True
End Sub
Private Sub manual_click()
    choosemethod.Enabled = False
    tuning.Enabled = False
    kptext.Enabled = True
    kitext.Enabled = True
    kdtext.Enabled = True
    sp2.Enabled = True
    kptext.Locked = False
    kitext.Locked = False
    kdtext.Locked = False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
kptext.BackColor = &H80000005
```

```
kitext.BackColor = &H80000005
```

```
kdtext.BackColor = &H80000005
```

```
sp2.BackColor = &H80000005
```

```
End Sub
```

```
Private Sub auto_Click()
```

```
    choosemethod.Enabled = True
```

```
    kptext.Locked = True
```

```
    kitext.Locked = True
```

```
    kdtext.Locked = True
```

```
    kptext.BackColor = &H80000016
```

```
    kitext.BackColor = &H80000016
```

```
    kdtext.BackColor = &H80000016
```

```
    sp2.Enabled = True
```

```
    sp2.BackColor = &H80000005
```

```
End Sub
```

```
Private Sub back2_click()
```

```
    form1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub choosemethod_click()
```

```
    Dim deltY, dymax As Double
```

```
    Dim count3 As Integer
```

```
    Dim Kz, t0z, Tz, m As Double
```

```
    Dim x1, x2, x3, x4, x5, y1, y2, y3, y4, y5 As Double
```

```
    tuning.Enabled = True
```

```
    If choosemethod = "Dahlin_Method" Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Ti = T
If t0 > T / 4 Then
    Td = t0 / 2
    kp = kc
    ki = kc / Ti
    kd = kc * Td
Else
    Td = 0
    kp = kc
    ki = kc / Ti
    kd = kc * Td
End If
End If
If choosemethod = "Ziegler-Nichol" Then
    'find the max slope
    count3 = 0
    dymax = 0
    Kz = per1(2599)
    Do While count3 < 2400
        deltY = per1(count3 + 50) - per1(count3)
        If deltY > dymax Then
            dymax = deltY
            m = dymax / 50
            x1 = count3
            x2 = count3 + 50
            x5 = (x1 + x2) / 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y2 = per1(x2)
y5 = per1(x5)
End If
count3 = count3 + 50
Loop
x3 = ((Kz - y5) / m) + x5
x4 = x5 - (y5 / m)
t0z = x4
Tz = x3 - x4
xp1 = x1 * 3.6
xp2 = x2 * 3.6
xp3 = x3 * 3.6
xp4 = x4 * 3.6
yp1 = y1 * 57.6
yp2 = y2 * 57.6
yp3 = per1(2599) * 57.6
PSet (600 + xp3, 6840 - yp3), QBColor(12)
ScaleMode = 1
DrawWidth = 3
PSet (600 + xp4, 6840), QBColor(12)
ScaleMode = 1
DrawWidth = 3
PSet (600 + xp2, 6840 - yp2), QBColor(2)
ScaleMode = 1
DrawWidth = 3
PSet (600 + xp1, 6840 - yp1), QBColor(2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ScaleMode = 1  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DrawWidth = 3

""calculate Kc,Ti,Td
kc = ((1.2 * Tz) / t0z) 'kc = ((1.2 * Tz) / (Kz * t0z))
Ti = 2 * t0z
Td = 0.5 * t0z
.....

kp = kc
ki = kc / Ti
kd = kc * Td
End If
End Sub

Private Sub tuning_click()
kptext.Enabled = True
kitext.Enabled = True
kdtext.Enabled = True
kptext.Text = Round(kp, 3)
kitext.Text = Round(ki, 3)
kdtext.Text = Round(kd, 3)
End Sub

Private Sub sp2_change()
If sp2.Text <> "" Then
    ok2.Enabled = True
Else
    ok2.Enabled = False
End If
End Sub

```



```

startplant.Enabled = True
ok2.Enabled = False
setpoint2 = Val(sp2.Text)
ysp2 = setpoint2 * 57.6
spvolt = setpoint2 / 20
kp = kptext.Text
ki = kitext.Text
kd = kdtext.Text
pv.Enabled = True
End Sub
Private Sub startplant_click()
Startcontrol = 1
startplant.Enabled = False
Timer1.Enabled = True
stop1.Enabled = True
process.Image3.Top = 184 + (160 / 100) * (Abs(100 - setpoint2))
process.Image3.Visible = True
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
Dim e1, e0, output, output1 As Double
Startcontrol = 1
count2 = count2 + 1
xsp2 = xsp2 + 3.6
PSet (600 + xsp2, 6840 - ysp2), QBColor(12) ' plot setpoint graph
ScaleMode = 1
DrawWidth = 3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 pvinp2 = Inp(&H30A) ' input process variable  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cvoltk(count2) = pvinp2 * 0.0196
cvolt2 = (cvoltk(count2) - 1) * 1.25
If cvolt2 < 0 Then
    cvolt2 = 0
ElseIf cvolt2 > 5 Then
    cvolt2 = 5
End If
cvolt3(count2) = cvolt2
per2(count2) = (cvolt2 / 5) * 100
pv.Text = per2(count2)
""""""TEST""""""
If count2 > 0 Then
output = (cvolt3(count2)) ' New Output
output1 = (cvolt3((count2) - 1)) ' Old output
e1 = (Round(((spvolt - output)), 3))
e0 = (Round(((spvolt - output1)), 3))
    If a > 5 Or a < 0 Then
        ei = eiold
    Else
        ei = eiold + ((e1 + e0) / 2)
    End If
eiold = ei
a = kp * e1 + (ki * ei) + (kd * (e1 - e0))
DA(count2) = Round(a, 2)
If DA(count2) > 5 Then
    DA(count2) = 5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    DA(count2) = 0
End If
End If
DA(count2) = DA(count2) * 20
DA(count2) = Round((255 / 100) * DA(count2))
Out &H308, DA(count2)
""""""END OF TEST""""""
ycontrol = per2(count2) * 57.6 ' map value to graph
If count2 < 2401 Then
    PSet (600 + xcontrol, 6840 - ycontrol), QBColor(2) ' plot to graph
    ScaleMode = 1
    DrawWidth = 3
    xcontrol = xcontrol + 3.6
End If
If count2 = 2401 Then
    Timer1.Enabled = False
End If
"" Update Graphic """"
per2(count2) = (cvolt2 / 5) * 100
var2 = per2(count2)
process.levelvalue.Text = var2
process.water.Height = var2 * 1.6
process.itopvalue.Text = (DA(count2)) * 100 / 255
process.water.Top = 360 - process.water.Height
End Sub

```

### FORM 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Private Sub Command1\_Click()  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Out &H308, 0

End Sub

Private Sub form\_load()

Image3.Visible = True

If (Startcontrol = 1) Or (StartTF = 1) Then

Line43.BorderColor = &HFF0000

Line47.BorderColor = &HFF0000

Line49.BorderColor = &HFF0000

Line48.BorderColor = &HFF0000

Line44.BorderColor = &HFF0000

Line42.BorderColor = &HFF0000

Line39.BorderColor = &HFF0000

Line32.BorderColor = &HFF0000

Line6.BorderColor = &HFF0000

Line4.BorderColor = &HFF0000

Line19.BorderColor = &HFF0000

Line20.BorderColor = &HFF0000

Else

Line43.BorderColor = &H8000008

Line47.BorderColor = &H8000008

Line49.BorderColor = &H8000008

Line48.BorderColor = &H8000008

Line44.BorderColor = &H8000008

Line42.BorderColor = &H8000008

Line39.BorderColor = &H8000008

Line32.BorderColor = &H8000008

Line6.BorderColor = &H8000008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line4.BorderColor = &H80000008

Line19.BorderColor = &H80000008

Line20.BorderColor = &H80000008

End If

If StartTF = 1 Or Startcontrol = 1 Then

Line92.Visible = True

Line93.Visible = True

Line94.Visible = True

Line92.BorderColor = &HFF0000

Line93.BorderColor = &HFF0000

Line94.BorderColor = &HFF0000

End If

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะบุคคลหลายท่าน โดยทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้จัดทำ ที่ได้ให้การอุปการะอย่างดีเยี่ยม อีกทั้งคอยให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดเวลา

ขอขอบคุณอาจารย์สว่าง เลิศธิรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์พรสุข รติโรจน์อนันต์ ที่มีความเมตตา ได้กรุณาให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำมาตลอด พร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้และให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณสุพดี พนาคำรง ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณปราชญา มากรุ่งเรือง วิศวกรเครื่องมือวัด แผนกซ่อมบำรุงไฟฟ้าและเครื่องมือวัด บริษัทระยองวิศวกรรมและซ่อมบำรุง กลุ่มบี โครเคมี เครื่องซีเมนต์ไทยที่คอยให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ อีกทั้งยังให้ที่พักอาศัยและให้คำแนะนำด้วยดี ตลอดการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กิตติ ภัคดีวัฒน์กุล, จำลอง ครูอุตสาหะ, "Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์", หจก. ไทยเจริญการพิมพ์, 621 หน้า, 2542

สมศักดิ์ กิรติวุฒิเศรษฐ์, "หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดในอุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 200 หน้า, 2542

นายพิทยา ปานนิล, "เครื่องวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ", วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, 74 หน้า, 2543

นางสาวเลิศเลขา ธนะชัยจันทร์, "การออกแบบและสร้างตัวควบคุม PID แบบปรับค่าอัตโนมัติบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล", วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, 60 หน้า, 2544

นางสาวสุพัตรา พนาคำรังและนายสุรวุฒิ แพรศรี, "การควบคุมกระบวนการ 1", วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, 52 หน้า, 2544

Raymond Mully, "Control System Documentation Applying Symbols and Identification", Instrumentation Society of America.

Carlos A. Smith. Armando B. Corripio, "Principles and Practice of Automatic Process Control ", 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley&Sons.Inc.,768 p.,1997

Katsuhiko Okata, "Modern Control Engineering 2<sup>nd</sup> edition", Prentice Hall Edition, New Jersey, 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้