

การประยุกต์ใช้งานของการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมระดับน้ำ
APPLY OF INTERFACE CARD FOR LEVEL CONTROL



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50241
วัน,เดือน,ปี 2 8 เม.ย. 2547

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลอันอาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

APPLY OF INTERFACE CARD FOR LEVEL CONTROL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2002

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การประยุกต์ใช้งานของการ์ดอินเตอร์เฟซเพื่อควบคุมระดับน้ำ

APPLY OF INTERFACE CARD FOR LEVEL CONTROL

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายชัยยะ เขียวชะอุ่ม รหัสประจำตัว 43015457

นายศรัณย์กร ภูเขาทอง รหัสประจำตัว 43015485

ปริญญญา

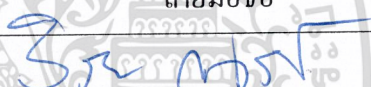
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ	
รศ. วิริยะ	กองรัตน์		
อ. อาจันต์	น่วมสำราญ		

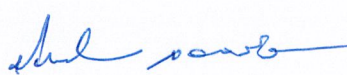
วัน/เดือน/ปี ที่สอบ

วันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546

สถานที่สอบ

ณ ห้องสอบปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้งานของการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมระดับน้ำ APPLY OF INTERFACE CARD FOR LEVEL CONTROL	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชัยยะ	เขียวชะอุ่ม
	นายศรัณย์กร	ภูเขาทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิริยะ	กองรัตน์
	อ. อาจินต์	น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2545	

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การควบคุมการทำงานของกระบวนการเพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่ถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว มีความสำคัญอย่างมากในวงการอุตสาหกรรม และคอมพิวเตอร์ก็มีส่วนสำคัญอย่างมาก ในการควบคุมและแสดงผลเพื่อให้กระบวนการนั้นมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

สัญญาณที่ใช้ติดต่อสื่อสาร (Interface) กันระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการ จะเป็น สัญญาณดิจิทัลและอนาล็อก กล่าวคือ สัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์ จะเป็นสัญญาณดิจิทัลแต่ ยังไม่สามารถนำไปควบคุมกระบวนการได้ โดยต้องแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกเสียก่อนโดยภาค D/A Converter และสัญญาณตอบกลับที่ได้จากกระบวนการก็เป็นสัญญาณอนาล็อกยังไม่สามารถ ติดต่อกับ PC ได้ จึงต้องแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยภาค A/D Converter จึงยุ่งยากในการต่อใช้ งาน ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการพัฒนาออกแบบและสร้างการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อระหว่าง กระบวนการกับคอมพิวเตอร์(PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD) โดยทำการเพิ่มภาค คอนเวอร์เตอร์คือ A/D Converter และ D/A Converter และ I/V - V/I Converter ที่ช่วยในการแปลง สัญญาณ เข้าไปในการ์ดที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และลดพื้นที่วงจร ภายในตัว Plant ทำให้มีการติดต่อการทำงานกันได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง ยังได้ทำการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมระดับน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ของการวัดว่าสามารถทำงานได้ดีเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Apply of Interface Card for Level Control	
Authors	Mr. Chaiya	Kiewchaum
	Mr. Sarunkorn	Pukaotong
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Viriya	Krongratana
	Mr.Ajin	Noumsumran
Year	2002	

ABSTRACT

The signal is used in contract between computer and process is digital and analog signal. The computer's signal is digital , it can not control process , it must be changed into analog by D/A Convertor . The Process's signal is analog , it can not contract computer , it must be changed into digital by A/D Convertor . These are not convenience to user . This paper presents a design and development card that is linked process and computer . We contain A/D-D/A Convertor into card , So that mean the card is small , convenience to use , farst , and efficiency . Furthermore , we have designed a program for level control for testing card efficient .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์ และ อาจารย์อาจินต์ น่วมสำราญ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control).....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control)	3
2.2.1 การควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.2.2 การตอบสนองของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	4
2.2.3 คุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	5
2.2.4 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	7
2.2.5 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	11
2.3 รูปแบบของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ (Types of Feedback Controller).....	14
2.3.1 Proportional Controller (P).....	14
2.3.2 Proportional Integral Controller (PI).....	15
2.3.3 Proportion - Derivative Controller (PD).....	16
2.3.4 Proportional – Integral – Derivative Controller (PID).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแต่ละชนิด	17
2.5	ผลการตอบสนองของระบบ First – Order.....	19
2.6	ทฤษฎี Tuning procedures.....	22
2.6.1	Ziegler – Nichols adjustment for PID controller.....	22
2.6.2	Cohen – Coon adjustment for PID controller.....	24
2.6.3	Chien – Homes – Reswick adjustment for PI controller.....	26
2.7	วิธีการหาคุณลักษณะของกระบวนการ.....	26
2.8	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ ADC และ DAC.....	30
2.8.1	คุณสมบัติของ DAC.....	31
2.8.2	คุณสมบัติของ ADC.....	33
บทที่ 3	การออกแบบและการประยุกต์ใช้งานของการ์ด PC-DIO.....	35
3.1	กล่าวนำ.....	35
3.2	ภาค A/D-D/A Convertor.....	35
3.2.1	การใช้งาน ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR).....	35
3.2.2	การใช้งาน DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTOR).....	37
3.3	ภาค I/V-V/I Convertor	38
3.3.1	การทำงานของภาค I/V Convertor.....	38
3.3.2	การทำงานของภาค V/I Convertor	40
3.4	การ์ด PC-DIO (DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD).....	41
3.4.1	ลักษณะทั่วไปของ PC-DIO CARD.....	41
3.4.2	การ DECODE PORT.....	43
3.4.3	การใช้งาน 8255.....	46
3.4.4	การใช้งาน 8253.....	47
3.4.5	การ SETUP และการปรับแต่งต่างๆเกี่ยวกับ ET – DIO CARD.....	50
3.4.6	การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง (2.50V บน ET-DIO CARD).....	54
3.4.7	การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ ANALOG.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.8 ตัวอย่างโปรแกรม.....	55
3.5 การประยุกต์ใช้งานของ PC-DIO CARD.....	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	61
4.1 กล่าวนำ.....	61
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เข้ายังภาค V/I Convertor.....	61
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่เข้ายังภาค I/V Convertor.....	61
4.4 ผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการควบคุมระดับน้ำอันดับหนึ่ง (First Order)....	62
4.4.1 กราฟผลการตอบสนองของการ Open Loop ที่ 50 %.....	62
4.4.2 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p=5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 25%...63	
4.4.3 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p=5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 50 %..64	
4.4.4 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p=5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 75 %..64	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 บทสรุป.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การโปรแกรมให้ 8253 ใน PORT CONTROL48	
3.2 การเลือกเซนแนลใน SELECT COUNTER.....	48
3.3 การกำหนดไบต์ในการอ่าน/เขียนข้อมูล.....	48
3.4 การเลือกโหมดการทำงานของ 8253.....	49
3.5 การ SETUP ของ JP1.....	50
3.6 การ SETUP ของ JP2.....	50
3.7 การ SETUP ของ JP3.....	51
3.8 การ SETUP ของ JP4.....	51
3.9 การ SETUP ของ JP5.....	52
3.10 การ SETUP ของ JP6.....	52
3.11 การ SETUP ของ JP7.....	53
3.12 การเลือก Channal ของสัญญาณ CATE.....	53
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เข้ายังภาค V/I Convertor.....	61
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่เข้ายังภาค I/V Convertor	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การตอบสนองของระบบเพิ่มความเร็วในยานพาหนะ.....	5
2.2 ส่วนที่เป็นตัวควบคุมและส่วนประกอบต่างๆ.....	7
2.3 ส่วนที่เป็นตัวควบคุมและระบบควบคุมทั่วไป.....	8
2.4 สัญญาณที่เข้าหรือออกของ Reference Input Element.....	8
2.5 สัญญาณที่เข้าและออกจากส่วนที่เป็นตัวควบคุม.....	9
2.6 สัญญาณที่เข้าและออกจากส่วนที่เป็นต้นกำลัง.....	9
2.7 ส่วนที่เป็นต้นกำลังของระบบควบคุมที่มีการรบกวนจากภายนอก.....	10
2.8 ตัวเปรียบเทียบค่าหรือ Comparator ของระบบควบคุม.....	11
2.9 ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบวงจรมีการป้อนกลับ.....	11
2.10 ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทวงจรมีการป้อนกลับ (Close-Loop or Feedback Control System).....	13
2.11 (ก) พฤติกรรมในอุดมคติ Proportion Control (ความชันของเส้น K_p) (ข) พฤติกรรมตามความเป็นจริงของ Proportion Control.....	15
2.12 การควบคุมแบบ PI.....	16
2.13 (ก) ผลการตอบสนองของ Process แต่ละชนิดใน Feedback Control (ข) ผลของ Gain Controller ใน P Control.....	17
2.14 ผลของ (a) Reset time (b) Gain Control linear.....	18
2.15 ผลตอบสนองของระบบแบบ step สำหรับ first order process.....	20
2.16 รูปแสดงผลการตอบสนอง.....	21
2.17 บล็อกไดอะแกรมของ Feedback Control.....	26
2.18 Equivalent simplified block diagram.....	27
2.19 FOPDT Model Parameter by Curve Fitting.....	29
2.20 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิตอล.....	31
2.21 Diagram ของ DAC.....	32
2.22 Diagram ของ ADC.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 โครงสร้างของ ADC 0804.....	36
3.2 โครงสร้างของ DAC 0832.....	37
3.3 โครงสร้างของ RCV420.....	39
3.4 โครงสร้างภายในของ RCV 420.....	39
3.5 วงจรเปลี่ยนแรงดัน 0-5 V เป็นกระแสตรงขนาด 4-20 mA.....	40
3.6 ลักษณะของ PC-DIO CARD ที่ใช้ในการควบคุม.....	43
3.7 ตำแหน่งของสวิทช์ที่ ADDRESS เท่ากับ 300 H.....	44
3.8 ตำแหน่งของสวิทช์ที่ ADDRESS เท่ากับ 280 H.....	45
3.9 โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC 8255.....	55
3.10 โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC 0804.....	56
3.11 วงจรการทำงานของ PC-DIO CARD.....	58
3.12 การ์ด PC-DIO ที่ทำการประยุกต์แล้ว.....	59
3.13 ลักษณะของ Plant ที่ใช้การ์ดอินเตอร์เฟสควบคุมระดับน้ำ.....	60
4.1 กราฟผลการตอบสนองของการ Open Loop ที่ 50%.....	62
4.2 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 25%.....	63
4.3 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 50 %.....	64
4.4 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.4$, $T_i = 8.3$ ที่ระดับความสูง 75 %.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมมีความก้าวหน้าอย่างมาก ทำให้กระบวนการควบคุมต่างๆ ในกระบวนการผลิตเป็นกระบวนการที่มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังนั้น งานในการควบคุมกระบวนการมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อผู้ควบคุมกระบวนการ (Operator) การที่มีความเข้าใจในกระบวนการควบคุมจะทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น และการติดต่อสื่อสาร (Interface) ในกระบวนการควบคุมก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน แต่ทว่าอุปกรณ์ที่ใช้กันในปัจจุบันยังไม่สะดวกรวดเร็วเท่าที่ควร กล่าวคือ สัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมจะเป็นสัญญาณดิจิทัลแต่ต้องแปลงให้เป็นสัญญาณอนาล็อกเสียก่อน — ก่อนที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ ส่วนสัญญาณตอบกลับก็ต้องแปลงกลับมาเป็นสัญญาณดิจิทัลกลับมายังเครื่องควบคุมเพื่อประมวลผล เกิดความยุ่งยากในการต่อใช้งาน การ์ดเชื่อมต่อระหว่าง PC กับ Plant เพื่อควบคุมกระบวนการ (PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD) โดยเราจะนำไปควบคุมระดับน้ำ จึงถูกสร้างขึ้นมา โดยให้ภาคคอนเวอร์เตอร์ (A/D-D/A Convertor และ I/V - V/I Convertor) ต่ออยู่ภายในตัวการ์ดเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และลดพื้นที่วงจรภายในตัว Plant

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษา และพัฒนาออกแบบการ์ดเชื่อมต่อระหว่าง PC กับ Plant ที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มภาคคอนเวอร์เตอร์เข้าไปในการ์ดเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งพอสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาถึงทฤษฎี หลักการทำงาน และโครงสร้างของกระบวนการควบคุม
2. เพื่อให้การติดต่อสามารถทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น
3. ลดพื้นที่วงจร A/D-D/A Convertor และ I/V - V/I Convertor ที่ตัว Plant
4. เพื่อเพิ่มความชำนาญในการเรียนรู้กระบวนการทำงานของกระบวนการควบคุม
5. การ์ดที่ทำการสร้างสำเร็จแล้ว สามารถนำไปทดลองและใช้งานจริงได้
6. สามารถสร้างซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรมภาษา Delphi ติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการการควบคุมระดับน้ำได้สะดวกและเข้าใจได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.ศึกษาระบบโครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI CONTROLLER
- 2.ศึกษาวงจรเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการ (Interface) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (A/D-D/A Converter) วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน และวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (I/V-V/I Converter)
- 3.พัฒนาคาร์ดเชื่อมต่อ PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD โดยให้สามารถเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 4.ทำการศึกษาและออกแบบซอฟต์แวร์โดยภาษาที่ใช้ในการสั่งงานเป็น Delphi สร้างรูปแบบที่สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการการควบคุมระดับน้ำ ได้สะดวกและเข้าใจได้ง่าย
- 5.ทดลองควบคุมกระบวนการจำลองในห้องปฏิบัติการ ด้วยตัวควบคุมแบบ PI Controller เพื่อทดสอบสมรรถนะของการ์ดเชื่อมต่อ PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD ที่พัฒนาขึ้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาถึงโครงงานของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เริ่มจากการศึกษาระบบโครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI CONTROLLER ถึงการทำงานของกระบวนการควบคุมจากกระบวนการจริงๆ และศึกษาคาร์ดเชื่อมต่อ PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD หลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว จากนั้นก็ศึกษาถึงการติดต่อสื่อสารกันระหว่างตัวควบคุมกับกระบวนการทำงานจริง ว่าติดต่อกันอย่างไร ต้องผ่านวงจรอะไรบ้าง จากนั้นก็ทำการออกแบบการ์ดเชื่อมต่อ PC-DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD ขึ้นมาใหม่ โดยเพิ่มภาคคอนเวอร์เตอร์เข้าไปในตัวการ์ดด้วย เพื่อเพิ่มความสะดวกและง่ายต่อการต่อใช้งาน จากนั้นทำการศึกษาและออกแบบซอฟต์แวร์โดยภาษาที่ใช้ในการสั่งงานเป็น Delphi สร้างรูปแบบที่สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการการควบคุมระดับน้ำได้สะดวกและเข้าใจได้ง่าย โดยในการควบคุมระดับน้ำเราจะกำหนดค่า Set Point ไว้ประมาณ 3 จุด คือที่ 25% , 50% , 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control)

2.1 กล่าวนำ

วิศวกรรมระบบควบคุม เป็นสาขาหนึ่งที่มีบทบาทความสำคัญสำหรับวิศวกรไฟฟ้า โดยมีเนื้อหาหลักกล่าวถึงการวิเคราะห์และการออกแบบการควบคุมระบบหรือกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะกับการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีบทบาทอย่างมากต่อความเจริญก้าวหน้าและการพัฒนาในทางวิศวกรรมศาสตร์ ในที่นี้จะขอเน้นถึงการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมเป็นหลัก

2.2 การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control)

2.2.1 การควบคุมอัตโนมัติ

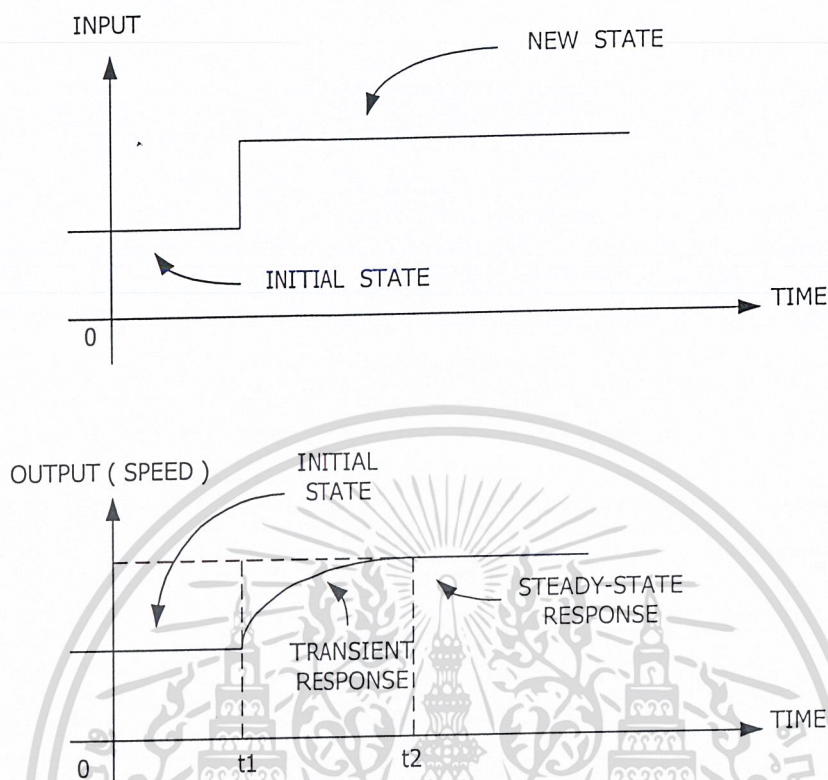
การควบคุมอัตโนมัติของระบบทางกายภาพใด ๆ คือการควบคุมหรือบังคับให้ระบบนั้นทำงานในลักษณะที่จะนำมาซึ่งผลงาน (Output) มีคุณสมบัติสอดคล้องหรือเป็นไปตามเป้าหมาย (Set Point) ด้วยตัวของมันเอง เช่นการควบคุมอัตโนมัติในระบบการทำความเย็น ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึง การบังคับให้ระบบทำงานให้ผลงานคือ ความเย็น เป็นไปตามที่ต้องการ กล่าวคือ มีระดับความเย็นหรืออุณหภูมิเป็นไปตามที่ต้องการ ไม่ใช่เย็นไม่พอหรือเย็นเกินไป ด้วยอุปกรณ์หรือส่วนประกอบภายในระบบนั่นเอง แทนที่ผู้ใช้จะคอยเปิดหรือปิดเครื่องเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้พอเหมาะ หรือเช่นการควบคุมอัตโนมัติในระบบความดันซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ การควบคุมความดันของระบบให้อยู่ในช่วงที่ต้องการตลอดเวลาด้วยอุปกรณ์ หรือส่วนประกอบภายในระบบแทนที่ผู้ใช้จะเป็นผู้เปิดหรือปิดเครื่องอัดอากาศหรือปั๊มเอง เป็นต้น ในระบบควบคุมอัตโนมัติอย่างง่าย ๆ ผลงานหรือสิ่งที่ระบบทำให้(Output) และ เป้าหมายของระบบ (Set Point) หรือข้อกำหนดที่ส่งเข้าสู่ระบบ (Input) อาจเป็นปริมาณ หรือสัญญาณชนิดเดียวกัน เช่น เป็นอุณหภูมิเหมือนกันในระบบควบคุมความเย็น แต่ในระบบควบคุมอัตโนมัติทั่วไป เาท์พุท และอินพุท อาจเป็นปริมาณหรือสัญญาณที่เหมือนกัน หรือไม่เหมือนกันก็ได้ เช่น ในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) เาท์พุทของระบบคือความร้อน ในขณะที่อินพุทเป็นอัตราการไหลของสารหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
เนื่องจากจากการควบคุมอัตโนมัติ เป็นการบังคับให้ระบบการทำงานให้เอาท์พุทที่เป็นไปในลักษณะที่สอดคล้องกับอินพุทจึงอาจกล่าวได้ว่า การศึกษาการควบคุมอัตโนมัติเป็นการศึกษาถึงการให้

ตอบสนองของระบบ (System Response) ซึ่งจะได้แก่ ลักษณะของเอาต์พุตต่อเป้าหมาย หรือ ข้อกำหนด (Set Point) หรือต่ออินพุตที่เข้าสู่ระบบ การตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เข้ามาสู่ระบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถแบ่งได้เป็น การตอบสนองส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient Response) กับการตอบสนองที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Steady State Response) ซึ่งโดยทั่วไปการศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติจะเน้นไปที่ การตอบสนองส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทำให้การวิเคราะห์ วิจัย ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติเสมือนว่าเป็นการวิเคราะห์ วิจัย ระบบพลศาสตร์ (Dynamics System) และในบางครั้งนั้นจะพบว่า มีทฤษฎี หรือหลักเกณฑ์ของการควบคุมอัตโนมัติบางอย่าง สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบทางพลศาสตร์อื่น ๆ เช่นระบบ สั่นสะเทือนหรือในทางกลับกันได้เป็นอย่างดี

2.2.2 การตอบสนองของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในระบบเพิ่มความเร็วของรถยนต์ หรือยานพาหนะอื่น ๆ อินพุตของระบบคือ ตำแหน่งของคันเร่งน้ำมัน เอาต์พุตของระบบคือ ความเร็วของรถยนต์ หรือ ยานพาหนะนั้น ๆ เมื่อผู้ขับขี่ซึ่งอาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบได้ ต้องการจะเพิ่มความเร็วของรถยนต์ หรือยานพาหนะของเขา เขาจะต้องส่งสัญญาณที่ต้องการอันนี้เข้าสู่ระบบ โดยการเหยียบคันเร่งน้ำมันให้มากขึ้น (Input) ของระบบเปลี่ยนไป ระบบจะทำงานด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ที่จะทำให้ล้อของรถยนต์หรือยานพาหนะนั้น ๆ หมุนเร็วขึ้น อันจะทำให้ความเร็ว (Output) ของรถยนต์หรือยานพาหนะนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงจะเห็นว่า ความเร็วของยานพาหนะนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น การตอบสนองของระบบขณะนี้เรียกว่า เป็นการตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient Response) และเมื่อเวลาผ่านไปชั่วขณะหนึ่ง ความเร็วของยานพาหนะจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกต่อไป การตอบสนองของระบบดังนี้ไป เป็นการตอบสนองส่วนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา (Steady State Response) ยกเว้นเสียแต่ว่าอินพุตของระบบนั้นคือ ตำแหน่งของคันเร่งน้ำมันจะเปลี่ยนไปเป็นค่าใหม่ หรือระบบถูกรบกวนจากภายนอก เช่น รถขึ้นหรือลงเนินหรือถูกลมกระโชกแรงมากขึ้น ฯลฯ เหตุการณ์ในระบบตัวอย่างดังที่ได้กล่าวมานี้ อาจสามารถแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองได้ดีขึ้น โดยรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การตอบสนองของระบบเพิ่มความเร็วในยานพาหนะ

ในระบบอื่น ๆ เช่น ระบบควบคุมความดัน, ระบบควบคุมความเร็ว ฯลฯ ก็เช่นกัน ลักษณะของเอาต์พุต หรือ การตอบสนองของระบบต่ออินพุตใหม่ของระบบ จะไม่เป็นไปในลักษณะทันทีทันใด คือ จะต้องมีการค่อย ๆ เพิ่มหรือค่อย ๆ ลด กล่าวคือ ต้องใช้เวลาเสมอ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะระบบใด ๆ ก็ย่อมมีความเฉื่อย หรือ คุณสมบัติซึ่งเสมือนความเฉื่อยเสมอ และส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในระบบนั้น ๆ ย่อมไม่สามารถทำงานได้อย่างเครื่องจักรในอุดมคติคือ ให้แรง หรือ โมเมนตัม หรือ ผลกระทบได้อย่างมากมาย (Infinite) จนทำให้ระบบสามารถเปลี่ยนสถานะ (State) ได้อย่างทันทีทันใด

2.2.3 คุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในการเปรียบเทียบคุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติที่เหมือนกัน 2 ระบบ ว่าระบบไหนดีกว่ากัน จะต้องดูที่การตอบสนอง (Response) ของแต่ละระบบแล้วมาเปรียบเทียบกัน ระบบที่ให้การตอบสนองที่มีความแม่นยำ (High Accuracy) ย่อมที่จะดีกว่าระบบที่ให้การตอบสนองที่มีการคลาดเคลื่อน (Low Accuracy) และระบบที่ให้การตอบสนองที่ฉับไว (Fast) ย่อมดีกว่าระบบที่ให้การ

ตอบสนองอย่างเฉื่อยชา(Sluggish) และระบบที่ทำให้การตอบสนองที่เสถียร(Stable) ย่อมดีกว่าระบบที่ทำให้การตอบสนองรุนแรง หรือทำการควบคุมไม่ได้ (Violent or Unstable Response) จึงอาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติ หมายถึง

ก. ความแม่นยำ(Accuracy)

ข. ความรวดเร็ว(Speed)

ค. ความเสถียร(Stability)

ของการตอบสนองของระบบนั้น ๆ

ระบบควบคุมที่ขาดความแม่นยำนั้นย่อมนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ และถือว่าเป็นระบบการควบคุมที่สร้างขึ้น หรือทำขึ้นโดยผิดพลาดประสงค์ของการควบคุม และแน่นอนความแม่นยำในที่นี้ รวมถึงความสม่ำเสมอของเสถียรภาพ(Consistency) ในเรื่องของการตอบสนองด้วย ความเร็วในการตอบสนองก็เช่นกัน ระบบที่มีความตอบสนองที่แม่นยำไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย แต่ใช้เวลานานมากกว่าจะถึงเสถียรภาพก็ย่อมเป็นระบบควบคุมที่นำมาใช้งานไม่ได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่ ระบบเบรกในรถยนต์ เมื่อผู้ขับขี่ต้องการหยุดรถ หรือเหยียบคันบังคับเบรก หากรถยนต์ไม่หยุดหรือชะลอความเร็วลงความลักษณะของการเคลื่อนที่ของการบังคับเบรก ในกรณีฉุกเฉิน รถย่อมหยุดไม่ทันและเกิดอุบัติเหตุได้ การทำงานของระบบเบรกโดยทั่วไปจะต้องหยุดเมื่อสุดระยะเคลื่อนที่ของคันเหยียบบังคับเบรก ความเสถียรของการตอบสนองของระบบควบคุมอัตโนมัติ ก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของระบบควบคุมนั้น ๆ ระบบควบคุมที่มีความเร็วและแม่นยำในการตอบสนอง แต่ในบางลักษณะของอินพุท ไม่สามารถที่จะให้การตอบสนองที่เสถียร ระบบการควบคุมนั้นก็ใช้งานไม่ได้และชำรุดไป ตัวอย่างที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของความเสถียร ได้แก่ การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน แบบจุดระเบิดด้วยกำลังอัด(Compression Ignition หรือเครื่องยนต์ดีเซล) ซึ่งจะต้องมีตัวควบคุม คือ Governor สำหรับควบคุมรอบการทำงานของเครื่องยนต์นั้นเสมอ ถ้าหากการทำงานของ Governor ผิดพลาดหรือเสียไปในจังหวะที่ผู้ขับขี่เร่งเครื่องยนต์มาก ๆ เป็นระยะเวลานานเครื่องยนต์จะหมุนเร็วขึ้นทุกขณะจนตัวเครื่องยนต์เองพังเพราะชิ้นส่วนต่าง ๆ ไม่สามารถทนต่อแรงที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยไม่มีขีดจำกัดได้

จึงเห็นว่า ความแม่นยำ ความรวดเร็ว และความเสถียร นอกจากจะเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติแล้ว ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติทุกระบบจะขาดไปอันใดอันหนึ่งไม่ได้ จึงไม่ควรที่จะสรุปว่าความแม่นยำดีกว่าความรวดเร็ว ความรวดเร็วดีกว่าความเสถียรหรือกลับกัน ในระบบควบคุมอัตโนมัติหนึ่ง ๆ ผู้ออกแบบหรือผู้สร้างระบบควบคุมนั้น ๆ จะต้องคำนึงถึงทั้ง 3 องค์ประกอบคือ พยายามที่จะทำให้ได้ระบบควบคุมที่ทำงานหรือให้การตอบสนองที่แม่นยำที่สุด รวดเร็วที่สุด และเสถียรที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำได้ลำบากไม่ต่างกันใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เพราะในขณะที่ยกยอให้ระบบการควบคุมมีการตอบสนองที่รวดเร็ว โดยทั่วไปจะทำให้ระบบ

เสียความเสถียรไป หรือในขณะที่พยายามที่จะทำให้ระบบนั้นมีการตอบสนองที่แม่นยำมากขึ้น โดยทั่วไปก็จะมีผลกระทบทำให้ การตอบสนองล่าช้าลง

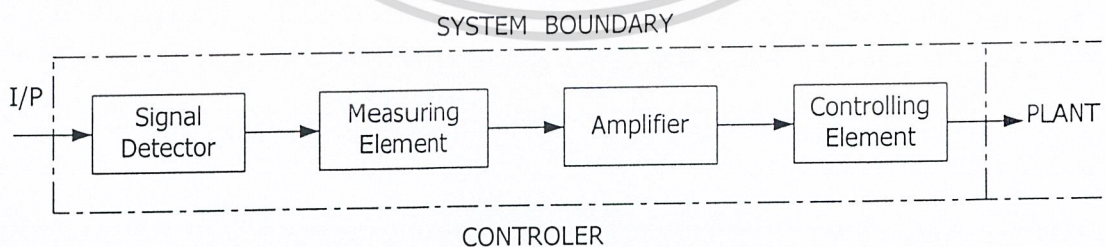
2.2.4 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย ระบบย่อย หรือส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นควบคุม(Controller) และส่วนที่เป็นกระบวนการ(Process)

2.2.4.1 ส่วนที่เป็นตัวควบคุม(Controller)

ส่วนที่เป็นตัวควบคุมนั้นหมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่แปรสัญญาณจากภายนอก ที่ส่งเข้ามาสู่ระบบ หรือ อินพุตให้เป็นสัญญาณอื่นที่เหมาะสม และมีกำลังพอ เพื่อไปบังคับให้ส่วนที่เป็นต้นกำลังทำงาน เพื่อให้ระบบควบคุมทั้งระบบทำงาน ในระบบควบคุมความเร็วของรถยนต์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนที่เป็นตัวควบคุม จะเริ่มต้นจากคันเร่งน้ำมัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ (Signal Amplifier) จากภายนอก และตัววัดระดับสัญญาณ (Measuring Device) ไปในตัวด้วยแล้วส่งสัญญาณนั้นไปยังคาบยูเรเตอร์ หรือหัวฉีดโดยอาศัยสายคันเร่ง หรือ Linkages ต่างซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ (Signal Amplifier) คาบยูเรเตอร์ หรือหัวฉีดก็จะทำงานโดยเปิดลิ้นให้ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศไหลลงสู่ Intake Manifold หรือ ในกรณีของหัวฉีดก็จะฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากขึ้น คาบยูเรเตอร์ หรือหัวฉีด จึงทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม (Controlling Element)

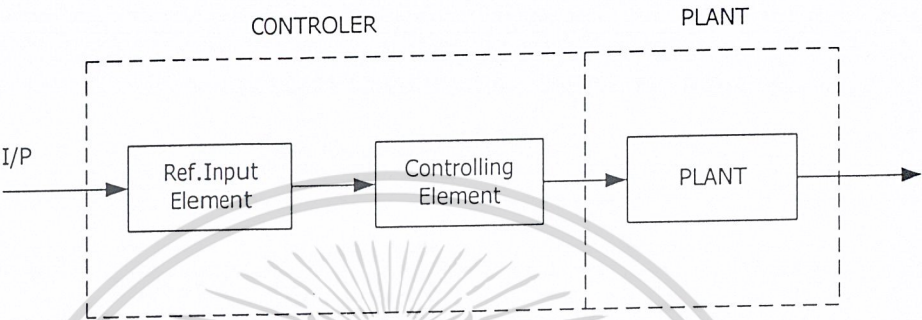
จึงอาจกล่าวได้ว่า โดยทั่วไปส่วนที่เป็นตัวควบคุมประกอบด้วย ตัวรับสัญญาณ หรือ Signal Detector หรือ Receiver ตัววัดระดับสัญญาณ หรือ Measuring Device และตัวขยายสัญญาณหรือ Signal Amplifier หรือ Amplifier และตัวควบคุมหรือ Controlling Element ซึ่งจะทำให้หน้าที่เปลี่ยนแปลง หรือ ลักษณะของสัญญาณ ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนที่เป็นตัวควบคุมและส่วนประกอบต่างๆ

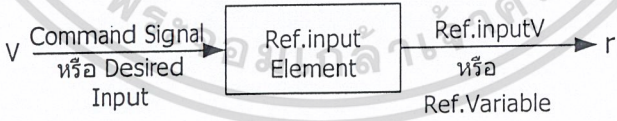
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแทนระบบควบคุมด้วยรูป (Diagram) ตัวรับสัญญาณหรือ Signal Detector ตัววัดระดับสัญญาณหรือ Mesuring Device ตัวขยายสัญญาณหรือ Amplifier อาจแสดงได้โดยรวมเข้าด้วยกัน เรียกว่า Reference Input Element ฉะนั้น ส่วนที่เป็นตัวควบคุม หรือ Controller ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จึงนิยมแทนด้วยรูป 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนที่เป็นตัวควบคุมและระบบควบคุมทั่วไป

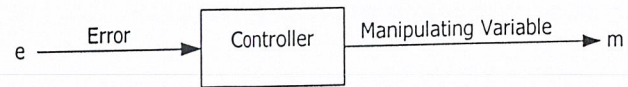
และเรียกสัญญาณที่เข้าสู่ระบบที่ Reference Input Element ว่า Command Signal หรือ Command Variable หรือ Desired Input ซึ่งโดยทั่วไปใช้ V เป็นสัญลักษณ์ และเรียกสัญญาณที่ออกไปจาก Reference Input Element ว่า Reference Input หรือ Reference Variable ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ คือ r ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัญญาณที่เข้าหรือออกของ Reference Input Element

ส่วนสัญญาณที่ออกไปจาก Controlling Element และเข้าสู่ส่วนที่เป็นต้นกำลัง หรือ แพนท์ (Plant) ของระบบ ซึ่งในระบบควบคุมความเร็วได้แก่ น้ำมันที่ไหลออกจาก คาบูเรเตอร์ หรือหัวฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์นั้น เรียกว่า Mainpulating Variable ใช้สัญลักษณ์ คือ m ฉะนั้น สัญญาณที่เข้าและออกจากส่วนที่เป็นตัวควบคุม จึงอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 สัญญาณที่เข้าและออกจากส่วนที่เป็นตัวควบคุม

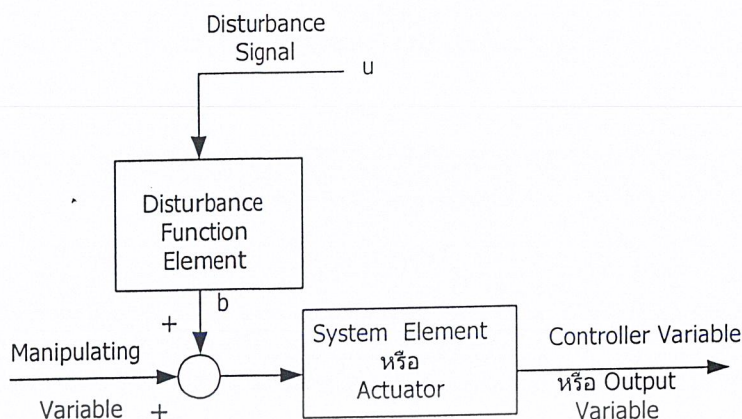
2.2.4.2 ส่วนที่เป็นกระบวนการ (Process)

ส่วนที่เป็นกระบวนการ คือส่วนของระบบควบคุมอัตโนมัติที่รับสัญญาณ Manipulating Variable (MV) จากส่วนที่เป็นตัวควบคุม หรือ ควบคุมแล้วทำงานให้ได้ เอาท์พุท หรือ Control Variable (C) ของทั้งระบบตามที่ต้องการ ในระบบควบคุมระดับของเหลว ส่วนที่เป็นกระบวนการต้นกำลังได้แก่ Control Valve ซึ่งเมื่อได้รับ Manipulating Variable คือสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA แล้วทำงานให้ระดับของเหลว (Control Variable) เป็นไปตามที่ต้องการ อาจจะเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สัญญาณที่เข้าและออกจากส่วนที่เป็นต้นกำลัง

เนื่องจากในระบบควบคุมทั่วไป สัญญาณที่เข้าสู่ตัวทำงาน ซึ่งเรียกว่า System Element หรือ Actuator มักจะประกอบด้วยสัญญาณอื่น เนื่องมาจากการรบกวนจากภายนอกกระบวนการ ซึ่งเรียกว่า External Disturbance ส่วนที่เป็นต้นกำลังจึงประกอบด้วย ตัวรวมสัญญาณ หรือ Singnal Summing Element ซึ่งทำหน้าที่รวมสัญญาณจากภายนอกกระบวนการ เข้ากับ Manipulating Variable แล้วจึงส่งต่อไปยัง Actuator ดังแสดงในรูป 2.7



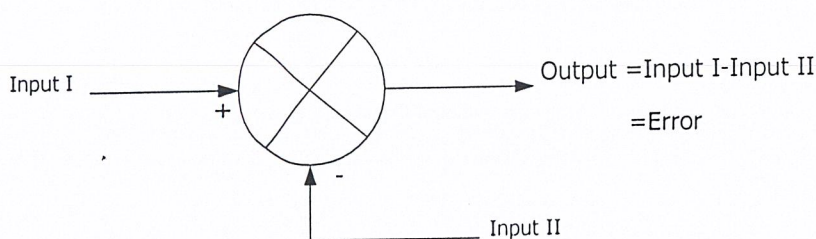
รูปที่ 2.7 ส่วนที่เป็นต้นกำลังของระบบควบคุมที่มีการรบกวนจากภายนอก

โดยที่ Disturbance Function Element หรือ Disturbance Element ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Reference Input Element คือ ส่ง วัด และขยาย (หรือลด) ขนาดหรือ เปลี่ยนรูป ในระบบเพิ่มความเร็วยของรถยนต์ Disturbance Signal ได้แก่ Vacuum Advance นั้นเอง ส่วนสัญญาณที่ออกจาก Disturbance Element ซึ่งจะรวมกับ Manipulating Variable (m) เรียกว่า Disturbance Variable ที่ใช้สัญลักษณ์ b

จะเห็นว่า ข้อแตกต่างของส่วนที่เป็นตัวควบคุม (Controller) กับส่วนที่เป็นต้นกำลัง (Plant) ก็คือ ส่วนที่เป็นตัวควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของทั้งระบบ ให้เป็นไปตามเป้าหมายของระบบควบคุม แต่เอาที่พูดของส่วนนี้ คือ Manipulating Variable ไม่สามารถทำงานให้ระบบได้จึงต้องอาศัยส่วนที่เป็นต้นกำลังอีกต่อหนึ่ง สำหรับส่วนที่เป็นต้นกำลังจะทำหน้าที่ผลิตกำลังให้ เป็นไปตามระดับความแรงของสัญญาณ Manipulating Variable จากส่วนตัวควบคุมเพื่อให้ได้ เอาที่พูดของระบบ หรือ Controlled Variable กล่าวคือส่วนที่เป็นต้นกำลัง หรือ ต้นกำลัง (Plant) จะทำงานในลักษณะแปรรูป หรือ ส่งพลังงาน เช่น เครื่องยนต์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานที่ สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล คือ รอบเครื่องยนต์และแรงบิด (Speed and Torque)

อุปกรณ์อื่นที่ใช้ในระบบควบคุมที่พลเสมอและสำคัญมากได้แก่ ตัวเปรียบเทียบค่าหรือ Comparator ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแล้วให้ความแตกต่างของสัญญาณ ที่มาเปรียบเทียบ เป็นเอาที่พูด ซึ่งเรียกว่า ค่าผิดพลาด (Error) ตัวเปรียบเทียบสัญญาณทำงานโดยอาศัยหลักการ และ ใช้สัญลักษณ์ เป็นวงกลม เช่นเดียวกับตัวรวมสัญญาณ เพียงแต่ให้สัญญาณหลักเป็นบวก และให้ สัญญาณที่มาเปรียบเทียบเป็นลบ และเขียนสัญลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



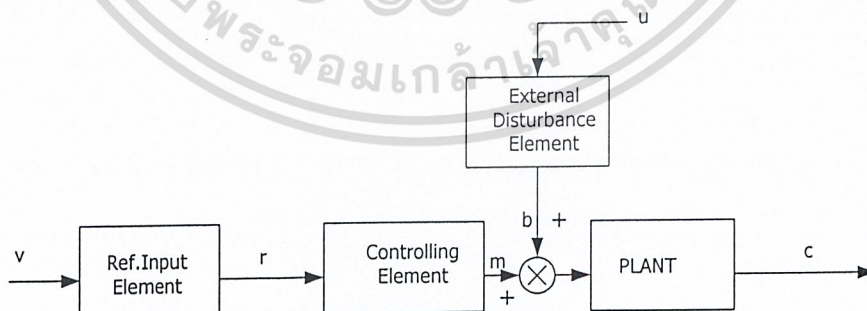
รูปที่ 2.8 ตัวเปรียบเทียบค่าหรือ Comparator ของระบบควบคุม

ตัวเปรียบเทียบค่า หรือ Comparator จะพบเสมอในเรื่องของระบบควบคุมประเภทวงจรปิด (Close-loop Control System) หรือที่เรียกกันว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทที่มีการป้อนกลับ (Feed back Control System) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.2.5 ประเภทของระบบควบคุมอัตโนมัติ

การควบคุมอัตโนมัติในระบบทางกายภาพต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทวงจรปิด (Close - Loop) หรืออีกประเภทที่มีการป้อนกลับ (Feed Back) กับประเภทวงจรเปิด (Open - Loop) หรือประเภทที่ไม่มีการป้อนกลับ

2.2.5.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทวงจรเปิดหรือประเภทที่ไม่มีการป้อนกลับ (Open-Loop Control System)



รูปที่ 2.9 ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบวงจรเปิด หรือแบบไม่มีการป้อนกลับ

ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นเรื่องของการควบคุมที่ไม่มีการเปรียบเทียบสภาพของเอาต์พุตของระบบ หรือ Controlled Variable (C) กับ Reference

Variable (R) ของระบบ กล่าวคือ Error หรือ Actuating Signal (e) มีค่าคงที่ตลอดเวลา และโดยทั่วไป เรื่องของกระบวนการจะทำงานที่อัตราคงที่นั้น ข้อสังเกตที่สำคัญของระบบควบคุมประเภทนี้นั้นก็คือความคลาดเคลื่อนของเอาต์พุตของระบบ เพราะในทางปฏิบัติระบบจะถูกรบกวนจากภายนอกเสมอ ทำให้ส่วนที่เป็นตัวปรับค่าตัวแปรกระบวนการไม่สามารถทำงานได้ตามที่ Controller สั่งมาแต่จะเอาการรบกวนเข้าและไม่มีการแก้ไขกลับ (Feed back) ที่ส่วนที่เป็นตัวควบคุมอีกแต่อย่างใด

ตัวอย่างของระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทนี้ ได้แก่การทำงานของเครื่องซักผ้า ซึ่งทำงานเป็นจังหวะๆคือ เติมน้ำ ซัก รีดน้ำ แล้วเติมน้ำใหม่ รีดน้ำหรือ ฯลฯ แล้วหยุดเครื่องตามแต่ที่ผู้ผลิตหรือผู้ใช้ตั้งค่าเอาไว้ หรือ โปรแกรมเอาไว้ เครื่องก็จะไม่ปรับตัวเองให้การทำงานให้เหมาะสมกับความสะอาด หรือสเปกของค่าในเครื่องเลย อีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่ การทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจรที่เปลี่ยนไฟเขียวเพื่อเป็นไฟแดงตามทางแยก ผลัดกันข้างละ 1-2 นาทีแล้วแต่การตั้งเครื่องการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจรนี้นั้น จะถือว่าเป็นแบบมีการป้อนกลับได้ก็ต่อเมื่อมีการนำเอาสภาพความแออัดของรถยนต์หรือยานพาหนะบนถนนแต่ละแยก ไปบังคับการทำงานของระบบ เช่น นับจำนวนรถยนต์หรือยานพาหนะทุกด้านตลอดเวลาแล้วเอาผลไปเปรียบเทียบกับหรือในการให้ออกการทากรก็เช่นกัน ถือว่าเป็นระบบควบคุมที่ไม่มีการป้อนกลับเพราะการให้อาหาร (Input ของระบบ) กับความหิวความอิ่มของทารก (Output) ไม่มีความสัมพันธ์กันกล่าวคือความอิ่มของทารกไม่ได้ถูกนำมาบังคับการนำเอาอาหารเข้าปากทารกเลย ผู้ให้อาหารได้คะแนนในการให้อาหารครั้งที่แล้วว่าให้ไปนานแล้วจึงควรให้อาหารครั้งใหม่ได้ และสำหรับปริมาณอาหารก็คะแนนเอาไว้เช่นกัน ยกเว้นในกรณีผู้ให้อาหารทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบค่า (Comparator) ด้วยโดยจะทำการสังเกตอาการกับกิริยาของการรับประทานของทารกว่าทารกเริ่มอิ่มแล้วหรือไม่ จึงจะถือว่ามันเป็นระบบวงจรปิดหรือมีการป้อนกลับ

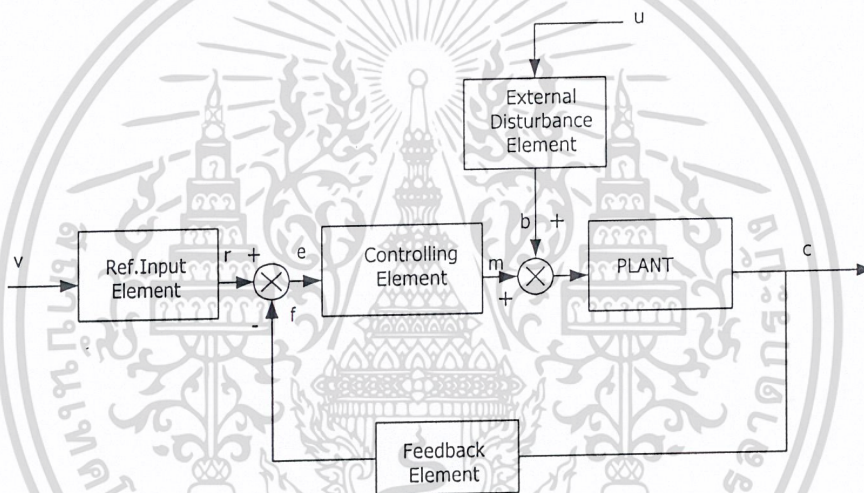
จึงสังเกตได้ว่า ความแม่นยำของ Controlled Variable © หรือเอาต์พุตของระบบเทียบกับ Referenec Variable ® ของระบบในระบบควบคุมอัตโนมัตินี้นั้นจะขึ้นอยู่กับการตั้งการปรับการคาดการณ์ล่วงหน้า (Calibration and Programming) เป็นสำคัญ มิฉะนั้นระบบจะทำงานอย่างผิดพลาดและไร้ประโยชน์ ฉะนั้นระบบควบคุมแบบนี้จะทำงาน โดยอาศัยจังหวะหรือเวลาเป็นหลักเสมอ ทั้งนี้เพราะเวลาเป็นตัวแปรที่มีอยู่ (Available) และคงที่ (Consistent) เสมออย่างไรก็ตามระบบการควบคุมอัตโนมัติแบบวงจรเปิด หรือแบบที่ไม่มีการป้อนกลับหากนับผู้ใช้ระบบ (System Operator) รวมเข้ากับตัวเครื่องด้วย ระบบใหม่ที่ได้จะได้เป็นระบบควบคุมประเภทวงจรปิดกล่าวคือการปิดหรือการป้อนกลับ เกิดที่ตัวผู้ใช้เครื่อง เช่น ระบบสัญญาณไฟจราจรดังที่ได้กล่าวมา โดยจะมี

เจ้าพนักงานจราจรเป็นผู้บังคับสัญญาณไฟ แทนการผลัดเปลี่ยนกันเองตามจังหวะ (Timer) ที่ตั้งไว้ หรือผู้ให้อาหารทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบค่าในการให้อาหารทารกดังกล่าวแล้วด้วย

2.2.5.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทวงจรรปิด หรือประเภทที่มีการป้อนกลับ

(Close – Loop of Feedback Control System)

ระบบการควบคุมประเภทนี้ เป็นระบบการควบคุมที่เอาต์พุตของระบบหรือ Controlled Variable (C) ถูกป้อนกลับมายังส่วนที่เป็นตัวควบคุม (Control) เพื่อมาเปรียบเทียบกับ ค่า Reference Variable (R) โดยอาศัยตัวเปรียบเทียบค่าตลอดเวลา และเนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว ลักษณะของ Controlled Variable (C) และ Reference Variable (R) จะไม่เหมือนกันใน Feedback Loop จึงมักประกอบด้วย Feedback Element ซึ่งทำหน้าที่รับ วัด ขยาย ลด หรือเปลี่ยนรูป Controlled Variable (C) ให้เป็น Feedback Variable



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมอัตโนมัติประเภทวงจรรปิด หรือประเภทที่มีการป้อนกลับ

(Close-Loop or Feedback Control System)

ในช่วง Transient Response ของระบบการควบคุมประเภทนี้ Error (หรือบางทีเรียกว่า Actuating Signal) ซึ่งมีสัญลักษณ์ e จะเปลี่ยนค่าตลอดเวลา ถึงแม้ Reference Variable (R) จะไม่เปลี่ยนค่าก็ตาม เนื่องจาก Feedback Variable เปลี่ยนค่าตลอดเวลา เพราะ Controlled Variable (C) เปลี่ยนค่าตลอดเวลา ฉะนั้นส่วนที่เป็น Final Element หรือ ส่วนที่เป็นตัวปรับตัวแปรกระบวนการของระบบควบคุมประเภทนี้ โดนทั่วไปแล้วจะทำงานด้วยอัตราที่ไม่คงที่ ตัวอย่างของระบบการควบคุมประเภทที่มีการป้อนกลับ ได้แก่การกระทำต่างๆ ของคน เช่น การรับประทานอาหาร ระบบประสาทจะทำหน้าที่เป็น Feedback Element คือ แปรสัญญาณความอิ่มจากกระเพาะอาหาร แล้วส่งไปยังสมอง สมองก็จะทำหน้าที่เป็น Comparator เปรียบเทียบระดับความอิ่ม หากไม่พอก็สั่งให้รับประทานอาหารเพิ่มอีกทั้งนี้ถ้าอิ่มแล้วก็จะสั่งให้พักผ่อนต่อไป หรือถ้าอิ่มเกินไปก็จะสั่งให้พักผ่อนต่อไป

อาหารเข้าปากต่อไป ข้อสังเกตที่เห็นได้จากกระบวนการเหล่านี้ก็คือ ถ้าคนๆหนึ่งหิวมาก เขาจะรับประทานอาหารได้อย่างรวดเร็ว มุมมาม และจะค่อยๆรับประทานอาหารช้าลงเมื่ออิ่มขึ้น และจะหยุดรับประทานเมื่ออิ่ม หรือเมื่อถึง Steady State แล้ว และอีกตัวอย่างหนึ่งของการควบคุมประเภทนี้ได้แก่ การเดินของคน จะเห็นได้ว่าการทำงานของระบบนี้ มีตาเป็น Feedback Element หากเจอหลุม ก้อนหิน หรือสิ่งกีดขวางใดๆ ที่ตาสังเกตพบ ตาจะส่งสัญญาณไปยังสมอง ทำหน้าที่เปรียบเทียบ และ Controller Element คือสมอง ก็จะบังคับให้กล้ามเนื้อเท้าและขาทำงานคือ เดินหลบสิ่งกีดขวางเหล่านั้นแต่ยังคงมุ่งไปที่เป้าหมายเดิม เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

2.3 รูปแบบของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ (Types of Feedback Controller)

2.3.1 Proportional Controller (P)

ตัวควบคุมแบบ P เป็นแบบที่ง่ายที่สุดหรือที่เราเรียกว่า on-off controller ซึ่งมีสมการที่อธิบายการทำงานดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c[r(t) - c(t)]$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t)$$

เมื่อ

$m(t)$ = เอาท์พุทจากตัวควบคุมหน่วย psig หรือ mA

$r(t)$ = ค่าเป้าหมายหน่วย psig หรือ mA

$c(t)$ = ตัวแปรที่ถูกควบคุมหน่วย psig หรือ mA

$e(t)$ = สัญญาณที่ผิดพลาดหน่วย psig หรือ mA (เป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและตัวแปรที่ถูกควบคุม)

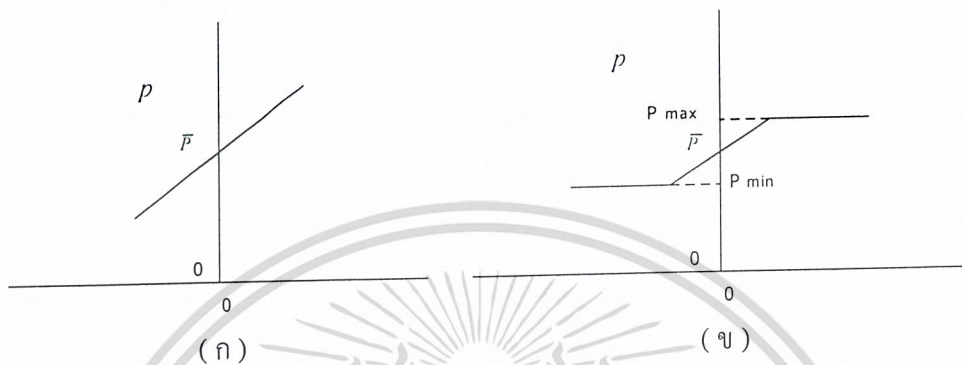
K_c = ค่าของเกนซ์ของ Controller หน่วย psi/psi หรือ mA/mA

$\bar{m}$ = ค่าไบอัสหน่วย psig หรือ mA ความสำคัญของค่านี้คือ เอาท์พุทจาก Controller ของตัวควบคุม (9 psig หรือ 12 mA)

จากสมการแสดงให้เห็นว่าเอาท์พุทของ Controller เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ error ระหว่างจุด set point และตัวแปรที่ถูกควบคุม สัดส่วนนี้เกิดขึ้นโดยมีค่าเกนซ์ของ Controller หรือที่เรียกว่า Controller Sensitivity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อให้นักเรียนใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อได้เปรียบของ Controller แบบนี้คือมี tuning parameter เพียงตัวเดียวคือมี K_c แต่มีข้อเสียคือมี OFFSET หรือ steady state error กล่าวคือ error term, $e(t)$ ไม่สามารถเป็นศูนย์ได้ที่ steady state



รูปที่ 2.11 (ก) พฤติกรรมในอุดมคติ Proportion Control (ความชันของเส้น K_c)

(ข) พฤติกรรมตามความเป็นจริงของ Proportion Control

2.3.2 Proportional Integral Controller (PI)

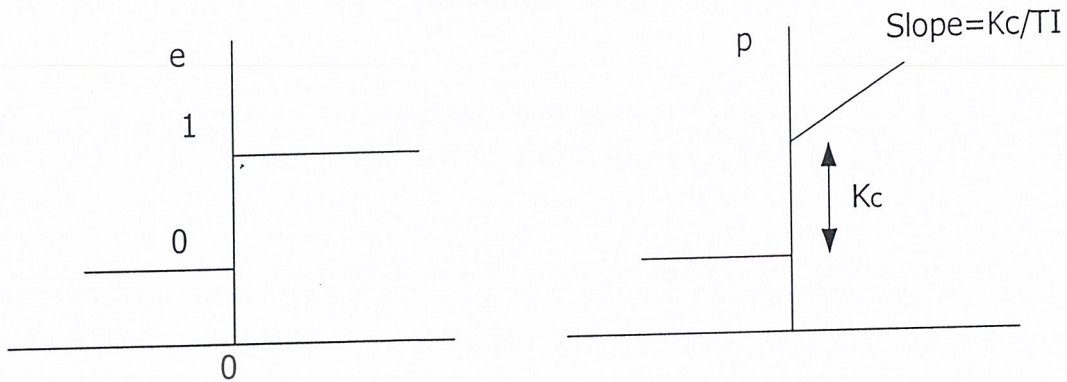
มีหลายกระบวนการที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยค่า offset นั่นคือ ต้องถูกควบคุมไว้ที่ set point ในกรณีนี้เรามีการเพิ่มอีกเทอมของการควบคุมเข้าไป เราเรียกเทอมนี้ว่า Integral หรือ reset action ดังสมการต่อไปนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + (K_c / \tau_I) \int e(t) dt$$

เมื่อ τ_I = Integral หรือ reset หน่วย นาที่ต่อรอบ

นั่นคือ PI Controller จะมีตัวแปรสองตัวคือ K_c และ τ_I ที่ใช้ปรับแต่งให้ได้ การควบคุมที่ต้องการ โดยค่าเกณฑ์จะมากขึ้นเมื่อเพิ่ม Integral หรือ reset action และเมื่อใดก็ตามที่ error ยังคงมีอยู่ในสมการ Controller จะมีการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตของตัวมัน โดยทำการรวม error เพื่อกำจัด error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การควบคุมแบบ PI

2.3.3 Proportion - Derivative Controller (PD)

เครื่องควบคุมแบบนี้ จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่ใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องการค่าของการคาดการณ์ล่วงหน้าอีกเล็กน้อย แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt}$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนในอุดมคติคือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c (1 + \tau_D s)$$

ข้อเสียของเครื่องควบคุมแบบ PD ไม่สามารถจะแก้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่ได้ จะเฉพาะกริยาอินทิกรัลเท่านั้นที่จะสามารถจัดออฟเซตไปได้หมด อย่างไรก็ตามเครื่องควบคุมแบบ PD สามารถที่จะมีอัตราการขยายที่สูงขึ้นกว่าแบบสัดส่วนอย่างเดียว จึงมีผลให้ออฟเซตมีค่าน้อยลงไปได้ในวงรอบการควบคุมแบบง่าย

2.3.4 Proportional – Integral – Derivative Controller (PID)

จะมีการเพิ่มเติม derivative action เพื่อให้ controller สามารถทำนายล่วงหน้าได้ในขณะที่กระบวนการกำลังดำเนินอยู่ โดยการคำนวณการเกิดขึ้นของ error สมการที่ใช้อธิบายมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา τ_I และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt}$$

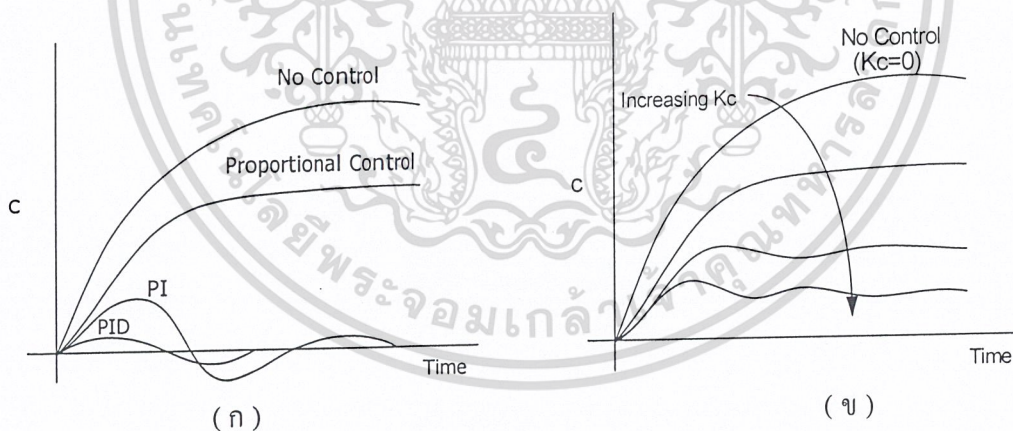
เมื่อ τ_D = Derivative หรือ rate time (นาที)

PID Controller จะใช้กระบวนการคงที่เป็นระยะเวลานาน เช่นอุณหภูมิหรือ Concentration Loop กระบวนการคงที่เป็นเวลาสั้น (มีความจุ) จะเร็วและไวต่อสัญญาณรบกวน Process เช่น Flow Loop และกระบวนการที่คงที่กินระยะเวลานาน (มีความจุมาก) มักจะเกิดการแกว่งแต่ความไวต่อสัญญาณรบกวนจะน้อยลง แต่ต้องระวังการรบกวนในสัญญาณ transmitter ส่วน Transfer Function ของการใช้งานจริงมีดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left\{ 1 + \frac{1}{\tau_I} \right\} \left\{ \frac{(\tau_D s + 1)}{(\alpha \tau_D s + 1)} \right\}$$

ค่า α จะประมาณอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.1

2.4 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแต่ละชนิด (Typical Response of Feedback Control System)

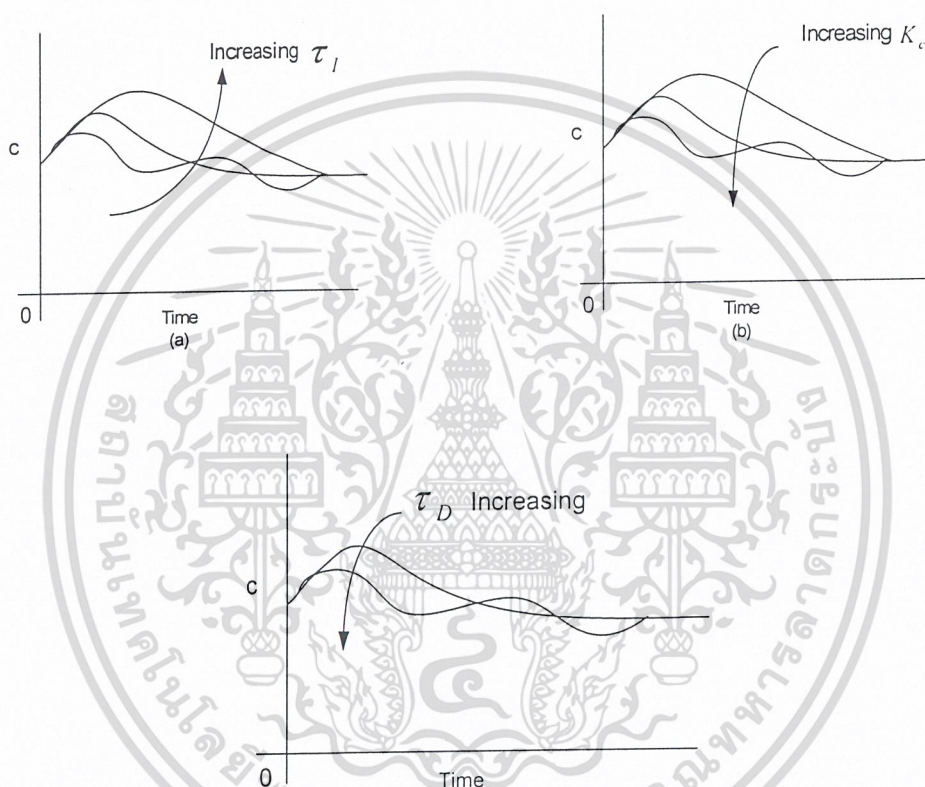


รูปที่ 2.13 (ก) ผลการตอบสนองของ Process แต่ละชนิดใน Feedback Control

(ข) ผลของ Gain Controller ใน P Control

รูปที่ 2.13 แสดงพฤติกรรมของกระบวนการที่ถูกควบคุมหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลด (load change) แบบขั้นบันได (step) ตัวแปรที่ถูกควบคุม C แสดงค่าเบี่ยงเบนจากค่าสถานะเริ่มต้น ถ้าไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ กระบวนการจะค่อยๆ ขึ้นไปสู่สภาวะคงที่ค่าใหม่ การไม่ควบคุมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมแบบ Proportional จะเร่งการตอบสนองกระบวนการและลด offset การเพิ่มกระบวนการ ควบคุมแบบ integral จะจำกัด offset แต่มีแนวโน้มที่จะแกว่ง (oscillate) มากขึ้น การเพิ่มการกระทำ derivative จะลดขนาดของการ oscillation และในเวลาการตอบสนองการใช้ P, PI, PID Controller ใ้ว่าจะตอบสนองแบบแกว่งเสมอไป ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของ Controller (K_c, τ_I, τ_D) และการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการด้วย



รูปที่ 2.14 ผลของ (a) Reset time (b) Gain Control

รูปที่ 2.14 แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ที่จัดไว้ของ Controller แต่ละค่า โดยปกติแล้วการเพิ่ม Gain มีแนวโน้มที่จะทำให้ผลการตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น แต่ถ้าค่า K_c มากเกินไปผลตอบสนองจะแสดงการ Oscillate ที่ไม่ต้องการ หรืออาจจะไม่เสถียร (Unstable) เลยก็ได้

การเพิ่ม reset time จะทำให้การควบคุมแบบ PI, PID ช้าลงในทางทฤษฎี offset จะหายไป สำหรับค่า τ_I ตั้งแต่ศูนย์ถึง ∞ แต่สำหรับค่า τ_I ที่มีมากเกินไป ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะเข้าสู่ set point ช้าลงมากๆ หลังจากการเปลี่ยนแปลง load หรือ set point ประโยชน์ด้านการคำนวณที่น้อยเกินไป ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการยากที่จะอธิบายเกี่ยวกับผลของ Derivative (τ_D) สำหรับค่า τ_D น้อยๆ การเพิ่มมีแนวโน้มจะปรับปรุงผลตอบสนองโดยการลดการเบี่ยงเบนสูงสุด (maximum derivative) เวลาการตอบสนอง (response time) และขนาดการแกว่ง (degree of oscillation) อย่างไรก็ตามถ้า τ_D มากเกินไป สัญญาณรบกวนจากการวัดมีแนวโน้มที่จะขยาย (amplify) และการตอบสนองจะเริ่ม oscillate นั่นคือค่ากลางของ τ_D จะดีที่สุด

2.5 ผลการตอบสนองของระบบ First - Order

จากความสัมพันธ์สำหรับการตอบสนอง (Response) แบบไดนามิกส์ stirred - tank heater แบบง่าย เพื่อหาว่าอุณหภูมิที่ออกมา จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่ออินพุตตัวใดตัวหนึ่งคือ $Q_{(s)}$ หรือ $T_{(s)}$ ถูกเปลี่ยนไป เราใช้ transfer function แบบ First - Order ทั่วๆไปเป็น

$$\frac{P V_{(s)}}{M V_{(s)}} = \frac{K}{\tau_s + 1}$$

เมื่อค่า K เป็นค่าเกณฑ์ของ Process และ τ เป็นค่าของ time constant

ในการตรวจรูปแบบเฉพาะของอินพุต $X_{(s)}$ บางรูปแบบจะได้สมการของ $PV_{(s)}$ และผลการตอบสนองของ $PV_{(s)}$ มีดังนี้

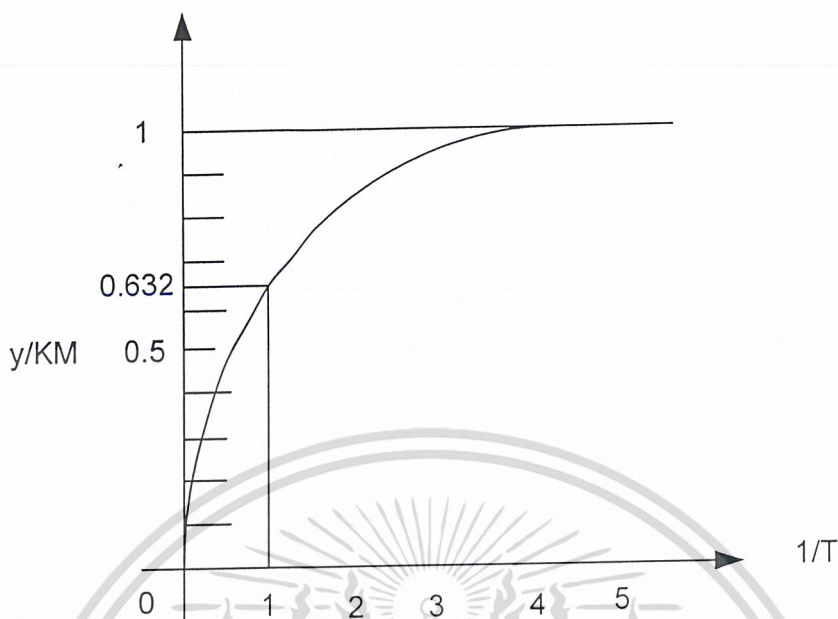
สำหรับอินพุตแบบ 1 step ที่มีขนาดเป็น M, $MV(s) = M/s$ และ

$$P V_{(s)} = \frac{MK}{s(\tau s + 1)}$$

จะได้ผลตอบสนองที่ขึ้นอยู่กับเวลาเป็น

$$PV(t) = MK(1t / \tau)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองของระบบแบบ step สำหรับ first order process

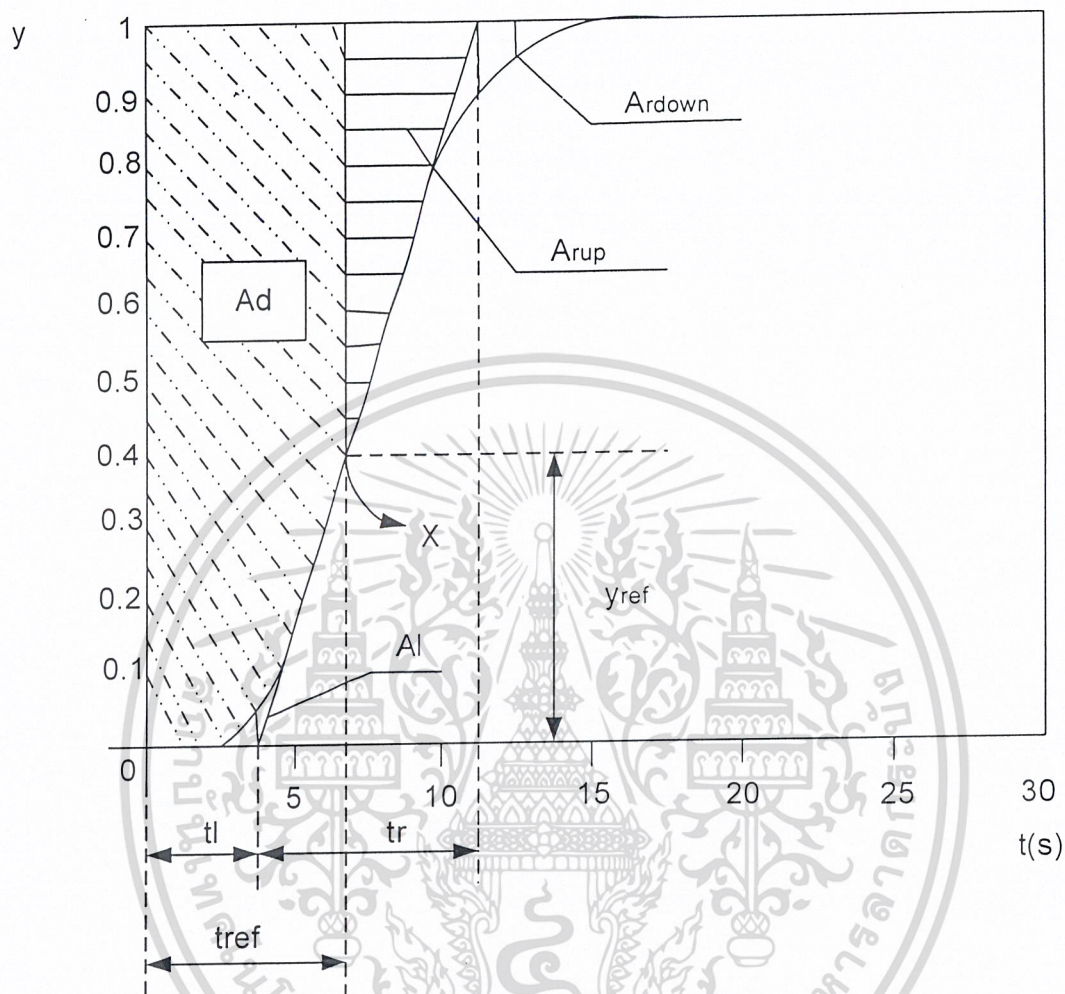
จากรูปของความสับสนนี้แสดงว่า process แบบ first order ไม่ได้ตอบสนองอย่างทันทีทันใด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอินพุตอย่างรวดเร็ว ในความเป็นจริงในช่วงหลังเวลาหนึ่งเท่ากับ time constant ของ process กล่าวคือเราจะพบผลตอบสนองของ process จะไม่เท่ากับค่าใหม่ ที่สภาวะคงที่ จะประมาณให้มีค่าเป็นค่าใหม่เมื่อเท่ากับ 3 ถึง 5 เท่าของ time constant

ระบบปรับ 3 แบบที่ใช้ในการกำหนดค่า Controller Parameters คือ

- การปรับโดยใช้ทฤษฎีของ Ziegler – Nichols (ZN)
- การปรับโดยใช้ทฤษฎีของ Cohen – Coon (CC)
- การปรับโดยใช้ทฤษฎีของ Chien – Hrones – Reswick (CHR)

ซึ่งทั้ง 3 วิธี ระบบมีเกณฑ์ในกระบวนการตอบรับ (เส้น Curve พลังงานที่ถูกส่งผ่านในรูปคลื่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 รูปแสดงผลการตอบสนอง

ตัวแปร t_l , t_r , t_{ref} และ Y_{ref} แสดงถึงกระบวนการเวลาล่าช้า, เวลาขึ้น, เวลาสะท้อน และขนาดการสะท้อน ตามลำดับ จุด X แสดงถึงจุดการสะท้อน ในรูปที่ 2.16 มีการหาขนาดพื้นที่ด้วย กับ A_{rd} , A_l , A_{rup} และ A_d ทั้งหมดจะถูกเพิ่มสำหรับการหาค่าตามกฎต่อไปอีกของการปรับผลลัพธ์ตามความคิดหลากหลาย

อย่างไรก็ตามทั้ง 3 วิธีต้องการข้อมูลเกี่ยวกับเวลาล่าช้า (t_l) และเวลาขึ้น (t_r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎี Tuning procedures

2.6.1 Ziegler – Nichols adjustment for PID controller

กฎปรับ ZN จะล้อมรอบด้วยกฎเก่าๆ ชนิดการปรับ PID ของการควบคุมอย่างไรก็ตาม ทั้งหมดจะใช้อย่างกว้างขวางแบบเรียบในช่วง 10 ปีที่แล้วที่มีการเปลี่ยนแปลงหลากหลายของกฎ เดิมจะมีสัดส่วน

$$K = 0.9 \frac{tr}{tl}$$

$$Ti = 3.3 tl$$

วิธีของ Ziegler – Nichols ในการหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของ ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งมี 2 วิธี แต่ละวิธีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ ผลตอบสนองของเวลาของระบบต่ออินพุต Unit step มีค่าของ Maximum Overshoot ไม่เกิน 25 %

2.6.1.1 วิธีที่ 1 Process Reactive Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จากผลตอบสนองเวลาของ ระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมต่ออินพุตแบบ step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะ ไม่มี Pole ที่จุดกำเนิด (Origin) หรือไม่มี Dominant Complex Conjugate Poles และไม่มีตัว ควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองของเวลาไม่ เป็นรูป S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ซึ่งสามารถจะพิจารณาว่าเป็นตัวคงที่คือค่าของ Delay time L และ เวลาคงที่ T (Time Constant) จากนั้นให้ลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเบี่ยงเบนสูงสุด เส้นนี้ จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาต์พุต $C(t)$ ที่ $C(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transport Lag คือ

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-t_l s}}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ziegler – Nichols ได้กำหนดค่าสำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

$$K_p = \frac{T}{L}$$

2. ตัวควบคุมแบบ PI

$$K_p = 0.9 \frac{T}{L}$$

$$T_i = \frac{L}{0.3}$$

3. ตัวควบคุมแบบ PID

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L}$$

$$T_i = 2L$$

$$T_d = 0.5L$$

2.6.1.2 วิธีที่ 2 Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P อินพุตแบบ Unit step โดยปรับค่าของ K_p ไปเรื่อยๆ จนผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) เป็นอัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) เป็นคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

Ziegler – Nichols ได้กำหนดค่าสำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

$$K_p = 0.5 K_{cr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวควบคุมแบบ PI

$$Kp = 0.45 Kcr$$

$$Ti = \frac{Pcr}{1.2}$$

3. ตัวควบคุมแบบ PD

$$Kp = 0.6 Kcr$$

$$Td = 0.125 Pcr$$

4. ตัวควบคุมแบบ PID

$$Kp = 0.6 Kcr$$

$$Ti = 0.5 Pcr$$

$$Td = 0.125 Pcr$$

2.6.2 Cohen – Coon adjustment for PID controller

กฎ CC สำหรับปรับ PI Controller จะถูกสร้างบนพื้นฐาน Criteria ติดตาม : อัตราส่วนความชัน 25 % และที่น้อยที่สุด , Whilst การปรับของเรทแสดงเป็นการปรับละเอียดระหว่างรอบของการแกว่งไปมาของความชันและที่น้อยที่สุดของส่วนประกอบของ e (ความผิดพลาด)

$$K = \frac{1}{12} + \frac{9}{10} \frac{tr}{tl}$$

$$Tl = tl \frac{30 tr + 3 tr}{9 tr + 20 tl}$$

จี เฮช โคเฮน (G.H. Cohen) และ จี เอ คูน (G.A. Coon) ได้ทำการทดลองปรับเครื่องควบคุมและหาสูตรสำเร็จที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับตัวแปรควบคุมของเครื่องควบคุมแบบ P , PI และ PID เพื่อให้กระบวนการมีอัตราการลดทอนหนึ่งส่วนสี่ ลดความคลาดในการควบคุมให้มีย่าน้อยที่สุด และลดค่าอินทิเกรตความคลาดเคลื่อนกำลังสองให้มีย่าน้อยที่สุด ดังนี้

1. เครื่องควบคุมแบบ P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Kc = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\tau_d} \left(1 + \frac{\tau_d}{3\tau} \right)$$

2. เครื่องควบคุมแบบ PI

$$K_c = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\tau_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{\tau_d}{4\tau} \right)$$

$$K_c = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\tau_d} \left(0.9 + \frac{\tau_d}{12\tau} \right)$$

3. เครื่องควบคุมแบบ PID

$$\tau_I = \tau_d \left(\frac{30 + 3\tau_d / \tau}{9 + 20\tau_d / \tau} \right)$$

$$\tau_I = \tau_d \left(\frac{32 + 6\tau_d / \tau}{13 + 8\tau_d / \tau} \right)$$

$$\tau_D = \tau_d \left(\frac{4}{11 + 2\tau_d / \tau} \right)$$

สูตรการปรับเครื่องควบคุมของโคเฮนและควิน สามารถใช้กับระบบควบคุมที่กระบวนการมีการตอบสนองลักษณะเป็นโค้งรูปตัวเอสเท่านั้น โดยประมาณคุณสมบัติของกระบวนการเป็นกระบวนการอันดับหนึ่งและเวลาเฉื่อย ค่าตัวแปรที่ใช้ปรับเครื่องควบคุมจากสูตรของโคเฮนและควิน สามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับเครื่องควบคุมโดยการทดลองผิดพลาดลองดู ในขั้นตอนต่อไปการปรับเครื่องควบคุมโดยใช้สูตรสำเร็จของโคเฮนและควิน สังเกตพบว่าการปรับค่าในเครื่องควบคุมแบบ PI จะมีค่าน้อยกว่าการปรับค่าในเครื่องควบคุมแบบ P เนื่องจากผลการควบคุมแบบไอทำให้ระบบรวมมีเสถียรภาพลดลงจึงต้องลดค่าเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบไว้ และการปรับเครื่องควบคุมแบบ PID สามารถเพิ่มค่าได้มากกว่าเครื่องควบคุมแบบ PI และเครื่องควบคุมแบบ PI เนื่องจากผลการควบคุมแบบดีช่วยทำให้ระบบรวมมีเสถียรภาพดีขึ้น สำหรับกระบวนการที่ไม่มีเวลาเฉื่อยหรือในเส้นโค้งแสดงผลการตอบสนองของกระบวนการ จากการทดลองมีค่าน้อยมาก แสดงว่ากระบวนการดังกล่าวมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกระบวนการหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง จากสูตรการปรับเครื่องควบคุมของโคเฮนและควินพบว่า ต้องปรับค่าของเครื่องควบคุมสูงมาก สำหรับเครื่องควบคุมในทางปฏิบัติถ้าใช้เครื่องควบคุมให้มีค่าสูงมากที่สุด จะไม่ทำให้ระบบรวมเกิดการแกว่งเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมให้เหลือน้อยที่สุด สำหรับเครื่องควบคุมแบบ PI ให้

เอกรปรับค่าจนระบบรวมได้ผลตอบสนองตามความต้องการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 Chien – Hornes – Reswick adjustment for PI controller

มีกฎ CHR ที่แบ่งแยกตามประโยชน์สำหรับปรับการควบคุม PI ชอบมีผลลัพธ์ Aperiodic หรือเกิน 20 % ทั้งคู่ จะวางระเบียบหรือจุดหมายแนวทางเราใช้กฎความแตกต่าง CHR ซึ่งไม่เกิน 20 % ในแนวรูปปิด

$$K = 0.6 \frac{tr}{tl}$$

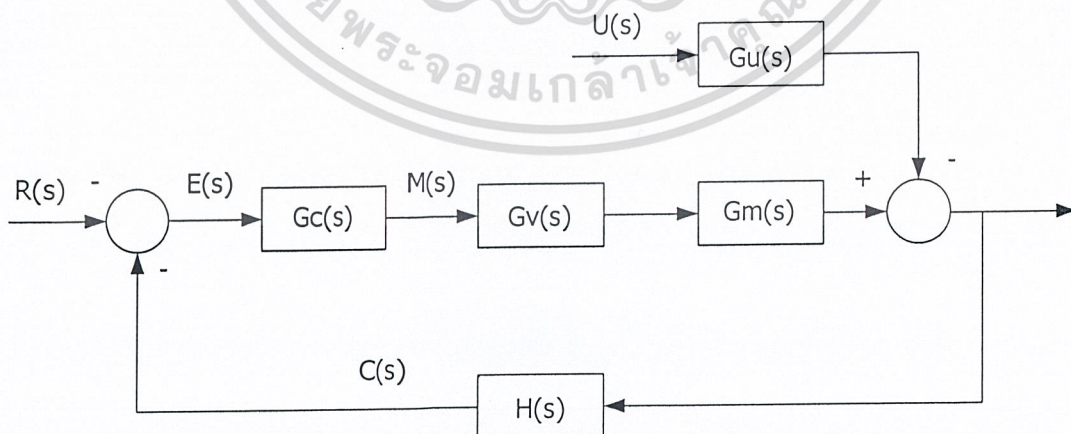
$$Tl = tr$$

2.7 วิธีการหาคุณลักษณะของกระบวนการ

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อที่จะได้ค่าตอบสนองแบบปิด (Close – loop Response) ตามที่ต้องการนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้าใจองค์ประกอบของแต่ละกระบวนการ เนื่องจากการควบคุมที่ดีสำหรับกระบวนการหนึ่ง ๆ อาจจะไม่ใช่ว่าการควบคุมที่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับกระบวนการอื่น ๆ

คุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบเฉพาะของคุณลักษณะของกระบวนการขึ้นมา เพื่ออ้างอิงสำหรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม

ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) สามารถใช้ในรูปแบบบล็อกไดอะแกรม (Block diagram) ของรูปการควบคุมในการกำหนดการควบคุมรูปแบบเฉพาะ



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของ Feedback Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 R(s) the Laplace transform ของค่าเป้าหมาย (Set point)
 M(s) the Laplace transform ของสัญญาณควบคุมจากเครื่องควบคุม (Controller)

$C(s)$ the Laplace transform ของสัญญาณขาออกของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (transmitter)

$E(s)$ the Laplace transform ของความคลาดเคลื่อน (Error)

$U(s)$ the Laplace transform ของสัญญาณรบกวน (Disturbance)

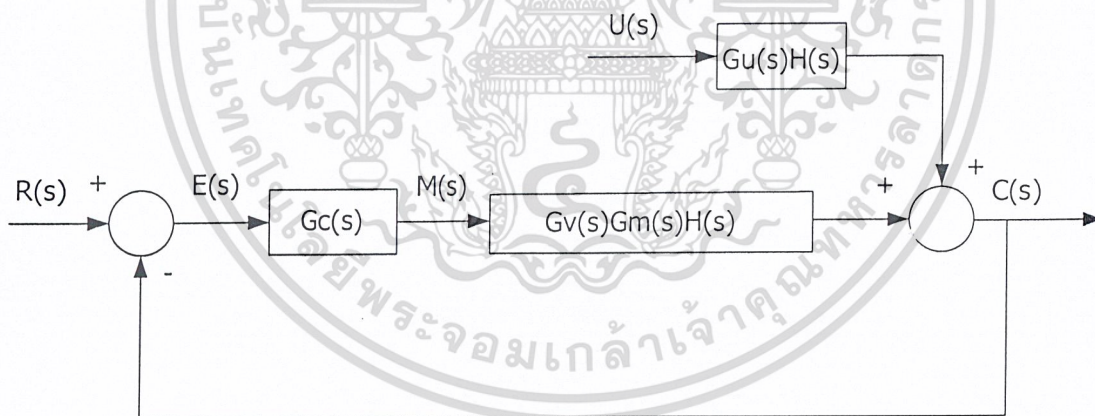
$G_c(s)$ the Transfer transform ของอุปกรณ์ควบคุม (Controller)

$G_v(s)$ the Transfer transform ของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (final control element)

$G_m(s)$ the Transfer transform ระหว่างเครื่องควบคุม (Controller) และตัวแปรปรับกระบวนการ (manipulate variable)

$G_u(s)$ the Transfer transform ระหว่างตัวแปรควบคุม (Controller variable) และสัญญาณรบกวน (Disturbance)

$H(s)$ the Transfer transform ของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (sensor) และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (transmitter)



รูปที่ 2.18 Equivalent simplified block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) โดยอนุมานให้เป็นรูปแบบ low order คือ รูปแบบ First – order Plus Dead – time (FOPDT)

$$G(s) = \frac{K \exp(-t_0 s)}{\tau_s - 1}$$

ภายใต้รูปแบบที่กำหนด คุณลักษณะของกระบวนการจะถูกจัดอยู่ในรูปแบบของตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่

- Process Gain (K)
- Dead time (t_0)
- Time constant (τ)

ทำการแปลงสมการให้อยู่ในรูปของ Time Domain (Invert laplace transform)

$$\Delta C(t) = K \Delta m u(t - t_0) \{1 - \exp(-(t - t_0)/\tau)\}$$

โดย $\Delta C(t) = C(t) - C(0)$ เป็นผลต่างของการตอบสนองของกระบวนการ ตั้งแต่ที่เวลาเริ่มต้นฟังก์ชัน unit step $u(t-t_0)$ เป็นพจน์ที่กำหนดให้ $\Delta C(t) = 0$ ขณะที่ $t \leq t_0$ เมื่อผลตอบสนองเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state)

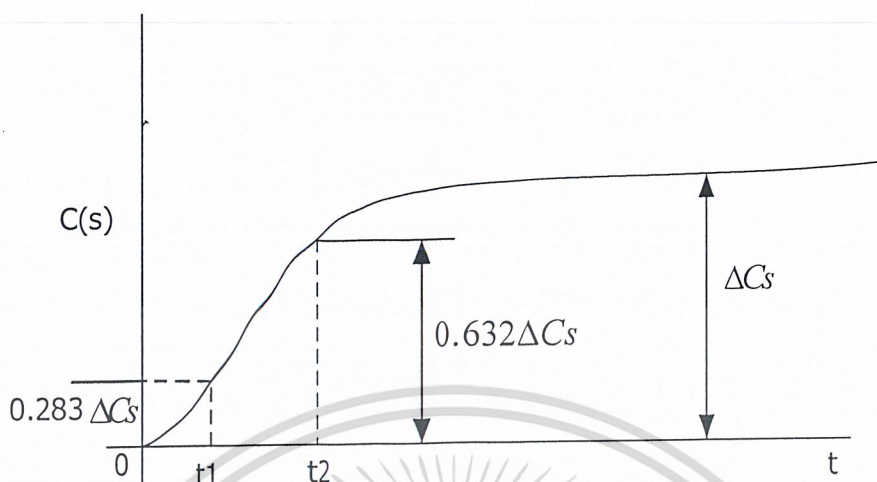
$$\Delta C_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta C(t) = (1.3)$$

จากผลของสมการสามารถหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain (K) ได้เป็นค่าแรก

$$K = \frac{\Delta C_s}{\Delta m}$$

ผลการตอบสนองจากกระบวนการที่ทำการบันทึกได้ (Reaction Curve) สามารถพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบสนองกับค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่เหลือ ในลักษณะที่สัมพันธ์กับเวลา เป็นการประมาณค่า (Curve fitting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 FOPDT Model Parameter by Curve Fitting

พิจารณาค่าที่เวลา $t = (t_0 + \frac{\tau}{3})$ และ $t = (t_0 + \tau)$ แทนในสมการ

$$\Delta C(t_0 + \tau) = K \Delta m [1 - \exp(-1)] = 0.632 \Delta C_s$$

$$\Delta C(t_0 + \frac{\tau}{3}) = K \Delta m \left[1 - \exp(-\frac{1}{3}) \right] = 0.283 \Delta C_s$$

ในกรณีที่สามารควบคุมการทดสอบแบบ Process step testing ค่าพจน์ Δm จะถูกควบคุม เช่น $\Delta m = 1$

$$\Delta C(t_0 + \tau) = 0.632 K = 0.632 \Delta C_s$$

$$\Delta C(t_0 + \frac{\tau}{3}) = 0.283 K = 0.283 \Delta C_s$$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Process Gain จะมีค่า $K = \Delta C_s$

นำมาสู่ข้อสมมุติฐานที่ว่า เมื่อทราบค่า Process Gain จากการทดสอบและค่าสัญญาณควบคุมถูกควบคุมไว้

ที่ค่าผลการตอบสนองของกระบวนการเป็น $0.283K$ เวลาในการทดสอบผ่านมาถึงเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $t = (t_0 + \frac{\tau}{3})(0.283K = \Delta C(t_0 + \frac{\tau}{3}))$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ค่าผลการตอบสนองของกระบวนการเป็น $0.632K$ เวลาในการทดสอบผ่านมาถึงเวลาที่

$$t = (t_0 + \tau)(0.632K = \Delta C(t + \tau))$$

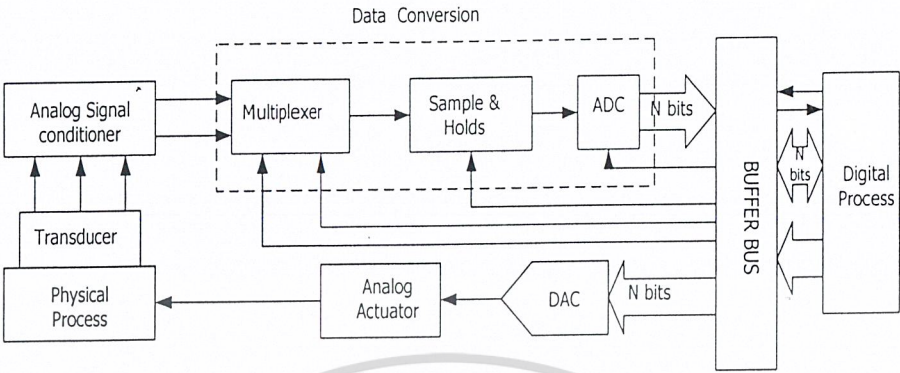
ค่าคุณลักษณะของกระบวนการ Time constant (τ) ก็จะสามารถทราบได้

เนื่องจากพจน์ $u(t+t_0)$ ในสมการเป็นการกำหนดให้ $\Delta C(t) = 0$ ขณะที่ $t \leq t_0$ ดังนั้น เมื่อค่าผลต่างของการตอบสนองจากกระบวนการไม่เป็นศูนย์ทำให้ทราบได้ทันทีว่า ช่วงของเวลาของคุณลักษณะของกระบวนการ Dead time (t_0) ผ่านไปแล้วสามารถทำได้ใน ลักษณะการจับเวลา

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ ADC และ DAC

รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน ที่จะอยู่ในรูปของสัญญาณที่ต่อเนื่องหรือที่เรียกว่าสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) ซึ่งแต่เดิมการนำเอาสัญญาณไฟฟ้างดกล่าวมาประมวล (Process) เพื่อให้มีรูปแบบที่เหมาะสมจะกระทำในแบบอนาล็อกนั่นเอง แต่เมื่อเทคนิคและอุปกรณ์การประมวลสัญญาณทางดิจิทัลได้รับการพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากพบว่าใน รูปแบบของดิจิทัล การประมวลผลเก็บข้อมูล สื่อสารและการนำเสนอกระทำได้ง่ายและอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณ (Conversion) จึงได้มีความจำเป็นขึ้นมา ในรูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างแสดงระบบควบคุมที่ใช้การประมวลข้อมูลในระบบดิจิทัล ในระบบที่ยกมาเป็นตัวอย่างนี้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม (Physical process) เช่น ความดัน อุณหภูมิ ระดับน้ำ ฯลฯ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่อง (สัญญาณอนาล็อก) โดยทรานสดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับรูปแบบทางกายภาพนั้น สัญญาณไฟฟ้านั้นจะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปและขนาดที่เหมาะสมก่อน โดย Analog Signal Conditioner เช่น วงจรขยาย หรือฟิลเตอร์ เป็นต้น ADC จะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ตัวประมวลทางดิจิทัล (Digital Processors) เช่น คอมพิวเตอร์ จะจัดการกับข้อมูลเพื่อนำเสนอหรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปแบบอนาล็อกโดย DAC เพื่อป้อนกลับไปควบคุม Physical Process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



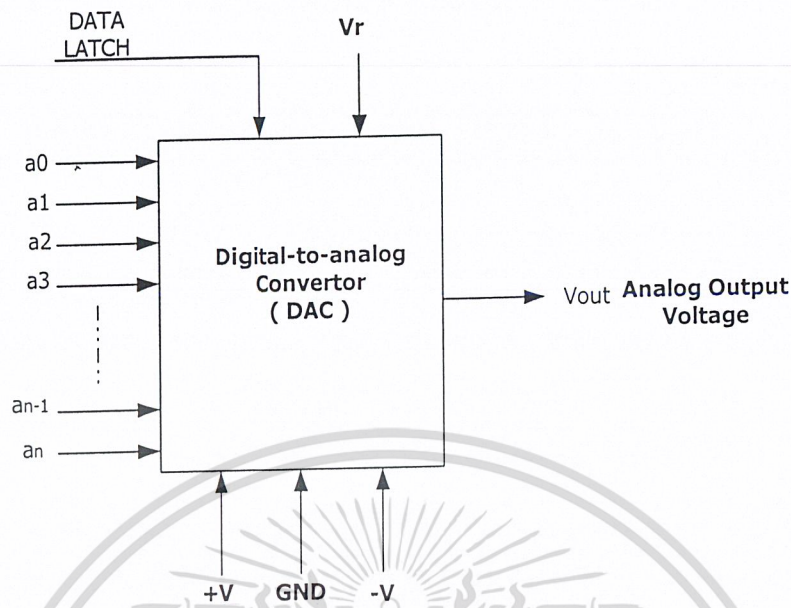
รูปที่ 2.20 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล

ในระบบที่มีข้อมูลที่ต้องประมวลผลในเวลาเดียวกันหลายๆ ข้อมูล หาก ADC ทำงานได้เร็วพอจะไม่จำเป็นต้องใช้ ADC หลายๆ ตัวทำงานแยกกันสำหรับข้อมูลแต่ละชุด แต่จะใช้วิธีแบ่งเวลา (Timesharing) โดยวิธี Multiplexing วงจร Sampling and hold (S/H) จะสุ่ม (Sample) ขนาดของสัญญาณอนาล็อกมาและเก็บ (Hold) ไว้ชั่วขณะเพื่อรอให้ ADC รับไปเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลจนเรียบร้อยแล้วค่อยสุ่มสัญญาณใหม่ ทั้งนี้เพื่อที่ไม่จำเป็นต้องใช้ ADC ที่มีความเร็วสูงราคาแพง ข้อมูลดิจิทัลจะถูกส่งต่อไปยัง System bus และถูกประมวลโดย Processor ผลของการประมวลจะถูกส่งกลับออกมาเพื่อเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อกโดย DAC เพื่อไปควบคุมกิจกรรมทางกายภาพของระบบผ่าน Analog Actuator

2.8.1 คุณสมบัติของ DAC

DAC characteristic สำหรับการประยุกต์ใช้สมัยใหม่ DAC ส่วนมากเป็นวงจรรวม intrigrated circuit (IC) ดูจาก black box คือ คุณสมบัติของ input และoutput ในรูปที่ 2.21 เราจะเห็นส่วนประกอบที่จำเป็นของ DAC ในเทอมของ input และ output ที่ต้องการ คุณสมบัติซึ่งมีความเกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1.Digital input โดยตามแบบ Parallel binary word ของ Bit จำนวนมากที่ระบุโดยแบบบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ โดยตามแบบของ TTL Logic Levels จะต้องการนอกจากที่ได้บันทึกไว้



รูปที่ 2.21 Diagram ของ DAC

2. Power supply คือ bipolar ที่ระดับ ± 12 V. ถึง ± 18 V. ที่จำเป็นสำหรับ internal amplifiers DACs บางแบบ มีการทำงานจากแหล่งจ่ายเพียงตัว

3. Reference supply ความต้องการที่จะกำหนดย่านของแรงดัน output และการตัดสินใจของ converter ซึ่งจะต้องมีเสถียรภาพ แหล่งจ่ายคลื่นความถี่ต่ำ ในบาง ยูนิต แหล่งจ่ายอ้างอิงมีการเตรียมไว้ภายในด้วย

4. Output แรงดันจะแสดงเป็นดิจิตอล input แรงดันนี้จะเปลี่ยนในช่วงที่ดิจิตอล input เปลี่ยนโดย Bit Output ที่จริงแล้วจะเป็น bipolar ถ้า converter ถูกออกแบบที่จะบอกเป็นดิจิตอล input ทางด้านซีกลับ

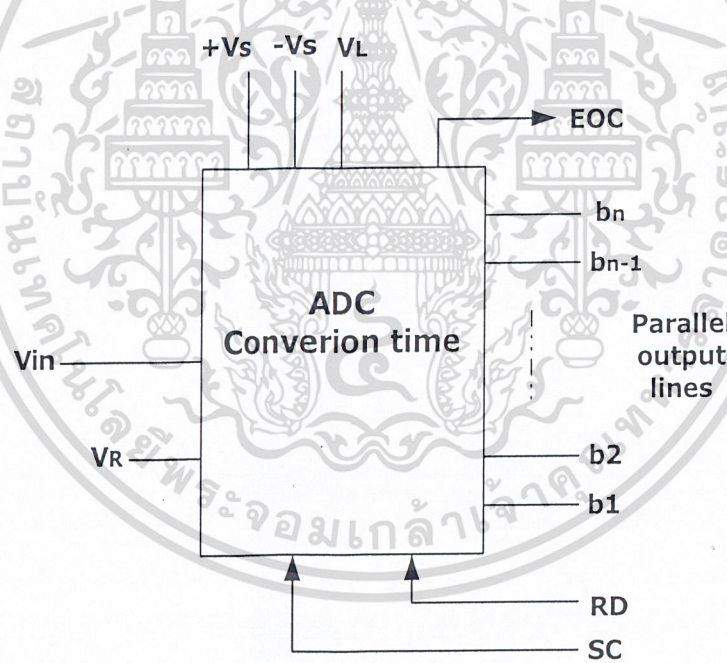
5. Offset เพราะว่า DAC คือการทำงานรวมกันกับ Op Amp มันต้องให้แรงดันชดเชยด้าน Output กับ Input เป็น 0 การเชื่อมต่อจะต้องจัดการให้สะดวก ทางด้าน 0 ของ Output DAC กับ word 0 ทางด้าน Input

6. Data latch DACs หลาย ๆ ตัวมี Data ที่สร้างขึ้นภายใน input ของมัน เมื่อคำสั่ง logic ถูกให้ที่ latch data, ไม่ว่าอะไรก็ตาม data ที่อยู่บนบัสอินพุต จะถูกเก็บเข้าไปใน DAC และอนาล็อกเอาต์พุตจะถูกทำให้ทันสมัยสำหรับ อินพุต คำสั่ง เอาต์พุต จะพักอยู่ที่ค่า ๆ หนึ่ง จนกระทั่ง ดิจิตอล คำสั่ง ใหม่จะถูกส่งเข้ามาในอินพุต ในวิธีนี้ อินพุตของ DAC สามารถเชื่อมต่อโดยตรงลงบน คำสั่ง บัส ของ คอมพิวเตอร์ แต่มันจะถูกอัปเดต เมื่อคำสั่งที่ให้โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าคอมพิวเตอร์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Conversion time DAC มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดิจิตอลอินพุต เป็นอนาล็อกเอาพุตโดยทันทีทันใด จากช่วงระยะเวลาหนึ่งที่สัญญาณดิจิตอล ถูกส่ง เข้าอินพุตไปแสดงที่แรงดันอนาล็อกเอาพุตเป็นเพียงเวลาที่เพิ่มขึ้นของสัญญาณที่ผ่าน internal amplifiers setting time ของ internal amplifiers จะเป็นเพียงไมโครวินาทีเท่านั้น

2.8.2 คุณสมบัติของ ADC

คุณสมบัติของ ADC (Analog-to-Digital Converters) จากรูปที่ 2.22 แสดงภาพตระกูล ADC กับตัวอย่างการเชื่อมต่อ มันมีความเป็นไปได้ และเหมาะสม ในหลายกรณี que เห็นว่า ADC ในฐานะที่เป็น black box เนื่องด้วยคุณสมบัติทางด้าน Input และ Output ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของ ADC ได้ดังนี้



รูปที่ 2.22 Diagram ของ ADC

1. Analog Voltage Input เป็นการต่อของแรงดันที่ถูกเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะอธิบายทีหลังสิ่งที่สำคัญ คือ แรงดันนี้จะสม่ำเสมอระหว่างที่มีกระบวนการเปลี่ยนแปลง

2. Power supplies โดยทั่ว ๆ ไป ADC ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันแบบ bipolar สำหรับ

internal op amps และการต่อ supply ของดิจิตอล logic เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.Reference voltage แรงดันอ้างอิงจะต้องมีเสถียรภาพ, แหล่งจ่ายสามารถควบคุมการปรับได้

4.Digital Output Converter จะมี n output lines สำหรับการต่อของส่วนที่เชื่อมต่อกันของระบบวงจรไฟฟ้าดิจิทัล โดยทั่วไป ระดับคือตัวอย่างค่า TTL สำหรับการกำหนดของสถานะ high และ low มันคือธรรมดาสำหรับ เอาพุท lines แบบ tri - state ซึ่ง ADC สามารถต่อเชื่อมโดยตรงไปที่บัส

5. Control lines ADC มีจำนวนของ lines ควบคุม ซึ่งมี single – bit ดิจิตอล อินพุท และเอาท์พุท ถูกออกแบบไปควบคุมการทำงานของ ADC และยินยอมให้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

- a. SC (start convert) คือ ดิจิตอลอินพุทที่ส่งไป ADC มันจะสตาร์ทการทำงานของ convert บนกระบวนการของการหา เอาท์พุทดิจิทัล สำหรับให้แรงดันอนาล็อกอินพุท
- b. EOC (end convert) คือ ดิจิตอลอินพุทจาก ADC ไปยังเครื่องมือตัวรับ เช่น คอมพิวเตอร์ เส้นเส้นนี้จะอยู่สูงระหว่างกระบวนการการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่สมบูรณ์แล้วเส้นนี้จะตกลง
- c. RD (read) เมื่อเอาท์พุทถูกกระทบกับสัญญาณ tri-states แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงจะเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลสัญญาณดิจิทัลจะไม่ปรากฏบนสัญญาณ เอาท์พุท เครื่องมือตัวรับจะทำให้ RD lineต่ำลงที่ tri-states และ วาง data บน output lines

6.Conversion time ไม่ใช่ Input และ Output แต่เป็นคุณสมบัติของ DAC ที่สำคัญมาก DAC จะไม่ผลิต Input แบบทันทีทันใด เมื่อแรงดันอนาล็อก ถูกประยุกต์ ที่จุดต่อสัญญาณ Input DAC ต้องทำการเรียงลำดับผ่านกระบวนการหา Digital Output ที่เหมาะสม และกระบวนการนี้จะทำขึ้นขึ้นอยู่กับเวลา

การออกแบบและการประยุกต์ใช้งานของการ์ด PC-DIO

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบและการประยุกต์ใช้งานของการ์ด PC-DIO จะต้องศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของการ์ดว่าต้องประกอบด้วยภาคอะไรบ้าง แต่ละภาคมีการทำงานกันอย่างไร เช่น ภาคเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกและอนาล็อกเป็นดิจิทัล (D/A-A/D Convertor) ภาคเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันและแรงดันเป็นกระแส (I/V-V/I Convertor) รวมไปถึงรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวการ์ดและกระบวนการ

3.2 ภาค A/D-D/A Convertor

3.2.1 การใช้งาน ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR)

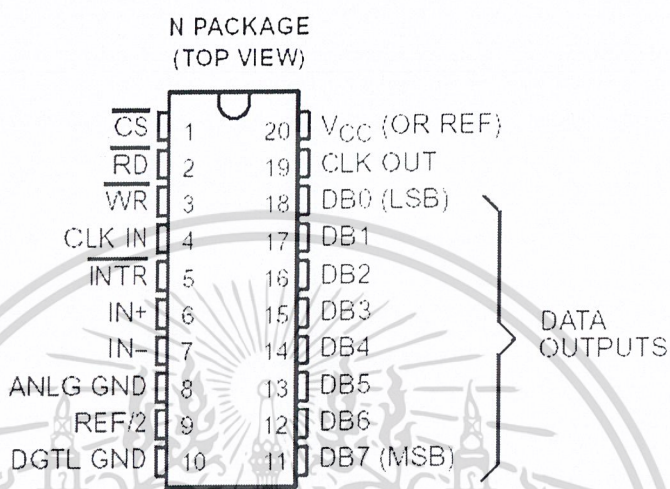
IC ADC0804 เป็น IC ทำหน้าที่รับสัญญาณ INPUT ในรูปของ ANALOG แล้วเปลี่ยนเป็น DIGITAL เพื่อส่งให้ CPU ประมวลผล ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อ (INTERFACE) กับอุปกรณ์ภายนอกที่ให้สัญญาณเป็น ANALOG ซึ่ง ET-DIO CARD สามารถรับสัญญาณ ANALOG ได้โดยตรงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยผู้ใช้เพียงเพิ่มเดมวจรขยายย่านวัด เช่นเดียวกับเครื่องวัดทั่ว ๆ ไป ซึ่งขนาดของสัญญาณได้โดยการควบคุมขนาดของ V1- และ VREF/2 ซึ่ง V1- จะเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นหรือค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามาโดยบน ET-DIO CARD ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP4 ถ้า SHORT JP4 ที่ตำแหน่ง 1- (GROUND) จะทำให้สัญญาณเริ่มต้นจาก 0V จนถึง MAXIMUM (ไม่ควรเกิน 5 V) แต่ถ้าผู้ใช้ SHORT JP4 ที่ตำแหน่ง 2-3 จุดเริ่มต้นของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ V1- จากภายนอกที่ต่อมาจาก CONNECTOR CN 2 ซึ่งผู้ใช้งานต้องกำหนดเอง ซึ่งผู้ใช้งานต้องกำหนดเองซึ่งโดยปกติแล้วต้องมีค่ามากกว่า 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

ซึ่งอัตราการเปลี่ยนของ DATA ที่มีต่อขนาดของสัญญาณจะเป็นเชิงเส้นตลอด (LINEAR) ซึ่งขนาดของสัญญาณ CEWD/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 และไม่ควรมากเกิน 2.50V ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของ ADC0804

ตัวอย่าง เช่น ผู้ใช้เลือก V1- เท่ากับ 0V (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2) และเลือก VREF/2 เท่ากับ 2.50V (JP5 SHORT ที่ตำแหน่ง 1-2) แล้วจะได้ว่าช่วงของสัญญาณ ANALOG INPUT จะต้องอยู่ระหว่าง 0V-0.5V เท่านั้น ซึ่งความละเอียดของแต่ละช่วงสัญญาณที่รับเข้ามามีความละเอียดถึง 256 ระดับ นั่นคือ

- ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 0V จะได้ DATA=00H
- ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 2.50V จะได้ DATA=7FH
- ถ้าสัญญาณ ANALOG INPUT มีค่าเท่ากับ 5.0V จะได้ DATA=FFH

ดังนั้นจะได้ความละเอียดของสัญญาณ = $(5v - 0v)/256$
 $= 0.0195 v$

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

หรืออีกกรณีหนึ่งคือ หากผู้ใช้เลือก V1- เท่ากับ -0.5V จากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง CONVERTER CN2 (JP4 SHORT ที่ตำแหน่ง 2-3) และเลือก VREF/2 เท่ากับ 1.50V (JP5 SHORT

ที่ตำแหน่ง 2-3) แล้วจะได้ค่าของช่วงของสัญญาณ ANALOG INPUT จะต้องมียุ่ระหว่าง $0.50V - 3.5V$ นั้นเอง

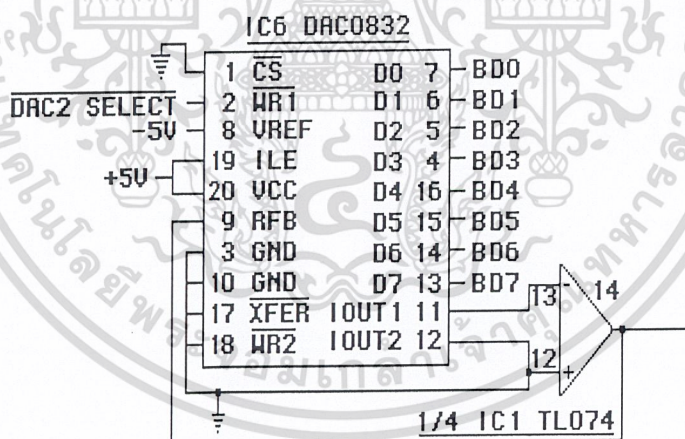
สำหรับ IC A TO D บน ET-DIO CARD สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งหมด 2 โหมดการทำงานโดยเลือกที่ JUMPER JP2 คือ

- โหมดทำงานปรกติ (FREE RUN MODE)
- โหมดอินเทอร์รัพท์ (INTERRUPT MODE)

(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET - UP และปรับแต่ง ET - DIO CARD)

3.2.2 การใช้งาน DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTOR)

IC DAC 0832 ลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับ IC ADC กล่าวคือมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณ DIGITAL ให้เป็นสัญญาณ ANALOG ซึ่งนิยมใช้งานในด้านการควบคุมต่างๆ ซึ่งบน ET - DIO CARD มี IC DAC ให้ใช้งาน 1 ตัว โดยสามารถที่จะเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ DAC0832 (8 BIT) หรือ DAC1232 (12 BIT) ตัวใดตัวหนึ่งโดยการเลือกที่ JUMPER JP 1 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องการ SET - UP และการปรับแต่ง ET - DIO CARD)



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของ DAC 0832

ซึ่งการควบคุมขนาดของสัญญาณ ANALOG OUTPUT นั้นทำได้โดยการส่งค่า DATA ออกไปยังพอร์ตควบคุมของ IC DAC (PORT CONTROL DAC) ซึ่งอัตราส่วนของขนาดสัญญาณ ANALOG OUTPUT ที่ได้นั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้น (LINEAR) นั่นคือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตัวอย่าง เช่น ต้องการขนาดสูงสุดของสัญญาณ 10 V โดยให้ขนาดต่ำสุดของสัญญาณเป็น 0V จะได้ความละเอียดของสัญญาณเป็น 0.039V

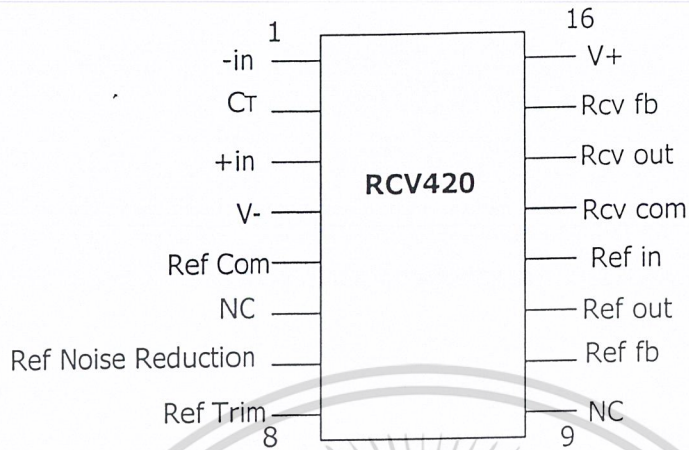
3.3 ภาค I/V-V/I Convertor

สัญญาณที่ออกจากพีซีจะเป็นสัญญาณดิจิทัล เมื่อเราแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้ว สัญญาณกระแส 4-20 mA นั้นสามารถนำไปควบคุมหรือใช้งานได้เลย ส่วนสัญญาณที่ตอบกลับมาเราต้องทำการแปลงจากกระแส 4-20 mA ให้เป็นสัญญาณแรงดัน 0-5 V เหมือนกันโดยภาค I/V Convertor จากนั้นก็ส่งไปยังภาค A/D Convertor เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลตามเดิมส่งเข้าไปประมวลผลในพีซี

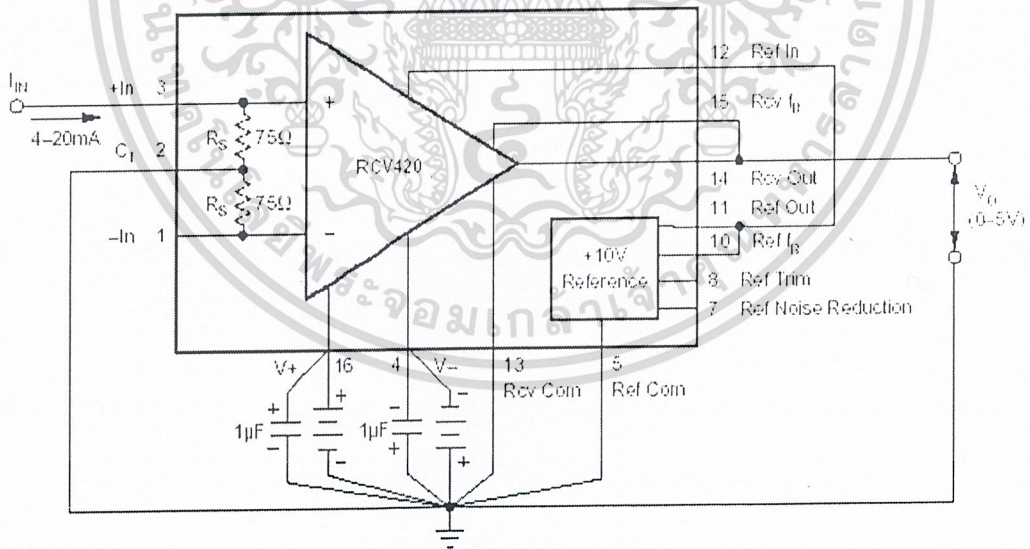
3.3.1 การทำงานของภาค I/V Convertor

ไอซีที่ใช้ในการออกแบบคือเบอร์ RCV420 ซึ่งเป็นไอซีคอนเวอร์เตอร์รับกระแสแบบลูปที่มีความแม่นยำสูง ถูกออกแบบให้แปลงกระแส 4-20 mA ให้เป็นแรงดัน 0-5 V แต่เนื่องจากว่าโครงสร้างเป็นแบบ Monolithic มันจึงมีความน่าเชื่อถือสูง แต่เราอาจถูก วงจรภายในตัวไอซีจะประกอบด้วยออปแอมป์ชนิดพิเศษ และมีความต้านทานบนชิปที่มีความเที่ยงตรงสูง และมีแรงดันอ้างอิงภายใน 10 V มีลักษณะโครงสร้างตามรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



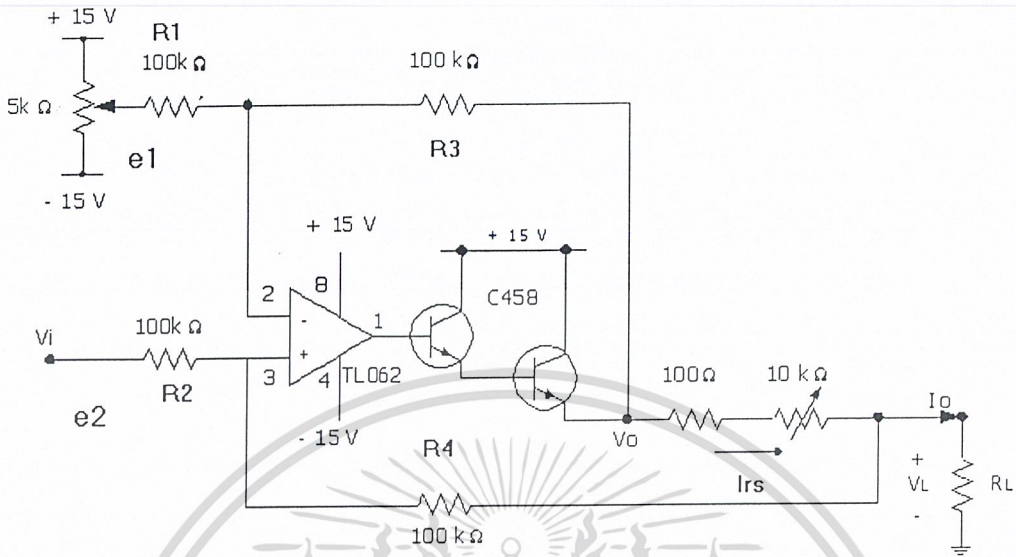
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของ RCV420



รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของ RCV 420

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทำงานของภาค V/I Convertor



รูปที่ 3.5 วงจรเปลี่ยนแรงดัน 0-5 V เป็นกระแสตรงขนาด 4-20 mA

วงจรขยายความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 3.5 ค่าความต้านทานไฟฟ้า R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 มีค่าเท่ากันทั้งหมด ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าจะใช้วิธีการทับซ้อน (Superposition) ซึ่งจะได้

$$V_{out} = V_L + e_2 - e_1$$

แรงดันตกคร่อม R_s คือ

$$\begin{aligned} V_{RS} &= V_{out} - V_L \\ &= (V_L - e_2 + e_1) - V_L \\ &= e_2 - e_1 \end{aligned}$$

และมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_s คือ $I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_s}$ และ $I_L = I_{RS} = \frac{e_2 - e_1}{R_s}$

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้า 0-5 V ให้เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L = \frac{e_2 - e_1}{R_S}$$

$$e_2 = e_{in}$$

$$I_L \times R_S = e_{in} - e_1$$

ที่ $e_{in} = 0V$; $I_L = 4mA$

$$(4mA)R_S = 0V - e_1 \quad (3.1)$$

ที่ $e_{in} = 5V$; $I_L = 20mA$

$$(20mA)R_S = 5V - e_1 \quad (3.2)$$

แทนค่าในสมการ (3.1) ลงในสมการ (3.2) จะได้

$$\begin{aligned} (20mA)R_S &= 5V - e_1 + (4mA)R_S \\ R_S &= 312.5\Omega \end{aligned}$$

แทนค่า R_S ลงในสมการที่ (3.1) จะได้ $e_1 = -1.25V$

3.4 การ์ด PC-DIO (DIGITAL INPUT/OUTPUT CARD)

3.4.1 ลักษณะทั่วไปของ PC-DIO CARD

PC-DIO CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อเครื่อง PC เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุต ให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง ET-DIO CARD สามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปของ ANALOG และ DIGITAL ทำให้มีความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง ET-DIO CARD มีอุปกรณ์ร่วมและมีจุดเด่นๆ ของตัวมันดังนี้คือ

- มี IC 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPERAL INTERFACE) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ตามความต้องการของผู้ใช้เองโดยใช้ได้ทั้ง 3 พอร์ต หรือ 24 BIT I/O ในรูปของสัญญาณ DIGITAL นั้นเอง

- มี IC 8255 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER) จำนวน 1 ตัว ทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่างๆ ได้มากมาย เช่น

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

ซึ่ง IC 8253 นี้มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนล ทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ

มี IC ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTER) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ ACC0804 (8 BIT) หรือ ADC1001 (10 BITS) ซึ่งทำให้ ET-DIO CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจนับ หรือการวัดสัญญาณอินพุตในรูปของสัญญาณ ANALOG ได้ 1 CHANAL ซึ่งขนาดของสัญญาณ ANALOG ที่เข้ารับสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรขยายนำวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้ ET-DIO CARD สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น

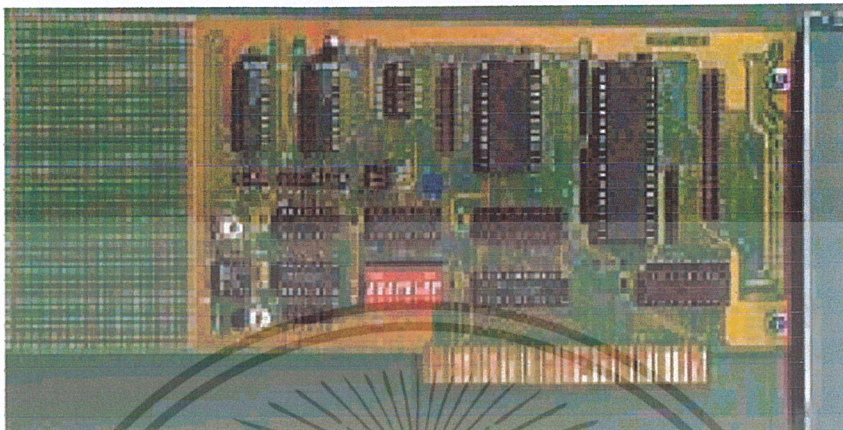
1. เครื่องวัดแรงดัน
2. เครื่องวัดกระแส
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความต้านทาน
5. เครื่องวัดความจุ

ซึ่งผลของการวัดแบบต่าง ๆ สามารถที่จะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆได้ตามต้องการโดยผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเอง

- มีไอซี DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTER) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ ADC0832 (8 BIT) หรือ DAC1232 (12 BIT) ซึ่งเลือกได้โดยการ SET JUMPER JP1 (ดูรายละเอียดเรื่องการ SETUP JUMPER) ทำให้ ET-DIO CARD ที่สามารถจะประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ โดยส่งสัญญาณในรูปของ ANALOG ออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งขนาดของสัญญาณ ANALOG มีวงจร OP-AMP เพื่อขยายขนาดของสัญญาณอยู่แล้ว ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้ตั้งแต่ OV- 10.66 VDC

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

- มี WORKING AREA มากถึง 5 CM x 9 CM ทำให้พื้นที่ว่างใช้งานมากยิ่งขึ้นจึง ทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานต่อวงจรหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้มากมายและสะดวกยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.6 ลักษณะของ PC-DIO CARD ที่ใช้ในการควบคุม

3.4.2 การ DECODE PORT

ตำแหน่งของพอร์ต บน ET-DIO CARD จะใช้ IC TTL 74S688 (U3) 74X139 (U4) 74LS32 (U7) SWITCH DIP-8 (SW1) ต่อร่วมกันเป็นวงจร DECODE PORT โดยใช้ SWITCH 1 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 CONTROL 0 ของ 8253

XX5H =PORT CONTROL 1 ของ 8253

XX6H =PORT CONTROL 2 ของ 8253

XX7H =PORT CONTROL ของ 8253

XX8H =PORT CONTROL ของ DAC

XX8H =PORT CONTROL ของ DAC

XXAH=PORT CONTROL ของ ADC

XXBH =PORT CONTROL ของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงเอกสารฉบับนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถที่จะกำหนดพอร์ตได้โดยการกำหนดระดับ LOGIC ให้กับตำแหน่ง DADDRESS นั้น ๆ ตามความต้องการซึ่งบน ET-DIO CARD สามารถที่จะกำหนดระดับของ LOGIC ให้กับตำแหน่ง ADDRESS ใด ๆ โดยใช้ SWITCH 1 ซึ่งหาก ON SWITCH จะได้ระดับ LOGIC “0” หาก OFF SWITCH จะได้ระดับ LOGIC “1”

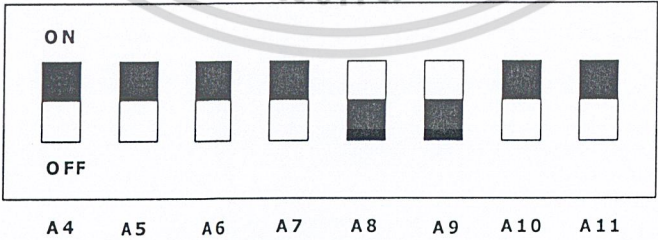
ตัวอย่าง เช่น ถ้าเราต้องการกำหนดตำแหน่ง PORT ADDRESS เป็น 300H สามารถที่จะทำได้ดังนี้ คือ

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				

จะเห็นว่าที่ตำแหน่ง 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

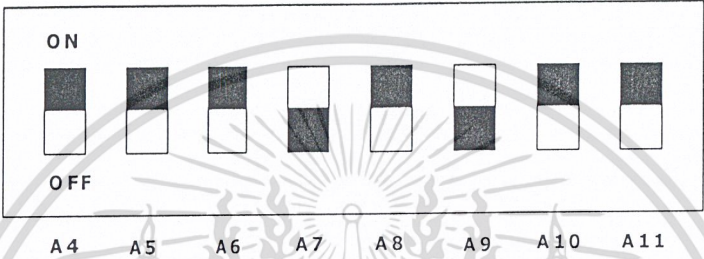
2. SET SWITCH เพื่อกำหนด LOGIC ให้ตำแหน่ง ADDRESS ตามข้อ 1



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของสวิตช์ที่ ADDRESS เท่ากับ 300 H

ถ้าต้องการกำหนดตำแหน่ง ADDRESS 280H จะได้

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



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งของสวิตช์ที่ ADDRESS เท่ากับ 280 H

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

- 300H = PORT PA ของ 8255
- 301H = PORT PB ของ 8255
- 302H = PORT PC ของ 8255

- 303H = PORT CONTROL ของ 8255
- 304H = PORT CONTROL 0 ของ 8253
- 305H = PORT CONTROL 2 ของ 8253
- 306H = PORT CONTROL 3 ของ 8253
- 307H = PORT CONTROL ของ 8253
- 308H = PORT CONTROL ของ DAC
- 309H = PORT CONTROL ของ DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 30AH = PORT CONTROL ของ ADC กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ 30BH = PORT CONTROL ของ ADC ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในการทำงานของปริณูณานิพนธ์เล่มนี้ เราจะใช้การกำหนดตำแหน่งของ PORT ADDRESS ที่ตำแหน่ง 300H ซึ่งจะทำให้การปรับตำแหน่งของสวิตช์ตามรูปที่ 3.7

3.4.3 การใช้งาน 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHAERAL INTERFACE)

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

D0 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C ล่าง (PCO-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 (PCA – PC7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D4 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต A (PA0 – PA7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น INPUT

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น OUTPUT

D5,D6 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

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) ให้พอร์ตควบคุม (ในที่นี้ คือ 303H)

ตัวอย่างการโปรแกรมด้วยภาษา PASCAL คือ

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

3.4.4 การใช้งาน 8253 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER)

IC 8253 (PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER) เป็นไอซีซึ่งประกอบด้วย พอร์ต

ใช้งาน 3 พอร์ต และพอร์ตควบคุมการทำงาน (CONTROL PORT) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่ง 8253 เหมาะสำหรับการใช้งานในด้านฐานเวลาต่างๆ ซึ่งมี INPUT 2 INPUT (CLK และ GATE)

และ QUTPUT 1 OUTPUT (OUT) ต่อ 1 แชนแนล ซึ่งใน 8253 มีให้ใช้งานถึง 3 แชนแนล และแต่ละแชนแนลยังแยกการทำงานอย่างอิสระ 8253 แต่ละแชนแนลสามารถเลือกการทำงานได้ 6 โหมด การโปรแกรมให้ 8253 ทำงานในโหมดใดนั้นทำได้โดยการส่งค่า CONTROL WORD ให้กับ REGISTER MODE CONTROL (PORT CONTROL 8253) ซึ่งมีรายละเอียดการโปรแกรมดังนี้คือ

ตารางที่ 3.1 การโปรแกรมให้ 8253 ใน PORT CONTROL

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

ตารางที่ 3.2 การเลือกแชนแนลใน SELECT COUNTER

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

BIT D5,D4 (RL1,RL0):
READ/LOAD ใช้สำหรับกำหนดไบท์ในการอ่าน/เขียนข้อมูล

ตารางที่ 3.3 การกำหนดไบท์ในการอ่าน/เขียนข้อมูล

RL1	RL0	หน้าที่
0	0	ทำการแลนค่าในรีจิสเตอร์ – เคนเตอร์
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 ล่างก่อนจากนั้นจึงอ่าน/เขียนข้อมูลใน 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต D3,D2,D1(M2,M1,M0)
MODE ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของ 8253 คือ

ตารางที่ 3.4 การเลือกโหมดการทำงานของ 8253

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: ใช้กำหนดค่าข้อมูลใน รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ กล่าวคือ
ถ้าเป็น 1 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์จะถูกแปลงแบบ BCD
ถ้าเป็น 0 ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์จะถูกแปลงแบบ BINARY
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

3.4.5 การ SETUP และการปรับแต่งต่างๆเกี่ยวกับ ET – DIO CARD

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

ตารางที่ 3.5 การ SETUP ของ JP1

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

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

ตารางที่ 3.6 การ SETUP ของ JP2

Mode	การจัดการต่าง ๆ เกี่ยวกับ Jumper JP2							
FREE RUN	Open	Open	Open	Open	Short	Short	Short	ShorT
Mode	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
INTERRUPT	Short	Short	Short	Short	Open	Open	Open	Open
Mode	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16

JP3 INTERRUPTR SELECT ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณ INTERRUPT โดยเลือกว่าจะใช้สัญญาณ INTERRUPT จาก ADC หรือ 8253 โดยใช้วิธีการดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 การ SETUP ของ JP3

Interrupt Source	การจัดการต่าง ๆเกี่ยวกับ Jumper JP1	
Interrupt	SHORT	OPEN
จาก ADC	1-2	2-3
Interrupt	OPEN	SHORT
จาก 8253	1-2	2-3

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

ตารางที่ 3.8 การ SETUP ของ JP4

VI-Select Source	การจัดการต่าง ๆเกี่ยวกับ Jumper JP4	
OV Reference (Ground)	SHORT 1-2	OPEN 2-3
External Reference	OPEN 1-2	SHORT 2-3

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

ตารางที่ 3.9 การ SETUP ของ JP5

Vref/2 Select Source	การจัดการต่าง ๆเกี่ยวกับ Jumper JP5	
	SHORT	OPEN
2.50v Reference (Internal)	1-2	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

ตารางที่ 3.10 การ SETUP ของ JP6

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

JP 7 8253 SET-UP ในส่วนของ JP7 ใช้เลือกสัญญาณให้ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 2 กลุ่ม สัญญาณด้วยกันคือ กลุ่มสัญญาณ OUTPUT และกลุ่มสัญญาณ GATE ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

กลุ่มของสัญญาณ OUTPUT ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณ OUTPUT ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 OUTPUT (OUT0,OUT1 และ OUT2) ออกไปใช้งานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ภายนอกหรือ สัญญาณไป INTERRUPT เครื่อง PC การ SET ทำได้ดังนี้คือ

ตารางที่ 3.11 การ SETUP ของ JP7

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	OPEN 1-2
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 จะใช้เลือกจะทำให้สัญญาณ GATE ของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 CHANNEL (GATER,GATE1 และ GATE2) ทำงานตลอดเวลาตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาเพียงอย่างเดียว (เหมาะที่จะใช้กับกรณีที่โปรแกรมให้ 8253 ทำงานสร้างสัญญาณ INTERRUPT หรือโหมดอื่นๆ ที่ไม่ต้องการควบคุมจากภายนอก) หรือจะให้สัญญาณ GATE ถูกควบคุมจากสัญญาณภายนอก การ SET ทำให้ดังนี้คือ

ตารางที่ 3.12 การเลือก Channel ของสัญญาณ CATE

Channel Out put	OUT=VCC. Signal Jumper JP7 SET		GATE=EXT. Signal 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.4.6 การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง (2.50V บน ET-DIO CARD)

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

****หมายเหตุ**** ถ้าค่าแรงดันอ้างอิงนี้ไม่เที่ยงตรงจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ ไอซี DAC และ IC ADC อาจทำให้ผลการวัดต่าง ๆ ได้ค่าที่ผิดพลาดตามไปด้วย

3.4.7 การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ ANALOG

สัญญาณ ANALOG ที่ได้จาก IC D TO A มีวงจร OP-AMP เพื่อทำการขยายให้ขนาดสัญญาณสูงขึ้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง 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

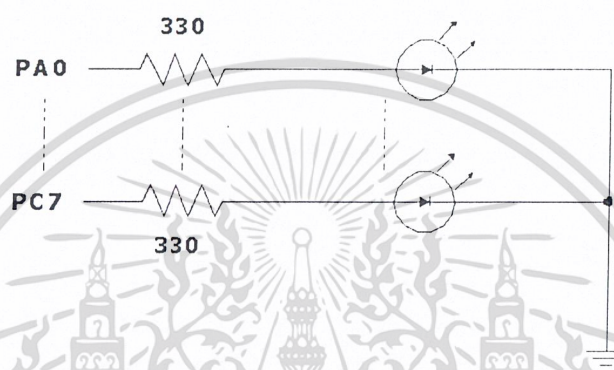
****หมายเหตุ**** การปรับขนาดของสัญญาณ ANALOG ต้องทำหลังจากปรับแต่งแรงดันอ้างอิง VREF 2.50 VDC เรียบร้อยแล้วจึงจะได้ผลที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ตัวอย่างโปรแกรม

3.4.8.1 โปรแกรมที่ 1

เป็นตัวอย่างโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC 8255 โดยกำหนดให้ IC 8255 ทำงานในโหมด 0 และกำหนดให้ทุก PORT (PA,PB และ PC) เป็น OUTPUT ทั้งหมดทุก BIT การขับ OUTPUT ของ IC 8255 ในโปรแกรมนี้ให้แสดงผลโดยหลอดแสดงผล LED ในรูปลักษณะของไฟวิ่งการทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อหลอดแสดงผล LED และตัวต้านทานตามวงจร

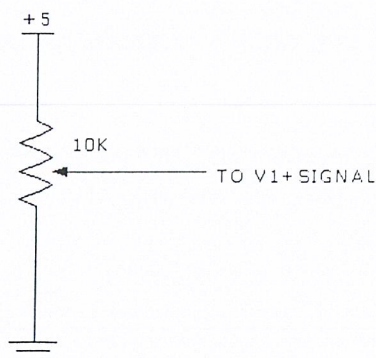


รูปที่ 3.9 โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC 8255

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

3.4.8.2 โปรแกรมที่ 2

เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC ซึ่งกำหนดให้ IC ADC ทำงานเป็น DC โวลท์มิเตอร์ โดยใช้จอภาพของเครื่อง PC เป็นตัวแสดงผลค่าตัวเลขที่วัดได้จาก IC ADC การทดสอบโปรแกรมผู้ใช้ต้องต่อแรงดันไฟตรงขนาด 5 โวลต์และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ตามวงจร



รูปที่ 3.10 โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC 0804

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการอ่านค่าของแรงดันไฟตรงที่ไอซี ADC รับเข้ามาและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทาง DIGITAL แล้ว นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณและแสดงผลค่าที่รับเข้ามาทางจอภาพของเครื่อง PC การทดสอบให้ปรับค่าของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่ผู้ใช้ต่อตามวงจรทดลอง ซึ่งจอภาพของเครื่อง PC จะแสดงค่าแรงดันตามการปรับของผู้ใช้

แนวทางการพัฒนา โปรแกรม

จากตัวอย่าง โปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถนำ โครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลงและพัฒนาเพื่อใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่น การวัดค่าอุณหภูมิ การวัดค่ากระแส การวัดค่าความต้านทาน โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผลและสูตรในการคำนวณต่าง ๆ เหมาะสมกับแต่ละงาน

หมายเหตุ ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประกอบการทดลองดังนี้

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

3.4.8.3 โปรแกรมที่ 3

เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC DAC โดยกำหนดให้ IC DAC ทำหน้าที่เป็นเครื่องจ่ายแรงดันโดยให้ผู้ใช้เติมค่าแรงดันที่ต้องการเป็นตัวเลขให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-5 ซึ่งหากผู้ใช้เติมค่าแรงดันไม่ตรงตามกำหนดหรือค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงแล้ว โปรแกรมจะจัดการปรับให้ใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งการทดสอบโปรแกรมทำได้โดยใช้ DC โวลต์มิเตอร์ ย่านการวัดไว้ที่ประมาณ 10 VDC วัดระหว่างสัญญาณ ANALOG (ขา 14 ของ CN2) เทียบกับกราวด์ ซึ่งก่อนการทดสอบต้องปรับค่า Vmax (สัญญาณ ANALOG) ให้ได้ 5V (ดูรายละเอียดเรื่องการปรับแต่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ET-DIO CARD) ไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการรับค่าตัวเลขที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาและตรวจสอบค่าตรงตามเงื่อนไขหรือไม่พร้อมทั้งปรับค่าให้อยู่ในเงื่อนไข แล้วจึงทำการคำนวณค่าเพื่อส่งให้ IC DAC ซึ่ง IC DAC จะรับค่าที่ได้นี้และเปลี่ยนเป็นแรงดันส่งออกไปภายนอก

แนวทางการพัฒนาโปรแกรม จากตัวอย่างโปรแกรมนี้นี้ผู้ใช้สามารถนำโครงสร้างโปรแกรมไปดัดแปลง และพัฒนาเพื่อใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมกระแส หรืออื่นๆ โดยดัดแปลงรูปแบบการแสดงผลและสูตรในการคำนวณต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแต่ละงาน

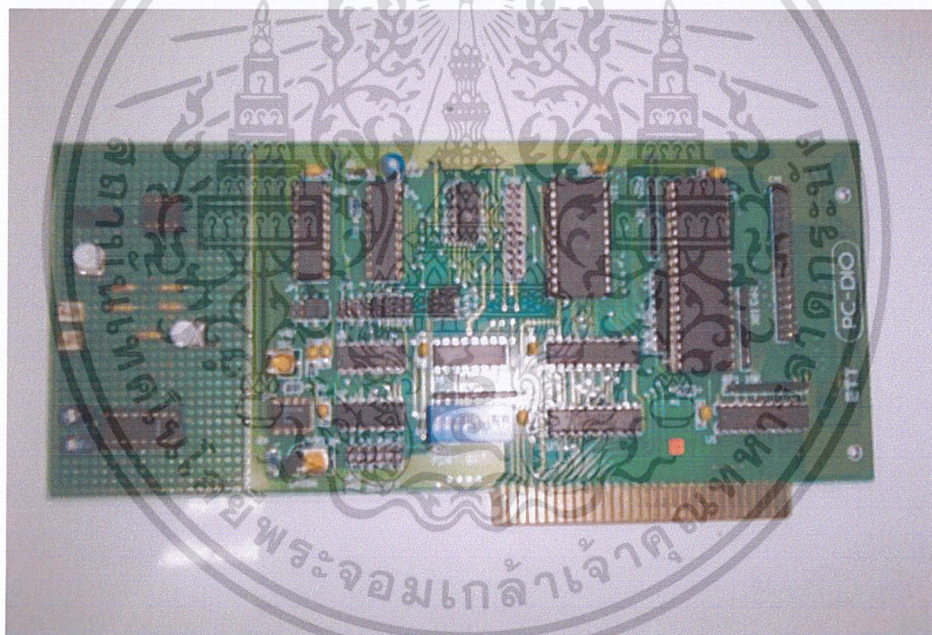


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การประยุกต์ใช้งานของ PC-DIO CARD

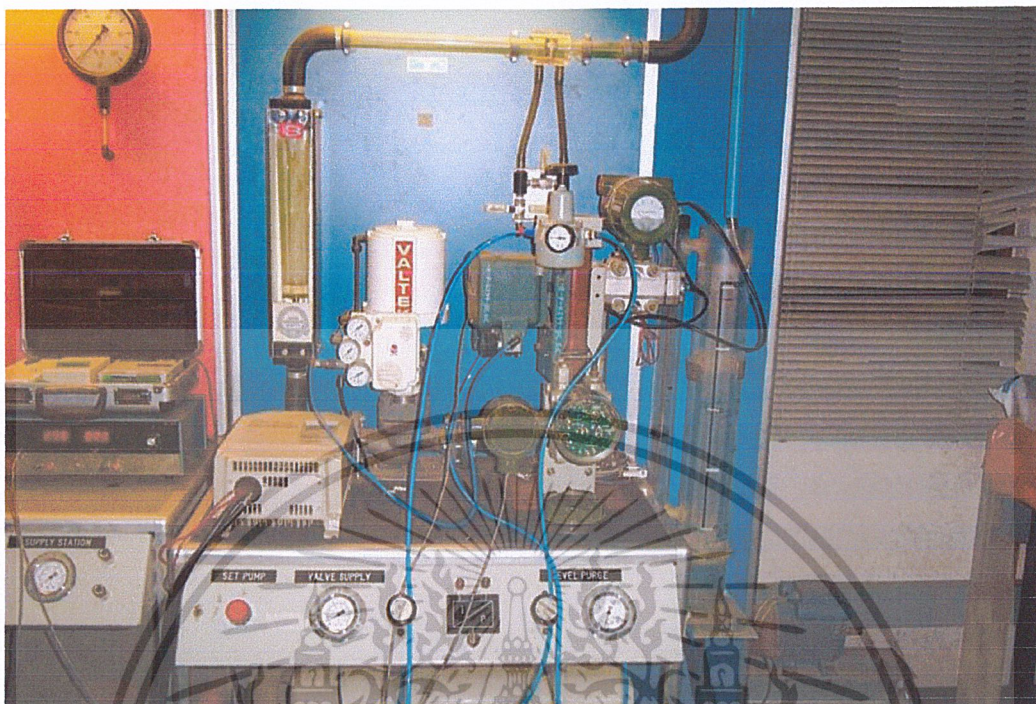
สัญญาณที่ออกจาก DAC 0832 จะเป็นแรงดันที่น้อยมาก จะต้องนำมาทำการขยายให้ได้เป็นแรงดัน 0-5 V โดยในวงจรจะใช้โอปแอมป์เบอร์ LM358N เป็นตัวขยาย สัญญาณจะเข้าที่ขา 2 ของ LM358N ทำการขยายได้เป็นแรงดัน 0-5 V ออกที่ขา 7 จากนั้นจะนำสัญญาณไปเข้ายังภาค V/I Convertor ที่ได้กล่าวมาแล้ว สัญญาณที่ได้จะออกมาเป็นกระแสตรง 4-20 mA สามารถนำไปต่อใช้งานได้ทันที

ในทางกลับกัน สัญญาณกระแสไฟฟ้าตรง 4-20 mA ที่ตอบกลับมาจากกระบวนการ จะถูกส่งเข้ามายังภาค I/V Convertor เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้กลับมาเป็นแรงดันไฟฟ้า 0-5 V ตามเดิม โดยใช้ RCV420 จากที่ได้กล่าวมาแล้วเช่นกัน ซึ่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะเข้ามาที่ขา 3 ของตัวไอซีแล้วออกเป็นแรงดันที่ขา 14 และ 15 ส่งไปยังภาค A/D Convertor โดยสัญญาณแรงดันจะไปเข้าที่ขา 6 ของ ADC0804 เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป



รูปที่ 3.12 การ์ด PC-DIO ที่ทำการประยุกต์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ลักษณะของ Plant ที่ใช้การวัดอินเตอร์เฟสควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองควบคุมระดับน้ำที่ค่า Set Point ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Delphi ในการทดสอบ ซึ่งจะใช้ Port Address อ้างอิงที่ตำแหน่ง 300 H ในการติดต่อ และจากทฤษฎีการออกแบบที่กล่าวในบทที่ผ่านมา จากผลการทดลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ทำให้ทราบว่า การออกแบบทางด้านวงจรมีประสิทธิภาพ สามารถใช้งานได้จริง

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เข้ายังภาค V/I Convertor

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่เข้ายังภาค V/I Convertor

V_{in}	I_{out}
1 V	4.2 mA
2 V	8 mA
3 V	12 mA
4 V	16 mA
5 V	20 mA

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่เข้ายังภาค I/V Convertor

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่เข้ายังภาค I/V Convertor

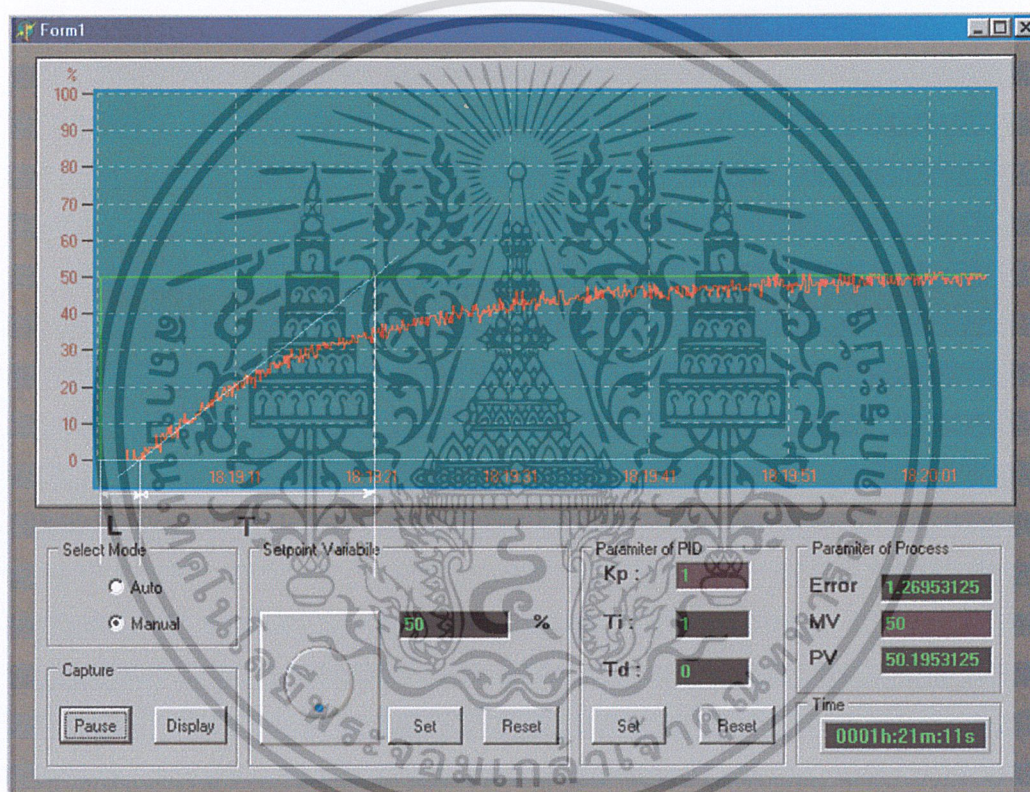
I_{in}	V_{out}
4 mA	0 V
10 mA	1.87 V
15 mA	3.43 V
20 mA	5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการควบคุมระดับน้ำอันดับหนึ่ง (First Order)

การทดลองในโครงการนี้ได้ออกแบบการควบคุมผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Delphi ผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส โดยได้กำหนดค่าการทำงาน (Set point) ไว้ 3 ระดับคือที่ระดับ 25% , 50% และ 75% รวมไปถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PI Controller จากวิธี Process Reactive Curve ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 กราฟผลการตอบสนองของการ Open Loop ที่ 50 % เพื่อหาพารามิเตอร์ของ PI Controller



รูปที่ 4.1 กราฟผลการตอบสนองของการ Open Loop ที่ 50%

จากรูปที่ 4.1 จะได้ค่า T ประมาณ 17 Sec และค่า L ประมาณ 3 Sec และจากสูตรของตัวควบคุมแบบ PI Controller

$$Kp = 0.9 \frac{T}{L}$$

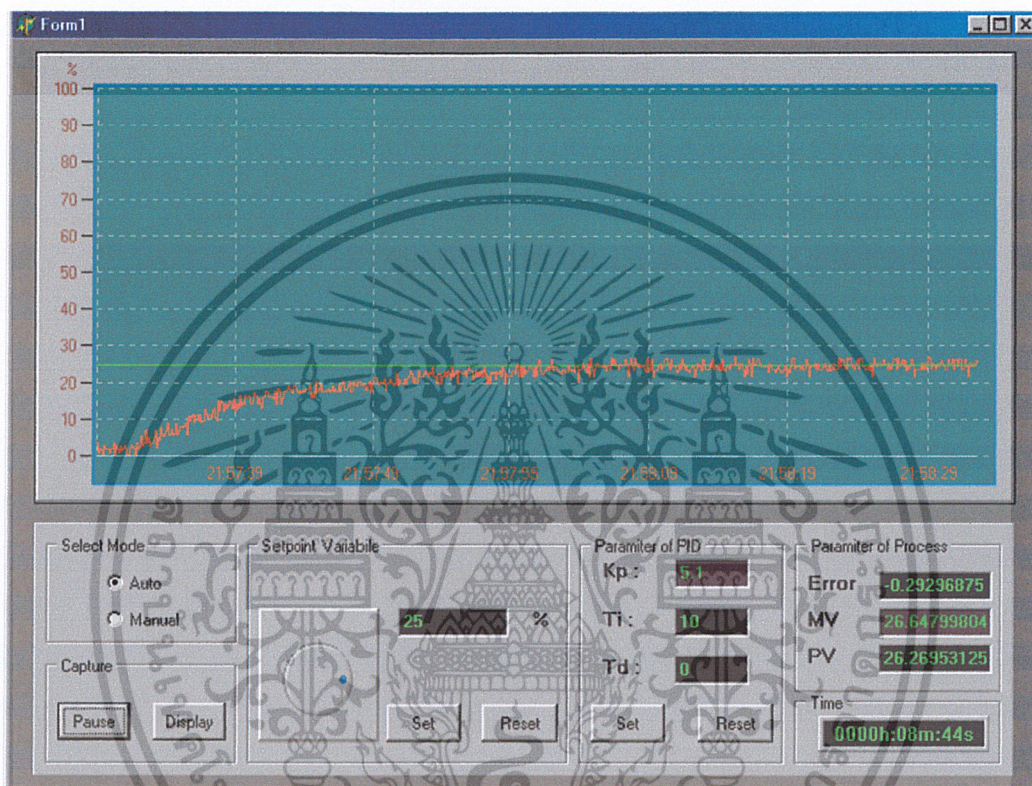
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $Ti = 3.33L$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$K_p = 5.094$$

$$T_i = 9.99$$

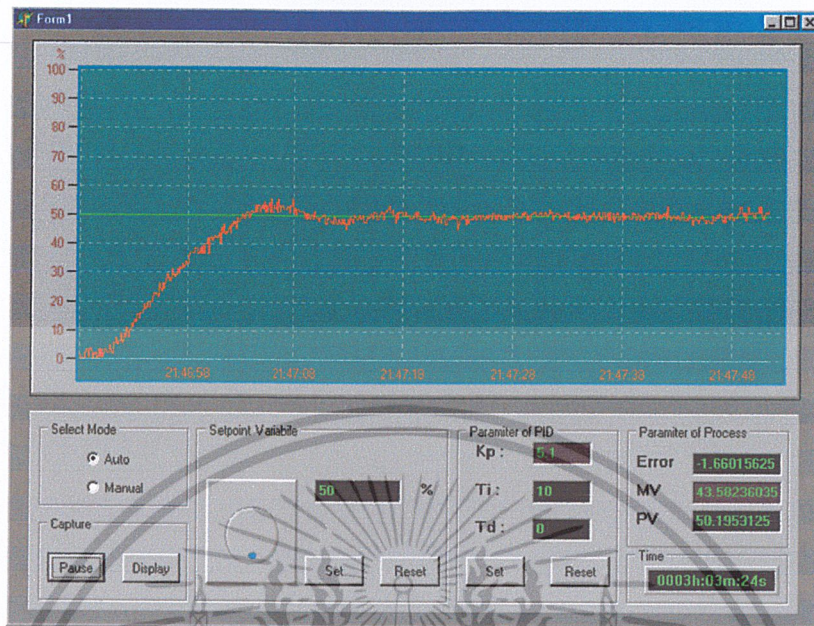
4.4.2 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 25%



รูปที่ 4.2 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 25%

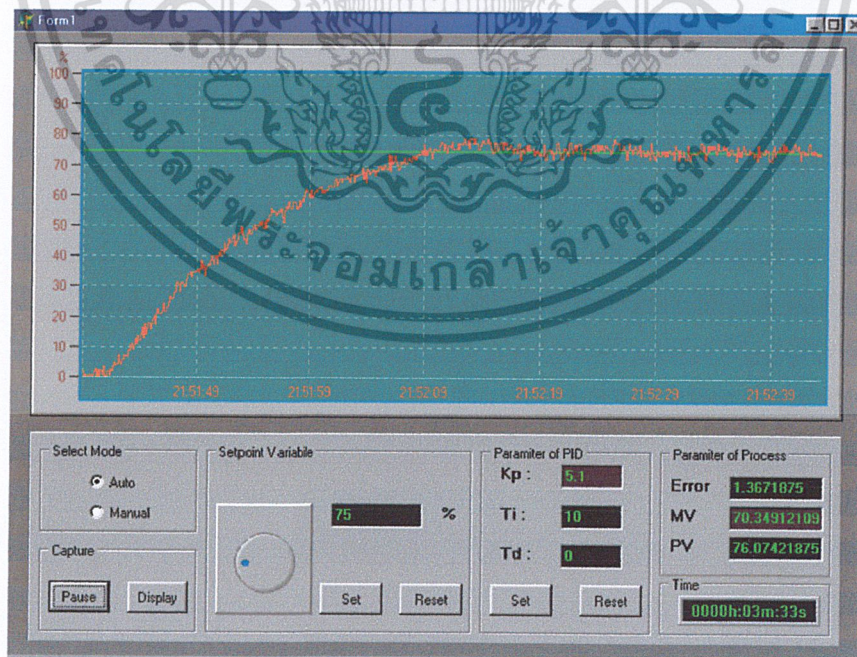
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 50 %



รูปที่ 4.3 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 50 %

4.4.4 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 75 %



รูปที่ 4.4 กราฟผลตอบสนองของระบบที่ $K_p = 5.094$, $T_i = 9.99$ ที่ระดับความสูง 75 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Smith, A.C. and Corripio, A.B. *Automatic Process Control*. New York : John Wiley & Sone. 1985
- [2] กิตติ ตรีเศรษฐ และ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร. *วิศวกรรมระบบควบคุมและระบบควบคุมป้อนกลับ*.
- [3] คำนึ่ง ศักดา,ทศพร โตพาณิชย์ และ อมรเทพ กาพย์แก้ว. “แบบจำลองการควบคุมกระบวนการ”
 ปรินญาณิพนธ์ปีการศึกษา 2543 ภาคเรียนที่ 2 สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [4] ปัญจรัตน์ อินันชัย,วิโรจน์ ลาภขโธทร และ โอเล่ ทองมนต์. “การเปรียบเทียบพารามิเตอร์
 เพื่อหาค่าพีไอดีของเครื่องควบคุมแบบอัตโนมัติ” ปรินญาณิพนธ์ปีการศึกษา 2545 ภาคเรียนที่ 2
 สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM TEST DAC;

{โปรแกรมทดสอบการทำงานของ IC ADC โดยให้ IC DAC ทำงานเป็นเครื่องจ่ายแรงดัน
กำหนดให้ ET-DIO CARD ทำงานที่ PORT 300H}

Uses crt;

Var Wantout, Stepout, Outvalue : real;
 Output, StepReal : integer;
 Quit : boolean;
 Ch : char;

Const

Step = 5/256;

Begin

Repeat

Clrscr;
Quit :=False;
Writeln(' โปรแกรมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ET-DIO CARD');
Writeln;
Writele(' ตัวอย่างการนำ ET-DIO CARD ใช้งานเป็นเครื่องจ่ายแรงดัน');
Writeln;
Write('กรุณาใส่ค่าแรงดันที่ต้องการส่งออกเป็นตัวเลข (0..5): ');
Read(WantOut);
If WantOut < 0 then
Begin
Writeln('ค่าแรงดันต่ำกว่าพิกัดที่เครื่องจะสามารถทำได้');
Writeln('เครื่องจะทำการเปลี่ยนเป็นค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้');
End;
If Wantout>5 Then
Begin
Wantout:=5;
Writele('ค่าแรงดันสูงกว่าพิกัดที่เครื่องจะสามารถทำได้');
Writeln('เครื่องจะทำการเปลี่ยนเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้');
End;
End;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำเสนอ ไม่อาจถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Writeln;
Stepout := Wantout/Step; {คำนวณค่า Step ที่ต้องใช้}
QutPort := 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('กรุณากดคีย์ใด ๆ เพื่อทำงานต่อ หรือ กดคีย์ "Esc" เพื่อยกเลิกการ
ทำงาน');
Ch:=Readkey;
IF Ch=#27 then Quit := True
Else Quit := False;
Unit 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}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Gotoxy(20,2);write('โปรแกรมตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ET-DIO CARD');
Gotoxy(17,4);write('ตัวอย่างการนำ ET-DIO CARD ใช้งานเป็น DC Volt Meter');
Gotoxy(5,10);write('การปรับค่า Volume เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน');
Gotoxy(5,15);write('ผลการวัดค่าแรงที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็น : ');
Textattr : = 15;
Highvideo;
Gotoxy (48,15); write(['', InValue : 4:1, 'VDC']);
Textattr : = 11;
Normvideo;
Gotoxy (26,19); writeln ('กรุณา กดคีย์ใด ๆ เพื่อยกเลิกการทดสอบ');
Delay (200);
Until keypressed;

End.

```

Program Test Out 8255;

{ทดสอบการทำงานของ IC 8255 โดยให้ IC 8255 ขับหลอดแสดงผล LED เป็นโปรแกรมไป
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 ดิด-ดับ ของ LED ทั้ง 8 BITS}

OutPor  :PortNo=($300,$301,$302);

Begin
    Port[$303]      :=$80;{กำหนด CONTROL Word Code ให้ Control Port
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ของ 8255 โดยกำหนดให้เป็น OUTPUT ทั้ง 3 PORT}
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
For StepPort:=1 to 3 do

```



```

Begin
    For StepOut:=1 to 24 do
        Begin
            Port[OutPort[StepPort]]:=OutValue[StepOut];
            Delay(100);
        End;
    End;
End.

```

Source Code

```

unit control;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs, _GClass, AbTrend, AbHSlide, StdCtrls, AbVInd, AbDBCtrls,
    ExtCtrls, AbGearDial, AbDial, TeeProcs, TeEngine, Chart, IOPort, AbOpHour,
    AbClock;

type
    TForm1 = class(TForm)
        Panel1: TPanel;
        GroupBox1: TGroupBox;
        GroupBox2: TGroupBox;
        GroupBox3: TGroupBox;
        lblKp: TLabel;
        lblTi: TLabel;
        lblTd: TLabel;
        lblError: TLabel;
        lblMV: TLabel;
        lblPV: TLabel;
        btnset1: TButton;
        btnreset1: TButton;
        btnSet2: TButton;
        Graph: TAbTrend;
        Timerread: TTimer;
        Timerwrite1: TTimer;
        IOPort1: TIOPort;
        edtmv: TEdit;
        edtpv: TEdit;
        edtTd: TEdit;
        edtTi: TEdit;
        edtKp: TEdit;
    end;

```



```

edterror: TEdit;
btnreset2: TButton;
GroupBox4: TGroupBox;
rdoauto: TRadioButton;
rdomanual: TRadioButton;
Timerwrite2: TTimer;
edtsv: TEdit;
absv: TAbDBGearDial;
Panel2: TPanel;
Label1: TLabel;
GroupBox5: TGroupBox;
abcounter: TAbOpHourCounter;
GroupBox6: TGroupBox;
btnpause: TButton;
btndisplay: TButton;
procedure btnset1Click(Sender: TObject);
procedure btnreset1Click(Sender: TObject);
procedure Timerwrite1Timer(Sender: TObject);
procedure btnSet2Click(Sender: TObject);
procedure TimerreadTimer(Sender: TObject);
procedure btnreset2Click(Sender: TObject);
procedure Timerwrite2Timer(Sender: TObject);
procedure rdoautoClick(Sender: TObject);
procedure rdomanualClick(Sender: TObject);
procedure AbSvValueChange(Sender: TObject);
procedure edtsvChange(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure btndisplayClick(Sender: TObject);
procedure btnpauseClick(Sender: TObject);

```

```

private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

```

```

var
Form1: TForm1;
storesv,storekp,storeti,storetd:string;
readpv,readsv,Kp,Ti,Td,error_1,error_2,mv_1:real;

```

implementation

```
{ $R *.dfm }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin

```

อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

openioport;
kp:= 1;
ti := 1;
td := 0;
error_1 := 0;
error_2 := 0;
mv_1 := 0;
end;

```

```

procedure TForm1.btnset1Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    graph.StartRecording:= true;
    graph.Channell1.Value:=absv.Value ;
    storesv:=edtsv.Text ;
    readsv:=absv.Value ;
    if rdoauto.Checked = true then
    begin
        timerwrite1.Enabled := true;
        timerwrite2.Enabled := false;
        timerread.Enabled := true;
    end;
    if rdomanual.Checked = true then
    begin
        //timerwrite1.Enabled := false;
        //timerwrite2.Enabled := true;
        //timerread.Enabled := true;
    end;
    abcounter.Count := true;

```

```

end;

```

```

procedure TForm1.btnreset1Click(Sender: TObject);
begin
    edtsv.Text :=storesv;
end;

```

```

procedure TForm1.btnreset2Click(Sender: TObject);
begin
    edtkp.Text := storekp;
    edtti.Text := storeti;
    edtttd.Text := storetd;
end;

```

```

procedure TForm1.btnSet2Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    if edtkp.Text <= '1' then
    begin

```

```

        kp := 1;

```

```

        edtkp.Text := '1'

```

```

    end

```

```

    else;

```



```

begin
    kp := strtoint(edtkp.text);
    storekp := edtkp.Text ;

end;
if edtti.Text <='1' then
begin
    ti := 1;
    edtti.Text := '1';
end
else;
begin
    ti:=strtoint(edtti.Text);
    storeti := edtti.Text ;

end;
    td:=strtoint(edttid.Text);
    storetd := edttid.Text ;
end;

procedure TForm1.Timerwrite1Timer(Sender: TObject);
var
    a,b,c,mv,error,sampling,cal:real;
    write:integer;
begin
    sampling :=0.1;
    error :=readsv-readpv;
    a := error-error_1;
    b := (Td*(error-2*error_1+error_2)/(sampling));
    c := ((sampling/Ti)*(error+error_1)/2);
    mv := Kp*(a+b+c)+mv_1;
    error_2 := error_1;
    error_1 := error;
    mv_1 := mv;
    cal := mv;
    if cal < 0 then
        cal := 0;
    if cal > 100 then
        cal := 100;
    cal := (cal * 2.048) + 50.2;
    write:= round(cal);
    writebyte($308,write);
    ederror.Text := floattostr(error);
    edtmv.Text := floattostr((cal-50.2)/2.048);
end;

```

```

procedure TForm1.Timerwrite2Timer(Sender: TObject);
var
    error:real;
    write:integer;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่อนุญาตให้นำไปทำซ้ำ ห้ามนำไปเผยแพร่ ห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

begin
    error:=readsv-readpv;
    write:= round(readsv);
    writebyte($308,write);
    edterror.Text := floattostr(error);
    edtmv.Text := floattostr(error);
end;
procedure TForm1.TimerreadTimer(Sender: TObject);
var
    read:integer;
    cal:real;
begin
    //read := ioport.ReadWord($30A);
    read := readbyte($30A);
    cal:=(strtofloat(inttostr(read))-50.2) / 2.048;
    if cal < 0 then
        cal := 0;
    if cal > 100 then
        cal := 100;
    readpv := cal;
    graph.Channel2.Value := readpv;
    edtpv.Text := floattostr(readpv);
end;

procedure TForm1.rdoautoClick(Sender: TObject);
begin
    //timerwrite1.Enabled := true;
    //timerwrite2.Enabled := false;
    //timerread.Enabled := true;
end;

procedure TForm1.rdomanualClick(Sender: TObject);
begin
    //timerwrite1.Enabled := false;
    //timerwrite2.Enabled := true;
    //timerread.Enabled := true;
end;

procedure TForm1.AbSvValueChange(Sender: TObject);
begin
    edtsv.Text := inttostr(round(absv.Value));
end;

procedure TForm1.edtsvChange(Sender: TObject);
begin
    if edtsv.Text <> " then
        begin
            absv.Value := strtofloat(edtsv.Text);
        end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
    closeioport;
end;

procedure TForm1.btndisplayClick(Sender: TObject);
begin
    graph.StartRecording:= true;
end;

procedure TForm1.btnpauseClick(Sender: TObject);
begin
    graph.StartRecording:= false;
end;

end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้