ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

DC Motor Measured and Controlled by Computer

ชื่อนักศึกษา 1. นางสาวก่องกาญจน์ วงศ์พรหม รหัสประจำตัว 46035379

2. นางสาวจุฑารัตน์ นุมหันต์ รหัสประจำตัว 46035386

3. นายอำนาจ วงค์สูน รหัสประจำตัว 46035417

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วรวิทย์ สมหา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	
2. อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
3. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
4. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 เวลา 13.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

<BT4710322>

การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

DC MOTOR MEASURED AND CONTROLLED BY COMPUTER

T059461

นางสาวก่องกาญจน์ วงศ์พรหม
นางสาวจุฑารัตน์ นูมหันต์
นายอำนาจ วงค์สูน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เลขหมู่ T 59461
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี - 5 มิ.ย. 2549
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
b
i

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

DC Motor Measured and Controlled by Computer

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic
2. เพื่อออกแบบโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์
3. เพื่อสร้างโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์
4. เพื่อทดลองการทำงานของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์
5. เพื่อสามารถนำโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ไปใช้งานได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจ ในการใช้โปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic
2. สามารถออกแบบโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ได้
3. มีความรู้ในระบบการทำงานของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์
4. ผลการทำงานของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์
5. สามารถนำโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

นักศึกษา นางสาวก่องกาญจน์ วงศ์พรหม
นางสาวจุฑารัตน์ นูมหันต์
นายอำนาจ วงค์สูน

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วรวิทย์ สมหา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการเขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นส่วนของโปรแกรม Visual Basic ซึ่งเป็นรูปแบบของการควบคุมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อ และเป็นตัวกลางให้แก่คอมพิวเตอร์ กับส่วนของฮาร์ดแวร์ มอเตอร์ และวงจรขับที่ทำการขับมอเตอร์ และส่วนที่สามเป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นส่วนที่รับคำสั่งและทำงานตามคำสั่งที่เราป้อนเข้าไปทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ วงจรขับ มอเตอร์ และตัวป้อนสัญญาณกลับ ซึ่งโครงงานนี้สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาขึ้นไปอีกในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	DC Motor Measured and Controlled by Computer
Students	Miss.Kongkarn Wongprom
	Miss.Jutarat Numahan
	Mr.Amnat Wongsoon
Advisor	Mr.Worawit Somha
Co-Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2004

ABSTRACT

This research presents the writing of directed current motor controll by using computer which is divided into three parts. The visual basic program was created in order to a computer display. The microcontroller is used as the connector between computer and its hardware. The motor and drive circuits have the function to drive motor. The hardware works under input commands which are put into computer and driven those commands afterward. The input consits of three parts which is drive circuit, motor and A/D converter. Finally, the study could be applied and developed for further advance in order to control directed current motors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณอาจารย์วรวิทย์ สมหา อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี และอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้ข้อมูลและคำปรึกษาในการศึกษาค้นคว้า ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ หอสมุดกลางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สุดท้ายนี้ที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดาและมารดาที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง	3
2.1.1 คุณลักษณะของมอเตอร์	3
2.1.2 การแบ่งชนิดของมอเตอร์กระแสตรงตามลักษณะการกระตุ้น	5
2.1.3 แรงบิด	11
2.1.4 แรงบิดเริ่มหมุน	14
2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์ค	15
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี	16
2.2.1 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ	16
2.2.2 กริยาของการควบคุม	17
2.2.3 การรวมกริยาของการควบคุม	21
2.2.4 การปรับค่าของกริยาการควบคุม	22
2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	24
2.3.1 หลักการทำงานของวงจร	24
2.3.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี ADC0804	25
2.4 การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	26
2.4.1 หลักการทำงานของวงจร	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง	3
2.1.1 คุณลักษณะของมอเตอร์	3
2.1.2 การแบ่งชนิดของมอเตอร์กระแสตรงตามลักษณะการกระตุ้น	5
2.1.3 แรงบิด	11
2.1.4 แรงบิดเริ่มหมุน	14
2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์ค	15
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี	16
2.2.1 ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ	16
2.2.2 กริยาของการควบคุม	17
2.2.3 การรวมกริยาของการควบคุม	21
2.2.4 การปรับค่าของกริยาการควบคุม	22
2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	24
2.3.1 หลักการทำงานของวงจร	24
2.3.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี ADC0804	25
2.4 การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	26
2.4.1 หลักการทำงานของวงจร	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี DAC	26
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	25
2.5.1 หน่วยความจำโปรแกรม	30
2.5.2 หน่วยความจำข้อมูล	30
2.5.3 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM	31
2.5.4 รีจิสเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของ PIC16F877	31
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	33
3.1 โครงสร้างของระบบ	33
3.2 การทำงานของBlock Diagram	33
3.3 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์	33
3.4 ชุดคอน โทรลเลอร์	34
3.5 การออกแบบหน้าจอแสดงผล	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	40
4.1 การทดลองเปิดหน้าจอแสดงผล	40
4.2 ผลการทดลองการปรับค่า	45
บทที่ 5 บทสรุป	49
5.1 สรุป	49
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	49
5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงาน	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	51
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	55
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	58
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	60
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	73
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดอุปกรณ์	78
ประวัติผู้แต่ง	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจร PIC16F877	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบขนาน	3
2.2 กราฟคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบอนุกรม	5
2.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น	6
2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน	6
2.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	6
2.6 คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น	9
2.7 คุณสมบัติมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	10
2.8 เส้นโค้งลักษณะสมบัติอัตราเร็วของมอเตอร์ แบบขนาน อนุกรม และผสม	11
2.9 เส้นโค้งลักษณะแรงหมุนของมอเตอร์แบบขนาน อนุกรม และผสม	11
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์คของมอเตอร์อนุกรมซึ่ง เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสอาร์เมเจอร์	15
2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับกราฟทอร์คของมอเตอร์ขนาน	16
2.12 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ	17
2.13 แผนผังการทำงานของตัวควบคุมหรือแบบ On - Off	18
2.14 ผลตอบสนองของระบบที่อัตราเลื่อมกัน 1/4	24
2.15 ตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ ของ PIC 16F877	29
2.16 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877	30
2.17 รายละเอียดของบิตของรีจิสเตอร์STATUS	31
3.1 แผนผังการทำงานโครงสร้างของระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ด้วยคอมพิวเตอร์	33
3.2 การควบคุมมอเตอร์ด้วยการสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.3 หน้าจอเมนูหลัก	35
3.4 หน้าจอเลือกการควบคุมความเร็ว	36
3.5 หน้าจอการควบคุมความเร็ว	37
3.6หน้าจอการควบคุมความเร็วและPID	38
3.7 หน้าจอการวัดแรงบิด	39
4.1 หน้าจอเมนูหลัก	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 หน้าจอเลือกการควบคุมความเร็ว	41
4.3 หน้าจอการควบคุมความเร็ว	42
4.4 หน้าจอการควบคุมความเร็วและPID	43
4.5 หน้าจอการวัดแรงบิด	44
4.6 การปรับความเร็ว	45
4.7 การปรับความเร็วแต่ไม่ปรับPID	46
4.8 การปรับความเร็วและปรับPID	47
4.9 การวัดแรงบิด	48
ก.1 ภาพด้านหน้าของชุดขับมอเตอร์	52
ก.2 ภาพด้านหลังของชุดขับมอเตอร์	53
ก.3 ภาพหน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์	54
ข.1 วงจร PIC16F877	56
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ PIC16F877	57
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ PIC16F877	57
จ.1 จุดต่อของเครื่อง	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าสูงมาก จึงทำให้มีการนำอุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านไมโครคอมพิวเตอร์นี้เข้ามาใช้งานมากขึ้น ทำให้ระบบต่างๆ มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและสามารถนำไมโครคอมพิวเตอร์นี้ไปเชื่อมโยงกับระบบอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม การควบคุมอัตโนมัติโดยใช้การป้อนกลับการวัด และการแสดงผลการทำงานของระบบ โครงงานนี้ได้เขียนฟังก์ชั่นการแสดงผลความเร็ว แสดงผลแรงบิดของมอเตอร์ ในรูปของตัวเลขและกราฟฟิกส์แสดงที่จอคอมพิวเตอร์รวมทั้งมีฟังก์ชั่นการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแบบการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้การป้อนกลับและการควบคุมด้วยมือผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถวัดและแสดงค่าความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้
2. สามารถวัดและแสดงค่าแรงบิดของมอเตอร์ได้
3. สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบ PID ได้
4. สามารถแสดงผลในรูปของกราฟฟิกส์ได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงงาน และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับแผนผังการทำงานของโครงงาน ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ

บทที่ 4 ประกอบด้วยผลการทดลอง

ลักษณะโดยทั่วไปของตัวควบคุม

ผลการทดลอง การควบคุมความเร็ว การควบคุมแรงบิด การควบคุมโดยการกำหนดระยะทาง

สรุปผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำโครงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข แสดงผังรายละเอียดวงจร และหลักการทำงาน

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์แต่ละวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง

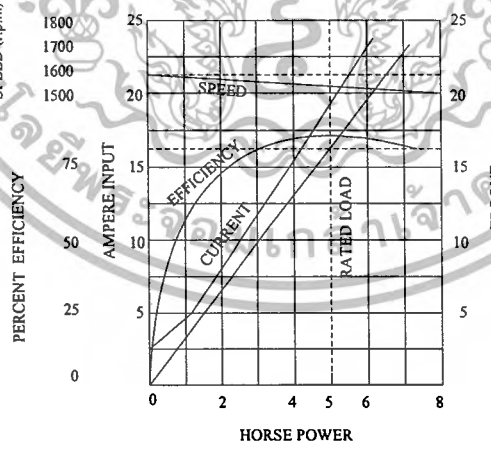
มอเตอร์ คือ ตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำพลังงานที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ ตามต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นก็อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีกระแสไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กย่อมทำให้เกิดแรงขึ้น

2.1.1 คุณลักษณะของมอเตอร์

เส้นกราฟที่แสดงคุณลักษณะประจำตัวต่างๆ ของมอเตอร์(Performance Curve) แต่ละแบบโดยแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ เหล่านั้น เปรียบเทียบกับกำลังม้าที่มอเตอร์จ่ายออกมา ในที่นี้จะกล่าวแยกไปตามแบบของมอเตอร์ที่ใช้ดังนี้

1. มอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor)

มอเตอร์แบบนี้มีคุณลักษณะประจำตัวที่สำคัญๆ อยู่ 4 อย่างคือ แรงบิด กระแส ความเร็ว และประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบขนาน

จากรูป พบว่าในขณะที่มอเตอร์ไม่ได้รับภาระทางกล (Mechanical Load) นั้น จะมีค่าความเร็วที่ค่าหนึ่งๆ จากความเร็วปกติ เมื่อทำการตัดภาระทางกลออกไปทันที อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของมอเตอร์ ขณะไม่มีภาระ และขณะมีภาระเต็มที่นั้น ไม่ได้แตกต่างจากกันไปมากนัก ฉะนั้นจึงถือว่ามอเตอร์แบบนี้มีความเร็วคงที่ อย่างไรก็ดี ความเร็วในช่วงที่นำไปใช้งานนี้สามารถปรับให้เร็วได้โดยการต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับสนามขนาน (Shunt Field)

เส้นกราฟที่แสดงจากประสิทธิภาพของเครื่องนั้น ปกติแล้วจะมีรูปร่างเหมือนกันทั้งของเครื่องกำเนิดไฟ และมอเตอร์ และจุดที่ประสิทธิภาพสูงสุด รูปร่างของ กราฟ นี้เปลี่ยนแปรไปตามความประสงค์ของผู้ออกแบบ เส้นกราฟนี้ มักให้เป็นเส้นที่แบนราบพอควร แต่ก็มักจะมีการเปลี่ยนแปรประสิทธิภาพเล็กน้อย ในช่วงของโหลด ระหว่าง 25% ถึง 50% ส่วนจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะเป็นจุดที่ให้อยู่ใกล้ๆ กับช่วงที่ให้ได้รับโหลดเต็มที่เท่าที่จะทำได้

จากรูปพบว่า มอเตอร์จะกินกระแสไฟจำนวนหนึ่ง ในขณะที่มอเตอร์ยังไม่จ่ายโหลดออกไป ทั้งนี้เพราะต้องนำกำลังไฟจำนวนหนึ่งไปจ่ายให้ส่วนสูญเสียกำลังที่คงที่นั่นเอง

ในการใช้มอเตอร์ ให้เริ่มหมุน (Starting) ภาระ หรือโหลดของมอเตอร์แบบนี้ จะพบว่ามอเตอร์แบบขนานนี้มีแรงเริ่มหมุนต่ำกว่า มอเตอร์แบบอื่น นั่นคือ มีแรงเริ่มหมุนต่ำซึ่งไม่ได้หมายความว่า มอเตอร์แบบขนานนี้จะไม่สามารถเริ่มหมุนภาระทางกลที่หนักๆ ได้ แต่หมายความว่ามอเตอร์แบบอนุกรม และแบบผสมนั้นสามารถที่จะทำให้ภาระทางกลที่หนักๆ หมุนได้ โดยที่กินกระแสไฟขณะที่ทำให้เริ่มหมุนน้อยกว่าเมื่อเป็นแบบขนาน นั่นก็คือ การเสื่อมราคาของมอเตอร์แบบขนานจะมีการเสื่อมราคามากกว่า ถ้าหากว่านำไปใช้ในการหมุนภาระที่หนักๆ ในขณะเริ่มแรก ตัวอย่างเช่น ถ้ามอเตอร์แบบขนานต้องเริ่มหมุนภาระที่มีขนาดเป็น 2 เท่าของแรงบิดตามพิกัด (Full Load Torque) นั่นก็หมายความว่า มอเตอร์แบบขนานนี้จะต้องใช้กระแสเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วย แต่ถ้าต้องเริ่มหมุนภาระที่มีขนาดเป็น 2 เท่าของแรงบิดตามพิกัดของมอเตอร์แบบของอนุกรมนั้นจะปรากฏว่า กระแสที่ใช้จะมีค่าประมาณเพียง 1.5 เท่าของกระแสที่พิกัด

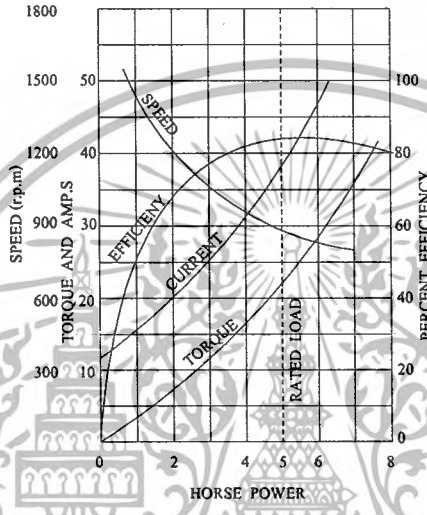
2. มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์แบบนี้ก็คือ มีกราฟ ต่างๆ ในทำนองเดียวกับกราฟของแบบขนาน นั่นเอง แต่มอเตอร์แบบอนุกรมนี้ จะมีเส้นกราฟแสดงให้เห็นชัดว่าความเร็วจะลดลงอย่างมาก เมื่อต้องจ่ายกำลังม้าออกไปมาก ส่วนในขณะที่ไม่ได้จ่ายแรงม้านั้น ความเร็วของมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับตอนที่ ต้องจ่ายกำลังไฟเต็มที่ นั่นคือ ความเร็วจะไม่คงที่และจะเปลี่ยนไปมาก เมื่อต้องจ่ายกำลังกลมาก ฉะนั้น จึงไม่นิยมใช้กับโหลดที่ต้องการให้มีค่าความเร็วคงที่หรือค่อนข้างสม่ำเสมอ

สำหรับกระแสค่าหนึ่ง ที่มอเตอร์แบบนี้ใช้ในการทำให้เริ่มหมุน (Starting) นั้นปรากฏว่าให้แรงบิดเริ่มแรกมากกว่ามอเตอร์แบบขนานที่ค่ากระแสเดียวกันนี้ ดังนั้นจึงนิยมใช้ ในกรณีที่ต้องการฉุดโหลด เริ่มแรกที่หนักๆ จากการที่มอเตอร์แบบนี้ มีแรงบิดเริ่มแรกมากมาย ดังนั้น จึงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกลักษณ์หรือข้อดีเด่นของมอเตอร์ชนิดนี้ สำหรับงานฉุดลาก เช่นพวกรถดีเซลราง เป็นต้น มอเตอร์นี้ เมื่อได้รับโหลดมากขึ้นย่อมทำให้ความเร็วลดไป นั่นคือแรงบิดเพิ่มมากขึ้น โดยที่ให้กระแสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าหากว่าใช้มอเตอร์ขนานในงานเช่นนี้ย่อมทำให้ต้องใช้กระแสเพิ่มขึ้นจำนวนมากมาย เพื่อให้ได้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้นด้วยจำนวนที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะมอเตอร์แบบขนาน มีความเร็วค่อนข้างคงที่ และแรงบิดก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส



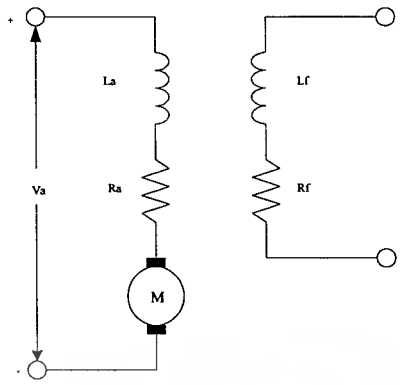
รูปที่ 2.2 กราฟคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบอนุกรม

จะเห็นได้ว่า ข้อแตกต่างของมอเตอร์แบบอนุกรมกับมอเตอร์แบบขนาน ตามที่ได้กล่าวไปในกราฟคุณลักษณะนั้น จะมีข้อแตกต่างกันมากที่เส้นกราฟของความเร็วจากมอเตอร์ทั้ง 2 แบบดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 ส่วนเส้นกราฟ ของประสิทธิภาพ กระแสและแรงบิด เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังม้าที่ส่งออกมา ต่างก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

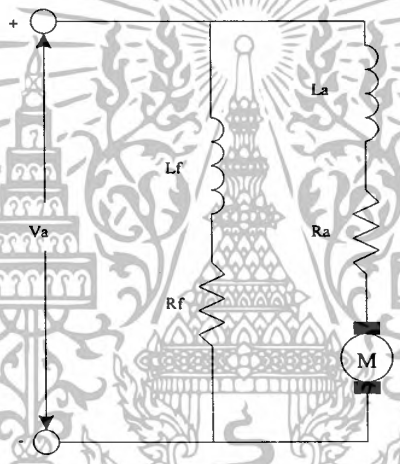
2.1.2 การแบ่งชนิดของมอเตอร์กระแสตรงตามลักษณะการกระตุ้น

1. มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น (Separately Exited Motor)
2. มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self Exited Motor) แยกได้เป็น 3 แบบ คือ
   - 2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)
   - 2.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)
   - 2.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น (Compound Motor)

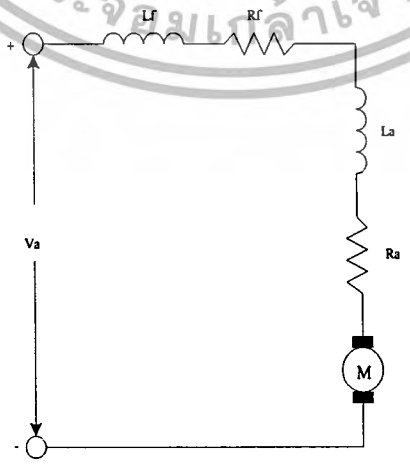
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น



รูปที่ 2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน



รูปที่ 2.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น มีลักษณะดังนี้

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di}{dt} \tag{2.1}$$

กระแสอาร์เมเจอร์หาได้จาก

$$V_a = R_a i_a + L_f \frac{di}{dt} \tag{2.2}$$

แรงดันกลับหรือที่เรียกว่า สปีดโวลท์เตจ (Speed Voltage)

$$E_b = K_v \omega i_f \tag{2.3}$$

ทอร์คที่เพลาของมอเตอร์คือ

$$T_d = K_t i_f i_a \tag{2.4}$$

ทอร์คที่เพลาของมอเตอร์จะต้องเท่ากับ โหลดทอร์คดังสมการ

$$T_d = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \tag{2.5}$$

กำหนดให้

ω = Motor speed [rad/s]

B = Viscous fraction constant [Nm/rad/s]

K_v = ค่าคงที่ของแรงดัน [V/A-rad/s]

K_t = ค่าคงที่ของทอร์ค

L_a = ค่าเหนี่ยวนำของอาร์เมเจอร์ [H]

L_f = ค่าเหนี่ยวนำของฟิลด์ [H]

R_a = ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ [Ω]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_f = ค่าความต้านทานของฟิลด์ [Ω]

T_L = Load Torque [Nm]

ภายใต้สภาวะอิ่มตัวความแตกต่างทางเวลาของสมการที่ผ่านมาจะเท่ากับศูนย์และเฉลี่ยเมื่อ

$$V_f = R_f I_f \tag{2.6}$$

$$E_b = K_v \omega I_f \tag{2.7}$$

$$\begin{aligned} V_a &= R_a I_a + E_b \\ &= R_a I_a + K_v \omega I_f \end{aligned} \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned} T_d &= K_t I_f I_a \\ &= B\omega + T_L \end{aligned} \tag{2.9}$$

สภาวะอิ่มตัวจะเท่ากับสมการกำลัง (Power Developed) หาได้จาก

$$P_d = T_d \omega \tag{2.10}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของฟิลด์ [I_f] และแรงดันป้อนกลับ [E_b] จะไม่ลิเนียร์ เนื่องจากการอิ่มตัวสนามแม่เหล็ก ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้นหาได้จากสมการ

$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{K_v I_f} \tag{2.11}$$

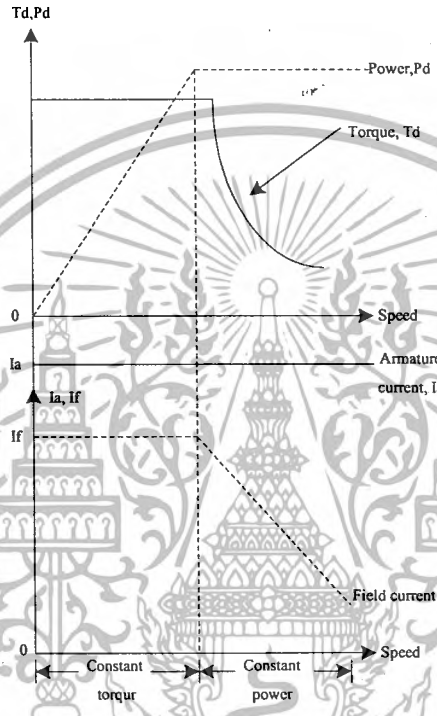
เมื่อ $$I_f = \frac{V_f}{R_f} \tag{2.12}$$

จากสมการดังกล่าวความเร็วของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ดังต่อไปนี้

1. ควบคุมแรงเคลื่อนที่ป้อนให้กลับอาร์เมเจอร์
2. ควบคุมกระแสฟิลด์
3. ควบคุมทอร์คได้โดยการควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสฟิลด์ให้คงที่ที่รู้จักกันในนามอัตราเร็วฐาน (Base Speed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมอัตราความเร็วฐานเมื่อต้องการทอร์คคงที่ จะต้องควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสฟิลด์ให้คงที่และทำการปรับเปลี่ยนแรงดัน (v_a) ในการควบคุมความเร็ว สำหรับความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วฐาน มักจะทำการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ให้เท่ากับแรงดันพิกัดและปรับเปลี่ยนกระแสฟิลด์เพื่อควบคุมความเร็ว



รูปที่ 2.6 คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น

จากรูปจะแสดงคุณสมบัติของทอร์ค กำลัง (p_d) กระแสอาร์เมเจอร์ และกระแสฟิลด์เมื่อเทียบกับความเร็ว รูปที่ 2.6 แสดงถึงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม สมการที่สภาวะอิ่มตัวหาได้จาก

$$E_b = K_v \omega I_a \tag{2.13}$$

$$\begin{aligned} V_a &= R_a I_a + E_b \\ &= R_a I_a + K_v \omega I_a \end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned} T_d &= K_t I_a I_f \\ &= B\omega + T_L \end{aligned} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม หาได้จาก

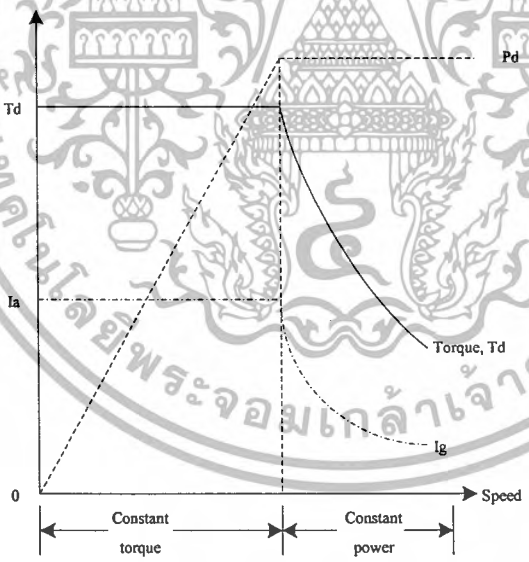
$$\omega = V_a - \frac{R_a I_a}{K_v I_a} \tag{2.16}$$

ความเร็วสามารถเปลี่ยนได้ 2 ลักษณะคือ

1. ควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์ V_a
2. ควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ I_a

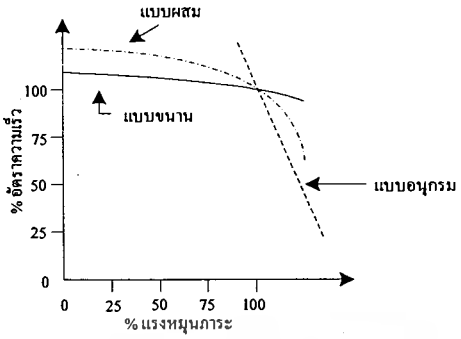
แบบอนุกรมมีทอร์คที่สูงในขณะสตาร์ท

สำหรับการควบคุมอัตราความเร็วฐานจะปรับเปลี่ยนแรงดันที่ป้อนให้อาร์เมเจอร์ เพื่อควบคุมให้ทอร์คคงที่ ที่แรงดันพิกัดของอาร์เมเจอร์ความสัมพันธ์ของความเร็วและทอร์คจะเป็นไปโดยคุณสมบัติทางธรรมชาติซึ่งกำลังของมอเตอร์จะคงที่ซึ่งทอร์คจะเพิ่มขึ้นการทำงานที่โหลดน้อยๆ มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม จะต้องไม่ทำงานเมื่อปราศจากโหลด

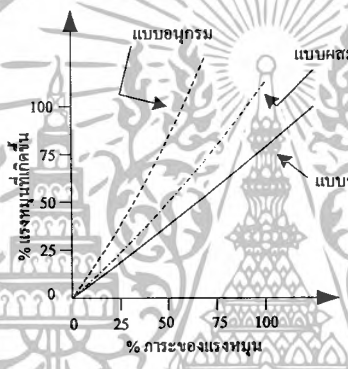


รูปที่ 2.7 คุณสมบัติมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เส้นโค้งลักษณะสมบัติอัตราความเร็วของมอเตอร์ แบบขนาน อนุกรม และผสม



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งลักษณะแรงหมุนของมอเตอร์แบบขนาน อนุกรม และผสม

2.1.3 แรงบิด

แรงบิด (Torque) ก็คือการหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรงๆ หนึ่งที่กระทำรอบแกนอันหนึ่งวัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ ที่จุดแรงไปกระทำ

พิจารณาวงล้อที่มีรัศมี r เมตร มีแรง F นิวตัน มากระทำบนวงล้อนี้ จึงทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็ว S รอบต่อวินาที

$$\text{แรงบิด} = F \times r \text{ นิวตันต่อเมตร} \qquad (2.17)$$

งานที่ทำได้จากหนึ่งรอบจากแรงนี้

$$= \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$= F \times 2\pi r \text{ จูลส์} \qquad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ทำต่อวินาที $W = F \times 2\pi r \times s$

$= F \times r \ \ 2\pi s$ (2.19)

$2\pi s$ = มุมเป็น θ เรเดี่ยนต่อวินาที

$F \times r$ = แรงบิด T (2.20)

งานที่ทำต่อวินาที $= T \times \theta$ จูลส์ (2.21)

กำลังที่เกิดขึ้น $= T \times \theta$ วัตต์ (2.22)

1. แรงที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (Armature Torque Of a Motor)

ให้ T_m เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากอาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว S รอบต่อวินาที โดย T_m เป็น นิวตันต่อเมตร

งานที่ทำต่อวินาที $= T_m \times 2\pi s$ จูลส์ (2.23)

หรือกำลังที่เกิดขึ้น $= T_m \times 2\pi s$ วัตต์

$P_m = E_b I_a$ (2.24)

เรารู้ว่ากำลังไฟที่ได้เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ คือ

ให้ (2.23) = (2.24) $T_m \times 2\pi s = E_b I_a$ (2.25)

$E_b = \phi Z S \left(\frac{P}{a}\right) = K'_\theta \phi S$ (2.26)

$T_m = \frac{K'_\theta \phi I_a}{2\pi} = K'_t \phi I_a$ (2.27)

เมื่อ $K_t = K'_\theta / 2\pi$ = ค่าคงที่แรงบิด (Torque)

S = ความเร็ว (r.p.s)

$T_m = 0.159 K'_\theta \phi I_a$ นิวตันต่อเมตร (2.28)

$= 0.0162 K'_\theta \phi I_a$ กิโลกรัมต่อเมตร (2.29)

เมื่อ $K'_\theta = ZP/a$ = ค่าคงที่ทางไฟฟ้า

$T_m = T \alpha \phi I_a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ในกรณีของมอเตอร์อนุกรม $T = I^2{}_a$

2) สำหรับ shunt motor motor $T = I_a$

$$T = \frac{E_b I_a}{2\pi S} \quad \text{N/m} \qquad (2.30)$$

$$= \frac{0.159 E_b I_a}{S} \quad \text{N/m}$$

$$= \frac{0.0162 E_b I_a}{S} \quad \text{Kg/m}$$

เมื่อ S เป็นความเร็ว (r.p.s)

2. แรงบิดที่แกน (Shaft Torque)

แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์นั้น ไม่ได้นำไปใช้งานเลยทีเดียว ทั้งนี้เพราะต้องจ่ายให้กับการสูญเสียอันเนื่องมาจาก Iron และ Friction ใน Motor

แรงบิดที่เอาไปใช้งานก็คือแรงบิดที่แกน (T_{sh})

กำลังม้าที่ได้จากแกนหมุนของมอเตอร์ก็คือ B.H.P นั่นเอง ซึ่งเป็นกำลังม้าที่ได้จากการ Brake Motor

$$\text{B.H.P. (Metric)} = \frac{(T_{sh} \times 2\pi s)}{73505} \qquad (2.31)$$

$$T_{sh} = \frac{(735.5 \times B.H.P.)}{2\pi s}$$

เมื่อ S = ความเร็ว (r.p.s.)

$T\text{-}T_{sh}$ ก็คือ lost torque

$$\text{Lost Torque } T_L = 0.159 \times (\text{iron และ fraction losses/S}) \quad \text{N/m} \qquad (2.32)$$

$$= 0.0162 \times (\text{iron และ fraction losses/S}) \quad \text{Kg/m}$$

ข้อสังเกตค่า E_b หาได้จาก

$$E_b = V - I_a R_a \qquad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_b = \phi ZS\left(\frac{P}{a}\right) \tag{2.34}$$

2.1.4 แรงบิดเริ่มหมุน

แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์ขนานเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุน และเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กตามสมการ

$Tst = K\Phi IAst$

ด้วยเหตุที่เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ตลอดเวลา ไม่ว่าโหลดที่มอเตอร์หมุนขับจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใดก็ตาม ดังนั้นทอร์คเริ่มหมุนของมอเตอร์ขนานจึงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุนตามสมการ

$$T_{St} \alpha Ia_{St} \tag{2.35}$$

เมื่อ T_{St} = ทอร์คเริ่มหมุน

Ia_{St} = กระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุน

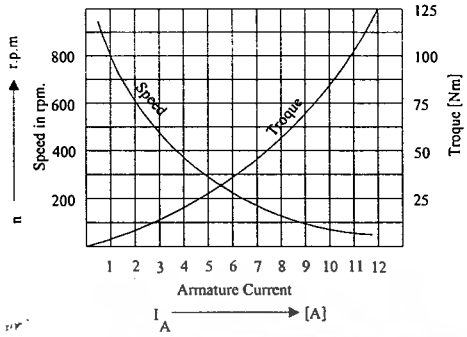
Φ = เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก (คงที่)

กรณีของมอเตอร์อนุกรม กระแสขดลวดอนุกรม (เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก) ไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามโหลด จนกระทั่งวงจรแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัวทอร์คเริ่มหมุนของมอเตอร์อนุกรมจึงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ยกกำลังสองตามสมการ

$$T_{St} \alpha I_a{}^2 st \tag{2.36}$$

ด้วยเหตุนี้ทอร์คเริ่มหมุนของมอเตอร์อนุกรมจึงเพิ่มขึ้นทันทีทันใด ตามการเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างรวดเร็วกว่ามอเตอร์ขนาน จากกราฟแสดงให้เห็นถึงรูปร่างลักษณะของ “กราฟทอร์ค” ของมอเตอร์อนุกรมซึ่งจะเห็นอย่างชัดเจนว่า ระยะเริ่มแรกนั้นการเพิ่มขึ้นของทอร์ครวดเร็วกว่าการเพิ่มของกระแส ภายหลังจากวงจรแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัวที่กระแสสูงกว่าเดิมเรียบร้อยแล้ว กราฟจะเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์คของมอเตอร์อนุกรมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสอาร์เมเจอร์

มอเตอร์ขณะเริ่มหมุนที่กระแสเต็มโหลด จะให้ทอร์คหมุนขับเท่ากับทอร์คหมุนขับของมอเตอร์ขณะกินกระแสเต็มโหลดที่ความเร็วรอบปกติ ดังนั้นทอร์คหมุนขับของมอเตอร์ ณ โหลดใดๆ อาจพิจารณาได้จากทอร์คเริ่มหมุนของมอเตอร์

จะอย่างไรก็ตาม ถ้าเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ทั้งสอง จะพบว่าด้วยขนาดทอร์คหมุนขับที่เพิ่มขึ้นเท่ากันนี้ มอเตอร์อนุกรมจะกินกระแสน้อยกว่าและให้กำลังหมุนขับโหลดน้อยกว่ามอเตอร์ขนาน ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเพิ่มโหลดความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะลดลง ขณะที่มอเตอร์ขนานหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่

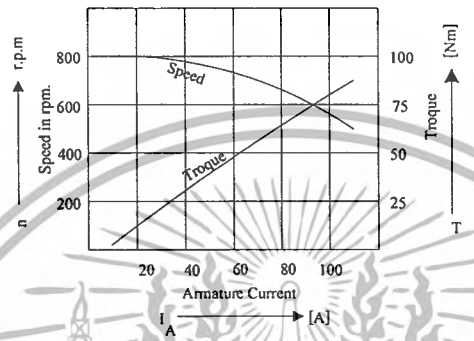
2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์ค

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ทอร์คของอนุกรมมีความไวอย่างมากต่อความเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ กล่าวคือ ทอร์คจะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อความเร็วรอบน้อยที่สุด ดังนั้นขณะที่ให้มอเตอร์อนุกรมหมุนขับโหลดหนักๆ ความเร็วรอบจะลดลง ทั้งกระแสอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ทอร์คเพิ่มขึ้นอย่างมากและด้วยขนาดกำลังหมุนขับที่น้อยที่สุดที่อาจเพิ่มให้แก่มอเตอร์ได้ขณะนี้

เช่นเดียวกับกรณีของมอเตอร์ขนานถึงแม้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กและความเร็วรอบจะคงที่ก็ตาม เมื่อให้หมุนขับโหลดหนักๆ ทอร์คจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เมเจอร์ ขณะเดียวกันขนาดของกำลังขับของมอเตอร์ จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของทอร์คหมุนขับเช่นกัน ถ้าเปรียบเทียบมอเตอร์ขนานกับมอเตอร์อนุกรมแล้ว จะพบว่าด้วยขนาดของโหลดที่ต้องการหมุนขับที่เท่ากัน จะต้องหมุนขับด้วยมอเตอร์ขนานที่มีขนาดกำลังมากกว่ามอเตอร์อนุกรมมากต่อมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่โหลดหนักๆ มอเตอร์ขนานไม่สามารถที่จะหมุนขับโหลดด้วยความเร็วรอบที่ต่ำกว่าพิกัดตามขนาดของมอเตอร์ได้ นอกเสียจากโหลดเบาๆ ที่ความเร็วรอบคงที่ตามพิกัดของมอเตอร์เท่านั้น รูปที่ 2.10 และรูปที่2.11 เป็นการเปรียบเทียบกราฟทอร์คและกราฟความเร็วระหว่างมอเตอร์อนุกรม (รูปที่ 2.10) กับมอเตอร์ขนาน (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ กราฟทอร์ค ของมอเตอร์ขนาน

2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี

การควบคุมพีไอดีที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาค่าความแตกต่าง ระหว่างค่าเอาท์พุทจริงของระบบกับค่าของอินพุทอ้างอิงจากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า "กริยาควบคุม (Control Action)"

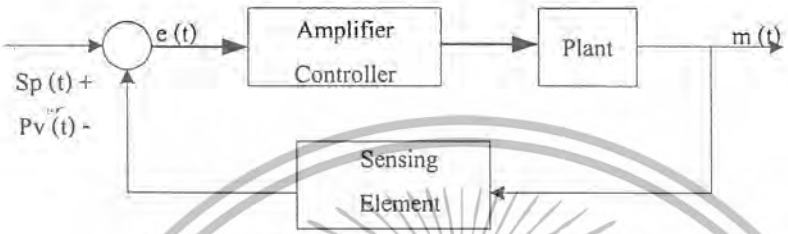
2.2.1. ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ

ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะเป็นสัญญาณระดับต่ำ ดังนั้น จึงต้องมีแอมปลิฟลาย เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงเพียงพอ และเอาต์พุตของตัวควบคุมจะถูกส่งไปยังตัวกระทำ (Actuator) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า วาล์ว นิวแมตริกส์ หรืออื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 2.12 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมซึ่งต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ (Sensing Element) ตัวควบคุมในที่นี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตัววัดคลาดเคลื่อน (Error Detector) และแอมปลิฟลาย สำหรับอุปกรณ์ตัววัดสัญญาณนั้นเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาต์พุตไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสม เช่น ระยะแทนที่ แรงดัน หรือสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะสำหรับเปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอ้างอิงได้ อุปกรณ์วัดสัญญาณนี้จะอยู่ในส่วน ป้อนกลับ (Feedback Path) ของระบบลูปปิด (Close Loop) ส่วนค่าที่กำหนดไว้ (Set Point) ของตัวควบคุมนั้นจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุตอ้างอิง ที่มีหน่วย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เดียวกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์วัดค่าคลาดเคลื่อนตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุตอ้างอิงและสัญญาณป้อนกลับได้แล้วก็จะส่งค่าคลาดเคลื่อนนี้ไปยัง แอมปลิฟลายเพื่อขยายค่าคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงพอที่จะไปทำให้ตัวกระทำในระบบทำงานได้



รูปที่ 2.12 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ

2.2.2. กริยาของการควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของกริยาการควบคุมได้ดังนี้

1. กริยาควบคุมแบบสองตำแหน่ง Two-Position
2. กริยาควบคุมแบบ Proportional
3. กริยาควบคุมแบบ Integral
4. กริยาควบคุมแบบ Derivative
5. กริยาควบคุมแบบ Proportional plus Integral (PI)
6. กริยาควบคุมแบบ Proportional plus Derivative (PD)
7. กริยาควบคุมแบบ Proportional plus Integral plus Derivative (PID)

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้าหรือแรงดันของไหล เช่น น้ำมันหรือลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ดังนั้นตัวควบคุมอัตโนมัติจึงจะแบ่งออกตามลักษณะของกำลังงานในการทำงานของระบบได้ เช่น ตัวควบคุมแบบนิวแมติกส์ (Pneumatic) ตัวควบคุมแบบไฮโดรลิก หรือตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นต้น การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบไหน จะต้องพิจารณาจากธรรมชาติของระบบ สภาพการทำงาน ความปลอดภัย ความเที่ยงตรง ความไว้ใจได้ ราคา ขนาด และน้ำหนัก และอื่นๆ เป็นต้น

1. กริยาควบคุมแบบสองตำแหน่ง Two-Position

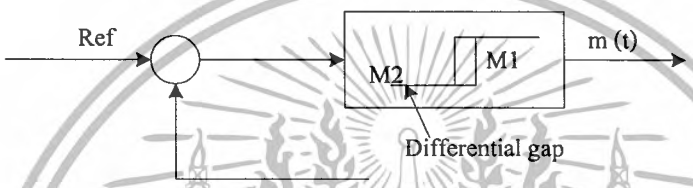
ในระบบการควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้นตัวกระทำ จะทำงานในตำแหน่งคงที่ที่เพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59481

สองตำแหน่งเท่านั้นในบางครั้งจึงมีชื่อเรียกง่ายๆ ว่า On และ Off การควบคุมแบบสองตำแหน่งนี้จะเป็นการควบคุมแบบง่ายๆ และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการควบคุมทางอุตสาหกรรมกำหนดให้ตัวควบคุมของสัญญาณเอาต์พุตเป็น $m_{(t)}$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบนั่นคือ

$$m_{(t)} = \text{M1 สำหรับ } e_{(t)} > 0$$

$$m_{(t)} = \text{M2 สำหรับ } e_{(t)} < 0$$



รูปที่ 2.13 แผนผังการทำงานของตัวควบคุมหรือแบบ On - Off

รูปที่ 2.13 แสดงถึงแผนผังการทำงานของตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Switching) ของการควบคุมนั้นเรียกว่า Differential gap ดังแสดงในรูป ช่วง Differential Gap นี้เอาต์พุตของตัวควบคุม $m_{(t)}$ จะยังคงรักษาค่าเดิมอยู่จนกระทั่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจากค่าศูนย์ ในบางกรณี Differential Gap นั้นเป็นผลจากการเสียดทานที่ไม่ได้คิดไว้ก่อนแต่ในบางครั้งก็ต้องทำให้มีช่วง Differential Gap เพื่อป้องกัน On – Off บ่อยเกินไป

2. กริยาควบคุมแบบ Proportional

ข้อเสียของการควบคุมแบบ On – Off คือการแกว่งของค่าตัวแปรโปรเซสรอบๆ ค่าเป้าหมายเนื่องจากสัญญาณควบคุมมีแค่สองค่า (On หรือ Off) ขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายสัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไปไม่สมดุลกับค่าความผิดพลาด เพื่อจะกำจัดการแกว่งเราจึงควรจะกำหนดให้สัญญาณคุมมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดความคลาดเคลื่อนขณะสัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย การควบคุมที่ใช้หลักการนี้เราเรียกว่า Proportional Control ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก $m_{p(t)}$ กับสัญญาณขาเข้า $Sinp_{(t)}$ ที่ค่าเป้าหมาย $Soutp_{(t)}$ ใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$m_{p(t)} = K_p e_{(t)} + b \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $m_{p(t)}$ = สัญญาณขาออก

$e_{(t)}$ = ค่าคลาดเคลื่อน ($Soutp_{(t)} - Sinp_{(t)}$)

$Soutp_{(t)}$ = ค่าเป้าหมาย

$Sinp_{(t)}$ = สัญญาณเข้า

B = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความผิดพลาด ($Soutp = Sinp$)

K_p = Proportional Gain (%)

อัตราการตอบสนองต่อการคลาดเคลื่อนของ Proportional ถูกกำหนดด้วยค่า Proportional Gain (K_p) เราให้คำจำกัดความของ Proportional Gain ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า ทำให้สัญญาณขาออกเปลี่ยนแปลงไป 100%

ในการควบคุมแบบ Proportional โดยทั่วไปสัญญาณของโปรเซสจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมที่สภาวะใดสภาวะหนึ่งเท่านั้น ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ คือเกิดสิ่งรบกวน สัญญาณวัดจะมีค่าต่างไปจากเป้าหมายที่สภาวะสมดุล ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุล เรียกว่า ออฟเซท (Offset) ขนาดของออฟเซทขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งรบกวน (Disturbance) และค่า K_p ยิ่ง K_p มีค่าน้อย ออฟเซทจะยิ่งมีค่ามาก ในทางกลับกัน ถ้า K_p มีค่ามากออฟเซทจะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ดีถ้าค่า K_p = Infinity สัญญาณการวัดก็จะเกิดการแกว่ง เนื่องจากกรณีนี้กริยา Proportional จะทำงานเหมือนเป็น On-Off

ข้อดีของกริยา Proportional เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสองตำแหน่งตัวแปรโปรเซสจะมีเสถียรภาพดีกว่า ถ้าเราปรับ K_p ได้เหมาะสม แต่มีข้อเสียคือเกิดออฟเซท

3. กริยาการควบคุมแบบ Integral

ในการควบคุมแบบ Integral นั้นค่าของเอาท์พุทของตัวควบคุม $m_{(t)}$ จะมีความสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อน $e_{(t)}$ ดังนี้

$$\frac{dmi_{(t)}}{dt} = K_I e_{(t)} \tag{2.38}$$

$$mi_{(t)} = K_I \int e_{(t)} dt \tag{2.39}$$

เมื่อ K_I = Integral Gain ที่สามารถปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบ Integral เป็นกริยาหนึ่งที่ใช้งานบ่อยๆ ในระบบการควบคุมโดยมีพื้นฐานเกี่ยวเนื่องกับเหตุการณ์ในอดีตของค่าเออร์เลอร์ ซึ่งเกิดขึ้นในการผันแปรทางการควบคุมของการควบคุมนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "โหมดรีเซต" ถ้าการควบคุมแบบ Proportional กำหนดการป้อนกลับบนพื้นฐานของค่าคลาดเคลื่อนในอดีตที่เกิดขึ้นดังนั้นเป็นไปได้ว่า เมื่อขณะใดขณะหนึ่งถ้าค่าของเออเลอร์เป็นศูนย์แล้วการควบคุมแบบ Integral ยังคงถูกป้อนกลับอยู่เพราะเกิดจากค่าคลาดเคลื่อนในอดีต จากนี้เราสามารถมองเห็นภาพของกริยาแบบนี้ในเทอมของ Integral สามารถคำนวณจากพื้นที่สุทธิ ภายใต้เส้นกราฟค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลา การกระทำเอาต์พุตถูกพบว่า เป็นการคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า"Integral Gain"ดังนั้น

$$m_{I(t)} = K_I Ae_{(t)} + b_{I(0)} \tag{2.40}$$

เมื่อ $Ae_{(t)}$ = พื้นที่สุทธิของค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลาคำนวณจากเวลา t = 0

$B1_{(0)}$ = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีคลาดเคลื่อนที่เวลา t = 0

กริยาควบคุมแบบ Integral สามารถกำหนดเอาต์พุตอัตโนมัติเพื่อเผชิญการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้

4. กริยาควบคุมแบบ Derivative

การกระทำในกริยาควบคุมแบบนี้ถูกพิจารณาว่าเป็น การปฏิบัติการของการควบคุมอยู่บนพื้นฐานของอัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนที่แท้จริงเป็นศูนย์ การกระทำ Derivative ยังจะให้การตอบสนองได้เฉพาะอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนนั้นทำให้เรียกบ่อยๆ ว่า"เรทแอชั่น (Rate Action)"การตอบสนองของการปฏิบัติ Derivative จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนี้โดยเฉพาะแต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้นแต่ว่าเพื่อให้กระจายเอาต์พุต จำเป็นต้องปรับค่าบางสิ่ง โดยค่าคลาดเคลื่อนที่กำลังเปลี่ยนแปลงแบบ รวดเร็วนั้นจะประกันได้ว่าเอาต์พุต จะไม่เป็นศูนย์ เว้นเสียแต่ว่าจะมีเงื่อนไขอื่น

อัตราการเปลี่ยนของค่าคลาดเคลื่อนสามารถถูกประมาณโดยการเอาผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสองค่าหารด้วยความต่างของเวลา ดังนี้

$$m_{d(t)} = K_D \frac{e_{p(t_1)} - e_{p(t_0)}}{t_1 - t_0} \tag{2.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K_D = Delevative Gain

$e_{P(t_1)}$ = ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา (t_1)

$e_{P(t_0)}$ = ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา (t_0)

สังเกตได้ว่า มีเทอมเอาต์พุตของการควบคุมออกมา เมื่อมีอัตราที่เปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนเริ่มต้นเป็นศูนย์ด้วยเหตุนี้การควบคุมแบบ Derivative จะไม่ใช้งานแบบโดดเดี่ยวเพราะว่าจะไม่ตอบสนองที่ค่าคลาดเคลื่อนคงที่ (Fixed Error)

2.2.3 การรวมกริยาของการควบคุม

1. กริยาควบคุมแบบ Proportional Plus Integral

กริยาควบคุมแบบนี้สามารถจะแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$m_{PI(t)} = K_p e_{(t)} + K_p K_I \int_0^t e_{(t)} dt \qquad (2.41)$$

K_p และ K_i เป็นค่าที่ปรับได้โดยการปรับ K_i นั้นจะเป็นการปรับกริยาควบคุม Integral ส่วนการปรับค่าของ K_p นั้นจะมีผลต่อส่วน Proportional ซึ่ง Proportional จะมี Offset ถ้าเกิดมีสิ่งรบกวนโปรเซส (Disturbance) เพื่อจะกำจัด Offset โดยพนักงานไม่จำเป็นต้องคอยปรับตัวควบคุมบ่อยๆ เราจำเป็นต้องให้ตัวควบคุมที่สามารถปรับค่า Bias โดยอัตโนมัติ ขนาดของกริยา Integral ขณะใดขณะหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้น แต่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่าคลาดเคลื่อนสะสม ผลของกริยา Integral จะเหมือนกับการปรับค่า Bias จนกระทั่งค่าคลาดเคลื่อนหมดไปอัตราการตอบสนองของกริยา Integral ขึ้นอยู่กับการปรับค่า K_i ยิ่ง K_i มีค่าน้อยลงการตอบสนองยิ่งจะเร็วขึ้น ข้อดีของการเพิ่มกริยา Integral จะเสมือนการเพิ่ม Capacity Lag เข้าไปในระบบควบคุมตัวแปรโปรเซส เปลี่ยนแปลงค่าเข้าสู่เป้าหมายได้ช้าลง กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จึงเหมาะสมกับโปรเซสที่ค่อนข้างไวอยู่แล้วคือทั้ง Dead time และ Capacity Lag มีค่าน้อย

2. การควบคุมแบบ Proportional Plus Derivative

กริยาการควบคุมของตัวแปรควบคุมแบบนี้จะอยู่ในรูปของสมการต่อไปนี้

$$m_{PD(t)} = K_P e_{(t)} + K_P K_D \frac{de_{(t)}}{d_{(t)}} \qquad (2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ K_p และ K_d นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้และในบางครั้งจะเรียกกริยาควบคุมแบบ Derivative ว่า Rate Control ทั้งนี้เพราะขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของกริยาควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนกริยาการควบคุมแบบ Derivative มีลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้า โดยที่ K_d จะเป็นช่วงเวลาซึ่งกริยาการควบคุมแบบ Derivative ล้ำหน้ากริยาการควบคุม Proportional แต่อย่างไรก็ตามกริยาการควบคุมแบบ Derivative จะคาดการณ์ล่วงหน้าไม่ได้ถ้าการกระทำนั้น ยังไม่เกิดขึ้นถึงแม้ว่ากริยาการควบคุมแบบ Derivative มีข้อดีคือมีลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้าแต่มันก็มีข้อเสียคือมันจะขยายสัญญาณรบกวน (Noise) และอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิด Saturation ในตัวกระทำได้ นอกจากนี้ตัวควบคุมแบบ Derivative ยังไม่สามารถจะใช้ตัวเดียวโดดได้เพราะกริยาการควบคุมของมันจะมีผลเฉพาะช่วงของทรานเซียนส์ (Transient) เท่านั้น

3. กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative

กริยาการควบคุมแบบนี้นั้นได้จากการการรวมเอากริยาการควบคุมแบบ Proportional กริยาการควบคุมแบบ Integral และกริยาการควบคุมแบบ Derivative เข้าด้วยกัน กริยาการควบคุมแบบ PID สามารถจะแสดงในรูปของสมการต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} + K_p K_I \int_0^t e(t)dt \qquad (2.43)$$

กริยา Integral ในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จะทำให้ต้องควบคุมค่าตอบสนองต่อค่าคลาดเคลื่อนช้าลงกรณีที่โปรเซสช้าอยู่แล้ว อาจจำเป็นต้องเพิ่มกริยา Derivative เพื่อลดความช้าของระบบควบคุมการเพิ่มกริยาเข้าไปในการควบคุมแบบ Proportional plus Integral จะทำให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณการเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น ข้อดีของการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative คือระบบการควบคุมจะตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ไวขึ้นทำให้เสถียรภาพในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral สำหรับโปรเซสที่ตอบสนองช้าการควบคุมแบบนี้เหมาะสมสำหรับโปรเซสที่มี Capacity Lag มาก Dad Time ขนาดไม่มากนัก

2.2.4 การปรับค่าของกริยาการควบคุม

การปรับค่าตัวควบคุมเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการควบคุมที่ดีที่สุด ในหัวข้อนี้จะได้แนะนำวิธีการปรับค่าตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดี วิธีการปรับค่าตัวควบคุมนั้นมีหลายวิธี แต่ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีไหนที่เป็นที่ยอมรับกันว่าดีที่สุด กล่าวคือบางวิธีจะต้องพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยคณิตศาสตร์ในการพิจารณา โดยทั่วไปแล้วการปรับค่าของตัวควบคุมจะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนความถี่ซึ่งจะอยู่ในรูปของ Gain Margin และ Phase Margin เงื่อนไขในโดเมนเวลาที่นิยมใช้เพื่อการปรับค่าตัวควบคุมมีดังนี้คือ

1. อัตราการเสื่อม 1/4 (Quarter Decay) กล่าวคือ Peak Overshoot อันแรก (Maximum Overshoot) ของผลตอบสนองของระบบที่มีการ Oscillate จะต้องมีค่าเท่ากับ 1/4

2. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral of Square Error (ISE) ที่มีค่าน้อยที่สุดดัชนีแสดงสมรรถนะแบบนี้แสดงด้วยสมการ

$$ISE = \int_0^\infty [e(t)]^2 \, dt = \text{น้อยที่สุด} \tag{2.44}$$

โดยที่ $e_{(t)}$ = ค่าคลาดเคลื่อน

3. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral if Absolute Error ที่มีค่าน้อยที่สุดสมการของดัชนีสมรรถนะแบบ

$$IAE = \int_0^\infty |e_{(t)}| dt = \text{น้อยที่สุด} \tag{2.45}$$

4. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral Of Time Multiplied Absolute Error (ITAE) ที่มีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

$$ITAE = \int_0^\infty t|e_{(t)} dt| = \text{น้อยที่สุด} \tag{2.46}$$

เงื่อนไขทั้งสี่แบบที่กล่าวมานี้นั้น แบบแรกจะเป็นแบบที่สะดวกเพราะสามารถวัดได้จากผลตอบสนองของระบบโดยตรง ส่วนแบบที่สองถึงแบบที่สี่นั้นจะมีข้อดีคือความแม่นยำสูงกว่าแบบแรกกล่าวคือค่าต่างๆ ของตัวควบคุมอาจจะมีหลายค่าที่ทำให้ผลตอบสนองมีอัตราการเสื่อม 1/4 แต่จะมีเพียงค่าเดียวที่ทำให้เงื่อนไขแบบที่สองหรือแบบที่สามหรือแบบที่มีค่าน้อยที่สุด

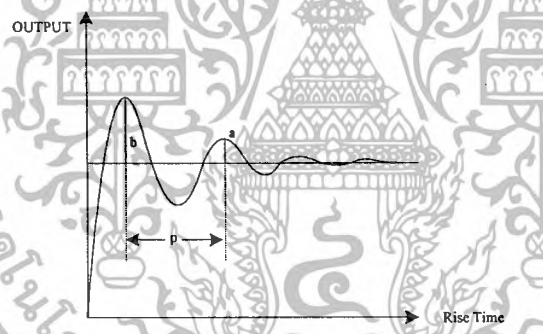
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขแบบอัตราการเสื่อม 1/4 นั้นจะเป็นเงื่อนไขที่ดีในการประนีประนอมระหว่าง Rise Time ที่เร็วและ Setting Time ที่น้อย สำหรับเงื่อนไขแบบที่สองถึงแบบที่สี่นั้นเนื่องจากว่าผลตอบสนองของระบบแต่ละระบบจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าดัชนีของแต่ละแบบนั้นสามารถจะอธิบายได้ดังนี้คือ เงื่อนไขแบบที่สองซึ่งเป็นดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ ISE นั้นถ้าค่าคลาดเคลื่อนมากค่าของดัชนีแสดงสมรรถนะก็จะมากดังนั้นการทำให้ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบนี้มีค่าน้อยที่สุดก็คือผลตอบสนองของระบบจะต้องมี Rise Time ที่น้อยมาก ซึ่งทำให้มีข้อเสียคือมี Overshoot สูง สำหรับเงื่อนไขแบบ ITAE ซึ่งเป็นค่าของเวลาคูณกับค่าความคลาดเคลื่อนนั้น ถ้าต้องการทำให้มีค่าน้อยที่สุดแล้วผลตอบสนองของระบบจะต้องมี Setting Time ที่น้อยและมีอัตราการหน่วงสูง ส่วนเงื่อนไขแบบ IAE นั้นจะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับเงื่อนไขแบบอัตราการเสื่อม ¼

เมื่อ a = ค่ายอดของการเกิด Overshoot ครั้งที่ 2

b = ค่ายอดของการเกิด Overshoot ครั้งที่

p = ค่า Rise Time ในช่วง 1 Cycle



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองของระบบที่อัตราเสื่อมกัน1/4

2.3 วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.3.1 หลักการทำงานของวงจร

ไอซี ADC 0804 จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจากแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้หลักการสุ่มรับสัญญาณแอนะลอก ทางอินพุต (Sampling) แล้วนำขนาดของสัญญาณแอนะลอกนั้นมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงของวงจรนี้แล้วจึงเปลี่ยนค่าข้อมูลเป็นแบบดิจิตอลซึ่งความเร็วในการสุ่มของขนาดสัญญาณ (Sampling Rate) สามารถกำหนดได้จากความถี่ของสัญญาณนาฬิกานี้สามารถกำหนดได้โดยวงจร R_2 และ C_5 โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{1}{(1.1RC)} \tag{2.47}$$

เมื่อ F คือ ค่าความถี่ขนาดของสัญญาณไอซี ADC 0804

R คือ ค่าความต้านทาน R_2 ในวงจร

C คือ ค่าความจุ C_5 ในวงจร

2.3.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาท์พุตของไอซี ADC0804

ไอซี ADC0804 จะใช้การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณอินพุตกับแรงดันอ้างอิงของวงจร แล้วจึงเปลี่ยนข้อมูลแบบดิจิตอลซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

1. ถ้าค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกอินพุตเท่ากับ ขนาดแรงดันอ้างอิงจะได้ข้อมูลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง

2. ถ้าค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกอินพุตมีค่าเป็น 2 เท่า ของแรงดันอ้างอิง จะได้ข้อมูลมีค่าสูงสุดซึ่งขนาดของสัญญาณอินพุตจะถูกกำหนดโดยตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. แรงดันอ้างอิงของวงจร (Voltage Reference หรือ Vref/2)

แรงดันอ้างอิงของวงจรนี้เป็นจุดอ้างอิงมาตรฐาน ของวงจรเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงในการเปลี่ยนของสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งวงจรต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความเที่ยงตรงสูงเพราะหาก แรงดันอ้างอิงของวงจรไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงแล้วการทำงานของวงจรก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามด้วยนั่นก็คือ จะส่งผลให้ค่าของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลง ตามไปด้วยถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุตจะมีขนาดคงที่ก็ตาม และแรงดันอ้างอิงของวงจรนี้ยังเป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดของสัญญาณ อินพุตบวกของวงจรโดยค่าสัญญาณอินพุตบวกให้มีค่าสูงสุดประมาณเท่า 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงโดยมีจุดเริ่มที่สัญญาณอินพุตของวงจรเสมอซึ่งบน Board นั้นใช้ไอซี LM336 เป็นตัวสร้างสัญญาณอ้างอิงแรงดันขนาด 2.5 V ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงที่ทำให้ไอซี ADC0804 รับสัญญาณอินพุตสูงสุด +5V แต่ผู้ใช้สามารถใช้แรงดันอ้างอิงกับวงจรได้ทั้งสองแบบคือ

1. แรงดันอ้างอิงจากตัวบอร์ดเองมีขนาด 2.5 V

2. แรงดันจากภายนอกซึ่งกำหนดจากผู้ใช้เองโดยต่อเข้ามาทางขั้วต่อซึ่งแรงดันอ้างอิงจะมีขนาดระหว่าง 0.0-2.5 V

2. สัญญาณอินพุตลบ (Voltage Input –)

แรงดันอินพุตลบนี้เป็นตัวกำหนดอินพุตด้านต่ำของวงจร หรือจุดเริ่มต้นการตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอินพุตนั่นเอง โดยสัญญาณอินพุตลบ สามารถกำหนดได้ให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้างอิงสูงสุดของวงจร (2.5V) สามารถกำหนดอินพุตได้ทั้งสองแบบตามความต้องการคือ

1. สัญญาณอินพุตลบจากตัวบอร์ดเองโดยกำหนดไว้ในระดับกราวด์ของวงจรหรือ 0 V จนถึงระดับแรงดันประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร

2. สัญญาณอินพุตลบจากภายนอก ซึ่งจุดรับสัญญาณจะต่อผ่านเข้ามายังข้อต่อ Connector และสัญญาณอินพุตลบนี้ จะกำหนดโดยผู้ใช้เองโดยต้องกำหนดให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้าง อิงของวงจรเสมอ

3. สัญญาณอินพุตบวก (Voltage Input+)

แรงดันอินพุตบวกนี้ก็คือค่าแรงดันอินพุตของวงจรนั่นเอง ซึ่งกำหนดให้มีค่าสูงสุดไม่เกินค่าที่วงจร ADC รับได้ซึ่งต้องเป็นค่าแรงดันที่มีค่าอยู่ในช่วงบวกเนื่องจากไอซี ADC ไม่สามรถรับสัญญาณที่มีค่าเป็นลบได้สัญญาณอินพุต บวกนี้จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงค่าสูงสุดของอินพุตบวกต้องมีค่าต่ำกว่า +5.0 V เสมอ

2.4 การทำงานของวงจรการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

2.4.1 หลักการทำงานของวงจร

ไอซี ADC จะทำหน้าที่นำข้อมูลอินพุตแบบดิจิตอลมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณแอนะลอกออกทางเอาต์พุต ซึ่งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของข้อมูล

อินพุตแบบเป็นสัดส่วนเชิงเส้น (Linear) โดยขนาดของสัญญาณเอาต์พุตนั้นสามารถแบ่งขนาดออกได้เป็นช่วงๆ (Step) ตามขนาดของไอซี DAC ในแต่ละช่วงของการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลอินพุตว่าเมื่อค่าข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ระดับขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเท่าไรถ้าไอซี DAC มีจำนวนบิตมากค่าความละเอียดก็จะมาก ถ้าไอซี DAC มีจำนวนบิตน้อยค่าความละเอียดก็จะน้อยตามไปด้วย

2.4.2 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี DAC

ไอซี DAC จะใช้การเปรียบเทียบข้อมูลแบบดิจิตอลกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วเปลี่ยนขนาดของข้อมูลอินพุตนั้นกลับเป็นสัญญาณแบบแอนะลอกส่งออกทางเอาต์พุตซึ่งขนาดของข้อมูลอินพุต กับ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

1. ถ้าขนาดของข้อมูลอินพุตมีค่าสูงสุด (เป็นโลจิก 1 ทั้งหมดทุกบิต) จะได้ขนาดของสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร

2. ถ้าค่าของข้อมูลอินพุตมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของข้อมูลสูงสุดจะได้ขนาดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนะลอกเอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร

ซึ่งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกกำหนดโดยค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้คือ

1. การกำหนดค่าของข้อมูลเพื่อกำหนดขนาดของสัญญาณเอาต์พุต

การที่เราจะสามารถกำหนดค่าของข้อมูลอินพุตของไอซี DAC เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตามความต้องการของเรานั้นก่อนอื่นเราต้องทราบความสามารถของไอซี DAC เสียก่อนว่าสามารถให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตต่อ Step เป็นเท่าไรเสียก่อนแล้วจึงหาว่าหากเราต้องการได้ค่าสัญญาณเอาต์พุตขนาดเท่านี้แล้วต้องใช้กี่ Step จึงจะได้ขนาดของสัญญาณตามความต้องการ ซึ่งค่า Step นี้สามารถกำหนดได้จากจำนวนบิตข้อมูลของไอซี DAC ที่เราใช้ในวงจร ถ้าเราใช้ไอซี DAC ขนาด 8 บิต จะได้ค่าของข้อมูลอยู่ระหว่า 00H-FFH หรือ 0-255 นั่นก็คือไอซี DAC สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นช่วงๆ ทั้งหมด 256 ช่วง (0-255) นั่นเอง ซึ่งเมื่อเราทราบว่าไอซี DAC มีค่า Step ทั้งหมดเท่าไรแล้วก็สามารถทราบได้ว่าใน 1 Step จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตต่อ 1 Step เป็นเท่าไร โดยสามารถหาได้จากสูตร

$$Step = \frac{Analong\ Maximum}{DAC\ Step} \tag{2.48}$$

เมื่อ *Step* คือ ค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตต่อ 1 ช่วงข้อมูล

Analong Maximum คือ ค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตสูงสุดที่ใช้ในวงจร

คือ ค่าของจำนวน Step ของไอซี DAC ที่ใช้ในวงจร โดยถ้าไอซี DAC0832 (DAC ขนาด 8 บิต) *DAC Step* มีค่าเป็น 256 และเราจะสามารถหาค่าข้อมูลได้จากสูตร

$$Data = \frac{V_{out}}{Step} \tag{2.49}$$

เมื่อ

Data คือ ค่าของข้อมูลที่ต้องการหา

V_{out} คือ ค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตที่ต้องการ

Step คือ ค่าของขนาดสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตต่อ 1 ช่วงข้อมูล

ใช้ไอซี DAC ขนาด 8 บิต (DAC0832)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แรงดันอ้างอิงของวงจร $\frac{Vref}{2}$ เป็น 5 V

ให้ขนาดสัญญาณเอาต์พุตมีขนาดสูงสุด +10 V

จะได้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตต่อ 1 Step เป็น

$$Step = \frac{10}{256}$$

จะเห็นได้ว่าเราได้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตต่อ Step มีค่าประมาณ 0.0391 หรืออาจกล่าวได้ว่าหากเราให้ข้อมูลอินพุตกับวงจรด้วยค่า 01H (00000001B) เราจะได้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดประมาณ 0.0391 ดังนั้นหากเราต้องการได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 5.00V เราต้องให้ค่าข้อมูลกับวงจรเป็น

DATA = 5.00/0.0391

= 128 (7FH หรือ 01111111B)

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

PIC 16F877 เป็น CPU ที่มีความสามารถสูงพอสมควร ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ มากมายสรุปคุณสมบัติคร่าวๆ ได้ดังนี้

1. มี 35 Instruction คำสั่ง
2. ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆ จะใช้ ไซเคิลเดียวและ 2 ไซเคิลในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
3. ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (16F877-20/P)
4. การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
5. หน่วยความจำโปรแกรม FLASH Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
6. หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
7. หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
8. สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
9. มี STACK 8 ระดับ
10. มีเพาเวอร์ออนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PRRT) และ Oscillator Start-Up Timer
11. Watchdog Timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)

13. มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)

14. เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด

15. สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 โวลต์ได้

16. มีฟังก์ชั่นการโปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)

17. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์

18. กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25 มิลลิแอมป์

19. มี Timer/Counter จำนวน 3 ตัว คือ Timer0, Timer1 และTimer2

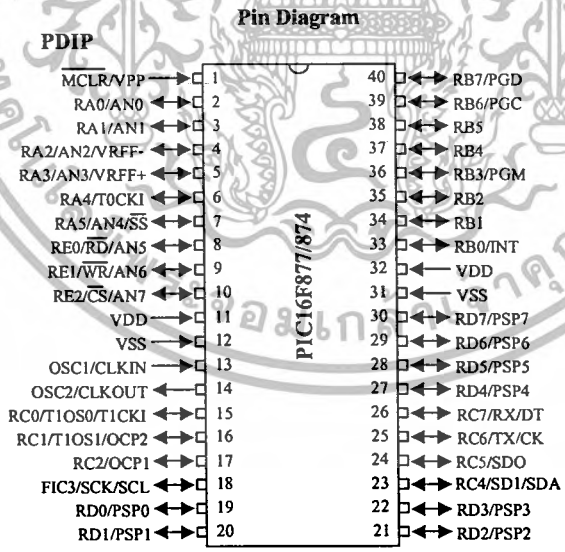
20. มีโมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด

21. มี Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนล ภายในตัว

22. มีโมดูลการสื่อสาร USART

23. มีโมดูลตรวจจับระดับไฟเลี้ยง Brown Out Reset (BOR)

24. มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A, B, C, D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน ซึ่งรวมแล้วจะมี I/O จำนวน 33 บิต



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ ของ PIC 16F877

การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC 16F877 นี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล (RAM) และหน่วยความจำข้อมูลที่เป็น EEPROM ซึ่งมีดังนี้

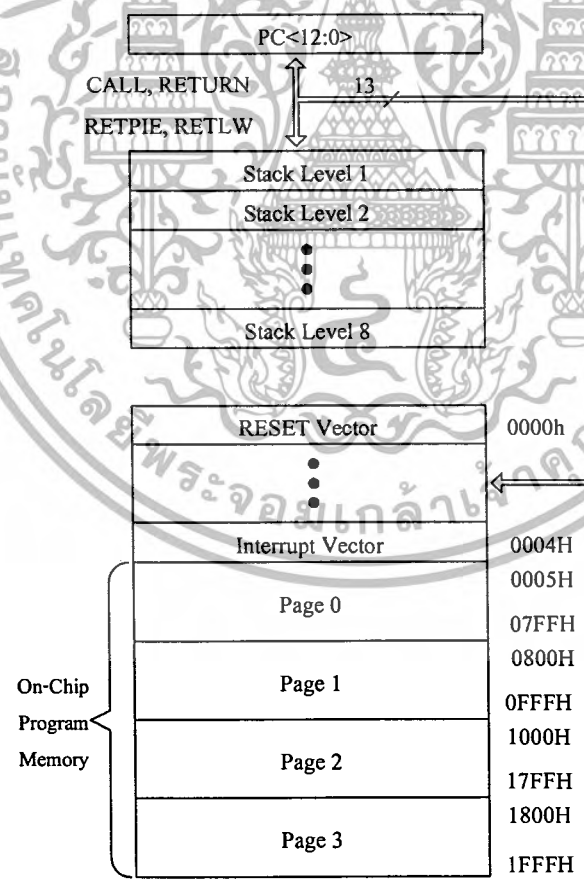
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 หน่วยความจำโปรแกรม

PIC 16F877 นี้มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ ขนาด 13 บิต ซึ่งสามารถอ้างตำแหน่งของข้อมูลได้ถึง 8 กิโลเวิร์ด โดยจะมีตำแหน่งรีเซตเวคเตอร์ ที่ 0000h และอินเตอร์รัพท์ที่ 0004h ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจึงควรสงวนพื้นที่ส่วนนี้ไว้สำหรับการใช้งานอินเตอร์รัพท์ จากรูปที่ 2.36 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่ของสแต็ก 8 ระดับ และหน่วยความจำแบ่งออกเป็น 4 page (8 kwords) ซึ่งพื้นที่ในส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดโดยโครงสร้างจะเป็นแบบแฟรช (Flash Memory) ทำให้ลบและเขียนใหม่ได้หลายครั้ง

2.5.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลจะแบ่งออกเป็นพื้นที่ของ RAM หน่วยความจำใช้งานทั่วไป (Gerneral Purpose Register) ขนาด 360 ไบต์และพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Registers) ในการจัดวางพื้นที่จะแบ่งออกเป็น 4 แบงค์ ตั้งแต่แอดเดรส 00h ถึง 1FFH ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.16 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

มีหน่วยความจำแบบ EEPROM จำนวน 256 ไบต์ โดยสามารถอ่านและเขียนในขณะทำงานปกติได้แต่ต้องไม่มีการ Enable Code Protect Bit โดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่านรีจิสเตอร์พิเศษ ซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัวดังนี้

EECON1: ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ

EECON2: จัดลำดับการเขียนข้อมูล

EEDATA: เป็นบัฟเฟอร์ใช้เก็บข้อมูล 8 บิต สำหรับการอ่านและเขียน

EEADR : รีจิสเตอร์ที่เก็บแอดเดรส 00H – FFH (256 ไบต์)

2.5.4 รีจิสเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของ PIC 16F877

รีจิสเตอร์จัดได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการพัฒนาโปรแกรมเป็นอย่างมาก ซึ่งใน PIC 16F877 นี้มีรีจิสเตอร์ที่ใช้งานหลักๆ ดังนี้

1. รีจิสเตอร์ STATUS

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลสถานการณ์ทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ ไม่ว่าจะเป็นแฟลกสถานะต่างๆ ที่ใช้บอกผลลัพธ์การทำงานของส่วนต่างๆ เช่น การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การเลือกแบงก์ข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละบิตดังนี้

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.17 รายละเอียดของบิตของรีจิสเตอร์ STATUS

IRPO (Indirect Register Bank Select bit – บิต 7) ใช้เลือกแบงก์ในหน่วยความจำชนิด RAM ในกรณีที่มีการอ้างถึงข้อมูลแบบทางอ้อม

"0" : เลือกแบงก์ 0 และ 1

"1" : เลือกแบงก์ 2 และ 3

RP1, RP0 (Register Bank Select) ใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูล แรม และรีจิสเตอร์ไฟล์เมื่อมีการเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรง

"00" เลือกแบงก์ 0

"01" เลือกแบงก์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"10" เลือกแบงก์ 2

"11" เลือกแบงก์ 3

TO (Time – Out Bit) เป็นบิตที่แสดงการเกิดไทม์เอาต์ของวอตช์ด็อกไทเมอร์แอกตีฟลอจิก เป็น "0"

PD (Power – Down) บิตแสดงการทำงานในโหมดสลีป (Sleep mode) คือ เมื่อเข้าสู่ Sleep mode จะกลายเป็น "0"

Z (Zero bit) เป็นบิตแสดงสถานการณ์ทำงานทางคณิตศาสตร์

"0" เมื่อผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ลอจิกไม่เป็นศูนย์

"1" เมื่อผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ลอจิกเป็นศูนย์

DC (Digit carry/borrow) เป็นบิตทดหรือยืมระหว่างหลัก

"0" เมื่อไม่เกิดการทดจากบิต 3 ไปบิต 4 หรือเกิดจากการยืมจากบิต 4 มาบิต 3

"1" เมื่อเกิดการทดจากบิต 3 ไปบิต 4 หรือหากไม่เกิดจากการยืมจากบิต 4 มาบิต 3

C (carry/borrow) บิตทดหรือยืม ใช้แสดงสถานการณ์ทด หรือการยืมทางคณิตศาสตร์

"0" เมื่อไม่มีการทดบิต 7 (MSB) หรือ เกิดการยืมจากบิต 7 (MSB)

"1" เมื่อมีการทดจากบิต 7 (MSB) หรือ ไม่เกิดจากการยืมค่าของบิต 7 (MSB)

2. รีจิสเตอร์ W (Working Register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดตัวหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์PICซึ่ง รีจิสเตอร์ W เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จะทำหน้าที่เหมือนเป็นรีจิสเตอร์ แอกคิวมูเลเตอร์ ในการทำคำสั่งคณิตศาสตร์หรือการโอนย้ายข้อมูล จะต้องผ่านรีจิสเตอร์ W ทั้งสิ้น

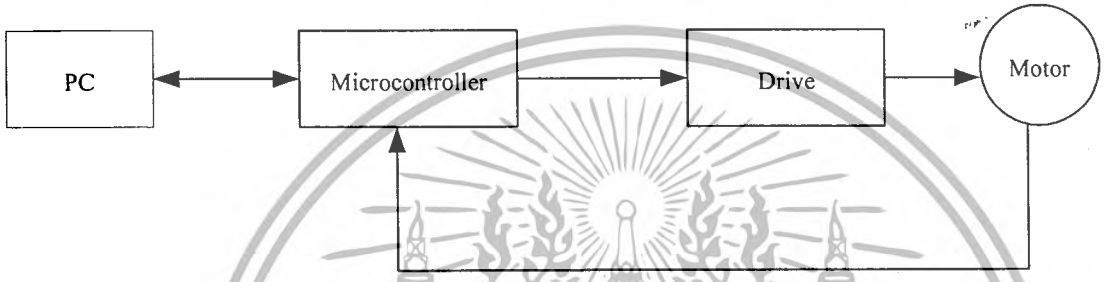
3. โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ความสำคัญอีกตัวหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เก็บตำแหน่งแอดเดรสที่จะให้ CPU ไปทำงานโดยรีจิสเตอร์ PC ของ PIC 16F877 จะมีขนาด 13บิต โดย 8 บิตล่าง PC <7 : 0> จะอยู่ที่ รีจิสเตอร์ PCL สามารถอ่านและเขียนได้เหมือนรีจิสเตอร์ทั่วไป ส่วน PC <12 : 8> จะไม่สามารถเข้าถึงได้ตามปกติ การเข้าถึงจะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH <4 : 0> และเมื่อเกิดการรีเซต PCLATH จะเคลียร์ สถานะเป็น "0" ในการใช้คำสั่งในการกระโดดเช่น CALL หรือ GOTO จะเป็นการนำค่าแอดเดรสมาใส่ในรีจิสเตอร์ PC <10 : 0> เพียง 11 บิตเท่านั้นส่วน PC <12 : 11> จะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้การใช้คำสั่ง CALL หรือ GOTO ไปได้ไกลเพียง 2 Kwords (2048 ตำแหน่ง) แต่หน่วยความจำทั้งหมดมี 8 Kwords แบ่งเป็น 4 Page ฉะนั้นในการกระโดดข้าม Page จะต้องมีการกำหนดค่าให้กับ PC <12 :11> ด้วยโดยผ่านทางรีจิสเตอร์ PCLATH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานโครงสร้างของระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

3.2 การทำงานของ Block Diagram

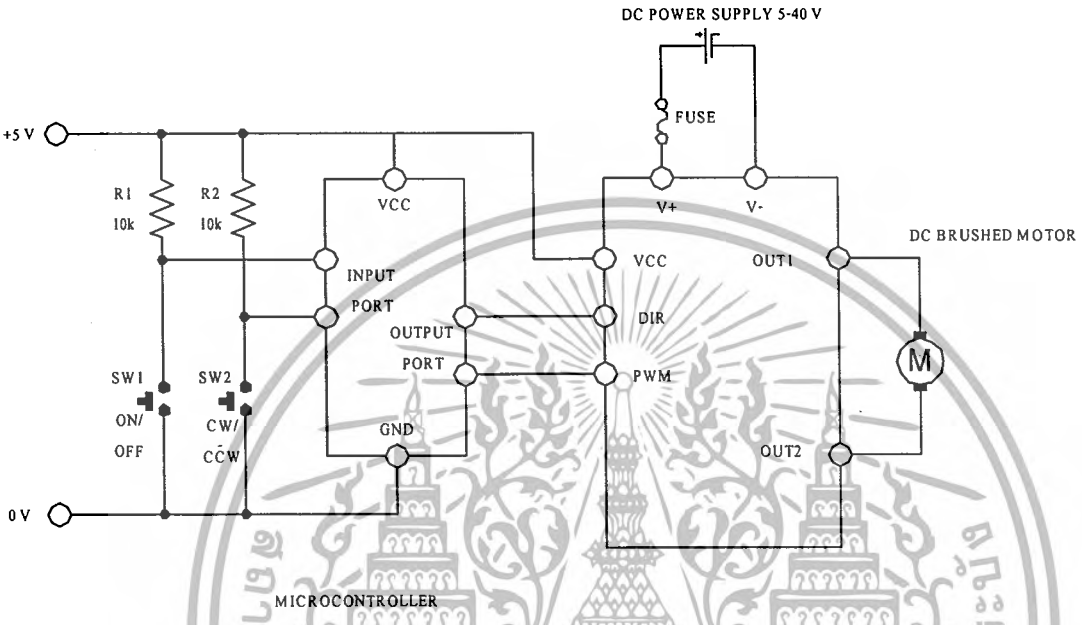
คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ส่งและรับข้อมูล เพื่อแสดงผลเป็นกราฟบนหน้าจอและส่งข้อมูลมายังคอนโทรลเลอร์ ให้ทำการประมวลผลและทำการส่งสัญญาณ ออกมาเข้าวงจรขับมอเตอร์ เพื่อทำการขับมอเตอร์และจะส่งสัญญาณ กลับมาเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลของคอนโทรลเลอร์เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ประมวลผล และส่งผลกลับไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและคอนโทรลเลอร์ยังส่งสัญญาณไปยังวงจรขับมอเตอร์ เพื่อขับมอเตอร์ให้ทำงานตามสภาวะและคงที่ที่สุดตามที่ได้ตั้งค่าไว้

3.3 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

โครงงานนี้ได้ใช้การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยการปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมมอเตอร์ด้วยการสั่งงานจากพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเป็นวงจรสำหรับการสั่งงานแบบเปิด-ปิดหรือแบบปรับความกว้างของพัลส์ ในกรณีสั่งงานแบบเปิด-ปิด เมื่อสั่งลอจิก “0” มายังขั้ว PWM ก็จะเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุน เมื่อสั่งเป็นลอจิก “1” มอเตอร์ก็จะหยุดหมุน การควบคุมทิศทางของมอเตอร์ก็สั่งสัญญาณลอจิกมายังขั้ว DIR ในกรณีสั่งงานแบบปรับความกว้างพัลส์ เพื่อปรับความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบของมอเตอร์ก็สั่งลอจิก “0” กับลอจิก “1” ด้วยเวลาตามความถี่และคาบเวลาของความกว้างพัลส์ (Duty Cycle) ที่ต้องการ



รูปที่ 3.2 การควบคุมมอเตอร์ด้วยการสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์

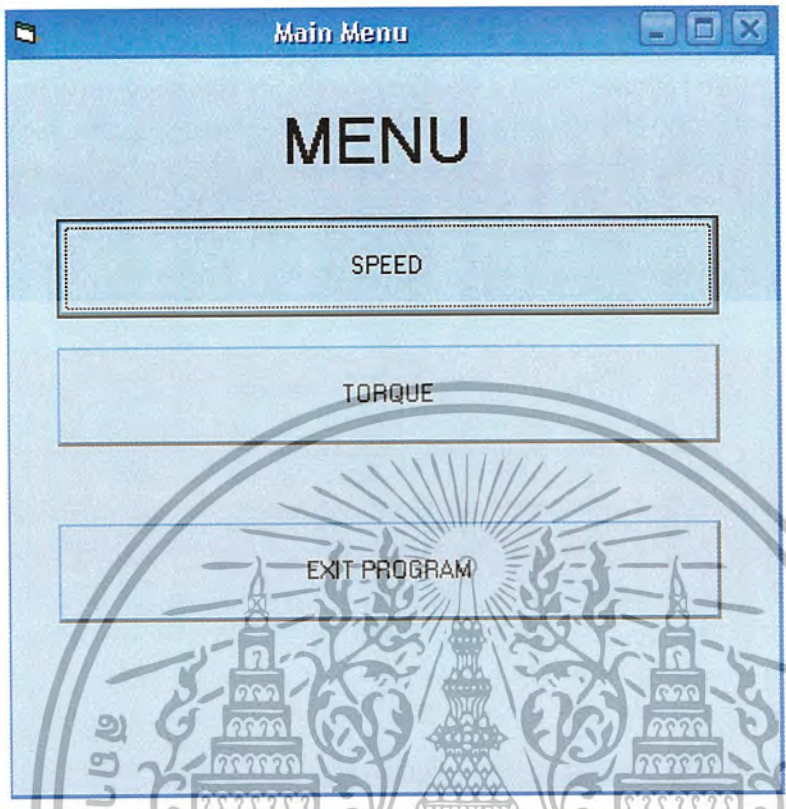
3.4 ชุดคอนโทรลเลอร์

คอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นตัวรับคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์แล้ว ก็จะสั่งงานไปยังวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุน และคอนโทรลเลอร์ยังเป็นตัวรับคำสั่งที่ส่งกลับมาเพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลและแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

3.5 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

ในส่วนของหน้าจอแสดงผลจัดทำในโปรแกรม Visual Basic เริ่มจากหน้าจอเมนูหลักจะมีปุ่มการทำงานอยู่ด้วยกัน 3 ปุ่ม คือปุ่มการปรับความเร็ว (Speed) ปุ่มวัดแรงบิด (Troque) และปุ่มออกจากโปรแกรม (Exit Program) ดังรูปที่3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

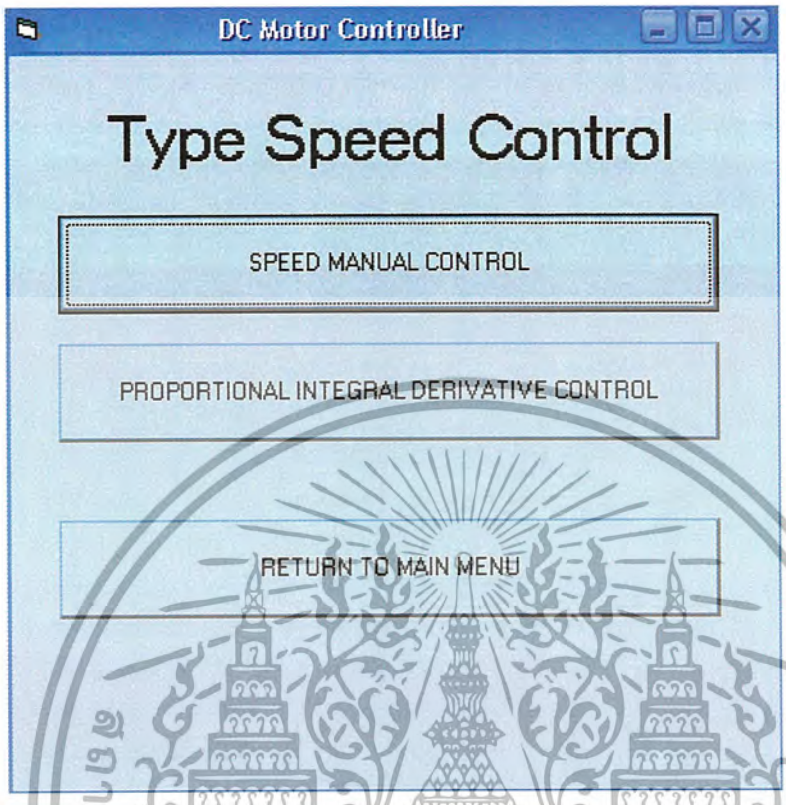


รูปที่ 3.3 หน้าจอเมนูหลัก

ในส่วนของการทำงานทั้ง 3 ปุ่มนี้จะอยู่ใน Toolbox ของโปรแกรม Visual Basic เราใช้ Command Button หรือปุ่มคำสั่ง เป็นออบเจ็คที่เป็นปุ่มกด เพื่อให้ผู้ใช้สั่งทำงาน

ในส่วนของหน้าจอการเลือกปรับความเร็ว (Type Speed Control) จะมีปุ่มให้เลือกการปรับความเร็ว (Speed Manual Control) ปุ่มการปรับแบบพีไอดี (Proprotional Integral Derivative Control) และปุ่มกลับเมนูหลัก (Return to Main Menu) ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

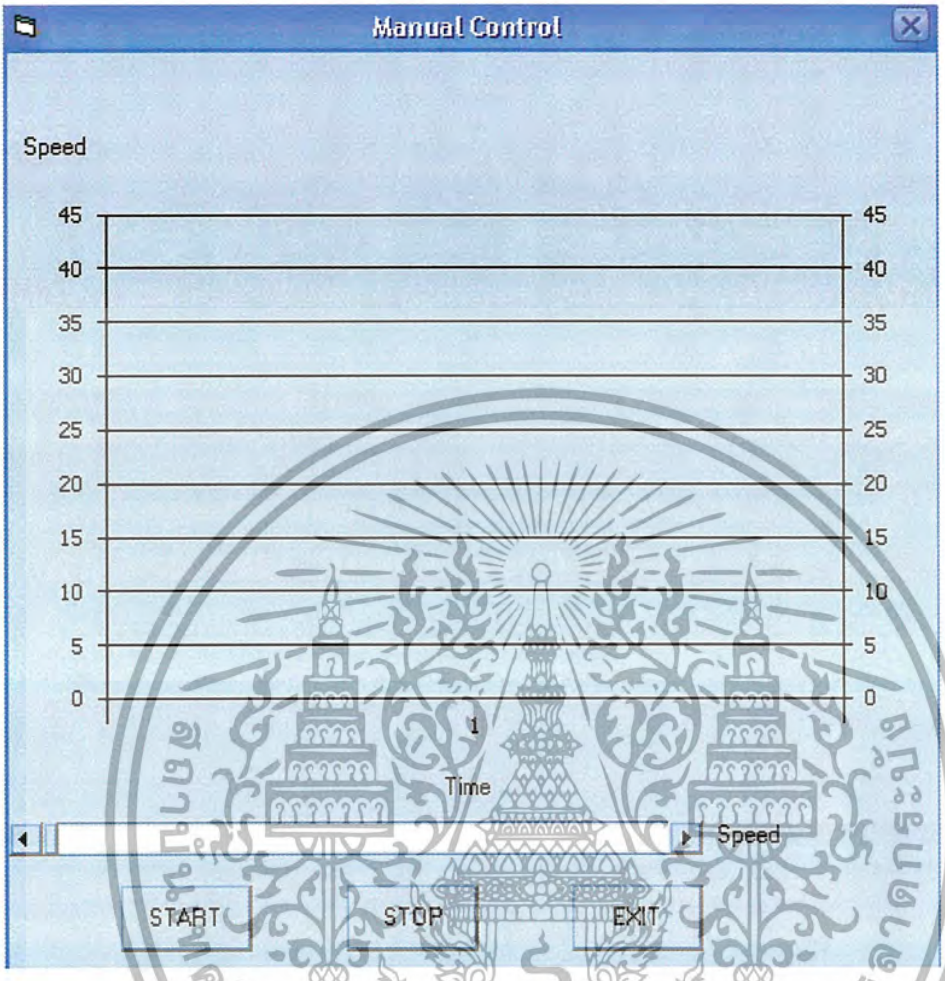


รูปที่ 3.4 หน้าจอเลือกการควบคุมความเร็ว

จากรูปที่ 3.4 การทำงานของทั้ง 3 ปุ่มนี้จะอยู่ใน Toolbox ของโปรแกรม Visual Basic เรา ใช้ Command Button หรือปุ่มคำสั่ง เป็นออบเจ็คที่เป็นปุ่มกด เพื่อให้ผู้ใช้สั่งทำงาน

หน้าจอการปรับความเร็ว (Speed Manual Control) จะมีปุ่มเริ่มการทำงานและหยุดการ ทำงานของโปรแกรม การกำหนดความเร็วจะใช้สกรอบาร์เป็นตัวเลื่อน และจะแสดงผลเป็นกราฟที่ หน้าจอด้านบนของสกรอบาร์ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

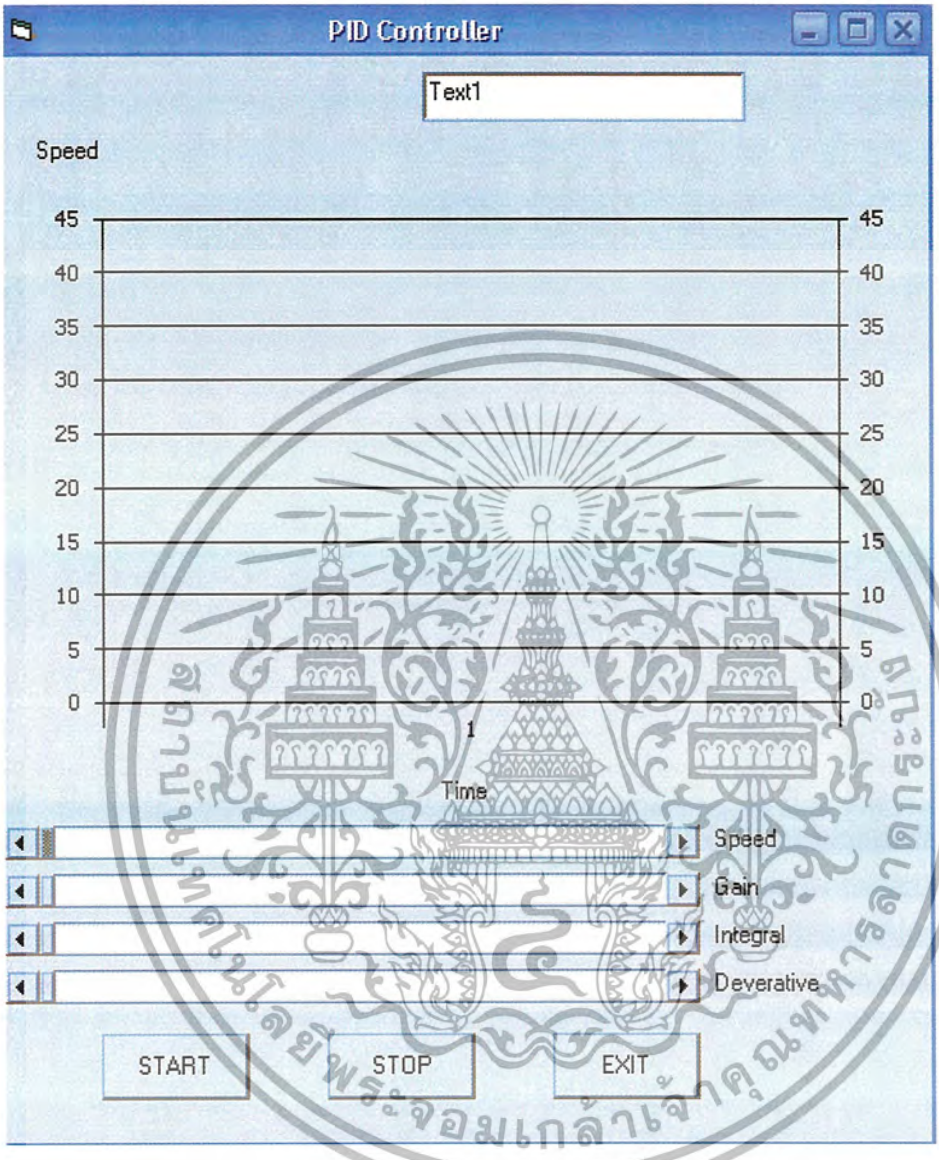


รูปที่ 3.5 หน้าจอการควบคุมความเร็ว

จากรูปที่ 3.5 ปุ่มเริ่มการทำงานปุ่มหยุดการทำงานและปุ่มออกจากโปรแกรมทั้ง 3 ปุ่มนี้จะอยู่ใน Toolbox ของโปรแกรม Visual Basic เราใช้ Command Button หรือปุ่มคำสั่ง เป็นออบเจ็คที่เป็นปุ่มกดเพื่อให้ผู้ใช้สั่งทำงาน ในส่วนของการปรับความเร็ว(Speed) เราใช้ออบเจ็ค Horizontal Scroll Bar เป็นแถบเลื่อนทางแนวนอนใช้เลื่อนปรับค่าโดยค่าจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่อยู่ของแถบเลื่อน(ตำแหน่งซ้ายสุดค่าน้อยที่สุด ตำแหน่งขวาสุดค่าจะมากที่สุด) ตัวแสดงกราฟจะใช้ MSChart ในการสร้างกราฟ และจะใช้ MSComm ในการติดต่อสื่อสารกับคอนโทรลเลอร์

หน้าจอการปรับความเร็วแบบพีไอดี (Proprotional Integral Derivative Control) จะมีหน้าจอการทำงานคล้ายการปรับความเร็วธรรมดาแต่จะเพิ่ม การปรับพี (Gain) การปรับไอ (Integral) และการปรับดี (Derivative) จะใช้สกรอบาร์เป็นตัวเลื่อนและแสดงผลเป็นกราฟดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

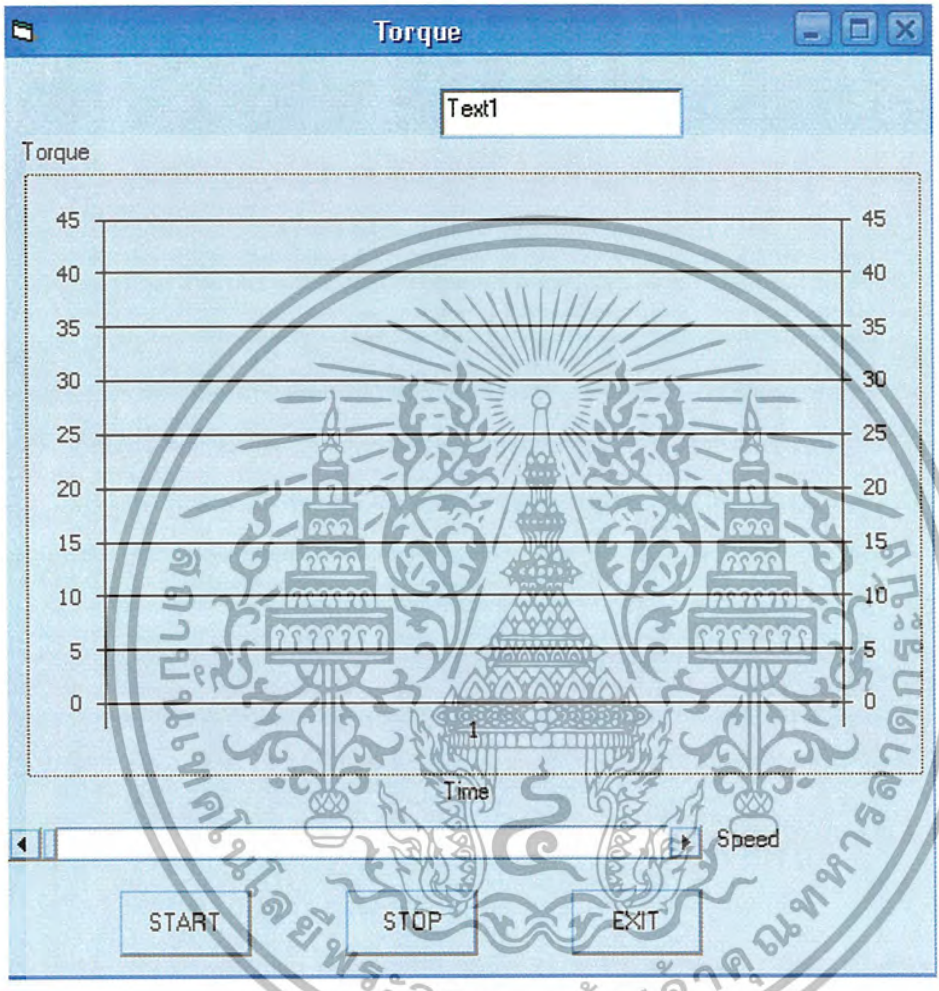


รูปที่ 3.6 หน้าจอการควบคุมความเร็วและPID

จากรูปที่ 3.6 ปุ่มเริ่มการทำงานปุ่มหยุดการทำงานและปุ่มออกจากโปรแกรมทั้ง 3 ปุ่มนี้จะอยู่ใน Toolbox ของโปรแกรม Visual Basic เราใช้ Command Button หรือปุ่มคำสั่ง เป็นออบเจ็คที่เป็นปุ่มกดเพื่อให้ผู้ใช้สั่งทำงาน ในส่วนของการปรับความเร็ว การปรับค่าพี การปรับค่าไอ การปรับค่าดี เราใช้ออบเจ็ค Horizontal Scroll Bar เป็นแถบเลื่อนทางแนวนอนใช้เลื่อนปรับค่าโดยค่าจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่อยู่ของแถบเลื่อน(ตำแหน่งซ้ายสุดค่าน้อยที่สุด ตำแหน่งขวาสุดค่าจะมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด) ตัวแสดงกราฟจะใช้ MSChart ในการสร้างกราฟ และจะใช้ MSComm ในการติดต่อสื่อสารกับคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 หน้าจอการวัดแรงบิด

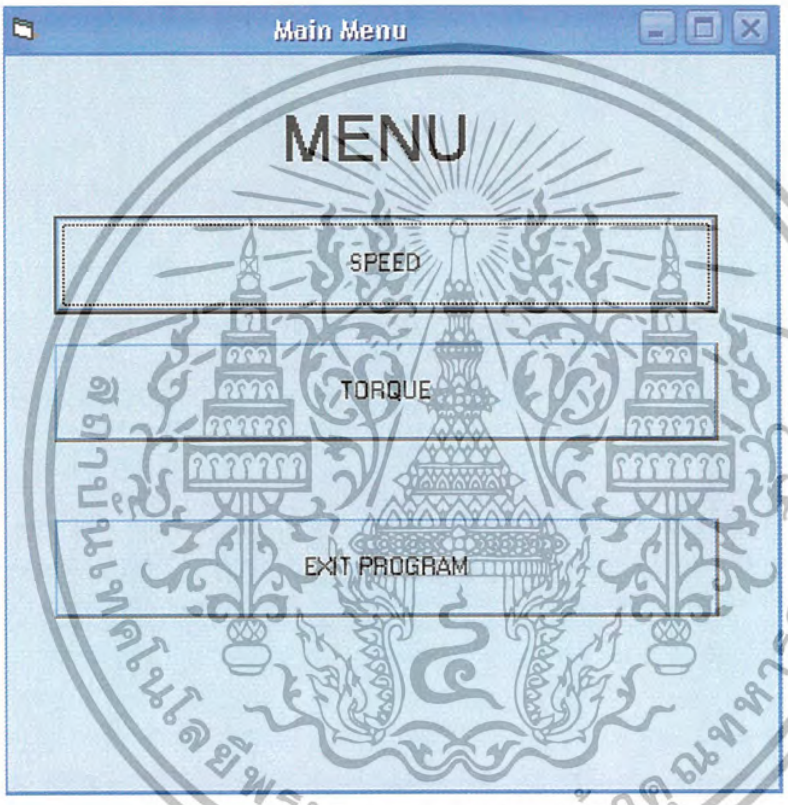
การวัดทอร์ค (Troque) หน้าจอการทำงานเหมือนกับการปรับความเร็วเพราะการวัดทอร์คจะใช้วัดเมื่อเราปรับความเร็ว สังเกตการเปลี่ยนเมื่อโหลดเท่าเดิมแต่ความเร็วเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

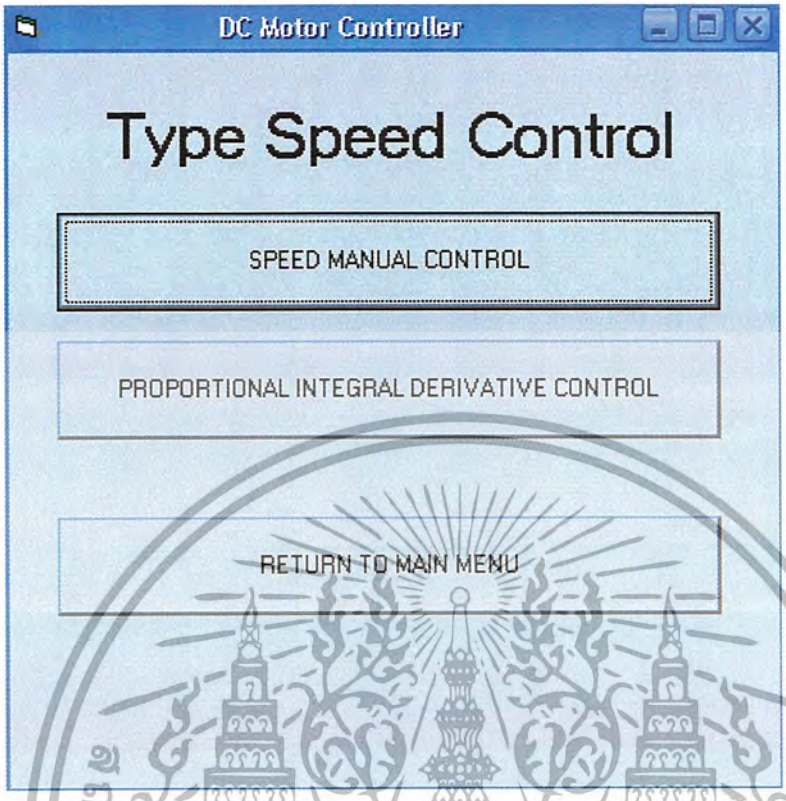
4.1 การทดลองเปิดหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 4.1 หน้าจอเมนูหลัก

รูปที่ 4.1 เป็นหน้าจอเมนูหลักของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีให้เลือกการวัดความเร็ว(Speed) และการวัดแรงบิด(Torque) และปุ่มออกจากโปรแกรม

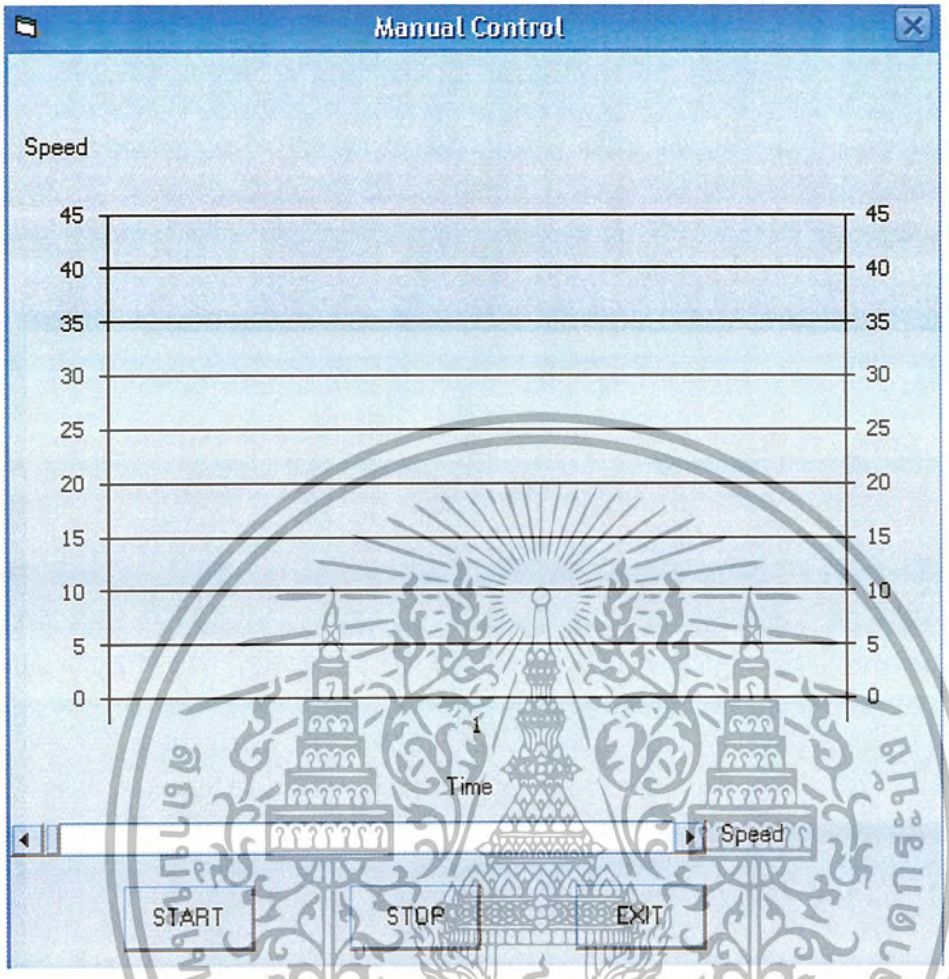
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าจอเลือกการควบคุมความเร็ว

รูปที่ 4.2 ได้จากการเลือกการควบคุมความเร็วจากหน้าจอเมนูหลัก ในการควบคุมความเร็วจะมีให้เลือก 2 แบบคือการควบคุมความเร็วธรรมดา (Manual Control) และการควบคุมความเร็วแบบปรับพีไอดี (Proprotional Integral Derivative Control)

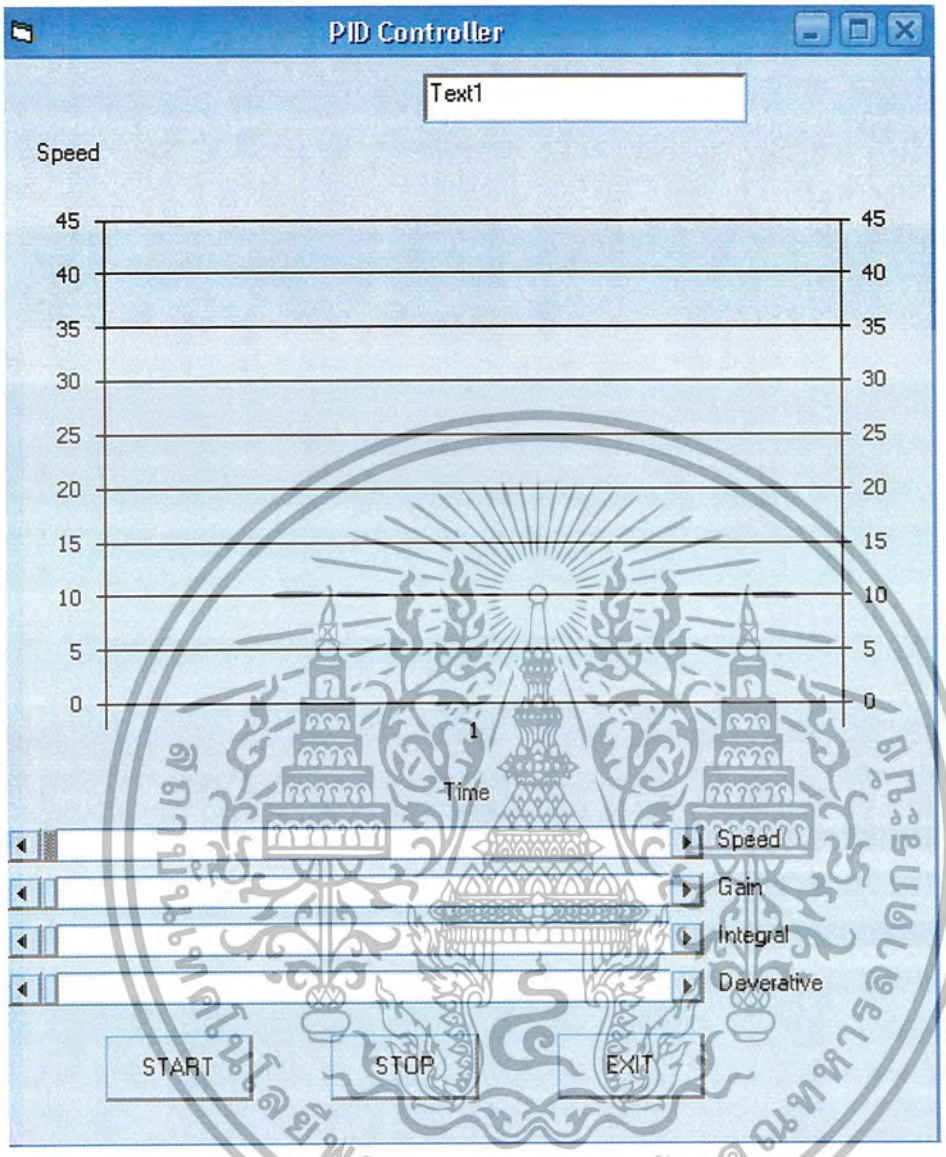
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 หน้าจอการควบคุมความเร็ว

รูปที่ 4.3 ได้จากการเลือกหน้าจอการควบคุมความเร็วแบบManual ซึ่งจะมีปุ่มเริ่มการทำงาน หยุดการทำงานของโปรแกรม จะมีแถบเลื่อนใช้ในการปรับความเร็วของมอเตอร์ตามต้องการ ถ้าต้องการกลับสู่เมนูหลักก็เลือกที่ Exit

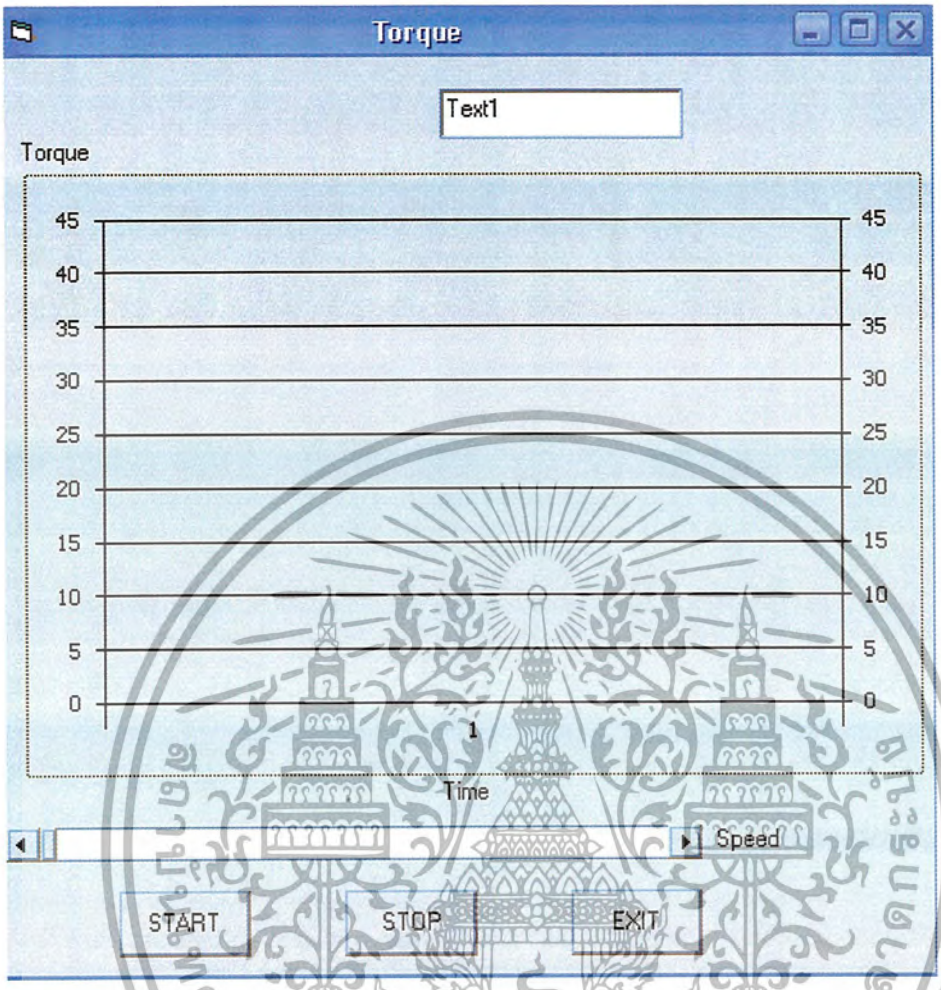
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 หน้าจอการควบคุมความเร็วและPID

รูปที่ 4.4 ได้จากการเลือกการควบคุมความเร็วแบบปรับพีไอดี (Proprotional Integral Derivative Control) ถ้าเราต้องการควบคุมแบบพี(Proprotional) ก็ทำการเลื่อนที่แถบGain ถ้าเราต้องการวบคุมแบบไอ(Integral) ก็ทำการเลื่อนที่แถบIntegral ถ้าเราต้องการควบคุมแบบดี (Derivative) ก็ทำการเลื่อนที่แถบDerivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

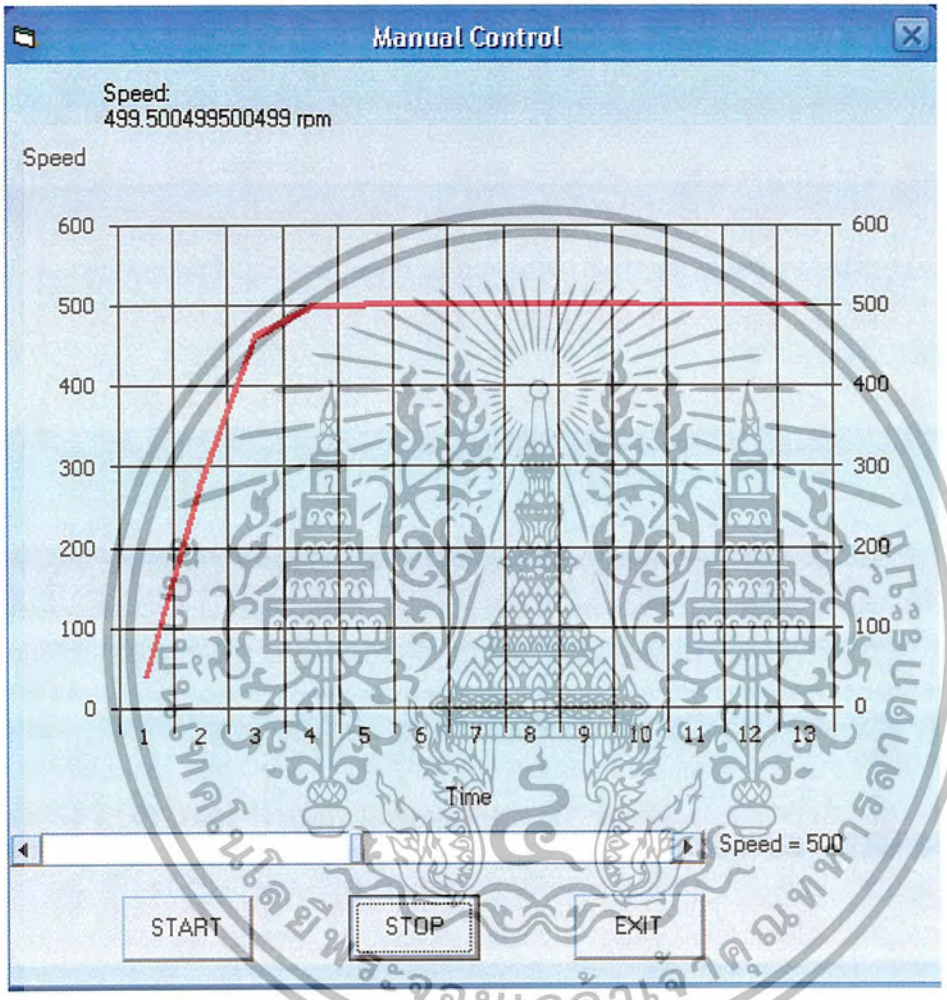


รูปที่ 4.5 หน้าจอการวัดแรงบิด

รูปที่ 4.5 เป็นหน้าจอควบคุมแรงบิด เมื่อเราทำการปรับ Speed แล้วเริ่ม Star โปรแกรมก็จะทำการวัดแรงบิดที่เกิดขึ้นและแสดงผลเป็นกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

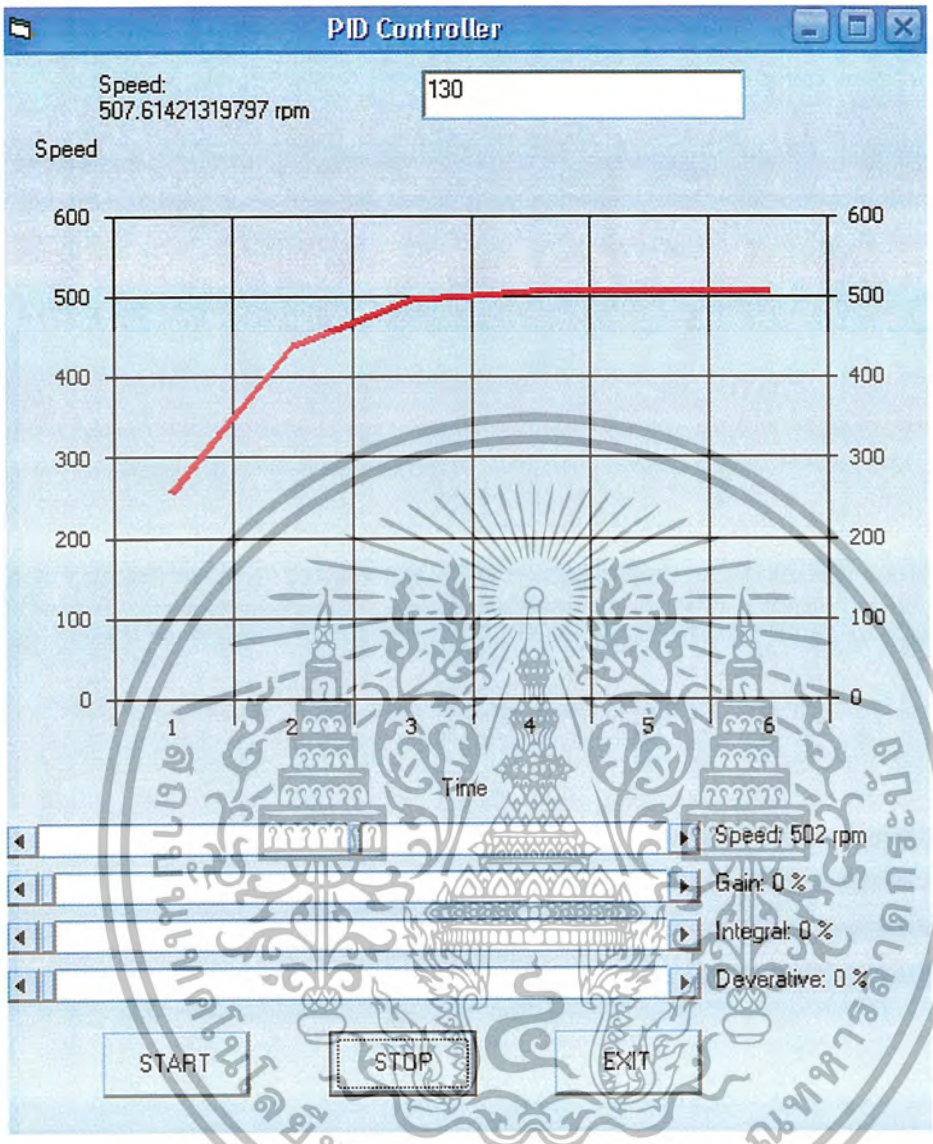
4.2 ผลการทดลองการปรับค่า



รูปที่ 4.6 การปรับความเร็ว

จากรูปที่ 4.6 เป็นการทดลองปรับความเร็วของมอเตอร์แบบManual ซึ่งปรับความเร็วไว้ที่ 500 รอบ เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมค่าของความเร็วซึ่งแสดงในรูปของกราฟจะค่อยๆสูงขึ้นจนถึง 500 รอบ ตามที่ตั้งค่าของความเร็วไว้

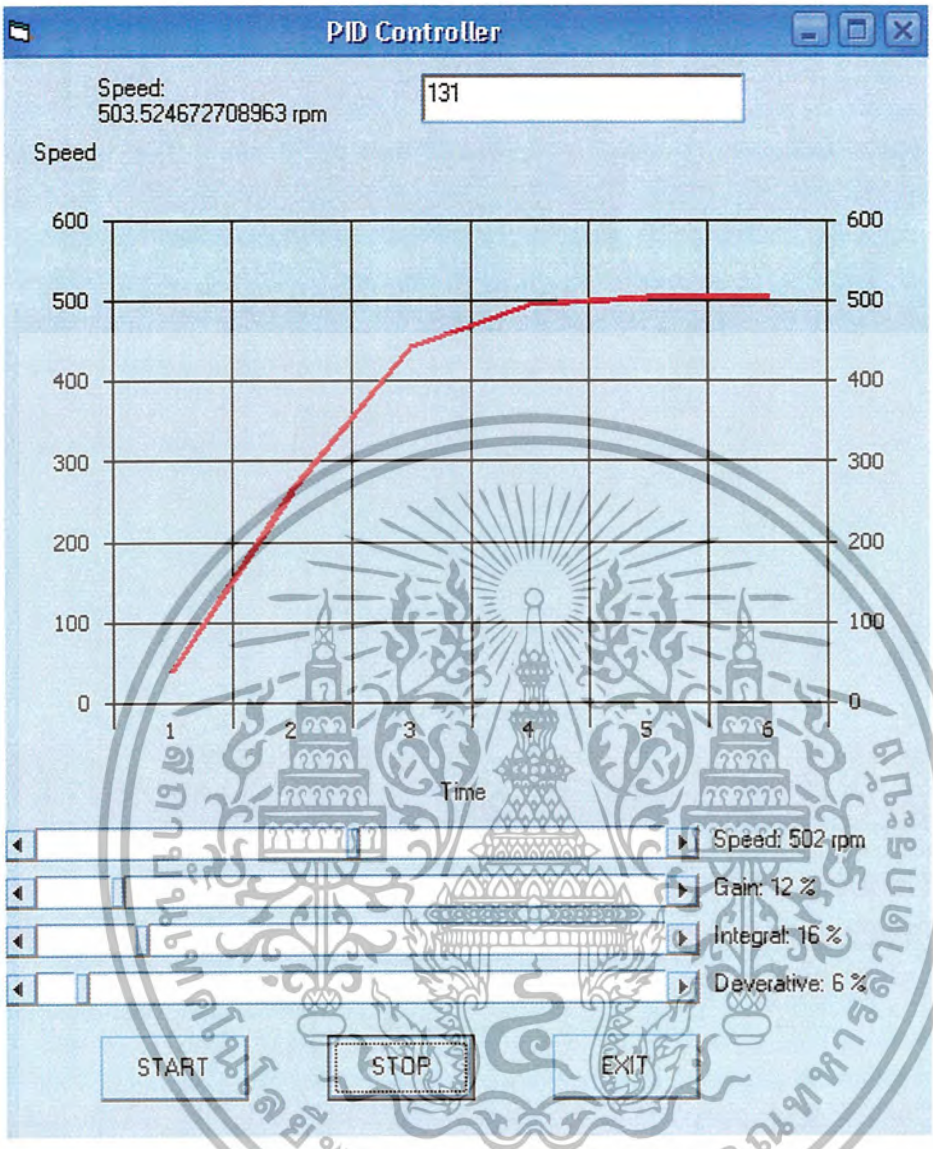
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การปรับความเร็วแต่ไม่ปรับPID

จากรูปที่ 4.7 เป็นการทดลองการปรับความเร็วแต่ยังไม่ใช้การควบคุมแบบพีไอดีเข้ามาควบคุม เมื่อเราทำการปรับความเร็วและทำการควบคุมแบบพีไอดีแล้วกราฟที่ได้จะมีความแตกต่างกันในรูปที่ 4.7 กราฟจะเข้าถึง 500 รอบได้ช้ากว่าแต่ในรูปที่ 4.8 เป็นกราฟที่ทำการปรับพีไอดีแล้วกราฟที่ได้จะเข้าถึง 500 รอบได้เร็วกว่า

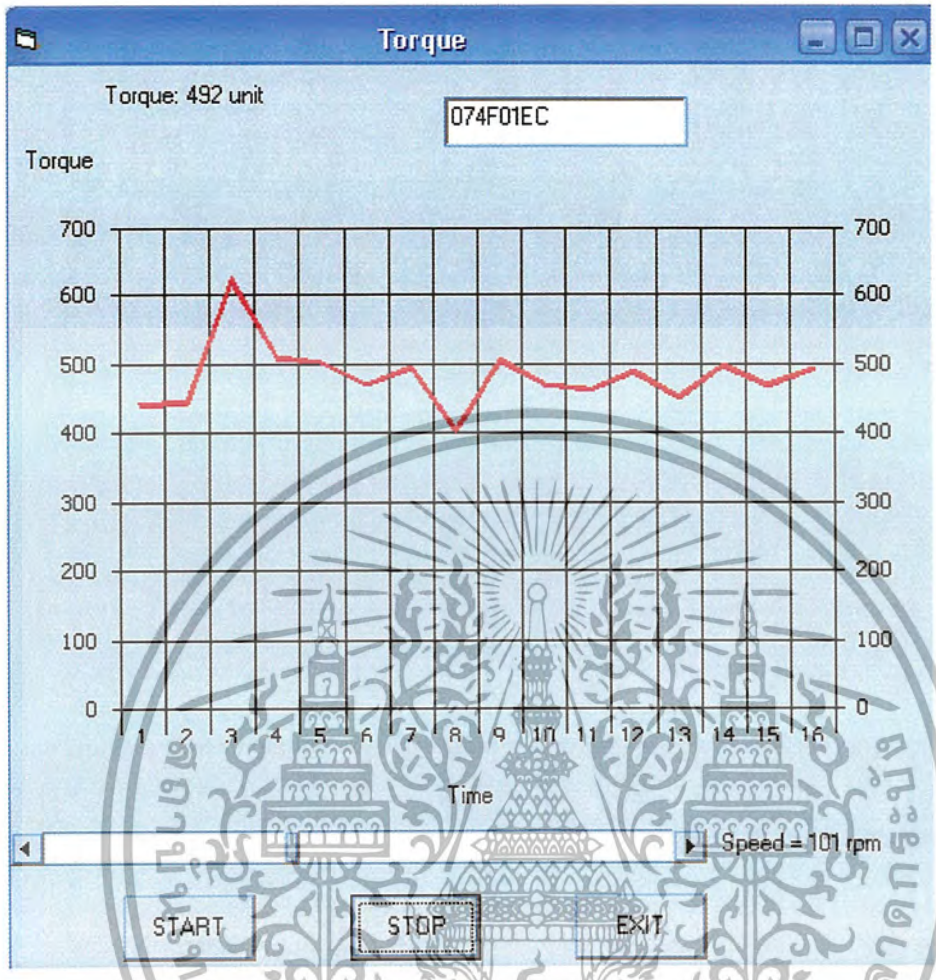
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การปรับความเร็วและปรับPID

จากรูปที่ 4.8 เป็นการทดลองปรับความเร็วของมอเตอร์โดยเลือกการควบคุมแบบปรับค่าพีไอดี (Proprotional Integral Derivative Control) ได้ผลการทดลองแสดงดังในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การวัดแรงบิด

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงการวัดแรงบิดของมอเตอร์เมื่อเราตั้งความเร็วไว้ที่ 101 รอบ ขณะมีภาระโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุป

โปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย โปรแกรม 2 ส่วนคือ โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรม Visual Basic ซึ่งในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมให้วงจรขับมอเตอร์ทำงาน ส่งผลทำให้มอเตอร์หมุน ในส่วนของโปรแกรม Visual Basic ใช้ในการสั่งค่าให้มอเตอร์หมุนและแสดงผลในรูปของกราฟิก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมงานต่างๆ ได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา การวาดลายทองแดงจากโปรแกรมProtel ไม่สามารถทำการ Auto Rout ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้กับอุปกรณ์ในโปรแกรมไม่ตรงกัน

แนวทางการแก้ไข วาดลายทองแดงโดยใช้การเทียบจากวงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการทำแผ่นวงจร

2. ปัญหา การแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำการแสดงผลได้

แนวทางการแก้ไข ศึกษาและทำการแก้ไขโปรแกรมในส่วนของโปรแกรม Visual Basic

3. ปัญหา การแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อทำการปรับความเร็วของมอเตอร์ยังมีความผิดพลาด

แนวทางการแก้ไข คือ คำนวณค่าความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการสั่งค่าให้มีความแม่นยำ

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ยังส่งค่าออกมาผิดพลาด จึงต้องมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถคำนวณค่าออกมาได้อย่างแม่นยำ เพื่อที่จะส่งค่าออกมาได้อย่างเที่ยงตรง และในส่วนของการแสดงผลต้องแสดงผลได้ค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กิตติ ตีรเศรษฐ. **"พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม."** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539

ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย. **"ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877."** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟเอ็กเพอริเมนต์

บัณฑิต จามรภูติ. **"คู่มือการใช้งานProtel 99."** เชียงใหม่ : บัณฑิต. 2544

อภิชาติ ภู่พลับ. **"เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วยVisual Basic."** กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์. 2546

อภิชาติ ภู่พลับ. **"สนุกกับการประยุกต์ใช้Visual Basic."** กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์. 2546

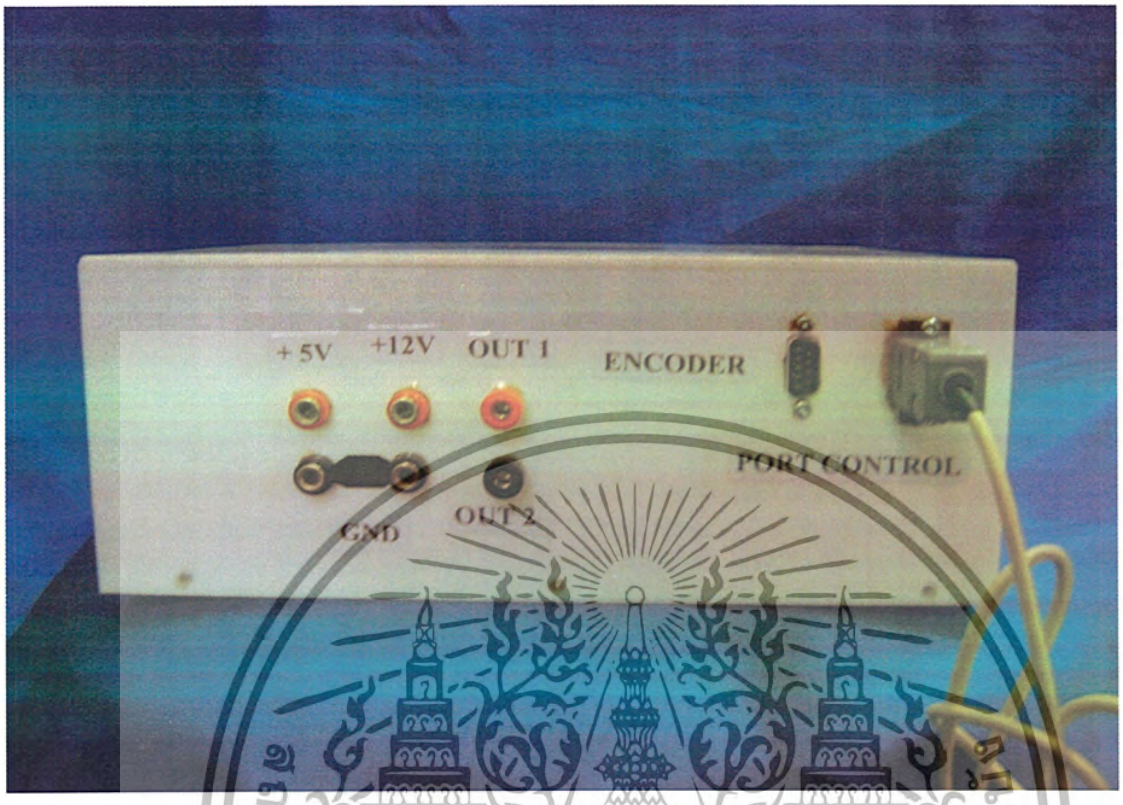
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

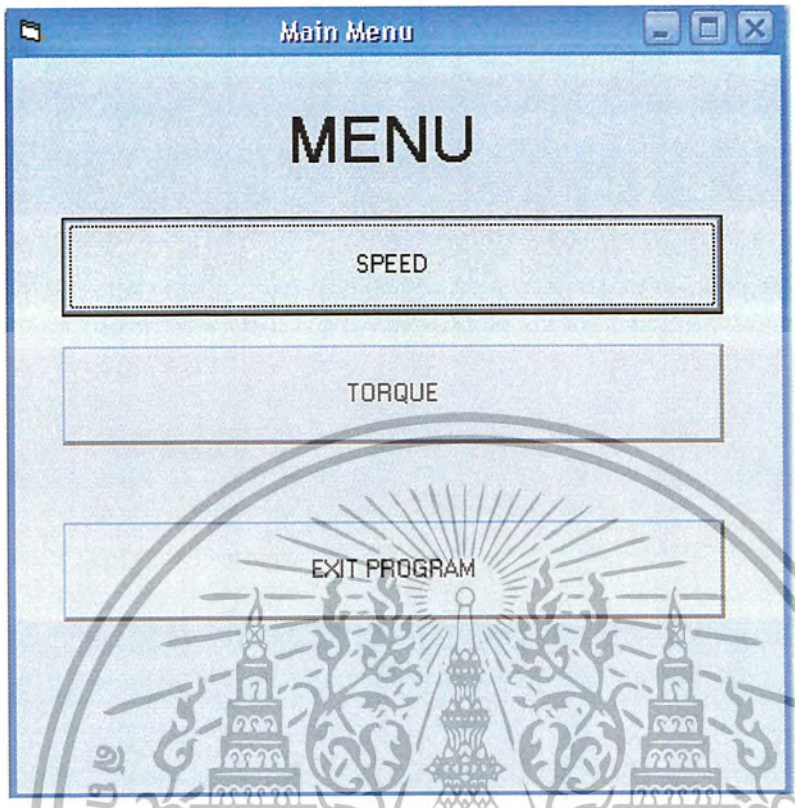
รูปที่ ก.1 ภาพด้านหน้าของชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ภาพด้านหลังของชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



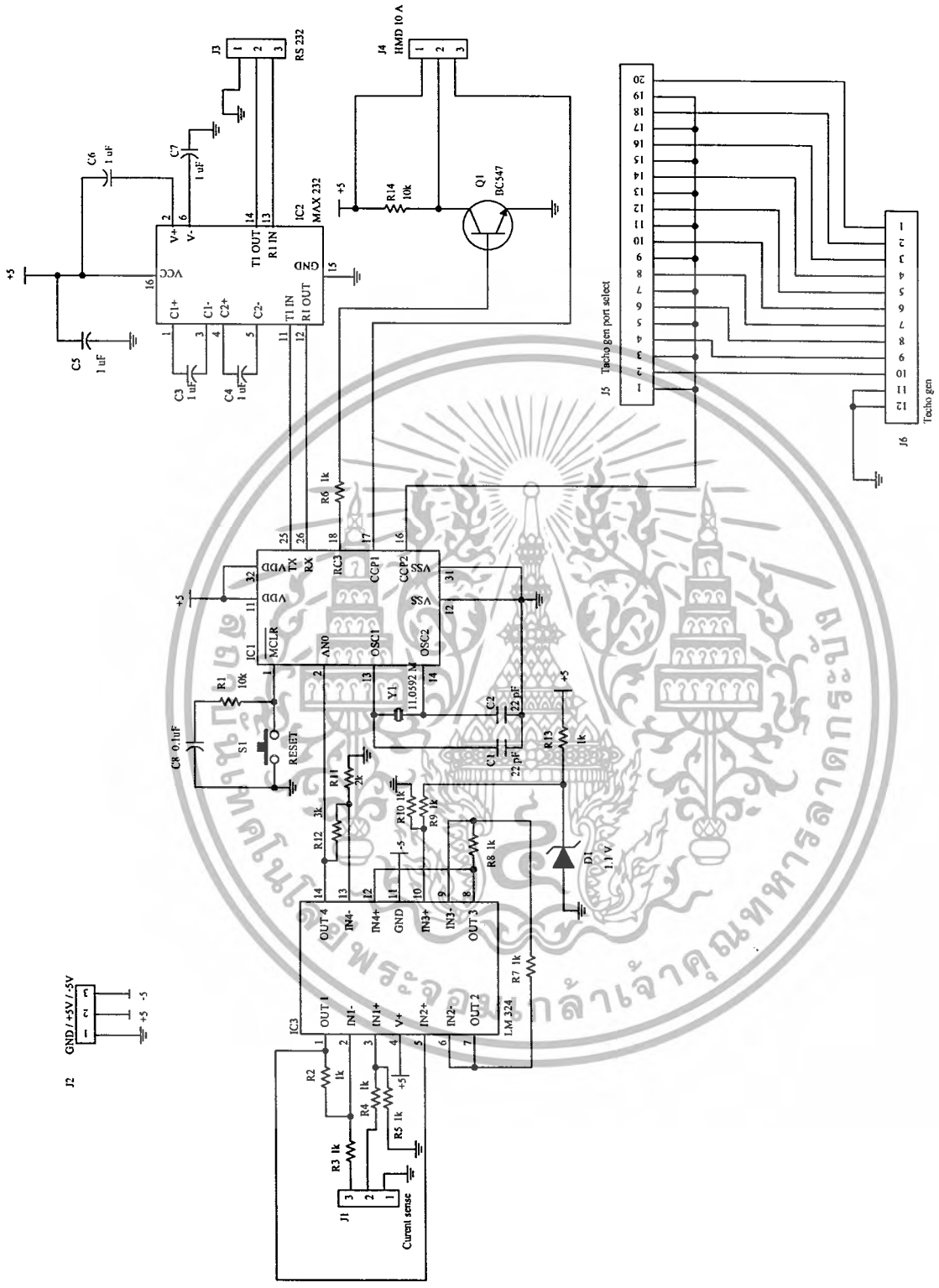
รูปที่ ก.3 ภาพหน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

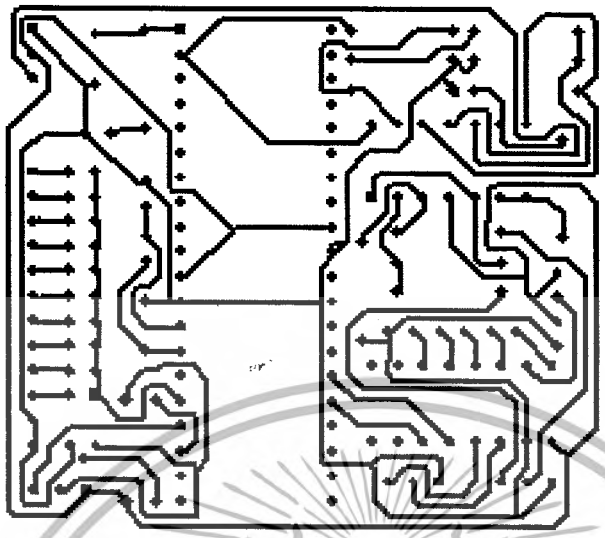
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

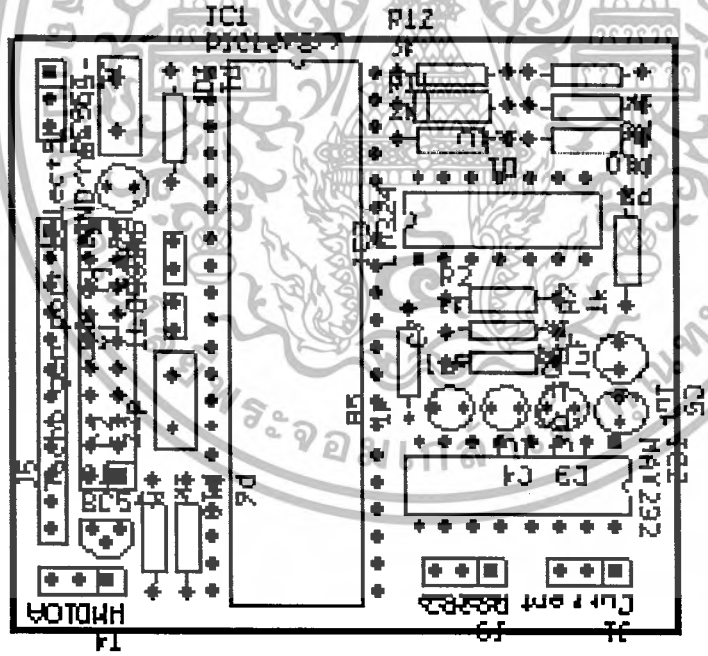


รูปที่ ข.1 วงจร PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ PIC16F877



รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจร PIC16F877

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	PIC16F877	1 ตัว
IC2	MAX232	1 ตัว
IC3	LM324	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1	1.1 V	1 ตัว
Q1	BC547	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C8	0.1 µF	1 ตัว
C1, C2	22 pF	2 ตัว
C3-C7	1 µF	5 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R2-R10, R13	1 kΩ	10 ตัว
R11	2 kΩ	1 ตัว
R12	3 kΩ	1 ตัว
R1	10 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
Crystal	11.0592MH	1 ตัว
S1	สวิตช์	1 ตัว
J1-J4	SIP connector 3 pin	4 ตัว
J5	IDC connector 20 pin	1 ตัว
J6	SIP connector 12 pin	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคอนโทรลเลอร์ (PIC)

```
LIST      P=16F877A ,W = -302
__CONFIG 0x3F79
      PORTA         EQU   0x05
      PORTB         EQU   0x06
      PORTC         EQU   0x07
      PORTD         EQU   0X08

      ADCON0        EQU   0x1F
      ADRESH        EQU   0x1E

      TRISA         EQU   0x85
      TRISB         EQU   0x86
      TRISC         EQU   0x87
      TRISE         EQU   0x89
      ADCON1        EQU   0x9F
      ADRESL        EQU   0x9E

      ADFM          EQU   7
      GO_DONE       EQU   2
      ADON          EQU   0

      ACQ_VAR       EQU   0x70

      OPTION_REG    EQU   0x81
      TMR0          EQU   0x01
      T0IE          EQU   5
      T0IF          EQU   2

      CCPR2L        EQU   0x1B
      CCPR2H        EQU   0x1C
      CCP2CON       EQU   0x1D
      T1CON         EQU   0x10
      T2CON         EQU   0x12
      TMR2          EQU   0x11
      TRISC         EQU   0x87
      PR2           EQU   0x92
      TMR1L         EQU   0x0E
      TMR1H         EQU   0x0F
      TMR1ON        EQU   0

      STATUS        EQU   0x03
      RP0           EQU   5
      Z             EQU   2
      C             EQU   0
      INTCON        EQU   0x0B
      PEIE          EQU   6
      GIE           EQU   7
      PIE1          EQU   0x8C
      ADIE          EQU   6
      RCIE          EQU   5
      TXIE          EQU   4
      CCP1IE        EQU   2
      PIE2          EQU   0x8D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CCP2IE      EQU   0
        CCPR1L      EQU   0x15
        CCPR1H      EQU   0x16
        CCP1CON     EQU   0x17
        CCP1X       EQU   5
        CCP1Y       EQU   4

        PIR1        EQU   0x0C
        ADIF        EQU   6
        RCIF        EQU   5
        TXIF        EQU   4
        CCP1IF      EQU   2
        PIR2        EQU   0x0D
        CCP2IF      EQU   0

        SPBRG       EQU   0x99
        TXSTA       EQU   0x98
        RCSTA       EQU   0x18
        TXREG       EQU   0x19
        RCREG       EQU   0x1A
        SYNC        EQU   4
        BRGH        EQU   2
        TXEN        EQU   5
        SPEN        EQU   7
        SREN        EQU   5
        CREN        EQU   4

        TMR2ON      EQU   2
        CCP2X       EQU   5
        CCP2Y       EQU   4

        W_TEMP      EQU   0x20
        S_TEMP      EQU   0x21
        DAT         EQU   0x22
        FLAG_       EQU   0x23
        SEND_DAT    EQU   0x24
        CNT1        EQU   0x25
        CNT2        EQU   0x26
        SPEED       EQU   0x27
        TORQUE      EQU   0x28
        BUFDAT      EQU   0x29
        BUFFER1     EQU   0x30
        BUFFER2     EQU   0x31
        SPEEDL      EQU   0x32
        TORQUEL     EQU   0x33

        X           EQU   0x70
        Y           EQU   0x71
        A           EQU   0x72
                    ORG   0x0000
                    GOTO  INIT
                    ORG   0x0004
                    BTFSC PIR1, RCIF
                    GOTO  ISR_RX
                    RETFIE
INIT                CLRF  CCP1CON
                    BANKSEL     TRISC
                    BCF   TRISC, 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                BSF   TRISC, 1
                BANKSEL     PORTC
                BSF   PORTC, 2


                MOVLW B'00000001'
                MOVWF T2CON
                BANKSEL     PR2
                MOVLW .255
                MOVWF PR2

                BANKSEL     SPBRG
                MOVLW .25
                MOVWF SPBRG
                BCF   TXSTA,SYNC
                BSF   TXSTA,BRGH
                BSF   TXSTA,TXEN
                BSF   PIE1,RCIE

                BANKSEL     INTCON
                BSF   INTCON,GIE
                BSF   INTCON,PEIE

                BANKSEL     RCSTA
                BSF   RCSTA,SPEN
                BSF   RCSTA,CREN
                MOVF  RCREG,W
                MOVF  RCREG,W
                MOVF  RCREG,W
-------------------------------------------------------------------------

                BANKSEL     TRISA
                MOVLW B'11111111'
                MOVWF TRISA
SET_ADCON1      MOVLW B'10001110'
                MOVWF ADCON1
                BANKSEL     PORTA
SET_ADCON0      MOVLW B'10000000'
                MOVWF ADCON0
-------------------------------------------------------------------------

                BANKSEL     T1CON
                MOVLW B'00000000'
                MOVWF T1CON

--- START Program Here -----

MAIN            CALL  START
                BCF   PIR2,CCP2IF
                BTFSS PIR2,CCP2IF
                GOTO  $-1
                BSF   T1CON, TMR1ON
                CALL  CAP_T
                CALL  CONV_ADC

                MOVFW SPEED
                CALL  SENDHEX
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    MOVFW SPEEDL
                    CALL  SENDHEX

                    MOVFW TORQUE
                    CALL  SENDHEX
                    MOVFW TORQUEL
                    CALL  SENDHEX

                    CALL  DELAY
                    GOTO  MAIN


----- Sub Program----------
SEND                BTFSS PIR1,TXIF
                    GOTO  $-1
                    MOVWF TXREG
                    RETURN

- INTERRUPT SERVICE ROUTINE ---
ISR_RX              MOVWF   W_TEMP
                    MOVF  STATUS,w
                    BCF     STATUS,RP0
                    MOVWF S_TEMP

                    MOVFW RCREG
                    MOVWF DAT
                    MOVWF BUFDAT
                    INCF  BUFDAT,1
                    DECFSZ      BUFDAT,1
                    GOTO  SET_PWM

STOP_PWM            BCF   T2CON,TMR2ON
                    CLRF  CCP1CON
                    GOTO  EXIT

SET_PWM             BCF   T2CON,TMR2ON
                    BANKSEL     PR2
                    MOVWF PR2
                    MOVWF CCPR1L
                    MOVLW B'00001111'
                    MOVWF CCP1CON
                    BSF   T2CON,TMR2ON
                    BSF   FLAG_, 0
EXIT                MOVF  S_TEMP,w
                    MOVWF STATUS
                    SWAPF W_TEMP,f
                    SWAPF W_TEMP,w
                    BCF   PIR1, RCIF
                    RETFIE

******************Speed reading***************
CAP_T               CLRF  CCP2CON
                    BCF   T1CON,TMR1ON
SHOWTIME            MOVFW CCPR2H
                    MOVWF SPEED
                    MOVFW CCPR2L
                    MOVWF SPEEDL
                    RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
START               CLRF  TMR1H
                    CLRF  TMR1L
                    MOVLW 0X05
                    MOVWF CCP2CON
                    BCF   PIR2,CCP2IF
                    BTFSS PIR2,CCP2IF
                    GOTO  $-1
                    BSF   T1CON,TMR1ON
                    BCF   PIR2,CCP2IF
                    RETURN

**********Tourque reading*******************
CONV_ADC            BSF   ADCON0,ADON
                    CALL  ACQ_TIME
                    BSF   ADCON0,GO_DONE

CON_WAIT            BTFSC ADCON0,GO_DONE
                    GOTO  CON_WAIT
                    BCF   ADCON0,ADON
                    MOVFW ADRESH
                    MOVWF TORQUE
                    BANKSEL     ADRESL
                    MOVFW ADRESL
                    BANKSEL     TORQUEL
                    MOVWF TORQUEL
                    RETURN

SENDHEX             MOVWF BUFFER1
                    SWAPF BUFFER1,0
                    ANDLW 0x0F
                    CALL  ASCTOHEX
                    CALL  SEND
                    MOVFW BUFFER1
                    ANDLW 0x0F
                    CALL  ASCTOHEX
                    CALL  SEND
                    RETURN

ASCTOHEX            MOVWF BUFFER2
                    BCF   STATUS,C
                    SUBLW 0x09
                    BTFSC STATUS,C
                    GOTO  DECIMAL
                    MOVFW BUFFER2
                    ADDLW 0x37
                    RETURN
DECIMAL             MOVFW BUFFER2
                    ADDLW 0x30
                    RETURN

ACQ_TIME            MOVLW .105
                    MOVWF ACQ_VAR
                    DECFSZ      ACQ_VAR,1
                    GOTO  $-1
                    GOTO  $+1
                    RETURN

DELAY               CLRF  X
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVLW .5
MOVWF X
CLRF  Y
MOVLW .5
MOVWF A
DECFSZ      X,1
GOTO  $-1
DECFSZ      Y,1
GOTO  $-3
DECFSZ      A,1
GOTO  $-5
RETURN

END
```

โปรแกรมVisual Basic

Form Menu

```
Private Sub CmdExit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdSpd_Click()
Load FormSpdMenu
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdTorque_Click()
Load FormTorque
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Load()
Me.Show
End Sub
```

Form ManualControl

```
Dim i As Integer
Dim TimeValue As Double
Dim SpeedValue As Double
Dim PercentDuty As Integer
Function ConvertToDuty(V As Double) As Integer
Dim Vmax As Double
Dim Duty As Double
Dim IntDuty As Integer
Vmax = 575
Duty = (V / 6) - 40
IntDuty = Int(Duty)
IntDuty = 101 - IntDuty
IntDuty = Int(IntDuty * 255 / 100)
ConvertToDuty = IntDuty
End Function
Private Sub CmdExit_Click()
Load FormSpdMenu
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdStart_Click()
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.PortOpen = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SpeedValue = HScrollSpeed.Value
If SpeedValue <> 0 Then
PercentDuty = ConvertToDuty(SpeedValue)
Else
PercentDuty = 0
End If
'MSComm1.Output = Chr(Int(PercentDuty))
i = 0
End If
End Sub
Private Sub CmdStop_Click()
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.Output = Chr(0)  'On-Off
MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub
Private Sub Form_Load()
Me.Show
i = 0
End Sub
Private Sub HScrollSpeed_Change()
LabelSendSpeed.Caption = "Speed = " & HScrollSpeed.Value & " rpm"
If MSComm1.PortOpen Then
SpeedValue = HScrollSpeed.Value
If SpeedValue <> 0 Then
PercentDuty = ConvertToDuty(SpeedValue)
Else
PercentDuty = 0
End If
MSComm1.Output = Chr(PercentDuty)
End If
End Sub
Private Sub HScrollSpeed_Scroll()
LabelSendSpeed.Caption = "Speed = " & HScrollSpeed.Value & " rpm"
End Sub
Private Sub MSComm1_OnComm()
Dim StrBuffer As String
Dim StrTime As String
Dim IntTime As Integer
Dim IntTorque As Integer
Dim StrTorque As String
Dim Speed As Double
Dim SpeedBuf As Integer
Dim SpeedError As Double
StrBuffer = MSComm1.Input
StrTime = Left(StrBuffer, 4)
StrTime = "&H" & StrTime
StrTorque = Right(StrBuffer, 4)
StrTorque = "&H" & StrTorque
'IntTime = Val(StrTime)
IntTorque = Val(StrTorque)
Speed = 1000000 / IntTime
LabelReadSpeed = "Speed: " & Speed & " rpm"
If Speed >= 0 Then
i = i + 1
MSChart1.RowCount = i
MSChart1.Row = i
MSChart1.RowLabel = i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MSChart1.DataGrid.SetData i, 1, Speed, 0
End If
SpeedValue = HScrollSpeed.Value
If Speed > SpeedValue Then
PercentDuty = PercentDuty + 1
If PercentDuty > 255 Then PercentDuty = 255
End If
If Speed < SpeedValue Then
PercentDuty = PercentDuty - 1
If PercentDuty < 0 Then PercentDuty = 0
End If
MSComm1.Output = Chr(PercentDuty)
End Sub
```

Form PIDControl

```
Dim LastSpeedError As Double
Dim SpeedReceive As Double
Dim i As Integer
Function ConvertToDuty(V As Double) As Integer
Dim Vmax As Double
Dim Duty As Double
Dim IntDuty As Integer
Vmax = 575
Duty = (V / 6) - 40
IntDuty = Int(Duty)
IntDuty = 101 - IntDuty
IntDuty = Int(IntDuty * 255 / 100)
ConvertToDuty = IntDuty
End Function
Function SendPIDSpeed(SpeedRef As Integer, SpeedRead As Double,
ETlast As Double, Kg As Integer, Ki As Integer, Kd As Integer) As
Double
Dim Mt As Double
Dim Mpt As Double
Dim Mdt As Double
Dim Mit As Double
Dim MBuf As Double
Dim ET As Double
Dim SpeedBuf As Double
Dim SpeedSend As Double
If MSComm1.PortOpen Then
ET = SpeedRef - SpeedRead
Mpt = 0.01 * Kg * ET
Mdt = 0.01 * 0.01 * Kg * Kd * (ET - ETlast)
Mit = 0.01 * 0.01 * Kg * Ki * (ET - ETlast)
Mt = Mpt + Mdt + Mit
SpeedBuf = Mt + SpeedRef
'SpeedValue = SpeedBuf
If SpeedValue > 575 Then SpeedValue = 575
If SpeedValue <> 0 Then
PercentDuty = ConvertToDuty(SpeedBuf)
Else
PercentDuty = 0
SendPIDSpeed = ET
End If
MSComm1.Output = Chr(PercentDuty)
End If
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub CmdExit_Click()
Load FormSpdMenu
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdStart_Click()
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.PortOpen = True
i = 0
SpeedReceive = 0
LastError = 0
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, SpeedReceive,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
End If
End Sub
Private Sub CmdStop_Click()
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.Output = Chr(0)  'On-Off
MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub
Private Sub Form_Load()
Me.Show
i = 0
End Sub
Private Sub HScrollDeverative_Change()
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, SpeedReceive,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
LabelDeverative.Caption = "Deverative: " & HScrollDeverative.Value &
" %"
End Sub
Private Sub HScrollDeverative_Scroll()
LabelDeverative.Caption = "Deverative: " & HScrollDeverative.Value &
" %"
End Sub
Private Sub HScrollGain_Change()
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, SpeedReceive,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
LabelGain.Caption = "Gain: " & HScrollGain.Value & " %"
End Sub
Private Sub HScrollGain_Scroll()
LabelGain.Caption = "Gain: " & HScrollGain.Value & " %"
End Sub
Private Sub HScrollIntegral_Change()
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, SpeedReceive,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
LabelIntegral.Caption = "Integral: " & HScrollIntegral.Value & " %"
End Sub
Private Sub HScrollIntegral_Scroll()
LabelIntegral.Caption = "Integral: " & HScrollIntegral.Value & " %"
End Sub
Private Sub HScrollSpeed_Change()
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, SpeedReceive,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LabelSendSpeed.Caption = "Speed: " & HScrollSpeed.Value '& " rpm"
End Sub
Private Sub HScrollSpeed_Scroll()
LabelSendSpeed.Caption = "Speed: " & HScrollSpeed.Value '& " rpm"
End Sub
Private Sub MSComm1_OnComm()
Dim StrBuffer As String
Dim StrTime As String
Dim IntTime As Integer
Dim IntTorque As Integer
Dim StrTorque As String
Dim Speed As Double
Dim SpeedBuf As Integer
Dim SpeedError As Double
StrBuffer = MSComm1.Input
StrTime = Left(StrBuffer, 4)
StrTime = "&H" & StrTime
StrTorque = Right(StrBuffer, 4)
StrTorque = "&H" & StrTorque
'IntTime = Val(StrTime)
IntTorque = Val(StrTorque)
Speed = 1000000 / IntTime
LabelReadSpeed = "Speed: " & Speed & " rpm"
If Speed >= 0 Then
i = i + 1
MSChart1.RowCount = i
MSChart1.Row = i
MSChart1.RowLabel = i
MSChart1.DataGrid.SetData i, 1, Speed, 0
End If
LastSpeedError = SendPIDSpeed(HScrollSpeed.Value, Speed,
LastSpeedError, HScrollGain.Value, HScrollIntegral.Value,
HScrollDeverative.Value)
End If
End Sub
```

Form SpeedControl

```
Private Sub CmdPIDC_Click()
Load FormPIDControl
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdReturnMenu_Click()
Load FormMenu
Unload Me
End Sub
Private Sub CmdSpdControl_Click()
Load FormManualControl
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Load()
Me.Show
End Sub
```

Form TroqueControl

```
Dim i As Integer
Private Sub CmdExit_Click()
Load FormSpdMenu
Unload Me
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub CmdStart_Click()
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = Chr(HScrollSpeed.Value)  'On-Off
i = 0
End If
End Sub

Private Sub CmdStop_Click()
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.Output = Chr(0)  'On-Off
MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Me.Show
i = 0
End Sub

Private Sub HScrollSpeed_Change()
Dim TimeValue As Integer
Dim SpeedValue As Integer
LabelSendSpeed.Caption = "Speed = " & HScrollSpeed.Value '& " rpm"
If MSComm1.PortOpen Then
SpeedValue = HScrollSpeed.Value
TimeValue = 256 - SpeedValue
If TimeValue = 0 Then TimeValue = 0
'TimeValue = CInt(255 * SpeedValue / 100)
MSComm1.Output = Chr(TimeValue)
End If
End Sub

Private Sub HScrollSpeed_Scroll()
LabelSendSpeed.Caption = "Speed = " & HScrollSpeed.Value '& " rpm"
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
Dim StrBuffer As String
Dim StrTime As String
Dim IntTime As Integer
Dim IntTorque As Integer
Dim StrTorque As String
Dim Torque As Double
StrBuffer = MSComm1.Input
StrTime = Left(StrBuffer, 4)
StrTime = "&H" & StrTime
StrTorque = Right(StrBuffer, 4)
StrTorque = "&H" & StrTorque
IntTime = Val(StrTime)
IntTorque = Val(StrTorque)
Torque = IntTorque
LabelReadTorque = "Torque: " & Torque & " unit"
If Speed >= 0 Then
i = i + 1
'If i > 255 Then i = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

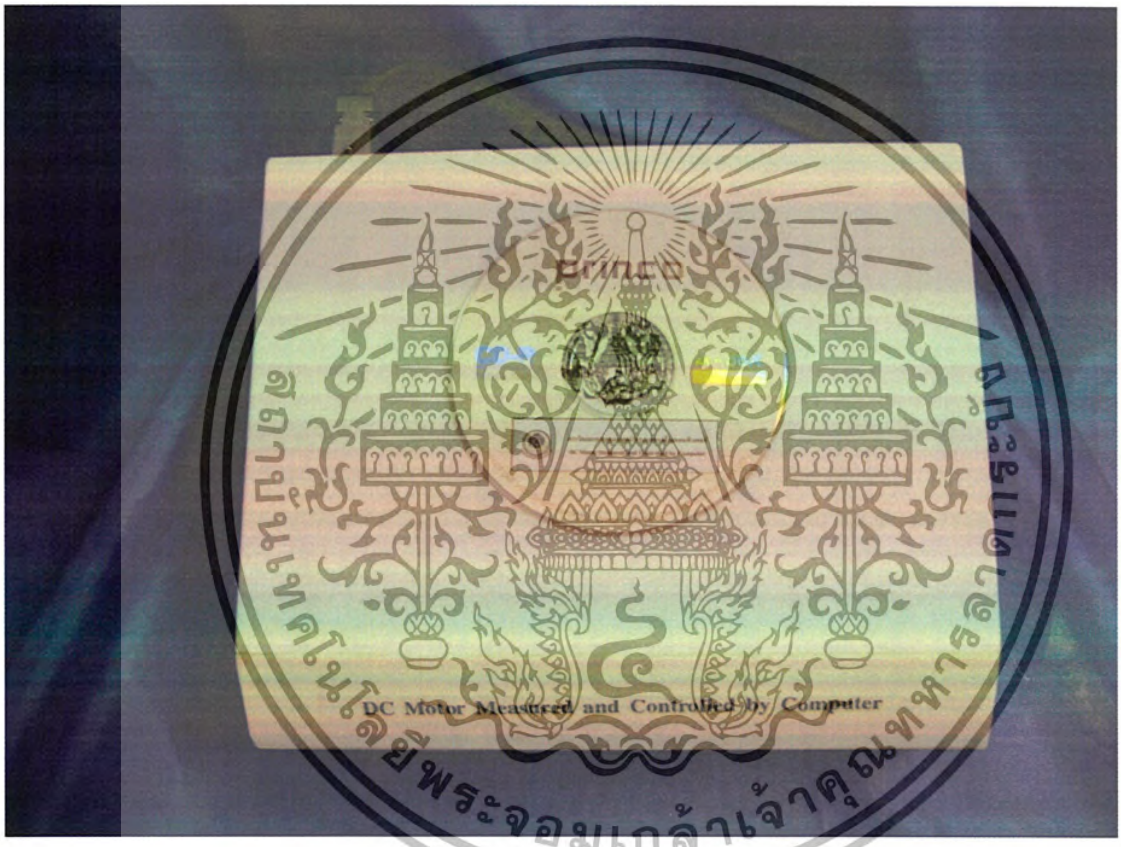
```
MSChart1.RowCount = i
MSChart1.Row = i
MSChart1.RowLabel = i
MSChart1.DataGrid.SetData i, 1, Torque, 0
End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้โปรแกรมและชุดควบคุมการวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อผลการทำงานที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับโปรแกรมและชุดควบคุมการวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

2. ส่วนประกอบของเครื่อง

รูปที่ จ.1 จุดต่อของเครื่อง

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. ขั้วต่อไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ของคอนโทรลเลอร์
2. ขั้วต่อไฟกระแสตรง 12 – 24 โวลต์ ของวงจรขับมอเตอร์
3. ขั้วต่อกราวด์
4. OUT 1 คือขั้วจ่ายไฟบวกให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. OUT 2 คือขั้วจ่ายไฟลบให้กับมอเตอร์

6. สายต่อพอร์ตอนุกรม

7. สายรับสัญญาณจากเอ็นโค๊ดเดอร์

3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1 ทำการลงโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ในคอมพิวเตอร์ที่จะใช้งาน

3.2 ทำการต่อมอเตอร์เข้ากับขั้วต่อที่ตัวเครื่อง

3.3 ทำการต่อไฟเลี้ยงให้กับมอเตอร์และชุดควบคุม

3.4 เปิดโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

3.5 เลือกการวัดที่ต้องการถ้าต้องการวัดความเร็วให้คลิกที่ Speed เมื่อเข้าไปแล้วจะมีให้เลือกการปรับความเร็วแบบ Manual และการปรับความเร็วแบบควบคุมด้วย PID Control

3.6 เมื่อเลือกการควบคุมได้ตามที่ต้องการแล้วทำการปรับค่าความเร็วของมอเตอร์ ถ้าเป็นการควบคุมแบบ PID Control ให้ทำการปรับค่า PID ตามต้องการ

3.7 อ่านค่าความเร็วของมอเตอร์ที่ได้จากกราฟแสดงผลการทดลองซึ่งปรากฏอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.8 ถ้าต้องการวัดแรงบิดของมอเตอร์ให้คลิกที่ Torque แล้วทำการปรับค่าความเร็วของมอเตอร์อ่านค่าแรงบิดได้จากกราฟแสดงผลการทดลองซึ่งปรากฏอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
เมื่อทำการสตาร์ทมอเตอร์แล้ว มอเตอร์ไม่หมุน	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและทำการรีสตาร์ทโปรแกรม
เมื่อกราฟแสดงผลไม่แสดงที่หน้าจอ	เช็คจุดต่อสายที่เอ็นโค๊ดเดอร์ของมอเตอร์และพอร์ตคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- เก็บโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ในคอมพิวเตอร์ไว้ในกล่องที่เตรียมไว้เสมอ
- เก็บแผ่นโปรแกรมไว้ในอุณหภูมิห้องและห่างจากสถานที่ที่มีความชื้นสูง

5.2 ข้อควรระวัง

- ควรต่ออุปกรณ์ให้ตรงตามจุดที่กำหนด
- ควรระวังการจ่ายไฟเกิน
- ควรทำการ Stop ก่อนทุกครั้งก่อนจะทำการเลิกจ่ายไฟ

6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หลักการทำงาน	โปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย โปรแกรม 2 ส่วนคือ โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรม Visual Basic ซึ่งในส่วนของไมโครคอน โทรลเลอร์ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมให้วงจรขับมอเตอร์ทำงาน ส่งผลทำให้มอเตอร์หมุน ในส่วนของโปรแกรม Visual Basic ใช้ในการสั่งค่าให้มอเตอร์หมุนและแสดงผลในรูปของกราฟิก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมงานต่างๆได้
ส่วนแสดงผล	แสดงผลในรูปของกราฟิก
การควบคุม	สามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 – 24 โวลต์
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสตรง 5 และ 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-0175; Rev 3; 5/96

MAXIM

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

General Description

The MAX202E–MAX213E, MAX232E/MAX241E line drivers/receivers are designed for RS-232 and V.28 communications in harsh environments. Each transmitter output and receiver input is protected against ±15kV electrostatic discharge (ESD) shocks, without latchup. The various combinations of features are outlined in the *Selection Guide*. The drivers and receivers for all ten devices meet all EIA/TIA-232E and CCITT V.28 specifications at data rates up to 120kbps, when loaded in accordance with the EIA/TIA-232E specification.

The MAX211E/MAX213E/MAX241E are available in 28-pin SO packages, as well as a 28-pin SSOP that uses 60% less board space. The MAX202E/MAX232E come in 16-pin narrow SO, wide SO, and DIP packages. The MAX203E comes in a 20-pin DIP/SO package, and needs no external charge-pump capacitors. The MAX205E comes in a 24-pin wide DIP package, and also eliminates external charge-pump capacitors. The MAX206E/MAX207E/MAX208E come in 24-pin SO, SSOP, and narrow DIP packages. The MAX232E/MAX241E operate with four 1µF capacitors, while the MAX202E/MAX206E/MAX207E/MAX203E/MAX211E/MAX213E operate with four 0.1µF capacitors, further reducing cost and board space.

Applications

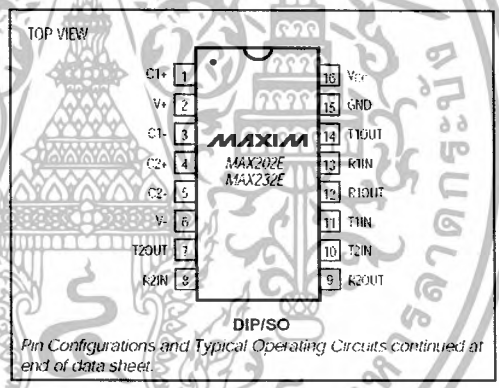
Notebook, Subnotebook, and Palmtop Computers
Battery-Powered Equipment
Hand-Held Equipment

Ordering Information appears at end of data sheet.

Features

- ♦ **ESD Protection for RS-232 I/O Pins:**
  ±15kV—Human Body Model
  ±8kV—IEC1000-4-2, Contact Discharge
  ±15kV—IEC1000-4-2, Air-Gap Discharge
- ♦ **Latchup Free (unlike bipolar equivalents)**
- ♦ **Guaranteed 120kbps Data Rate—LapLink™ Compatible**
- ♦ **Guaranteed 3V/µs Min Slew Rate**
- ♦ **Operate from a Single +5V Power Supply**

Pin Configurations



Pin Configurations and Typical Operating Circuits continued at end of data sheet.

Selection Guide

PART	No. of RS-232 DRIVERS	No. of RS-232 RECEIVERS	RECEIVERS ACTIVE IN SHUTDOWN	No. of EXTERNAL CAPACITORS	LOW-POWER SHUTDOWN	TTL THREE-STATE
MAX202E	2	2	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX203E	2	2	0	None	No	No
MAX205E	5	5	0	None	Yes	Yes
MAX206E	4	3	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX207E	5	3	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX208E	4	4	0	4 (0.1µF)	No	No
MAX211E	4	5	0	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX213E	4	5	2	4 (0.1µF)	Yes	Yes
MAX232E	2	2	0	4 (1µF)	No	No
MAX241E	4	5	0	4 (1µF)	Yes	Yes

LapLink is a registered trademark of Traveling Software, Inc.

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +5V ±10% for MAX202E/206E/208E/211E/213E/232E/241E: V_{CC} = +5V ±5% for MAX203E/205E/207E; C1–C4 = 0.1µF for MAX202E/206E/207E/208E/211E/213E; C1–C4 = 1µF for MAX232E/241E: T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

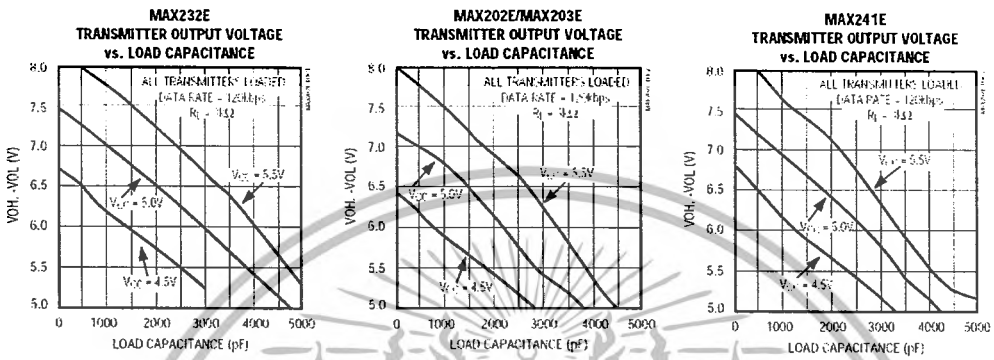
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
EIA/TIA-232E RECEIVER INPUTS							
Input Voltage Range				-30		30	V
Input Threshold Low		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V	All parts, normal operation	0.8	1.2		V
			MAX213E, SHDN = 0V, EN = V_{CC}	0.6	1.5		
Input Threshold High		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V	All parts, normal operation		1.7	2.4	V
			MAX213E (R4, R5), SHDN = 0V, EN = V_{CC}		1.5	2.4	
Input Hysteresis		V_{CC} = 5V, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
Input Resistance		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V		3	5	7	kΩ
EIA/TIA-232E TRANSMITTER OUTPUTS							
Output Voltage Swing		All drivers loaded with 3kΩ to ground (Note 1)		±5	±9		V
Output Resistance		V_{CC} = V_+ = V_- = 0V, V_{OUT} = ±2V		300			Ω
Output Short-Circuit Current					±10	±60	mA
TIMING CHARACTERISTICS							
Maximum Data Rate		R_L = 3kΩ to 7kΩ, C_L = 50pF to 1000pF, one transmitter switching		120			kbps
Receiver Propagation Delay	t_{PLHR}, t_{PHLR}	C_L = 150pF	All parts, normal operation		0.5	10	µs
			MAX213E (R4, R5), SHDN = 0V, EN = V_{CC}		4	40	
Receiver Output Enable Time		MAX205E/206E/211E/213E/241E normal operation, Figure 2			600		ns
Receiver Output Disable Time		MAX205E/206E/211E/213E/241E normal operation, Figure 2			200		ns
Transmitter Propagation Delay	t_{PLHT}, t_{PHLT}	R_L = 3kΩ, C_L = 2500pF, all transmitters loaded			2		µs
Transition-Region Slew Rate		T_A = +25°C, V_{CC} = 5V, R_L = 3kΩ to 7kΩ, C_L = 50pF to 1000pF, measured from -3V to +3V or +3V to -3V, Figure 3		3	5	30	V/µs
ESD PERFORMANCE: TRANSMITTER OUTPUTS, RECEIVER INPUTS							
ESD-Protection Voltage		Human Body Model			±15		kV
		IEC1000-4-2, Contact Discharge			±8		
		IEC1000-4-2, Air-Gap Discharge			±15		

Note 1: MAX211EE_ _ tested with V_{CC} = +5V ±5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Operating Characteristics

(Typical Operating Circuits, V_{CC} = +5V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Pin Descriptions

MAX202E/MAX232E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP/SO	LCC		
1, 3	2, 4	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
2	3	V+	+2Vcc voltage generated by the charge pump
4, 5	5, 7	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
6	8	V-	-2Vcc voltage generated by the charge pump
7, 14	9, 18	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
8, 13	10, 17	R_IN	RS-232 Receiver Outputs
9, 12	12, 15	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
10, 11	13, 14	T_IN	RS-232 Driver Inputs
15	19	GND	Ground
16	20	Vcc	+4.5V to +5.5V Supply-Voltage Input
—	1, 6, 11, 16	N.C.	No Connect—not internally connected

MAX203E

PIN		NAME	FUNCTION
DIP	SO		
1, 2	1, 2	T_IN	RS-232 Driver Inputs
3, 20	3, 20	R_OUT	RS-232 Receiver Outputs
4,19	4, 19	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5,18	5, 18	T_OUT	RS-232 Transmitter Outputs
6, 9	6, 9	GND	Ground
7	7	Vcc	+4.5V to +5.5V Supply-Voltage Input
8	13	C1+	Make no connection to this pin.
10, 16	11, 16	C2-	Connect pins together.
12, 17	10, 17	V-	-2Vcc voltage generated by the charge pump. Connect pins together.
13	14	C1-	Make no connection to this pin.
14	8	V+	+2Vcc voltage generated by the charge pump
11, 15	12, 15	C2+	Connect pins together.

MAX205E

PIN	NAME	FUNCTION
1–4, 19	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
5, 10, 13, 18, 24	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
6, 9, 14, 17, 23	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. All receivers are inactive in shutdown.
7, 8, 15, 16, 22	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Internal pull-ups to Vcc.
11	GND	Ground
12	Vcc	+4.75V to +5.25V Supply Voltage
20	$\overline{EN}$	Receiver Enable—active low
21	SHDN	Shutdown Control—active high

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

±15kV ESD-Protected, +5V RS-232 Transceivers

Pin Descriptions (continued)

MAX211E/MAX213E/MAX241E

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2, 3, 28	T_OUT	RS-232 Driver Outputs
4, 9, 18, 23, 27	R_IN	RS-232 Receiver Inputs
5, 8, 19, 22, 26	R_OUT	TTL/CMOS Receiver Outputs. For the MAX213E, receivers R4 and R5 are active in shutdown mode when EN = 1. For the MAX211E and MAX241E, all receivers are inactive in shutdown.
6, 7, 20, 21	T_IN	TTL/CMOS Driver Inputs. Only the MAX211E, MAX213E, and MAX241E have internal pull-ups to V_{CC}
10	GND	Ground
11	V_{CC}	+4.5V to +5.5V Supply Voltage
12, 14	C1+, C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
13	V+	$+2V_{CC}$ voltage generated by the charge pump
15, 16	C2+, C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
17	V-	$-2V_{CC}$ voltage generated by the charge pump
24	$\overline{EN}$	Receiver Enable—active low (MAX211E, MAX241E)
	EN	Receiver Enable—active high (MAX213E)
25	SHDN	Shutdown Control—active high (MAX211E, MAX241E)
	$\overline{SHDN}$	Shutdown Control—active low (MAX213E)

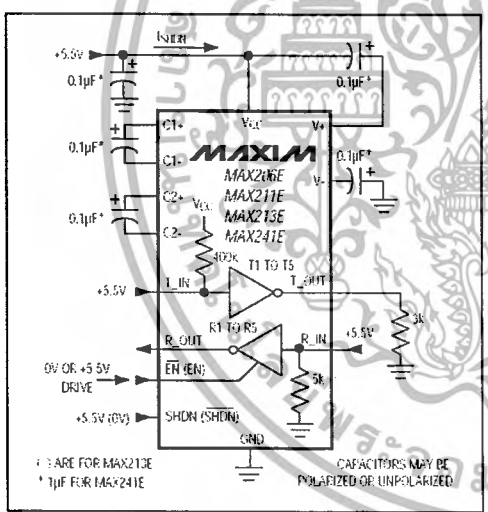


Figure 1. Shutdown-Current Test Circuit (MAX206E, MAX211E/MAX213E/MAX241E)

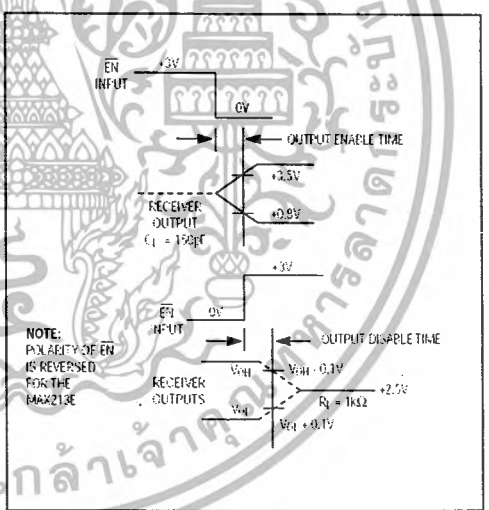


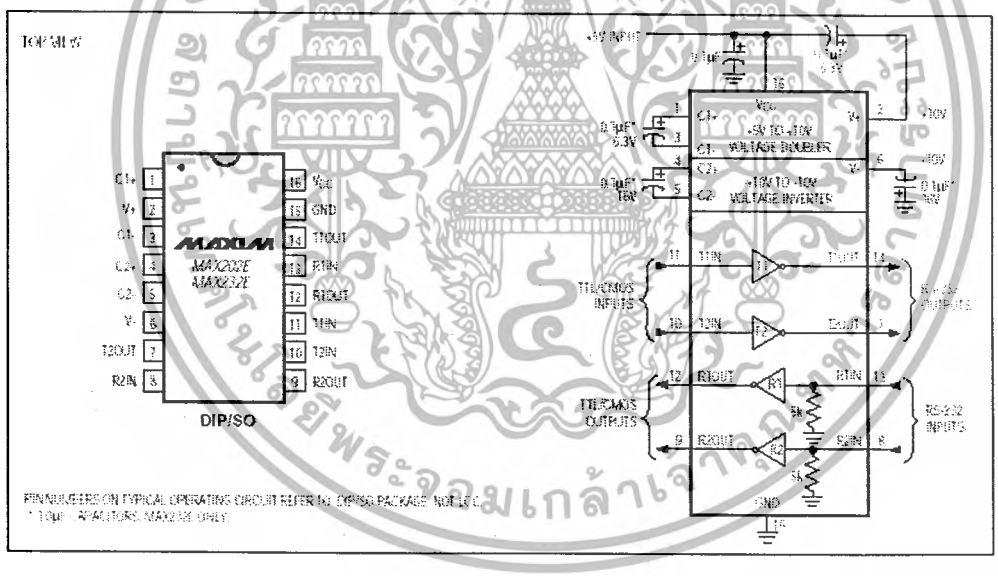
Figure 2. Receiver Output Enable and Disable Timing (MAX205E/MAX206E/MAX211E/MAX213E/MAX241E)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. DB9 Cable Connections Commonly Used for EIA/TIAE-232E and V.24 Asynchronous Interfaces

PIN	CONNECTION	
1	Received Line Signal Detector (sometimes called Carrier Detect, DCD)	Handshake from DCE
2	Receive Data (RD)	Data from DCE
3	Transmit Data (TD)	Data from DTE
4	Data Terminal Ready	Handshake from DTE
5	Signal Ground	Reference point for signals
6	Data Set Ready (DSR)	Handshake from DCE
7	Request to Send (RTS)	Handshake from DTE
8	Clear to Send (CTS)	Handshake from DCE
9	Ring Indicator	Handshake from DCE

Pin Configurations and Typical Operating Circuits (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

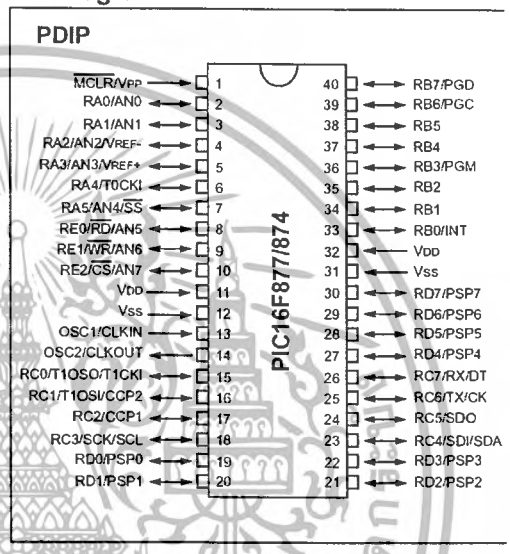
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87X MCUs. The Program Memory and Data Memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 4.0.

Additional information on device memory may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023).

2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87X devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. The PIC16F877/876 devices have 8K x 14 words of FLASH program memory, and the PIC16F873/874 devices have 4K x 14. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F877/876 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

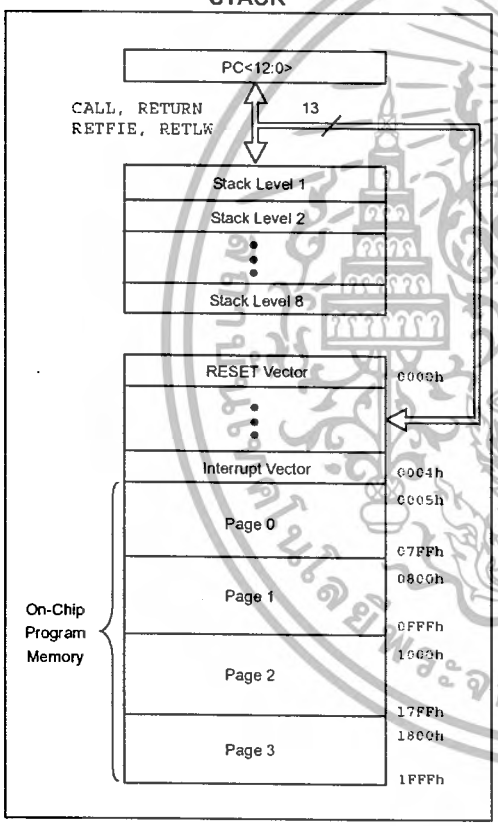
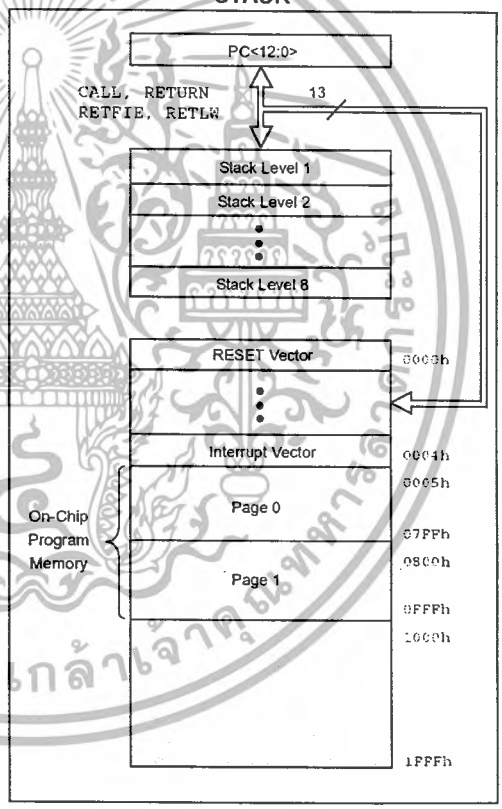


FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into multiple banks which contain the General Purpose Registers and the Special Function Registers. Bits RP1 (STATUS<6>) and RP0 (STATUS<5>) are the bank select bits.

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

Each bank extends up to 7Fh (128 bytes). The lower locations of each bank are reserved for the Special Function Registers. Above the Special Function Registers are General Purpose Registers, implemented as static RAM. All implemented banks contain Special Function Registers. Some frequently used Special Function Registers from one bank may be mirrored in another bank for code reduction and quicker access.

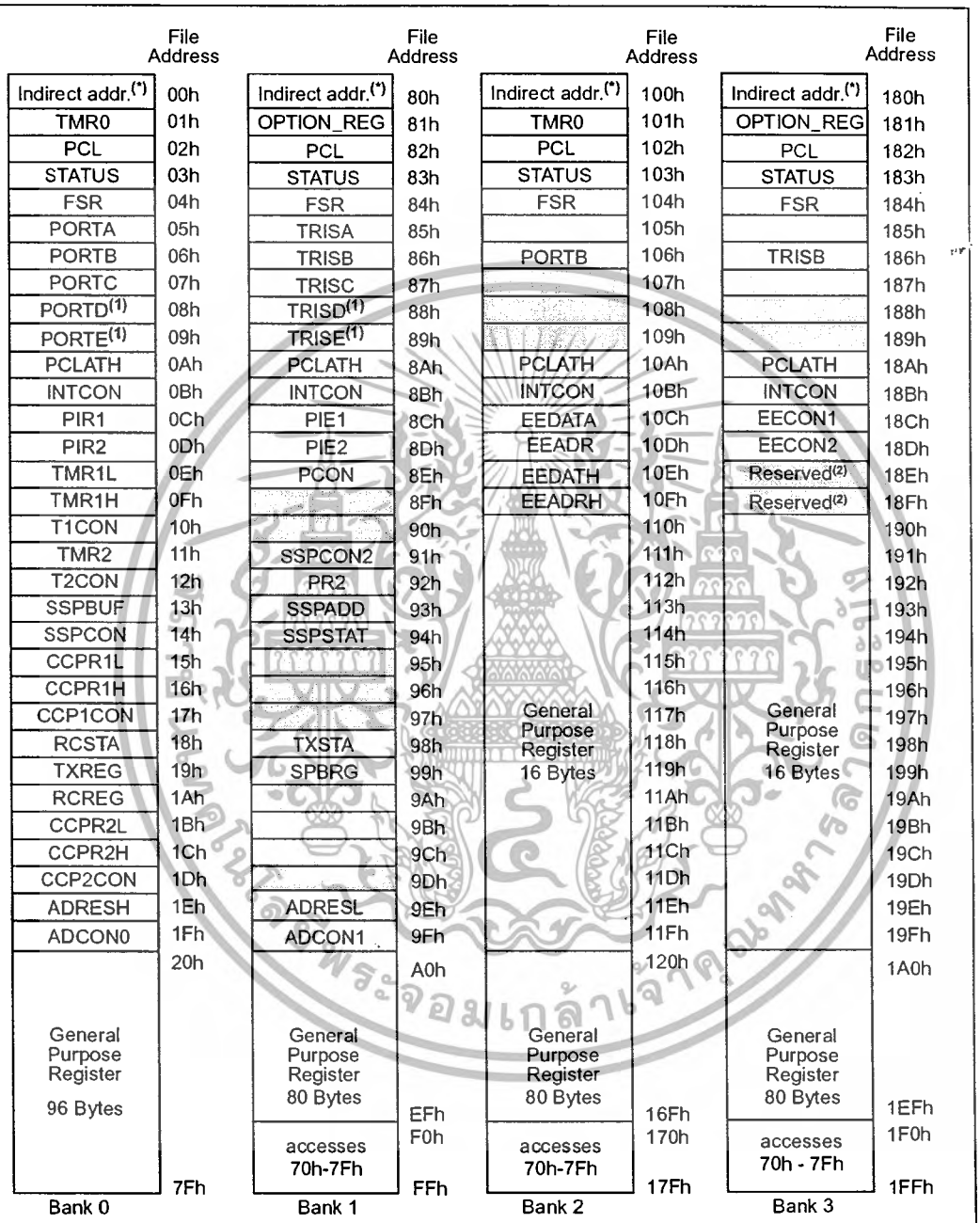
Note: EEPROM Data Memory description can be found in Section 4.0 of this data sheet.

2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file can be accessed either directly, or indirectly through the File Select Register (FSR).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 2-3: PIC16F877/876 REGISTER FILE MAP



Unimplemented data memory locations, read as '0'.
* Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876.
2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล นางสาวก่องกาญจน์ วงศ์พรหม

วัน เดือน ปีเกิด 25 สิงหาคม 2526

ภูมิลำเนา 55 หมู่ 7 ตำบลหนองปลาหมอ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี 70110 โทรศัพท์ 0-9115-0849

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนดุสิตวิทยา จังหวัดราชบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง จังหวัดราชบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคประจวบคีรีขันธ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุฑารัตน์ นูมหันต์
วัน เดือน ปีเกิด	4 พฤษภาคม 2525
ภูมิลำเนา	21 ถ.ชายกระป่อม 1 ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 21000 โทรศัพท์ 0-6629-1107
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลวัดโขดทิมธาราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดป่าประดู่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ปริญญาตรี	สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายอำนาจ วงค์สูน
วัน เดือน ปีเกิด	1 กรกฎาคม 2525
ภูมิลำเนา	44 หมู่ 13 ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์ 0-6518-6657
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเจดีย์แม่ครัว
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านเจดีย์แม่ครัว
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ
ปริญญาตรี	สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้