สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ แบบ 4 -คอร์ดแดรนท์โดยใช้ วิชวล เบสิก ควบคุมผ่านทาง ไมโครคอนโทรลเลอร์

4 – Quadrant DC Motor Drive Using Visual Basic Supervised Microcontroller

นาย ธนะศักดิ์ โล่ห์สุวรรณ
นาย มนัส เสมอเหมือน
นาย อนุสรณ์ ก้อนทอง
นาย อัฐชา เฮืองฮุง

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา
ดร. สมภพ ผลไม้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62569
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549

b 11622224
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ แบบ 4 -คอร์ดแดรนท์ โดยใช้ วิชวล เบสิก ควบคุมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

นาย ธนะศักดิ์ โล่ห์สุวรรณ
นาย มนัส เสมอเหมือน
นาย อนุสรณ์ ก้อนทอง
นาย อัฐชา เฮืองฮุง

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ แบบ 4 -คอร์ดแดรนท์โดยใช้ วิชวล เบสิก ควบคุมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์

นาย ธนะศักดิ์ โล่ห์สุวรรณ
นาย มนัส เสมอเหมือน
นาย อนุสรณ์ ก้อนทอง
นาย อัฐชา เฮืองฮุง

ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการขับเคลื่อนและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีมากมายหลากหลายวิธี ซึ่งการจะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ทำรวมไปถึงความชำนาญของผู้ควบคุมด้วย เช่นเดียวกันเราปฏิเสธไม่ได้ว่าคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นการใช้คอมพิวเตอร์ร่วมในการทำงานรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงในงานอุตสาหกรรมด้วย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีวงจรชุดขับที่มี ไอจีบีที เป็นตัวสวิทช์ มีอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของมอเตอร์หน้าที่รับผลที่เกิดจากการขับเคลื่อนมอเตอร์ส่งกลับมาแสดงผลให้ได้เห็น การควบคุมการทำงานจะเป็นแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมความเร็ว รวมถึงการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีหน้าต่างโปรแกรม วิชวล เบสิก เป็นตัวควบคุม โดยสามารถที่จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานหรือดูผลของการทำงานผ่านทางตัวโปรแกรมนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 – Quadrant DC Motor Drive Using Visual Basic Supervised Microcontroller

Tanasak Losuwan
Manut Samermean
Anusorn Konthong
Autcha Haunghoong

Asst. Prof. Dr. Supat Kittiratsatcha Advisor
Dr. Sompob Polmai Advisor
2005

ABSTRACT

Nowadays, there are lots of methods of driving and supervising DC motor and the most effecient way normally depends on each application and also operator's skills. We cannot deny that computers play an important role in every day lives comparing to the past. Computer is used widely in every field including industrial fields and it tends to be used more and more because the computer's efficiency develops all the time.

This thesis proposes how to drive and supervise a DC motor by using a microcontroller. IGBTs are used for the switching devices. Speed and position of the motor are collected by an incremental encoder and displayed on the computer screen. The feedback control is implemented in Visual Basic Program using PI Controller. Several parameters are shown on the screen including user interface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งนั้น การที่จะพยามยามทำให้งานสำเร็จออกมาด้วยดีนั้น จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายๆส่วน ซึ่งส่วนที่สำคัญที่สุดเป็นที่รู้กันดีก็คือความมุ่งมั่นและความพยายามศึกษาและค้นคว้าของตนเองหรือในกลุ่ม แต่ก็มีอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญไม่แพ้กัน คือ ความร่วมมือและคำปรึกษาจากบุคคลรอบข้าง ซึ่งหากบุคคลหรือกลุ่มคนใดมีการประสานงานที่ดีหรือได้รับคำแนะนำ ติชม รวมไปถึงกำลังใจที่ดีจากบุคคลรอบข้างแล้วนั้น งานที่กระทำก็จะประสบความสำเร็จด้วยดีเสมอมา

ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สมบูรณ์เป็นแน่ หากขาดคำแนะนำที่ดีและข้อคิดดีๆ ในการทำงานจากบุคคลที่จะกล่าวถึงในต่อไปนี้

อันดับแรกคือท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ ผศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา และ ดร.สมภพ ผลไม้ ที่กรุณาช่วยเหลือและชี้แนะ เอาใจใส่ รวมไปถึงให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ที่ลืมไม่ได้คือ พี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่น่ารักทุกท่าน โดยเฉพาะพี่เอก พี่แจ็ค และพี่เอกวัฒน์ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และความเป็นกันเองอย่างดีที่สุด ทำให้บรรยากาศในการทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น ซึ่งในส่วนนี้รวมไปถึงเพื่อนๆ คนอื่นๆ ที่ร่วมทำโครงงานอยู่ในห้องเดียวกันที่มีส่วนทำให้บรรยากาศในการทำงานเป็นไปอย่างยอดเยี่ยม

ต่อมาคือกลุ่มเพื่อนและบุคคลอื่นๆ ที่ทางกลุ่มเคารพและขอความช่วยเหลือ ซึ่งได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีเสมอมา ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายที่สำคัญที่สุดก็คือ บิดา มารดา และครอบครัว อันเป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้าทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและสอบถามในการทำงานอยู่เสมอ รวมทั้งการดูแลเอาใจใส่และสนใจในการดำเนินชีวิตของพวกข้าพเจ้าทุกคนในทุกๆ ด้านของชีวิต ข้าพเจ้าทุกคนขอระลึกถึงในพระคุณอันหาสิ่งตอบแทนมิได้ จึงขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่สุด มา ณ ที่นี้

นายธนะศักดิ์ โล่ห์สุวรรณ
นายมนัส เสมอเหมือน
นายอนุสรณ์ ก้อนทอง
นายอัฐชา เฮืองฮุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I
ABSTRACT.....II
สารบัญ.....III
สารบัญรูป.....VI
สารบัญตาราง.....XI
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor).....4
2.1.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....6
2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่.....6
2.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแม่เหล็กถาวร.....7
2.2 ไอจีบีที.....10
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....13
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2.....13
2.3.2 Programmable Counter Array (PCA).....15
2.3.3 รีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยพีซีเอ.....16
2.4 โปรแกรม วิชวล เบสิก.....19
2.5 การสื่อสารผ่านทางพอร์ทอนุกรม.....21
2.5.1 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม.....21
2.5.2 จังหวะเวลาของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม.....22
2.5.3 การเชื่อมต่อพอร์ทอนุกรมมาตรฐานRS-232.....24
2.5.4 ไอซี MAX 232.....25
2.5.5 การสื่อสารผ่าน serial port ของโปรแกรม visual basic.....26
2.5.6 การสื่อสารผ่าน พอร์ทอนุกรม ของไมโครคอนโทรเลอร์.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเดอร์แบบ incremental..... 36
2.6.1 ความละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์แบบ incremental..... .38
2.6.2 เอาท์พุทของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์แบบ incremental..... .39
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบวงจร..... 40
3.1 วงจรควบคุม..... 40
3.1.1 การควบคุมป้อนกลับเบื้องต้น..... 40
3.1.2 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพี..... 42
3.1.3 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดไอ..... 43
3.1.4 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ..... 43
3.1.5 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีดี.....45
3.1.6 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอดี.....47
3.1.7 วงจรเดดไทม์.....48
3.1.8 วงจรขับไอจีบีที.....49
3.2 วงจรกำลัง 50
3.2.1 DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE 50
3.3 การออกแบบในส่วนของโปรแกรม วิชวล เบสิก.. 54
3.3.1 Form Object 54
3.3.2 Frame Object 55
3.3.3 Option Object 56
3.3.4 Text Box Object 57
3.3.5 Label Object 57
3.3.6 Command Button Object 58
3.3.7 Picture Object 59
3.3.8 Timer Object 60
บทที่ 4 การทดลอง 61
4.1 การทดสอบจับสัญญาณของวงจรเดดไทม์ 61
4.2 การทดสอบจับสัญญาณที่ออกจากวงจรชุดขับและวงจรกำลัง 62
4.3 การทดลองแบบวงรอบปิด 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์โครงงาน.....67
5.1 **สรุปโครงงาน**.....67
5.2 **ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไข**.....68
5.3 **แนวทางการพัฒนา**.....69
ภาคผนวก
เอกสารอ้างอิง
กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานและการควบคุมโดยรวม.....2

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....5

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม.....5

2.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน.....7

2.4 แม่เหล็กถาวรที่ใช้เป็นสเตเตอร์ในการสร้างสนามแม่เหล็ก.....8

2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....8

2.6 คุณลักษณะ ของ แรงบิด-ความเร็วรอบ $V_{t1} > V_{t2} > V_{t3} > V_{t4}$ โดยที่ V_{T4} คือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด.....9

2.7 สมรรถภาพของแรงบิด-ความเร็วแบบต่อเนื่อง.....9

2.8 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในโครงงาน.....10

2.9 สัญลักษณ์ของไอจีบีที.....11

2.10 ภาพตัดขวางโครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที.....11

2.11 ลักษณะทั่วไปภายนอกของไอจีบีที.....12

2.12 ไอจีบีทีรูปแบบต่างๆ.....12

2.13 ลักษณะภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2.....14

2.14 ลักษณะการทำงานของขาต่างๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2....14

2.15 บอร์ดพีซีเอ โมดูล ของ ETT พร้อมอุปกรณ์.....15

2.16 บล็อกการทำงานของ 8 bit pulse width modulator.....18

2.17 หน้าต่างพื้นฐานของ วิชวล เบสิก ให้เลือกโหมดการทำงาน.....19

2.18 หน้าต่างพร้อมอุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานของ วิชวล เบสิก.....20

2.19 การส่งข้อมูล ในหนึ่งจังหวะของช่วงเวลาจะส่งข้อมูลออกพร้อมกันทั้ง 8 บิต.....21

2.20 การส่งข้อมูลอนุกรม ในหนึ่งจังหวะของช่วงเวลาจะส่งข้อมูลออก 1 บิต.....22

2.21 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที.....23

2.22 ส่งข้อมูล 8 บิตพร้อมบิตเริ่มต้น,บิตพาริตี้,บิตหยุด ความเร็ว 9600 บิต/วินาที...24

2.23 แรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะ"1"และ "0".....24

2.24 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232 และการต่อใช้งาน.....25

2.25 ขั้นตอนการเลือกฟังก์ชั่น MSComm มาใช้งาน.....26

2.26 เลือกฟังก์ชั่น Microsoft Comm Control 6.0 ใน Components.....27

2.27 ลาก Control ชื่อ Microsoft Comm จาก ToolBox มาไว้บน Form.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.28 แสดงสัญญาณการรับและส่งข้อมูลในโหมด 0.....30
2.29 แสดงสัญญาณการส่งข้อมูลในโหมด 1.....31
2.30 แสดงสัญญาณการส่งข้อมูลในโหมด 2.....31
2.31 แสดงบิตต่าง ๆของรีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register).....32
2.32 แสดงรีจิสเตอร์ PCON เพื่อกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล.....32
2.33 อัตรารับส่งโหมด 0 = ความถี่สัญญาณนาฬิกา หาร12.....32
2.34 รับส่งโหมด 2 = ความถี่สัญญาณนาฬิกา หาร 32 หรือหาร 64.....33
2.35 การแยกประเภทของเอนโค้ดเดอร์.....36
2.36 โครงสร้างและสัญญาณของอินคริเม้นท์เอนโค้ดเดอร์.....37
2.37 ลักษณะชนิดของแผ่นจานหมุนที่แบ่งช่องให้แสงผ่าน.....38
2.38 จานหมุนของเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ มีความละเอียด 400.....38
2.39 การติดตั้งจานหมุนและตัวเซ็นเซอร์แสง.....39
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานและการควบคุมโดยรวม.....40
3.2 การควบคุมแบบลูปเปิด.....41
3.3 การควบคุมแบบลูปปิด.....42
3.4 แผนภาพกรอบของตัวควบคุมชนิดพี.....42
3.5 แผนภาพกรอบของตัวควบคุมชนิดไอ.....43
3.6 การใช้ตัวควบคุมแบบ PI.....44
3.7 สัญญาณเข้าฟังก์ชั่นหนึ่งหน่วย.....44
3.8 สัญญาณออกของตัวควบคุม..... 44
3.9 บล็อกไดอะแกรมของโครงงานที่ใช้แบบ PI.....45
3.10 การใช้ตัวควบคุมแบบ PD.....46
3.11 สัญญาณที่เข้าฟังก์ชั่นแรมป์หนึ่งหน่วย.....46
3.12 สัญญาณออกของตัวควบคุม.....46
3.13 การใช้ตัวควบคุมแบบ PID.....47
3.14 สัญญาณที่เข้าฟังก์ชั่นแรมป์หนึ่งหน่วย.....47
3.15 สัญญาณออกของตัวควบคุม.....48
3.16 วงจรเดดไทม์.....48
3.17 วงจรชุดขับของไอจีบีที.....49
3.18 การควบคุม 4 คอร์ดแดรนท์.....50
3.19 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q1 , Q2 ทำงาน.....51
3.20 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q3 , Q4 ทำงาน พร้อม D1 , D2..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.21 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q3 , Q4 ทำงาน 52
3.22 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q1 , Q2 ทำงาน พร้อม D3 , D4.....53
3.23 แถบเครื่องมือ (Tool Box) และอุปกรณ์พื้นฐานบนหน้าต่างโปรแกรม.....54
3.24 ฟอร์มที่ปรากฏขึ้นมาเมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม.....55
3.25 การเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์โดยใช้ Option ร่วมกับ Frame.....56
3.26 Text Box สำหรับใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการโดยวางอยู่ใน Frame.....57
3.27 ปุ่มกด RUN และ STOP โดยใช้ Command Button Object.....59
3.28 กราฟแสดงค่าความเร็วรอบที่สร้างจาก Picture Object.....60
4.1 ส่วนช่วงเดดไทม์ที่อยู่ประมาณ 3 μS.....61
4.2 สัญญาณที่ออกจากชุดขับและช่วงเดดไทม์.....62
4.3 การจับสัญญาณที่ออกจากชุดวงจรกำลังที่พร้อมไปขับมอเตอร์.....63
4.4 กราฟแสดงผลตอบชั่วครู่ของความเร็วรอบมอเตอร์
เมื่อตั้งค่าความเร็วที่ 300 rpm.....64
4.5 กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วจาก
150 rpm ไปยัง 320 rpm.....64
4.6 กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วจาก
300 rpm ไปยัง 150 rpm.....65
4.7 กราฟความเร็วรอบที่ลดลงสู่ศูนย์.....66
4.8 ลักษณะของกระแสเทียบกับแรงดันขณะปรับความเร็วมอเตอร์.....66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อัตรารับส่งข้อมูลที่กำหนดจากการใช้ ไทม์เมอร์1 เมื่อใช้บอดเรทมาตรฐาน.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในภาคของงานอุตสาหกรรมนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปประเภทของมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนั้น มีอยู่ หลัก ๆ 2 ประเภท คือ มอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์กระแสสลับ ซึ่งการนำไปใช้งานก็จะแตกต่างกันไป ซึ่งงานแต่ละงานและมอเตอร์แต่ละประเภทก็มีการควบคุม ที่แตกต่างกันไป

เทคนิคการควบคุมแบบ DC – DC CONVERTER FULL- BRIDGE ซึ่งใช้สวิทช์เป็นไอจีบีที 4 ตัว เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยให้สวิทช์ไอจีบีทีทำงานเป็นคู่ มีโหมดการทำงานเป็น 4 คอร์ดแดรนท์ ซึ่งสามารถที่จะสั่งหรือกำหนดให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ รวมไปถึงการเบรกและเพิ่ม – ลด ความเร็วรอบตามความต้องการหรือตามขนาดของภาระไฟฟ้าหรือภาระทางกลที่ต่ออยู่กับมอเตอร์ได้

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลคำสั่ง นั้นก็เป็นแนวทางที่ใช้กันมาก เพราะว่าส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างสูง มีขนาดเล็กกะทัดรัด มีระบบการรับ – ส่งข้อมูลค่อนข้างรวดเร็ว การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาร่วมกับชุดขับที่เป็นวงจรฟูลบริดจ์ ซึ่งใช้ไอจีบีทีเป็นสวิตช์ นั้นจะช่วยทำให้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำได้สะดวกมากขึ้น

โปรแกรม วิชวล เบสิก (visual basic) เป็นอีกโปรแกรมหนึ่งในปัจจุบันที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่โดยทั่วไปจะพบว่าในการใช้โปรแกรมมาร่วมกับการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ยังมีไม่มากนัก ทั้งที่การนำมาใช้ร่วมกันนั้น จะทำให้เกิดความสะดวกในการควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์มากขึ้นไปอีก

ในระบบการตรวจสอบหรือการตรวจวัดตำแหน่งในงานที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวทำงานนั้น การใช้เอนโค้ดเดอร์ เซ็นเซอร์ เป็นตัวตรวจจับเป็นที่นิยมใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งชนิดของมันนั้นมีหลากหลายชนิด แต่ชนิดที่เหมาะสมกับโครงงานนี้จะเป็นแบบตรวจสอบด้วยเซ็นเซอร์ และจานหมุน ซึ่งจากการตรวจสอบจะทำให้เราทราบว่าค่าต่าง ๆ ที่มอเตอร์ทำงานอยู่มีลักษณะอย่างไร ทำให้เรารู้ถึงการทำงานและประสิทธิภาพ ความเหมะสมในการทำงานนั้นๆ ได้

ดังนั้นในโครงงานนี้จึงนำส่วนหลักๆ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรชุดขับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์ เอนโค้ดเดอร์ และโปรแกรม วิชวล เบสิก ทั้ง 5 ส่วน มาประยุกต์ใช้ร่วมกันโดยการเชื่อมต่อและสื่อสารผ่านทาง พอร์ทอนุกรม (serial port) ของคอมพิวเตอร์ด้วยมาตรฐาน RS-232 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

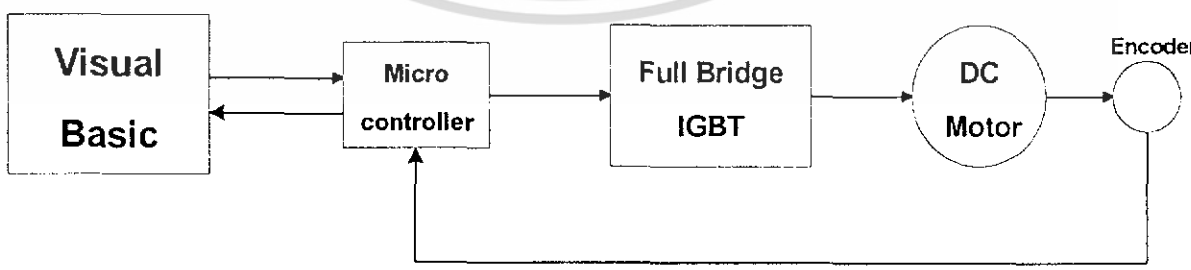
1. เพื่อศึกษาระบบการเชื่อมต่อ รับ-ส่ง ควบคุม และแสดงผลข้อมูล ระหว่างคอมพิวเตอร์กับชิ้นงานโดยผ่านทางพอร์ทอนุกรม (serial port)
2. เพื่อศึกษาระบบควบคุมแบบมีการป้อนกลับด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลผลรับ – ส่งค่าไปแสดงที่คอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม วิชวล เบสิก (visual basic) เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า
4. เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 คอร์ดแดรนท์ โดยใช้วงจร DC – DC CONVERTER FULLBRIDGE ซึ่งใช้ไอจีบีที เป็นสวิทช์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

ขอบเขตการทำงานคือการทดสอบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ชุดขับที่เป็น DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE ซึ่งใช้ไอจีบีที 4 ตัวเป็นตัวสวิตช์ ควบคุม รับ-ส่งค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดทิศทางการหมุน ความเร็วรอบ ด้วยการป้อนข้อมูลทางโปรแกรม วิชวล เบสิก และแสดงผลที่ได้ด้วยการป้อนกลับโดยใช้เอนโค้ดเดอร์ ป้อนกลับมาทางไมโครคอนโทรลเลอร์และไปแสดงผลที่ตัวโปรแกรม วิชวล เบสิก อีกครั้ง ด้วยการสื่อสารผ่านทาง พอร์ทอนุกรม (serial port)

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. เลือกหัวข้อในการทำโครงงาน
2. ศึกษาวัตถุประสงค์และขอบเขตการทำงานของโครงงาน
3. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน
4. ออกแบบและสร้างวงจรทดลองเพื่อศึกษาการทำงาน
5. ศึกษาผลการทดลองที่ได้และนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์
6. สรุปผลการทดลอง รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานและการควบคุมโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เข้าใจถึงหลักการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE โดยใช้ไอจีบีทีเป็นสวิตช์
2. ได้รับความรู้ในเรื่องการเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ทอนุกรม (serial port)
3. ทำให้รู้หลักการทำงานของระบบป้อนกลับโดยเอ็นโค้ดเดอร์และการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์
4. ได้ศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับโปรแกรม วิชวล เบสิก (visual basic)
5. สามารถนำประสบการณ์และความรู้ที่ได้จากโครงงานไปประยุกต์ใช้ได้ในงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงาน ทางกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวของการหมุน (Rotor) เมื่อเครื่องจักรแปลงรูป พลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ganerator) และถ้าเครื่องจักรกลแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ไปเป็นพลังงานทางกล เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีแรงบิดในขณะหมุนสูง เพราะตำแหน่งที่มุมระหว่าง สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมเท่ากับ 90 องศาทางไฟฟ้า ซึ่งมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไปไม่สามารถทำได้ในตำแหน่งนี้

ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซี่คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) แปรงถ่าน (Carbon Brush) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากไฟฟ้าสลับ ในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ให้เป็นไฟฟ้า กระแสตรง ออกจากตัวเครื่องจึงเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แต่เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใน จะทำให้กระแสจากภายนอกเข้าตัวเครื่องจักร ซึ่งซี่คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่ที่แตกต่างกัน ก็จะมีกระแสไหลในทิศทางตรงข้ามกันจะทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน จะเห็นได้ว่าในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งนั้นสามารถเป็นได้ทั้ง มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์

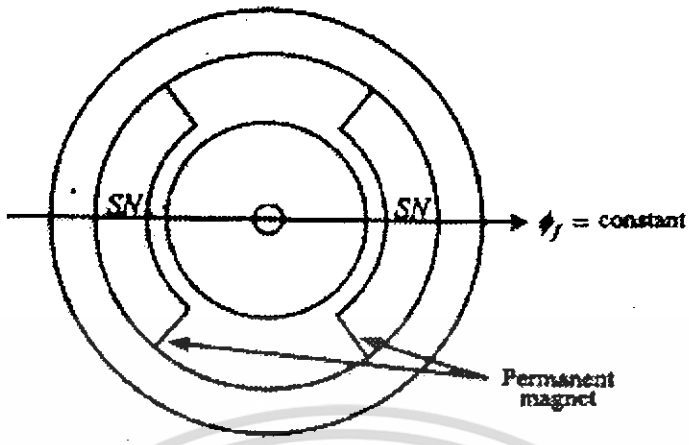
การแบ่งประเภทตามการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

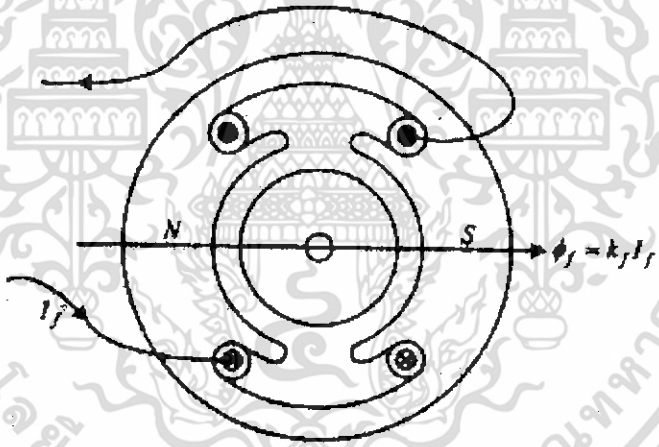
2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ หรือแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรจะมีค่าคงที่สม่ำเสมอหรือจากขดลวดสนาม (filedwinding) ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม

กระแสฟิลด์ (Fieidcurrent,I_f) จะเป็นตัวควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้ากำหนดให้สเตเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไม่เกิดการอิ่มตัวจะได้

$$\phi_f = k_f . I_f \qquad (2.1)$$

โดยที่ k_f หมายถึง ค่าคงที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก

ϕ_f หมายถึง ค่าฟลักซ์ แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโรเตอร์ (Rotor) จะมีขดลวดพันรอบตัวโรเตอร์ซึ่งขดลวดดังกล่าว เรียกว่า ขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature Winding) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์

แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) ดังสมการที่ 2.2

$$T_{em} = k_t . \phi_f . i_a \qquad (2.2)$$

โดยที่ K_t หมายถึงค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (back – emf) ในส่วนของ อาร์เมเจอร์จะเกิดจากการหมุนตัวนำของอาร์เมเจอร์ด้วยความเร็ว ω_m ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_f

$$e_a = k_e . \phi_f . \omega_m \qquad (2.3)$$

โดยที่ k_e หมายถึงค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

อย่างไรก็ตาม ในหน่วย SI ค่า k_t และ k_e จะมีค่าเท่ากันซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากสมการสมดุลพลังงาน โดยกำลังไฟฟ้า ($e_a . i_a$) เท่ากับกำลังไฟฟ้า ทางกล ($\omega_m . T_{em}$) จะได้

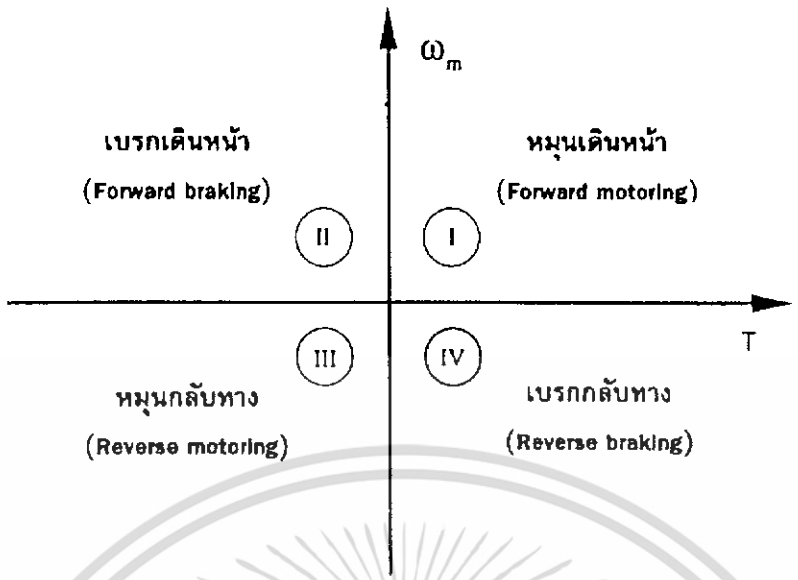
$$P_e = e_a . i_a = k_e . \phi_f . \omega_m . i_a \qquad (2.4)$$

และกำลังไฟฟ้าทางกลเท่ากับ

$$P_m = \omega_m . T_{em} = \omega_m . k_t . \phi_f . i_a \qquad (2.5)$$

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถทำงานหรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ แต่โดยทั่วไปจะไม่นิยมนำมาใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามในขณะที่ทำการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ก็จะเกิดสภาวะเสมือนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่ความเร็วลดลง ดั้งนั้นขณะที่มอเตอร์เบรกจำเป็นต้องพิจารณาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กคงที่และมอเตอร์กำลังขับโหลดคงที่มีความเร็วเท่ากับ ω_m และเพื่อที่จะลดความของความเร็วของมอเตอร์เพื่อที่จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า V_t มีค่าต่ำ กว่าค่าแรงแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a จะส่งให้ i_a ไหลกลับทิศทาง ค่าแรงบิด T_{em} จะกลับทาง เช่นกัน นอกจากนั้นพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงเฉื่อยของโหลดก็จะแปลงเป็นพลังไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จะจ่ายไปแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_t หรืออยู่ในรูปของความร้อนโดยใช้ตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

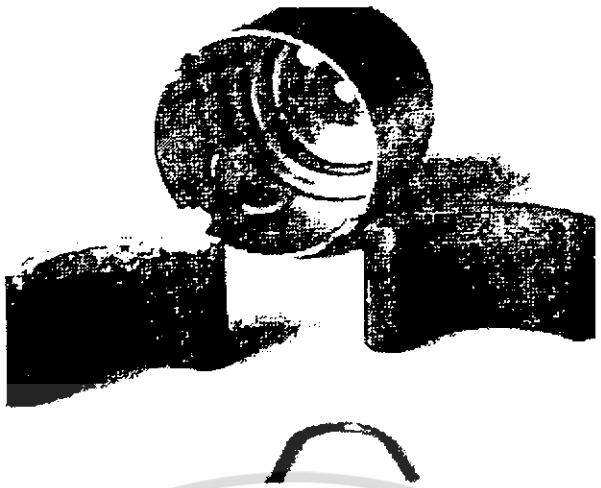
ขณะที่มอเตอร์ทำการเบรกนั้น ขั้วของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะทิศทางการหมุนยังคงเหมือนเดิม ยังคงใช้สมการเดิมได้ ในการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับได้ และเมื่อของโรเตอร์ลดลง เป็นผลให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับลดลง (ϕ_f มีค่าคงที่) จนกระทั่งมอเตอร์หยุดหมุนและถ้าขั้วของแหล่งจ่ายเปลี่ยนไปก็จะมีผลทำให้ทิศทางหมุนของมอเตอร์เปลี่ยนไป

ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถทำงานได้ในทิศทางได้ทิศทางหนึ่ง และเมื่อทำการเบรก แรงบิดของตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถกลับทิศทางได้ จากรูปที่ 2.3 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบสำหรับย่านการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

2.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet DC motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร นิยมใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก โดยที่สเตเตอร์จะใช้แม่เหล็กถาวรในการสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แม่เหล็กถาวรที่ใช้เป็นสเตเตอร์ในการสร้างสนามแม่เหล็ก

สำหรับสภาวะอยู่ตัวกำหนดให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าคงที่ พิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงและสมการ

$$T_{em} = k_T \cdot I_a \qquad (2.6)$$

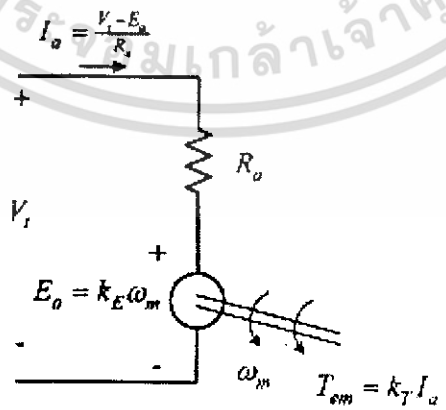
$$E_a = k_E \cdot \omega_m \qquad (2.7)$$

$$V_t = E_a + R_a \cdot I_a \qquad (2.8)$$

โดยที่ $k_T = k_t \cdot \phi_f$ และ $k_E = k_e \cdot \phi_f$

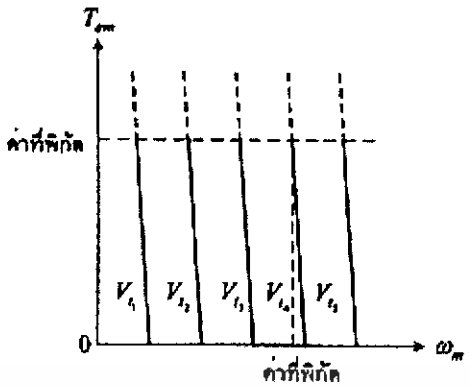
และจากสมการที่ 2.6 – 2.8 จะสามารถหาค่าความเร็วรอบ ω_m ที่สภาวะอยู่ตัวเมื่อทราบค่าแรงดัน V_t และเป็นฟังก์ชั่นของ T_{em} จะได้สมการที่ 2.9

$$\omega_m = 1/K_E [\ V_t - (R_a/K_t).\ Tem\ ] \qquad (2.9)$$

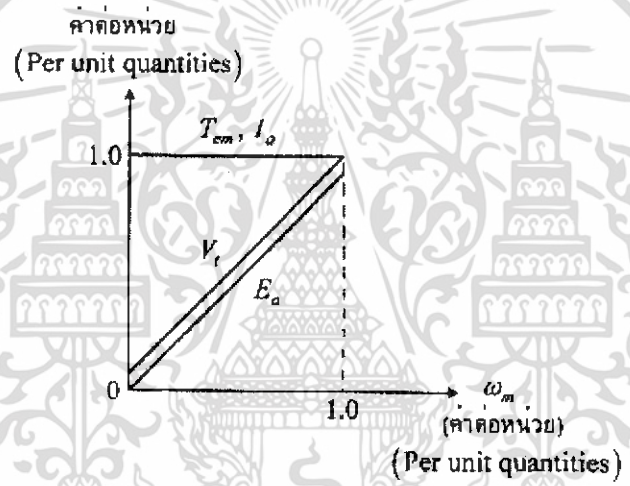


รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



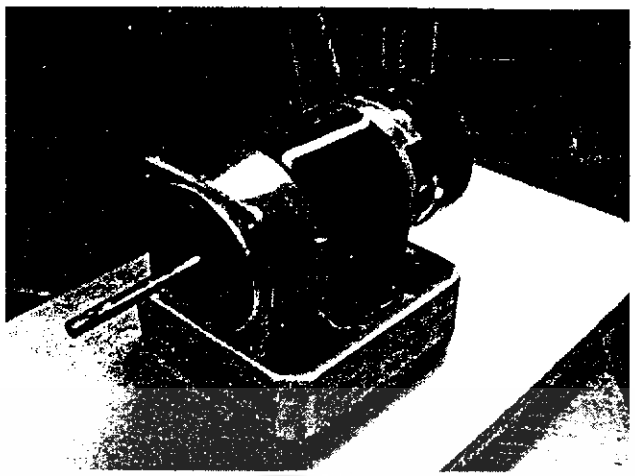
รูปที่ 2.6 คุณลักษณะ ของ แรงบิด-ความเร็วรอบ $V_{t1} > V_{t2} > V_{t3} > V_{t4}$
โดยที่ V_{T4} คือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด



รูปที่ 2.7 สมรรถนะของแรงบิด-ความเร็วแบบต่อเนื่อง

สมการที่นำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าขณะที่แรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้น คุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วรอบที่ค่าความเร็วรอบที่ค่าแรงดันคงที่ V_t ที่กำหนดจะมีรูปร่างเกือบเป็นเส้นตรงขนานกับแรงบิด T_{em} โดยความแตกต่างเพียงเล็กน้องที่เกิดขึ้น จะเกิดจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมค่าความต้านของอาร์เมเจอร์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง $I_a . R_a$ นอกจากนั้นคุณลักษณะของ แรงบิด- ความเร็วสามารถเลื่อนไปมาได้ในแนวแกนนอนได้โดยการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า V_t ดังนั้น ความเร็วรอบของโหลดที่คุณลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบใดๆ โดยจะสามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

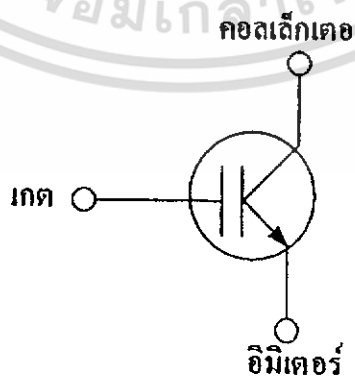


รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในโครงงาน

อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดไม่ควรสูงเกินกว่าค่ากระแสและแรงบิดที่พิกัดค่าที่เกิดกว่าค่าที่ได้แสดงไว้ด้วยเส้นประ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าให้สูงกว่าค่าที่พิกัด จะเป็นผลให้ต้องเพิ่มพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่พิกัดจะเป็นผลให้ต้องเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า V_t สูงขึ้งกว่าค่าที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้า

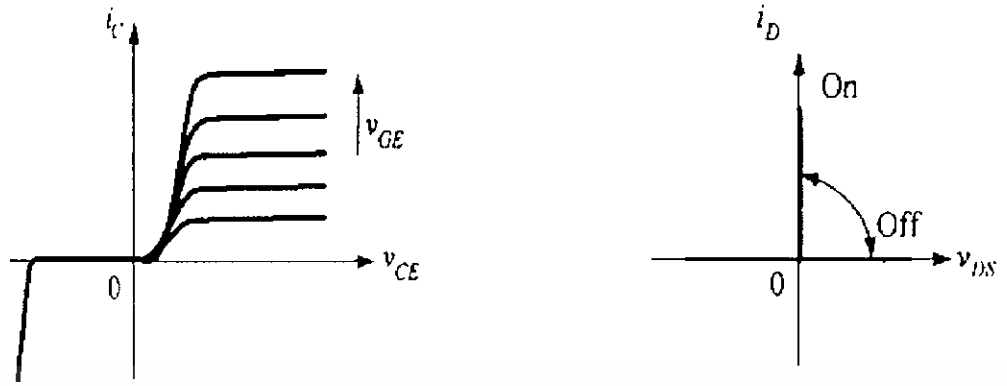
2.2 ไอจีบีที (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor)

ไอจีบีทีจัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมให้นำกระแส และควบคุมให้หยุดนำกระแสได้ โดยการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต ไอจีบีทีมีสัญลักษณ์ รูปที่ 2.9 (ก) และคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัว รูปที่ 2.9 (ข) คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติ รูปที่ 2.9 (ค) แสดงในรูปที่ 2.9 ตามลำดับ



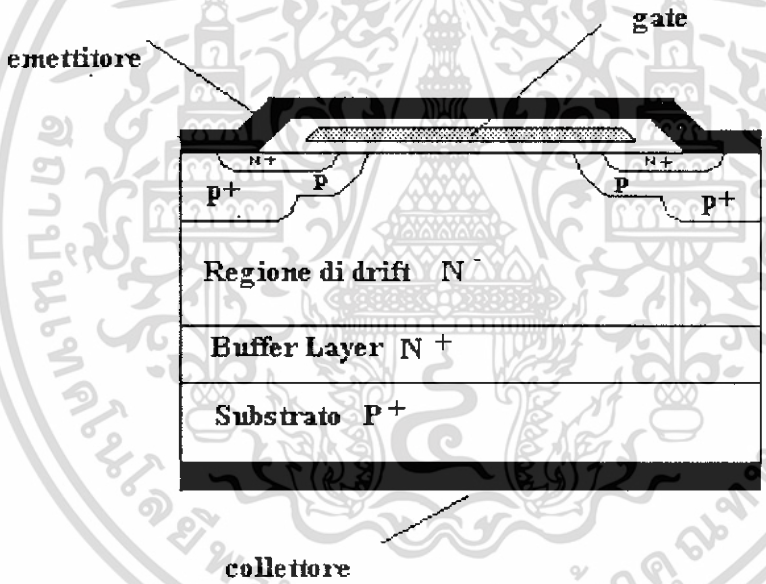
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) (ค)

รูปที่ 2.9 (ก) สัญลักษณ์ของไอจีบีที (ข) คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัว (ค) คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติ



รูปที่ 2.10 ภาพตัดขวางโครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที

โครงสร้างของไอจีบีที แสดงเป็นภาพตัดขวางดังรูปที่ 2.10 โครงสร้างรวมส่วนใหญ่จะเป็นไปในลักษณะของมอสเฟต แต่จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีทีนั้นจะมีชั้น P^+ หรือชั้น อินเจ็คติ้ง (Injecting) ต่ออยู่ระหว่างขาเดรน ซึ่งจะไม่มีในมอสเฟต ซึ่งการมีชั้นเพิ่มขึ้นมาจะทำให้ความต้านทานอินพุทที่ขาเกตมีค่าสูง โดยทั่วไปประมาณ 10^9 โอห์ม

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไอจีบีทีได้รวมข้อดีของมอสเฟตกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง และจีทีโอไทริสเตอร์ มารวมอยู่ด้วยกัน คือ

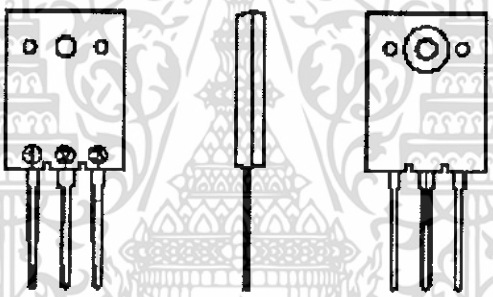
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอจีบีทีจะมีค่าอิมพีแดนซ์ขาเกตที่มีค่าสูงคล้ายมอสเฟตกำลังดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งต้องการพลังงานน้อยมากในการควบคุมการสวิทช์ ควบคุมการนำและหยุดกระแสด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต รวมทั้งสามารถใช้งานการสวิทช์ที่ความถี่สูงได้อีกด้วย

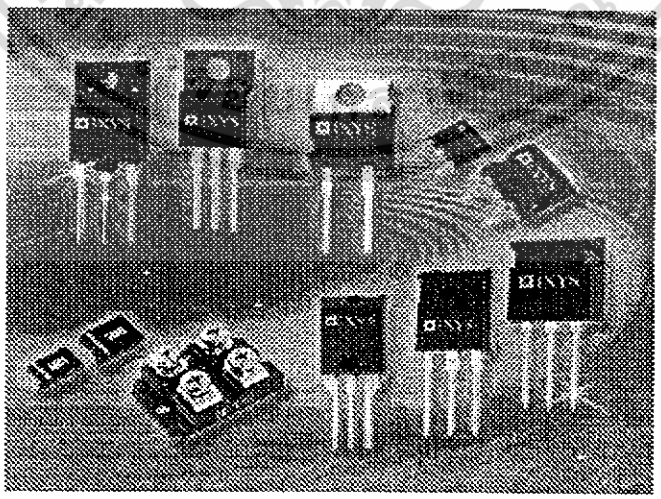
ไอจีบีทีจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำคล้ายกับตัวทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งมีค่าประมาณ 2-3 โวลท์ สำหรับพิกัดแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลท์ นอกจากนั้นไอจีบีทีจะออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบได้คล้ายกับจีทีโอไทริสเตอร์

ไอจีบีทีจะมีช่วงเวลานำกระแสและหยุดนำกระแสมีค่าประมาณ 1 ไมโครวินาที มีขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าถึง 2,000 แอมป์ และพิกัดแรงดันไฟฟ้าถึง 5,000 โวลท์

ทั้งนี้จากการศึกษาและทดลองจะพบว่า ข้อดีของไอจีบีทีนั้นมีมากมาย สามารถนำไปใช้ ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ ได้หลากหลาย ซึ่งจากคุณสมบัติเหล่านั้น มันจึงมีผลทำให้ตัวของไอจีบีทีนั้นมีราคาแพงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ตัวอื่น ซึ่งถือเป็นข้อเสียที่สำคัญข้อใหญ่ของไอจีบีที ดังนั้นการเลือกใช้งานควรจะเลือกใช้กับงานที่เหมาะสมและต้องคำนึงถึงความเสียหายที่อาจจะเกิด รวมถึงปัจจัยทางด้านต้นทุนอีกด้วย



รูปที่ 2.11 ลักษณะทั่วไปภายนอกของไอจีบีที



รูปที่ 2.12 ไอจีบีทีรูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรม หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ทำให้มันมีขนาดเล็กและสามารถที่จะเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้

ความแตกต่างของ Microcontroller กับ Microcomputer คือ Microcontroller นั้นมีสมบูรณ์ภายในตัวของมันเอง คือ มีส่วนประกอบต่างๆ ครบถ้วน ส่วน Microcomputer นั้นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ข้างเคียงที่เชื่อมต่อจากภายนอก เช่น แป้นพิมพ์ เครื่องอ่านเขียนแผ่นบันทึก หน่วยความจำ I/O ฯลฯ

ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง CPU (Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory Unit)
    - RAM (Random Access Memory)
    - EPROM/PROM/ROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
3. หน่วยรับและแสดงผลข้อมูล I/O (Input/Output) - serial and parallel
4. Timers
5. Interrupt Controller

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น Analog to Digital Converter, Pulse Width Modulator ฯลฯ ซึ่งขึ้นกับจุดประสงค์ในการใช้งาน

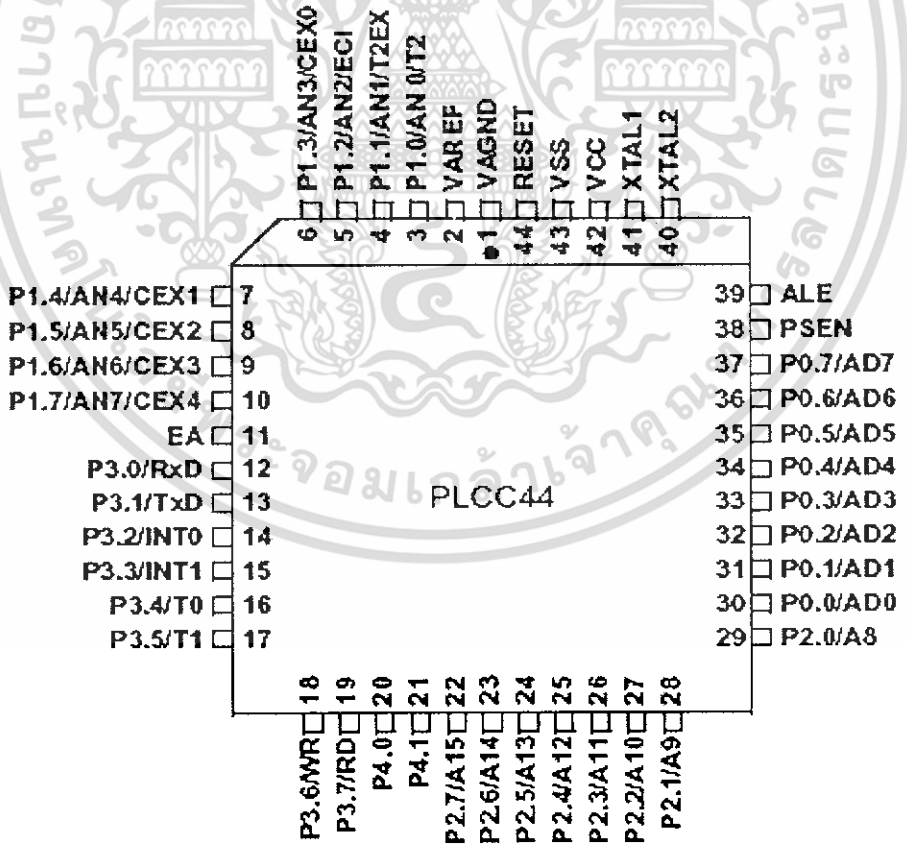
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2

AT89C51AC2 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิตความสามารถสูงหนึ่งในตระกูล 80C51 AT89C51AC2 ยังคงรูปแบบเหมือน 80C51 ประกอบด้วยแรมภายใน 256 ไบต์ พอร์ทอินเตอร์รัพท์ ไทม์เมอร์/เคาร์เตอร์ เอทูดีคอนเวอร์เตอร์ 10 บิต และพีซีเอ ทั้งยังกินพลังงานต่ำกว่า 80C51 อีกด้วย

AT89C51AC2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงาน เช่น เอทูดีคอนเวอร์เตอร์ PWM และงานควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 ลักษณะภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของขาต่างๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Programmable Counter Array (PCA)

พีซีเอสามารถใช้งานเป็นไทม์เมอร์แต่มีข้อดีกว่า คือ การเขียนโปรแก่รัมไม่ยุ่งยากและมีความเที่ยงตรงสูง โดยที่ฐานเวลาของพีซีเอสามารถโปรแกรมได้จาก 4 แหล่ง คือ

-PCA Clock frequency/6

-PCA Clock frequency/2

-Timer 0 overflow

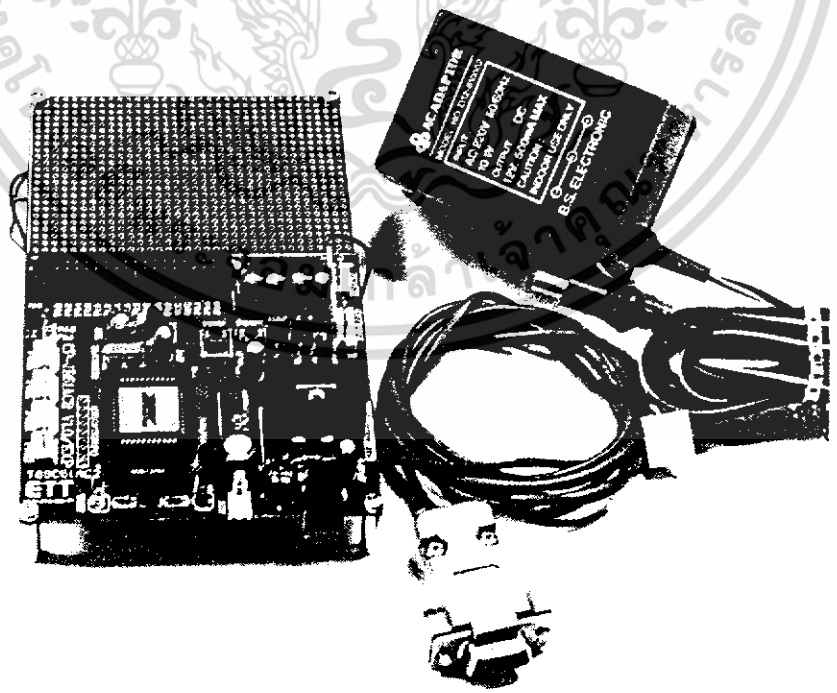
-External input ECI(P1.2)

พีซีเอ มีการทำงานทั้งหมด 6 ฟังก์ชั่น คือ

- 16 bit capture Positive edge trigger
- 16 bit capture Negative edge trigger
- 16 bit capture both Positive and Negative edge trigger
- 16 bit software timer
- 16 bit high speed output
- 8 bit pulse width modulator

Pulse Width Modulator (ในโครงงานนี้สนใจเฉพาะฟังก์ชั่น 8 bit pulse width modulator)

พีซีเอสามารถใช้งานให้เข้าออกของ พีดับเบิ้ลยูเอ็มโมดูลทั้ง 4 เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าดิวตี้เป็นอิสระต่อกัน แต่มีความถี่เดียวกันเนื่องจากแต่ละโมดูลใช้ฐานเวลาจากพีซีเอร่วมกัน



รูปที่ 2.15 บอร์ดพีซีเอ โมดูล ของ ETT พร้อมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 รีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยพีซีเอ

CKCON(Clock control Registor)

-	WDX2	PCAX2	SIX2	T2X2	T1X2	T0X2	X2

WDX2 Watchdog Clock

- 0 เลือกโหมด 6 คล๊อก
- 1 เลือกโหมด 12 คล๊อก

PCAX2 Programmable counter array

- 0 เลือกโหมด 6 คล๊อก
- 1 เลือกโหมด 12 คล๊อก

SIX2 UART Clock

- 0 เลือกโหมด 6 คล๊อก
- 1 เลือกโหมด 12 คล๊อก

T2X2 Timer2

T1X2 Timer1

T0X2 Timer0

- 0 เลือกโหมด 6 คล๊อก
- 1 เลือกโหมด 12 คล๊อก

X2 CPU Clock

- 0 เลือกโหมด 12 คล๊อก (โหมดมาตรฐาน)
- 1 เลือกโหมด 6 คล๊อก (โหมด X2)

CMOD (PCA Counter Mode)

CIDL	WDTE	-	-	-	CPS1	CPS0	ECF

CIDL PCA idle control mode

- 0 เลือกเปิดให้พีซีเอทำงานใน Idle mode
- 1 เลือกปิดให้พีซีเอไม่ทำงานใน Idle mode

WDTE Watchdog timer enable

- 0 เลือกให้ Watchdog Clock ไม่ทำงาน
- 1 เลือกให้ Watchdog Clock ทำงาน

CPS1: CPS0 EWC Count pulse select bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00 Internal clock FPca/6

01 Internal clock FPca/2

10 Timer0 overflow

11 External clock

ECF Enable PCA counter overflow interrupt bit

- 0 เลือกให้ปิดอินเตอร์รัพท์ที่ ECF ใน CMOD
- 0 เลือกให้เปิดอินเตอร์รัพท์ที่ ECF ใน CMOD

CCON(PCA Counter Control)

CF	CR	-	CCF4	CCF3	CCF2	CCF1	CCF0

CF เซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อพีซีเอเกิดโอเวอร์โฟวล์ และจะเกิดอินเตอร์รัพท์ถ้าบิต ECF ใน CMODถูกเซต

CR เซตเพื่อ เปิดการทำงานของพีซีเอ เคลียร์ปิดการทำงานของพีซีเอ

CCF4 -

CCF3 -

CCF2 -

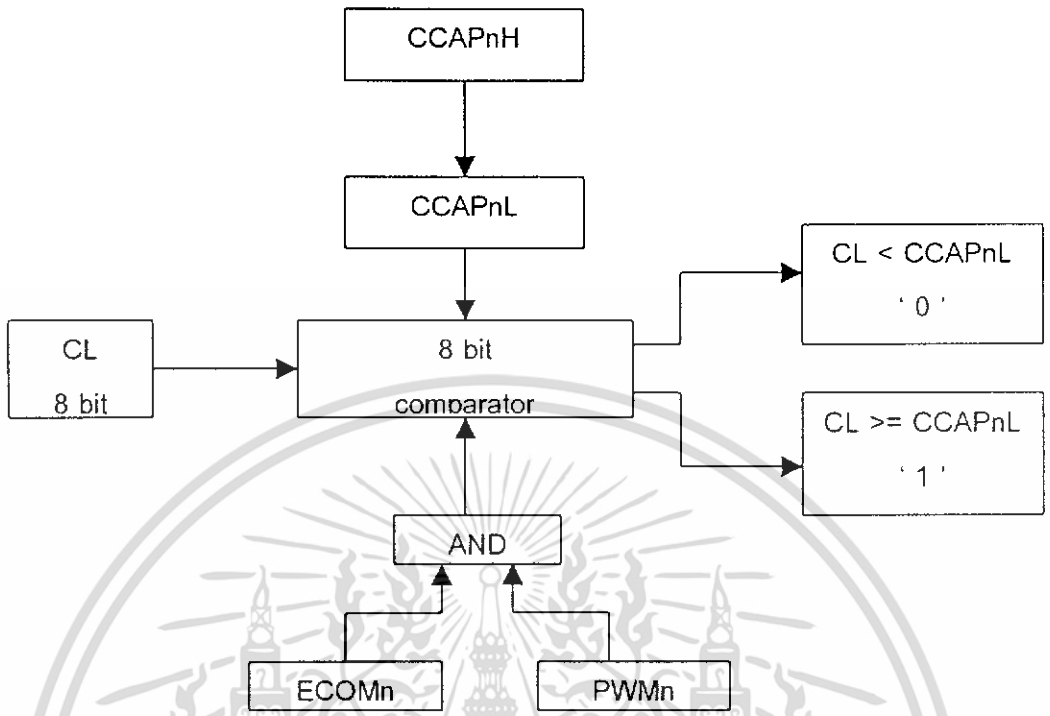
CCF0 -

CCAPnH (n = 0,1,2,3,4) PCA High byte compare/capture

CCAPnL (n = 0,1,2,3,4) PCA Low byte compare/capture

62569
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PWM Mode



รูปที่ 2.16 บล็อกการทำงานของ 8 bit pulse width modulator

ตัวอย่างโปรแกรมสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมโดยใช้ PCA

```
CKCON   EQU    08FH    ; Clock Control Register
CCON    EQU    0D8H    ; PCA Timer/Counter Control
CMOD    EQU    0D9H    ; PCA Timer/Counter Mode
CL      EQU    0E9H    ; PCA Timer/Counter Low Byte
CH      EQU    0F9H    ; PCA Timer/Counter High Byte
CCAPM0  EQU    0DAH    ; PAC Timer/Counter Mode0
ORG 0000H
MOV   CKCON, #11111110B
MOV   CMOD, #11000001B
MOV   CCAP0H, #7FH
MOV   CCAP0L, #7FH
MOV   CCAPM0, #01000010B
MOV   CCON, #01000000B
LJMP  $
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โปรแกรม วิชวล เบสิก (Visual Basic)

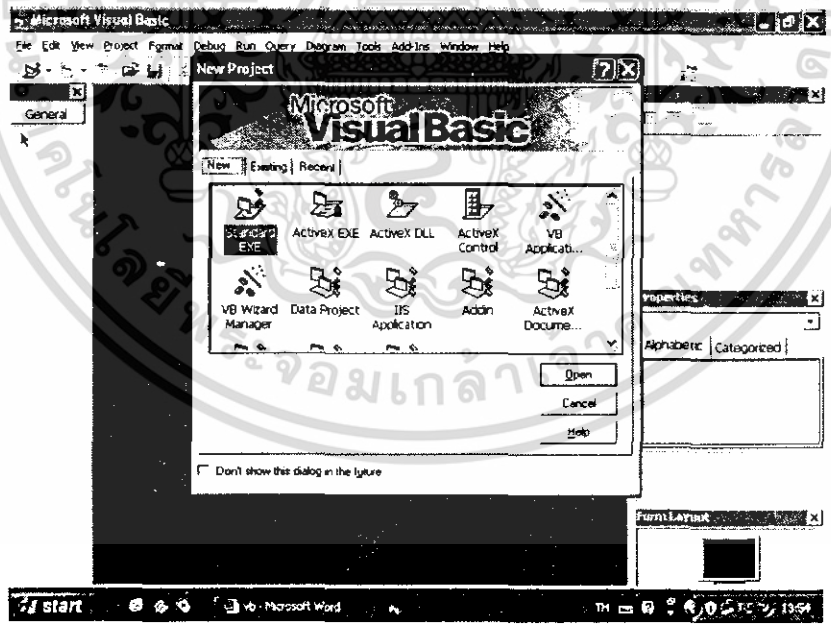
โปรแกรมวิชวล เบสิกเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน สามารถรองรับกับโปรแกรมต่างๆ ของบริษัทไมโครซอฟท์ได้เป็นอย่างดี แม้แต่ไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ เองก็ยังต้องใช้ วิชวล เบสิก สำหรับเขียนโปรแกรมต่อเติมเพื่อการทำงานในระดับสูง หรือแก้ไขส่วนที่บกพร่องเล็กๆน้อยๆ ของโปรแกรม

ในส่วนของภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนั้น พัฒนามาจากภาษาเบสิก (Basic) ซึ่งเป็นภาษาที่มีมาแต่ดั้งเดิมในสมัยที่ยังใช้ ดอส (Dos) ในการพัฒนาโปรแกรม ในตอนนั้นมีภาษาเบสิกหลายตัว อาทิ QBasic, MBasic เป็นต้น

ส่วนสำคัญที่ทำให้ วิชวล เบสิก กลายมาเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันก็เพราะตัวภาษาเบสิกถูกนำมาใช้เขียนโปรแกรมกับวินโดว์ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างสะดวก และมีความหลากหลายมากขึ้น

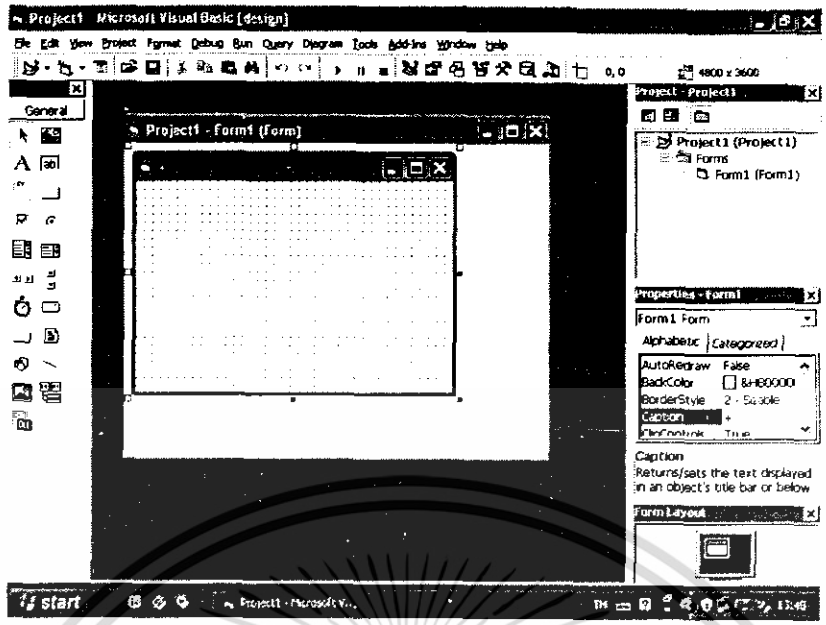
ในโครงงานนี้เลือกใช้โปรแกรมวิชวล เบสิก เวอร์ชั่น 6.0 ซึ่งเป็นเวอร์ชั่นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ทั้งในงานด้านกราฟฟิคต่างๆ รวมไปถึงการนำมาใช้ในการควบคุมในงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ อีกด้วย

นอกจากนั้นยังรวมไปถึงแหล่งความรู้ทางด้านบุคคลหรือเอกสาร หนังสือ ซึ่งมีอยู่มากมาย สำหรับเวอร์ชั่น 6.0 นี้ ทำให้เมื่อเกิดปัญหาจะสามารถแก้ได้โดยไม่ลำบากนัก รวมถึงการเพิ่มทักษะในการเขียนโค้ดต่างๆ ให้งานออกมาดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.17 หน้าต่างพื้นฐานของ วิชวล เบสิก ให้เลือกโหมดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 หน้าต่างพร้อมอุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานของ วิชวล เบสิก

<u>คุณสมบัติเด่นๆ ของวิชวล เบสิก</u>

นอกจากความง่ายและความสะดวกสบายในการใช้และศึกษาโปรแกรมแล้ว วิชวล เบสิก มีข้อดีเด่นๆ ที่พอสรุปได้ ดังนี้

1. ใช้เขียนโปรแกรมได้ทั้งวินโดว์และเว็บ วิชวล เบสิก ในเวอร์ชันหลังๆ ได้รับการพัฒนาให้สามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานได้ทั้งบนวินโดว์และบนอินเตอร์เน็ต โดยที่ผู้สนใจเขียนโปรแกรมบนวินโดว์สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่ตนมีอยู่ในการพัฒนาเว็บแอ็พพลิเคชันได้ง่าย โดยสามารถเรียนรู้ VB Script ซึ่งเป็นภาษาในตระกูลวิชวล เบสิก ได้อย่างรวดเร็ว

2. แก้ไขโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้ง่าย ในบางครั้งการเขียนโปรแกรมอาจจะมีข้อผิดพลาด การแก้ไขหรือปรับปรุงในภายหลังของวิชวล เบสิก นั้นทำได้ง่ายโดยมีเครื่องมือต่างๆ คอยช่วยเหลืออยู่

3. มีเอกสารให้ศึกษาอ้างอิงมาก จากที่กล่าวมาแล้วว่าโปรแกรม วิชวล เบสิก เป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน เมื่อมีปัญหาหรือข้อสงสัยเกิดขึ้นจะหาคำตอบได้ง่ายจากผู้มีความรู้รวมทั้งเอกสารในรูปแบบต่างๆ รวมถึงจากเว็บไซต์ของไมโครซอฟท์และเว็บไซต์อื่นๆ ด้วย

4. เป็นโปรแกรมที่มีอนาคต วิชวล เบสิก นั้นเป็นภาษาเขียนโปรแกรมที่ไมโครซอฟท์ถือว่าเป็นภาษาที่สำคัญมาก จึงถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง คาดว่าเวอร์ชันใหม่ๆ จะถูกเพิ่มความสามารถอย่างมาก ทั้งตัวภาษาและตัวผลงานที่ได้จากการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสื่อสารผ่านทางพอร์ทอนุกรม (Serial Port Communication)

ในอดีตนั้นการเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์มีความเฉพาะตัวเป็นอย่างยิ่ง การควบคุมในอดีตควบคุมผ่านภาษา Assembly ซึ่งเป็นภาษาที่ผูกติดกับฮาร์ดแวร์มาก แม้จะให้ผลการทำงานดี แต่การเขียนและการแก้ไขโปรแกรมทำได้ยากมากเพราะ Assembly เป็นภาษาที่ทำความเข้าใจยากมากและเป็นภาษาที่ไม่เป็นโครงสร้าง

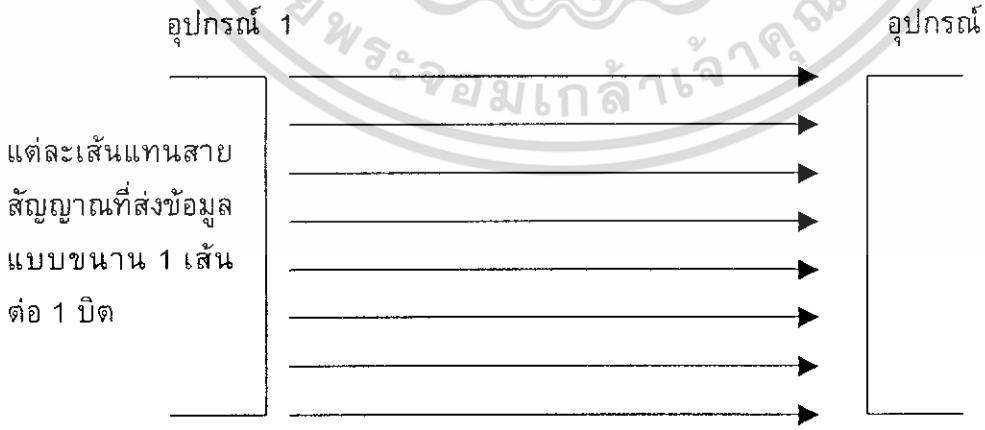
ต่อมาเราได้ใช้งานภาษาโปรแกรมยุคใหม่ๆ เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นภาษา C, Pascal ซึ่งภาษา C จะได้รับความนิยมมากเพราะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ Assembly และเข้าใจได้ง่ายกว่า

แต่ในยุคปัจจุบัน การเขียนโปรแกรมส่วนใหญ่จะเป็นการเขียนโปรแกรมแบบติดต่อกับผู้ใช้ซึ่งจะเขียนโปรแกรมได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้ภาษาโปรแกรมอย่าง Visual Basic, Visual C++, Delphi เป็นที่นิยมอย่างมาก ทำให้มีความพยายามที่จะนำเอาภาษาโปรแกรมยุคใหม่ๆ เหล่านี้มาใช้ในการติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ แม้ว่าในระยะแรกจะลำบากแต่ปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้ครอบคลุมเกือบทั้งหมดแล้ว

ในโครงงานนี้จะใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับฮาร์ดแวร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม โดยอ้างอิงมาตรฐาน RS – 232 ใช้โปรแกรมวิชวล เบสิก เป็นหลัก

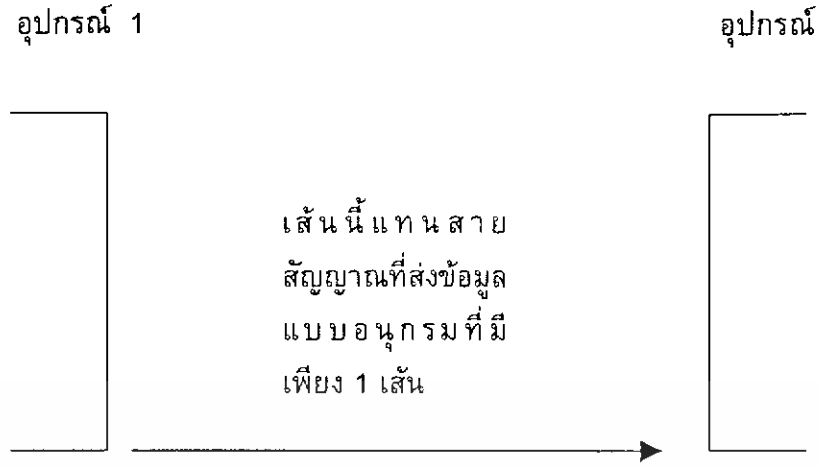
2.5.1 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

ข้อมูลในการสื่อสารที่เราใช้อยู่นี้ จะเป็นข้อมูลที่มีความยาวขนาด 1 ไบต์ ที่ประกอบด้วย 8 บิตซึ่งโดยปกติถ้าเราจะให้ส่งข้อมูลพร้อมๆกันไป 8 บิตจะเป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบขนาน แสดงได้ดังรูป 1 จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด 8บิตพร้อมกันไปยังอุปกรณ์ภายนอก และจะต้องมีจำนวนของสายสัญญาณจำนวน 8 เส้น เพื่อให้พอดีกับจำนวนของบิตที่ต้องการจะส่ง การส่งข้อมูลแบบขนานจึงทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความรวดเร็ว แต่ถ้าหากมีการสื่อสารข้อมูลในระยะไกลก็จะต้องใช้จำนวนของสาย และระยะทางของสายมากขึ้นจึงทำให้มีการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง



รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลแบบขนาน ในหนึ่งจังหวะของช่วงเวลาจะส่งข้อมูลออกพร้อมกัน 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การส่งข้อมูลอนุกรม ในหนึ่งจังหวะของช่วงเวลาจะส่งข้อมูลออก 1 บิต

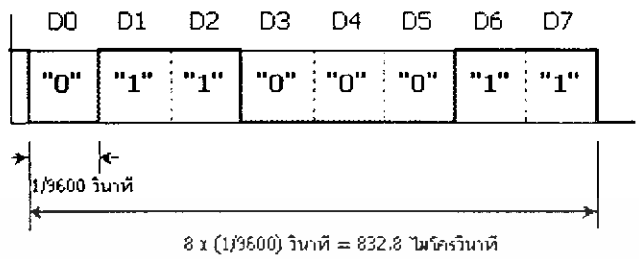
ดังนั้นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมจึงถูกนำมาใช้ ในการสื่อสาร โดยจะใช้สายเพียงเส้นเดียวในการส่งข้อมูล หรือรับข้อมูล (คำว่าเส้นเดียวหมายความว่าสายส่ง(TxD) 1 เส้น สายรับ (RxD) 1 เส้น และสายกราวน์ด รวม(Ground) 1 เส้น) นำมาใช้สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกในระยะทางที่ไกล ดังนั้น ถ้าหากต้องการส่งข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ก็จะทำการส่งข้อมูลออกไปทีละบิตเป็นลำดับไป จนกว่าจะครบจำนวนทั้ง 8 บิต แล้วก็จะเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งไปตามสายสัญญาณที่ละบิตตามจังหวะเวลาที่กำหนด เป็นความกว้างของพัลส์ โดยจังหวะเวลาที่กล่าวนี้จะต้องมีมาตรฐานและเท่ากันของทั้งฝ่ายส่ง และฝ่ายรับด้วย ในการรับสัญญาณที่ส่งมาทีละบิต จะทำการตรวจสอบระดับแรงดันของสัญญาณที่เข้ามาเพื่อแปลงเป็นลอจิก "0" หรือ "1" เมื่อรับข้อมูลเข้ามาครบใน 1 ไบต์ที่กำหนดไว้ ก็จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบขนานเหมือนเดิม

2.5.2จังหวะเวลาของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม เพื่อรับหรือส่งข้อมูล จะเป็นลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่มาตรฐาน ดังนั้นอัตราความเร็วจะต้องมีค่าเท่ากันระหว่างการรับและการส่งโดยทั่วไปเราจะระบุความเร็วของจำนวนบิตในการรับและส่งข้อมูล เป็นจำนวนของบิตที่จะส่งใน 1 วินาที โดยเรียกความเร็วในการส่งข้อมูลว่า อัตราบอด (Baud Rate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที เช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800 และ 9,600 บิตต่อวินาที ในรูป 3 ถ้าหากมีการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ 1/9600 หรือ 104.1 ไมโครวินาที และเวลาในการรับส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตจะมีค่าเท่ากับ 8 x 104.1 หรือ832.8 ไมโครวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.21 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เป็นวิธีการรับและส่งข้อมูลโดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกาส่งร่วมไปด้วย แต่จะใช้อัตราความเร็วของจำนวนข้อมูลต่อวินาที และจะทำการเพิ่มบิตข้อมูลบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริง เพื่อจะได้ทำการตรวจสอบข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1 . บิตเริ่มต้น (Start bit) จะมีขนาด 1 บิต จะเป็นละดับลอจิกตรงกันข้ามกับระดับลอจิก ของสภาวะสายสื่อสาร ขณะที่ยังไม่มีการส่งข้อมูล

2 . บิตข้อมูล (Data bit) จะเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดก่อนหรือ บิต LSB ก่อน โดยข้อมูลที่จะส่งอาจจะมีขนาด 5 ,6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้

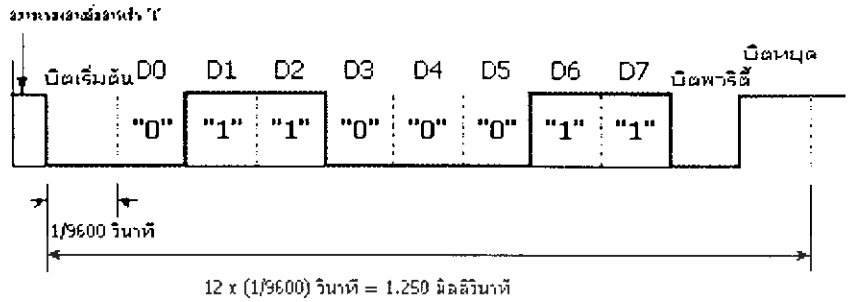
3. บิตแสดงสภาวะเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตโดยบิตนี้จะนำไปต่อท้ายกับบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของข้อมูลที่เป็น "1" โดยเลือกการส่งข้อมูลเป็นแบบ พาริตี้คู่ หรือ พาริตี้คี่ ตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้มีการส่งข้อมูลแบบพาริตี้คู่ แต่ข้อมูลมีเลข 1 เป็นจำนวนคี่ ก็จะให้บิตพาริตี้นี้เป็น "1"เพื่อจะได้จำนวนเลข "1" เป็นคู่นั้นเอง ทำนองเดียวกันทางด้านรับเองก็ต้องมีการตรวจสอบจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาเป็น "1" รวมทั้งบิตพาริตี้ 1 บิต ถ้ามีค่า "1"เป็นจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามาถูกต้อง

**** สามารถกำหนดการรับและส่งข้อมูลเป็นแบบ NONE โดยไม่ต้องมีการตรวจสอบพาริตี้บิตก็ได้

4. บิตสุดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) เป็นการระบุถึงขอบเขตของการสิ้นสุดข้อมูล โดยจะทำให้ขาข้อมูลมีสถานะ ลอจิกเป็น "1" ซึ่งอาจมีจำนวนมากกว่า หนึ่งบิตก็ได้ เช่น 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

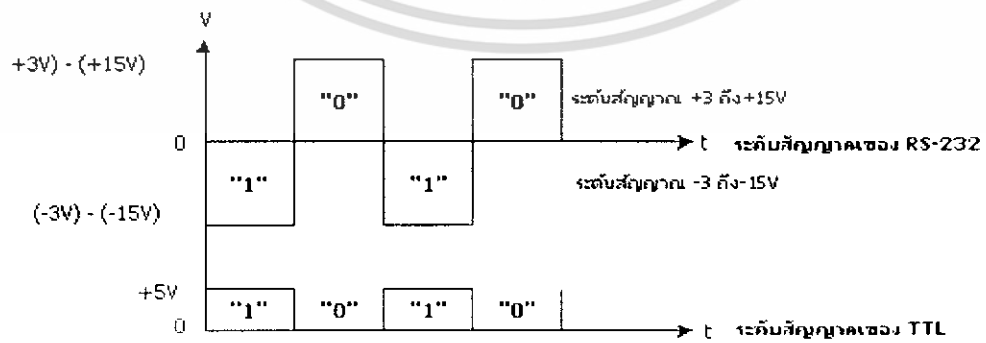
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	0	0	0	1	1	0



รูปที่ 2.22 ส่งข้อมูล 8 บิตพร้อมด้วย บิตเริ่มต้น,บิตพาริตี้,บิตหยุด ความเร็ว 9600 บิต/วินาที

2.5.3 การเชื่อมต่อพอร์ทอนุกรมมาตรฐานRS-232

การกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรมEIA RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม โดย คณะกรรมการสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association) ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส 2 ทิศทาง เพื่อให้มีการใช้งาน ในการเชื่อมต่อที่สอดคล้องกัน ระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ การรับส่งสัญญาณจะกำหนดความยาวสูงสุดไว้ที่ไม่เกิน 50 ฟุต โดยจะมีระดับสัญญาณเริ่มตั้งแต่ 3 โวลท์ จนถึง 15 โวลท์ สำหรับลอจิก "0" และมีระดับแรงดันที่ -3 โวลท์ จนถึง -15 โวลท์ สำหรับลอจิก "1" ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ดังนั้นสังเกตได้ว่าจะมีระดับแรงดันที่ใช้ในสถานะลอจิก "0" และ ลอจิก "1" แตกต่างออกไปจากระบบไอซีดิจิตอลทั่วๆไป การต่อใช้งานจึงต้อง มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันจาก 0 - 5 โวลท์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เป็นระดับแรงดันที่สูงกว่า +3 หรือต่ำกว่า - 3 โดยจะมีไอซีสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน

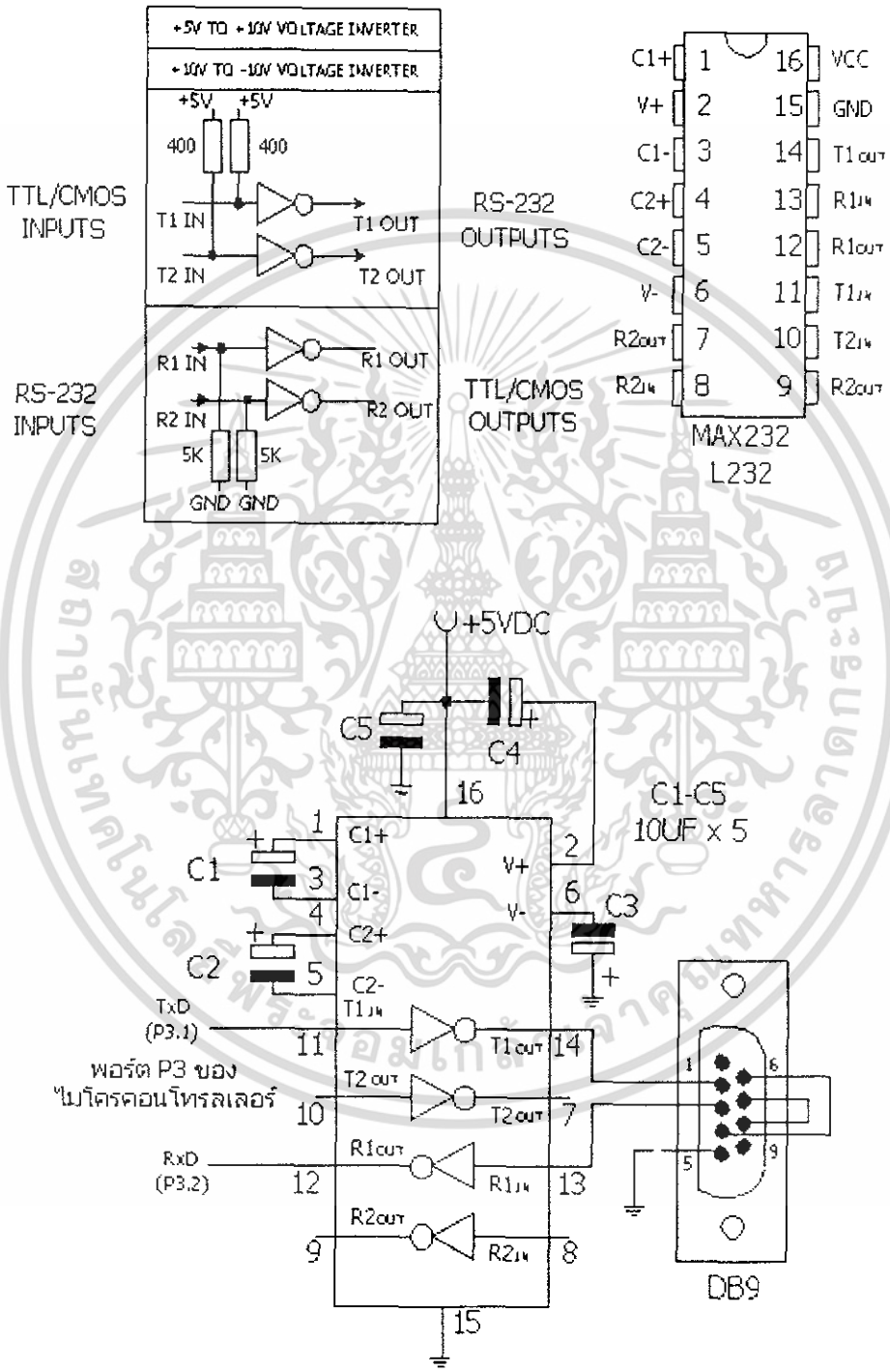


รูปที่ 2.23 แรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะลอจิก"1"และ "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ไอซี MAX 232

ไอซี MAX232 เป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณจากระดับ TTL ไปเป็นระดับของ RS-232 และในทำนองเดียวกันก็รับระดับสัญญาณจาก RS-232 เพื่อแปลงเป็นระดับสัญญาณจากระดับ TTL ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



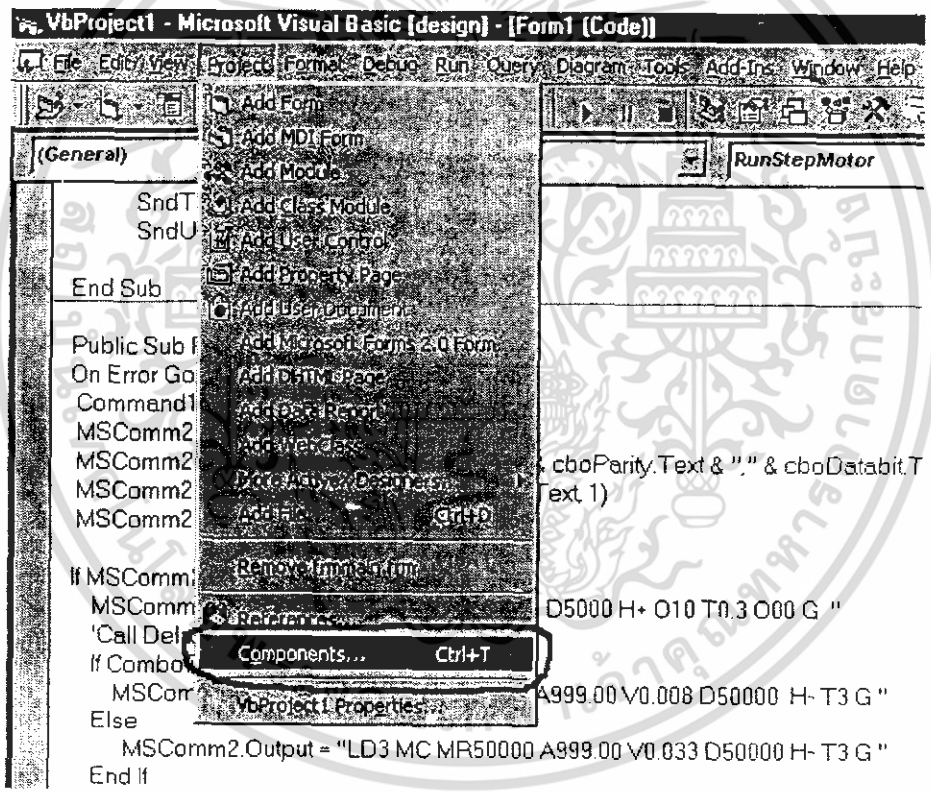
รูปที่ 2.24 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232 และการต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การสื่อสารผ่าน serial port ของโปรแกรม visual basic

ด้านการติดต่อ I/O ผ่านพอร์ตจะเน้นในลักษณะที่นำไปประยุกต์ใช้การติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมติดต่อกับฮาร์ดแวร์โดย Visaul Basic บนวินโดวส์เราไม่จำเป็นต้องเขียนโค๊ดที่คอนข้างยาว เราสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้นซึ่งจะมีตัวคอนโทรลชื่อ MSComm ที่สามารถติดต่อผ่าน RS-232 ได้

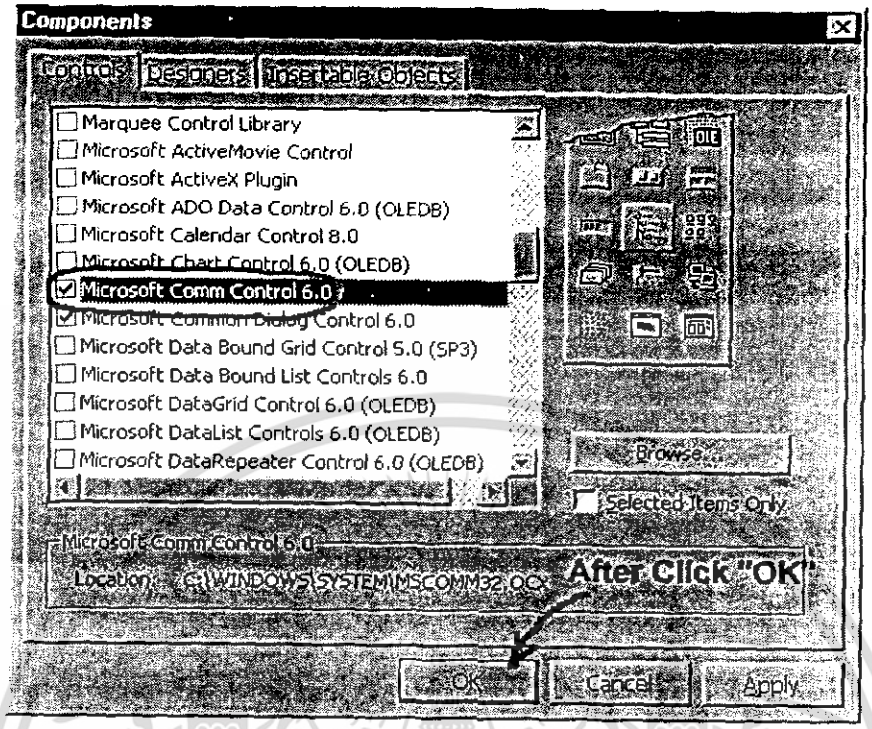
สามารถทำได้โดยใช้ VB Control ที่ชื่อว่า MSComm โดยที่ต้อง กำหนด Custom Control เข้าไปที่ เมนู Project--->Components เลือกที่ช่อง MSComm จะปรากฏ เป็นรูปไอคอนโทรศัพท์สีเหลือง ให้คลิกที่ไอคอนลากนำมาไว้บน Form ใน Project ของโปรแกรม โดยสามารถทำตามวิธีที่กล่าวมา



รูปที่ 2.25 ขั้นตอนการเลือกฟังก์ชั่น MSComm มาใช้งาน

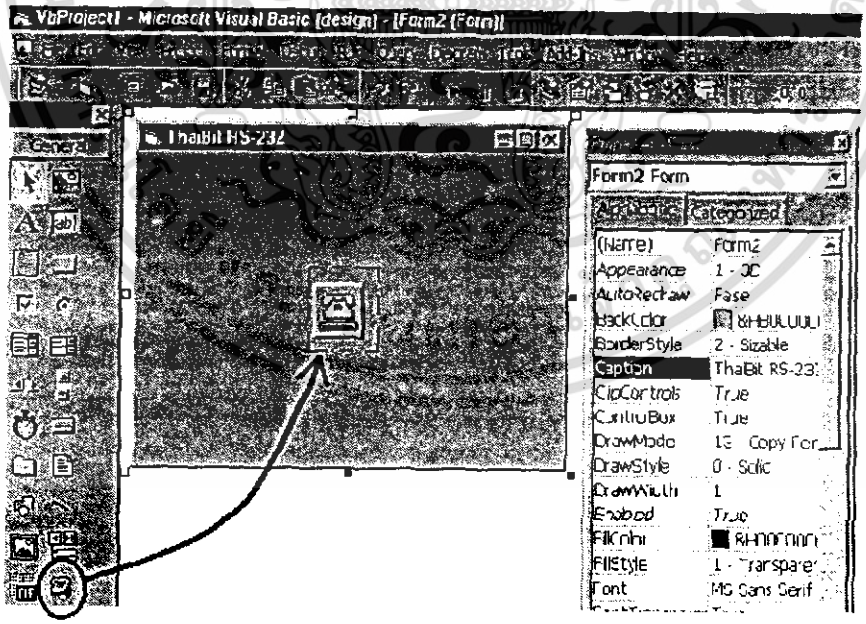
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกชื่อ Control ชื่อ Microsoft Comm Control 6.0 ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.26 เลือกฟังก์ชั่น Microsoft Comm Control 6.0 ใน Components

ลากControlชื่อMicrosoft Comm จากToolBox มาไว้บนFormดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.27 ลาก Control ชื่อ Microsoft Comm จาก ToolBox มาไว้บน Form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับ Serial Port สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.การติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ ขบวนการอินเตอร์รัพท์ อุปกรณ์รอบข้างเกือบทุกชิ้นจะต้องปฏิบัติงานอยู่เพื่อส่งสัญญาณไปให้แก่ซีพียูเสมอ ถ้าอุปกรณ์นั้นพร้อมที่จะรับส่ง จะส่งเป็นรหัสแอสกี้ เราจะเขียนโปรแกรมอินเตอร์รัพต์ โดยเมื่อข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้มี CommEvent กับ OnComm Event

2.การติดต่อแบบโพลลิ่ง ในระบบพีซี การโพลลิ่งมีบ้างที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลระหว่าง Terminal กับ CPU กรณีข้อมูลเป็นประเภทไบท์ที่ส่งจากคีย์บอร์ด โดยวิธีการนี้จะตรวจสอบคีย์บอร์ดว่ามีข้อมูลส่งมาหรือเปล่า โดยจะตรวจสอบตลอดเวลา การทำงานกับข้อมูลที่รับเข้ามาจะตรวจสอบด้วยความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วข้อมูลที่ส่งเข้ามาทาง คีย์บอร์ด การที่ CPU ส่งสัญญาณออกไปตรวจสอบพบว่ามีข้อมูลที่ต้องส่งเข้ามา เรียกว่า"Wet Poll" ซึ่งจะเสียช่วงเวลา 90 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาที่เสียไปนั้น เราเลี่ยงไปใช้เทคนิค การโพลแบบ "Round Robin" แทน แต่ในVBเราจะใช้การตรวจสอบข้อมูลที่มาจาก Serial Port ตลอด โดยจะใช้ Control Timer เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบได้ถึงระดับ 1 มิลลิวินาที หรือจะใช้ Do....Loop ก็ได้

ในตัวคอนโทรล MSComm มี Event ที่ใช้เพียง Event เดียวเท่านั้น ก็คือ OnComm Event ซึ่งจะใช้ในการติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ การเขียนโปรแกรมติดต่อ Serial Port แบบธรรมดาจะใช้comEvent เพียง comEvReceive, comEvsend

องค์ประกอบในการใช้ MSComm

- ComPort คือ เราต้องกำหนดหมายเลข Port ที่ใช้ต่อ RS-232 (Com1,Com2)
- Setting คือ เราต้องกำหนดอัตรา Baud,Parity,Data (จำนวนบิต),Stop ตัวอย่าง 1200,n,8,1
- HandShaking คือ เราจะกำหนดได้ 4 แบบ 1.comNone 2.comXonXoff 3. comRTS 4.comTRSXonXoff

*** โครงงานนี้เน้นที่การติดต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์ ที่มีแค่ 3 สาย จึงไม่ใช้งาน HandShaking

การใช้ Buffer ในการรับส่งข้อมูล

- InBuffersize คือ การกำหนด Buffer ในการรับข้อมูลเข้ามา
- OutBuffersize คือ การกำหนด Buffer ในการส่งข้อมูลออกไป
- Rthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลเข้ามา
- Sthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลออกไป
- InputLen คือ จำนวนของข้อมูลที่ไปอ่านใน Buffer รับข้อมูล
- EOFEnable คือ การที่บอกว่าสิ้นสุดของไฟล์(EOF) End of File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ตได้

1. Property ชื่อ CommPort คือ เลือกคอมพอร์ตที่จะต่อใช้งาน

   ตัวอย่าง MSComm1.CommPort=1

   ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมฯ

2. Property ชื่อ Settings คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอด ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ต่าง ๆค่าดังนี้

   MSComm1.Settings="Baud(อัตราการรับส่งข้อมูล),Parity(ถ้าไม่ใช้ใส่ N,จำนวนบิตข้อมูล, บิต สต๊อบ"

   ตัวอย่าง MSComm1.Settings="1200,N,8,1"

3. Property ชื่อ InputLenคือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัพเฟอร์

   ตัวอย่าง MSComm1.InputLen=1

4. Property ชื่อ PortOpen คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด =True ถ้าปิด =False

   ตัวอย่าง MSComm1.PortOpen=True

5. Property ชื่อ Rthreshold คือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย Event-driven เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูล(Comport)มันทำให้เกิดCommEvent ใน OnComm Event

   ตัวอย่าง MSComm1.Rthreshold =1

จากรายละเอียดที่กล่าวมา เราจะมาเขียนใน โพรซีเดอร์ VB ซึ่งจะไว้ที่ Sub Form_Load ( )

```
Private Sub Form_Load()
    MSComm1.Settings="1200,N,8,1"
    MSComm1.CommPort=1
    MSComm1.InputLen=1
    MSComm1.PortOpen=True
    MSComm1.Rthreshold =1
End Sub
```

2.5.6 การสื่อสารผ่าน พอร์ทอนุกรม (serial port) ของไมโครคอนโทรเลอร์

พอร์ตสื่อสารอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีโครงสร้างเป็นแบบฟูลดูเพล็ก ซึ่งรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ โดยจะมีรีจิสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer) เป็นบัฟเฟอร์สำหรับการรับส่งข้อมูลอนุกรม โดยเริ่มต้นเมื่อมีการเขียนข้อมูลเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ SBUF หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกจัดการโดยวิธีทางฮาร์ดแวร์ในการเลื่อนบิต เพื่อส่งสัญญาณออกไปภายนอก หลังจากมีการส่งข้อมูลออกไปจนครบแล้ว จึงจะทำการเซตบิตโดยกำหนดค่าของแฟลก TI ในรีจิสเตอร์ SCON ให้เป็นสถานะ "1" เพื่อแจ้งว่ารีจิสเตอร์ SBUF ว่างแล้ว และพร้อมที่จะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปได้

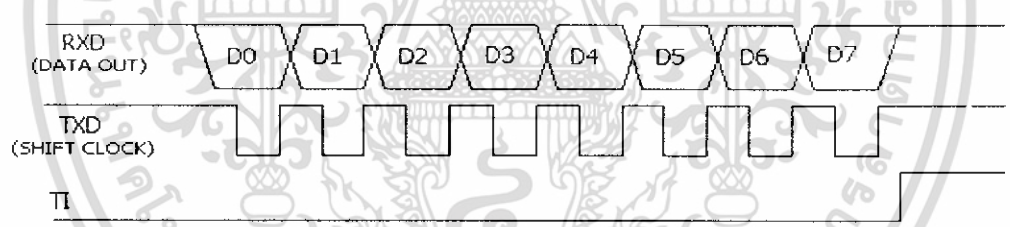
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้น โดยการกำหนดค่าของบิต REN ที่อยู่ในในรีจิสเตอร์ SCON ให้มีค่าเป็นสถานะ " 1 " หลังจากนั้นเมื่อมีการรับข้อมูลเข้ามาจากภายนอก ก็จะทำการเลื่อนข้อมูลไปโดยอัตโนมัติและเมื่อบิตสุดท้ายถูกเลื่อนบิตเข้ามาเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกย้ายมาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ SBUF และจะทำการเซตที่บิต RI ให้เป็นสถานะ"1" ซึ่งส่งผลให้เกิดการอินเตอร์รัพท์โปรแกรมขึ้น

<u>โหมดการการติดต่อทางพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์</u>

การสื่อสารอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์จะแบ่งออกได้เป็น 4 โหมดด้วยกัน และในแต่ละโหมดจะสามารถสรุปหน้าที่ได้ดังนี้

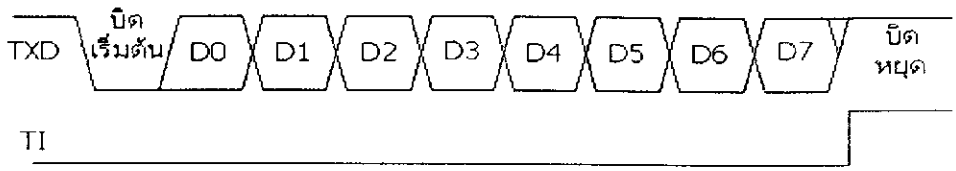
โหมด 0 : จะเป็นการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรม การส่งข้อมูลจะเลื่อนออกไปทีละบิต โดยจะใช้งานของขา RxD เพียงขาเดียว และจะไม่มีการส่งบิตเริ่มต้น (Start bit) ส่วนขา TxD จะใช้เป็นขาของสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะการเลื่อน ข้อมูลกับวงจรภายนอก (Shift clock) อัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) จะเป็น 1/12 เท่าของสัญญาณนาฬิกา การรับและส่งข้อมูลจะเริ่มจากบิตต่ำ (LSB) ก่อน ใช้สำหรับเป็นชิพท์รีจิสเตอร์ (Shift Register) จุดประสงค์เพื่อใช้ในการขยายพอร์ตอินพุต หรือพอร์ตเอาต์พุต ให้มีจำนวนมาก แต่ในโหมด 0 เรามักจะไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน เพราะไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันที่เราใช้อยู่นั้น มีจำนวนพอร์ตที่มากพอ และมีไอซีเบอร์อื่นๆ ในตระกูลเดียวกันให้เลือกจำนวนพอร์ตใช้งานมากมายอยู่แล้ว



รูปที่ 2.28 แสดงสัญญาณการรับและส่งข้อมูลในโหมด 0

โหมด 1 : จะเป็นการรับและส่งข้อมูลขนาด 10 บิตแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารอนุกรมกับมาตรฐานของ RS-232C ของไมโครคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งข้อมูลอนุกรม 10 บิต จะเข้ามาทางขา RXD และส่งข้อมูลออกแบบอนุกรมทางขา TXD โดยจะประกอบด้วย 1 บิตแรกเป็นบิตเริ่มต้น (Start bit ค่า 0) , 8 บิตต่อมาจะเป็นบิตของข้อมูล (การรับ/ส่งจะเริ่มจากบิตต่ำก่อน) และ บิตหยุดอีก 1 บิต (Stop bit ค่า 1) ส่วนทางด้านรับข้อมูลจะนำค่าบิตหยุด (Stop bit) ที่รับเข้ามาได้นำไปเก็บไว้ในบิต RB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON และความเร็วของการส่งข้อมูลในโหมด 1 จะขึ้นอยู่กับบิต SMOD ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ PCON และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 1 ซึ่งอัตราการรับส่งข้อมูลในโหมดนี้สามารถกำหนดได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 แสดงสัญญาณการส่งข้อมูลในโหมด 1

โหมด 2 : จะเป็นการรับและส่งข้อมูลขนาด 11 บิตแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) ข้อมูลแบบอนุกรมจะถูกรับเข้ามาทางขา RXD และส่งข้อมูลออกไปทางขา TXD ซึ่งข้อมูล 11 บิตประกอบด้วย บิตแรกจะเป็นบิตเริ่มต้น (Start bit ค่า 0) , 9 บิตต่อมาจะเป็นบิตของข้อมูล และบิตสุดท้ายจะเป็นบิตหยุด 1 บิต (Stop bit ค่า 1) สำหรับข้อมูลในบิตที่ 9 จะกำหนดไว้ใน TB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งสามารถกำหนดเป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ นิยมนำมาใช้ในการส่งบิตเพื่อตรวจสอบการส่งข้อมูล (Parity bit)

รูปที่ 2.30 แสดงสัญญาณการส่งข้อมูลในโหมด 2

โหมด 3 : เป็นการรับส่งข้อมูลแบบ 11 บิตแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) เหมือนกับโหมด 2 แต่ในโหมด 3 สามารถกำหนดอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้ตามต้องการ

<u>รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมและรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม</u>

รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในการติต่อสื่อสารทางพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบด้วยรีจิสเตอร์ SCON ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน รีจิสเตอร์ SBUF จะใช้ในการเก็บข้อมูลที่จะรับหรือส่ง และรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งจะใช้ ในการกำหนดอัตรารับส่ง โดยรีจิสเตอร์ แต่ละตัวจะมีหน้าที่และการทำงานในแต่ละบิตดังต่อไปนี้

รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ในส่วนของรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register) ในตำแหน่งแอดเดรสที่ 98H และสามารถเข้าถึงข้อมูลแบบไบต์ และแบบบิตได้ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม การเลือกโหมดการทำงาน และเก็บข้อมูลในบิตที่ 9 (ซึ่งโดยปกติข้อมูลจะมี 8 บิต อยู่ในรีจิสเตอร์ SBUF) ของการรับข้อมูล (RB8) และส่งข้อมูล(TB8) รายละเอียดของแต่ละบิตมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 2.31 แสดงบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register)

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL

รูปที่ 2.32 แสดงรีจิสเตอร์ PCON เพื่อกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล

รีจิสเตอร์ PCON (Power Control) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 1 ไบต์มีแอดเดรสอยู่ตำแหน่งที่ 87H เข้าถึงข้อมูลได้แบบไบต์อย่างเดียวเท่านั้น โดยจะประกอบด้วยบิตดังรูปที่ 2.31

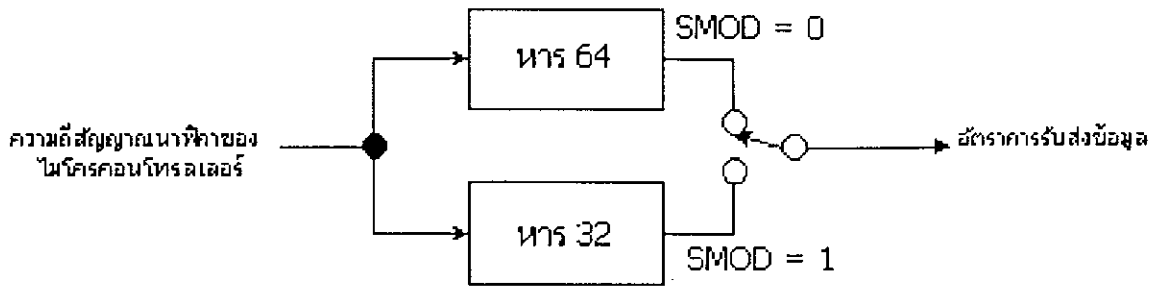
การกำหนดอัตรารับและส่งข้อมูล (Baud Rate Generator)

โหมด 0 : อัตรารับส่ง (Baud rate) ในโหมด 0 ไม่สามารถกำหนดอัตรารับส่งเองได้ แต่จะมีค่าเท่ากับความถี่ สัญญาณนาฬิกาไมโครคอนโทรลเลอร์ หารด้วย 12 หรืออาจกล่าวได้ว่าขึ้นกับค่าความถี่ของคริสตอลที่นำมาต่อใช้งาน แล้วหารด้วย 12 นั้นเอง

รูปที่ 2.33 อัตรารับส่งโหมด 0 = ความถี่สัญญาณนาฬิกา หาร12

โหมด 2 : อัตรารับส่ง (Baud rate) ในโหมด 2 เลือกได้ 2 อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล โดยหาได้จากความถี่ของสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ หารด้วย 32 หรือหารด้วย 64 เรียกว่า SMOD0 และ SMOD1 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าสถานะของบิต SMOD ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ PCON เป็นตัวเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 อัตรารับส่งโหมด 2 = ความถี่สัญญาณนาฬิกา หาร 32 หรือหาร 64

ถ้าบิต SMOD = 0

อัตรารับส่งโหมด 2 = 1/64 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา

ถ้าบิต SMOD = 1

อัตรารับส่งโหมด 2 = 1/32 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา

หลังจากที่เราทำการรีเซตระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ค่าข้อมูลในบิต SMOD จะเป็นสถานะ "0' เสมอ ดังนั้นเราสามารถที่จะเขียนเป็นสูตรสำหรับการคำนวณหาค่าอัตรารับส่ง (Baud rate) ได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตรารับส่งโหมด 2 = 2^{SMOD}/64 x ความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ใช้

ในกรณีที่เราใช้คริสตอลค่า 11.0592 MHz จะได้ค่าอัตรารับส่ง (Baud rate) สูงสุด = 345.6 K
ในกรณีที่เราใช้คริสตอลค่า 12 MHz จะได้ค่าอัตรารับส่ง (Baud rate) สูงสุด = 375 K

โหมด 1 และโหมด 3 จะมีอัตราการรับส่ง (Baud rate) ข้อมูลโดยถูกกำหนดได้ตามต้องการ โดยใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์1 หรือ ไทม์เมอร์ 2 เป็นตัวกำหนด

การใช้ไทม์เมอร์1 กำหนดอัตรารับส่ง (Baudrate)

เมื่อใช้ไทม์เมอร์1 เป็นตัวสร้างอัตราการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมในโหมด 1 หรือโหมด 3 สังเกตได้ว่าเมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ในไทม์เมอร์ตัวใด จะทำให้เกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์เพื่อบอกให้ซีพียูรับทราบ ดังนั้นในขณะใช้ไทม์เมอร์1 เพื่อสร้างอัตรารับและส่งข้อมูล จะต้องไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีการร้องขออินเตอร์รัพต์ที่เกิดจากไทม์เมอร์1 ในกรณีใดๆ ในระหว่างนั้นอีก (โดยการควบคุมที่ รีจิสเตอร์ IE) อัตราการรับและส่งข้อมูลจะมาจากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์1 และค่าของบิต SMOD ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ PCON สามารถที่จะเขียนเป็นสูตรสำหรับการคำนวณหาค่าอัตรารับส่ง (Baudrate) ได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตรารับส่งโหมด 1 และ 3 = 2^{SMOD}/32 x (อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 1)

ในการใช้งานสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนั้น เราจะนิยมใช้งานไทม์เมอร์1 ในลักษณะของโหมด 2 (Auto-reload กำหนดค่าการควบคุมที่รีจิสเตอร์ TMOD = 0010XXXX) การคำนวณหาค่าอัตรารับส่ง (Baud rate) จะได้สมการดังต่อไปนี้

อัตรารับส่งโหมด 1 และ 3 = 2^{SMOD}/32 x [Oscillator / 12 x {256 – (TH1)}]

เราสามารถที่จะให้ไทม์เมอร์1 มีอัตราการรับส่งต่ำๆ ได้โดยใช้ ไทม์เมอร์1 ในโหมด1 ทำงานลักษณะของตัวจับเวลาแบบ 16 บิต (มีค่าของการควบคุมที่รีจิสเตอร์ TMOD = 0001XXXX) และให้มีการอินเตอร์รัพต์จากไทม์เมอร์1 โดยให้โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ของไทม์เมอร์1 แล้วจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นใหม่ (Reload) ให้กับตัวจับเวลา ซึ่งเป็นการทำงานแบบ 16 บิตทางซอร์ฟแวร์ (Software reload) เนื่องจากการทำงานในโหมด 1 ของ ไทม์เมอร์1ไม่สามารถโหลดค่าใหม่เองด้วยฮาร์ดแวร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 จะแสดงตารางอัตรารับส่งข้อมูลที่กำหนดจากการใช้ ไทม์เมอร์1 เมื่อใช้บอดเรทค่ามาตรฐานต่างๆ และการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ TMOD ที่บิต C/T และรีจิสเตอร์ PCON ที่บิต SMOD เพื่อใช้งาน

ตารางที่ 2.1 อัตรารับส่งข้อมูลที่กำหนดจากการใช้ ไทม์เมอร์1 เมื่อใช้บอดเรทค่ามาตรฐาน

Baud rate	F (MHz)	บิต SMOD	Timer 1		
			บิต C/T	MODE	Reload Value
82.5 k	12.000	1	0	2	FFH
19.25 k	11.059	1	0	2	FDH
9600	11.059	0	0	2	FDH
4800	11.059	0	0	2	FAH
2400	11.059	0	0	2	F4H
1200	11.059	0	0	2	E8H
137.5	11.059	0	0	2	1DH
110	6.000	0	0	2	72H
110	12.000	0	0	1	FEEBH

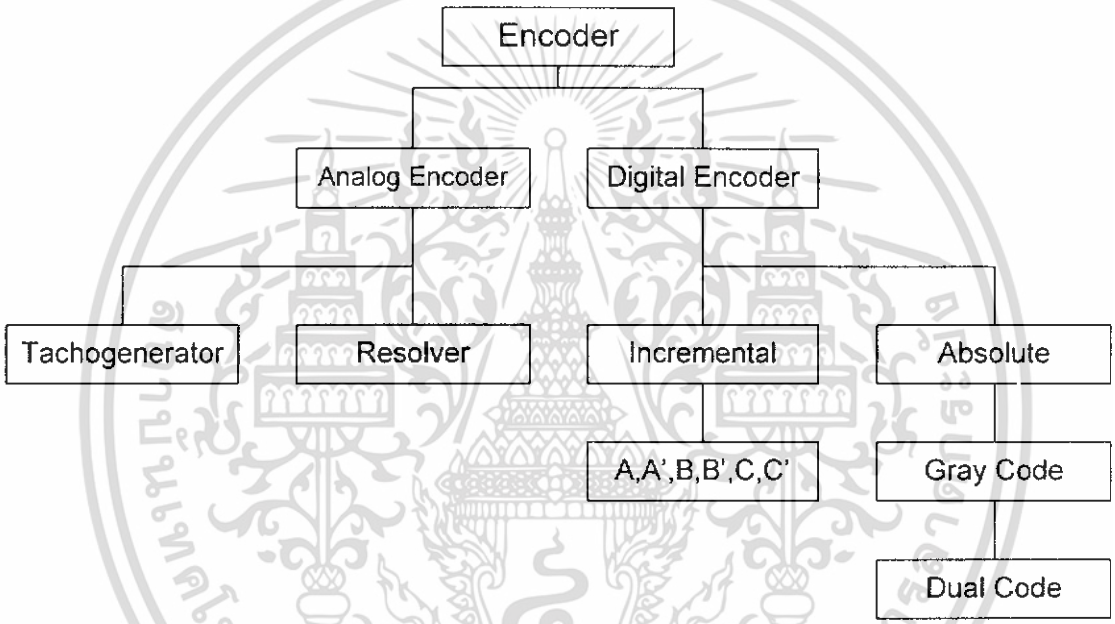
จะสังเกตได้ว่าการใช้งานจากความถี่คริสตอลเรามักจะนิยมจะเลือกใช้ค่าความถี่ที่มีค่า 11.0592 MHz เนื่องจากการกำหนดค่าอัตราการรับส่งข้อมูลจะสามารถกำหนดค่าบอดเรทในโหมด 1 และโหมด3 ได้ และเป็นค่าที่มาตรฐานเช่น 1200,2400,4800, 9600,19200 ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่เราเลือกใช้คริสตอลค่าความถี่ 11.0592 MHz มากกว่าค่า 12 MHz ในการกำหนดอัตรารับส่งข้อมูลยังสามารถที่จะใช้ไทม์เมอร์ 2 กำหนดค่าได้ แต่จะยังไม่ขอกล่าวในที่นี้เพราะไอซีที่เรานำมาทดลองนั้นไม่มีไทเมอร์ 2 ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์แบบ incremental (Incremental Encoder)

ในระบบบังคับตำแหน่งหรือตรวจสอบความเร็วของมอเตอร์ ส่วนมากแล้วจะนิยมใช้อินคริเมนทอลเอนโค้ดเดอร์มาใช้ในกาสรทำงาน โดยที่เอนโค้ดเดอร์จะสร้างพัลซ์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลามอเตอร์ขณะทำงานในรูปของอัตราจำนวนพัลซ์ได้ แล้วนำผลที่ได้ป้อนกลับมาแสดงผลโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และไปแสดงผลที่ระบบควบคุมต่อไป

จากบทบาทของเอนโค้ดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (Speed) และตำแหน่ง (Position) ของมอเตอร์ จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกชื่อตามบทบาทและหน้าที่ว่า Speed Sensor หรือไม่ก็เรียกว่า Shaft Position Sensor โดยประกอบด้วยชนิดต่างๆ ดังนี้

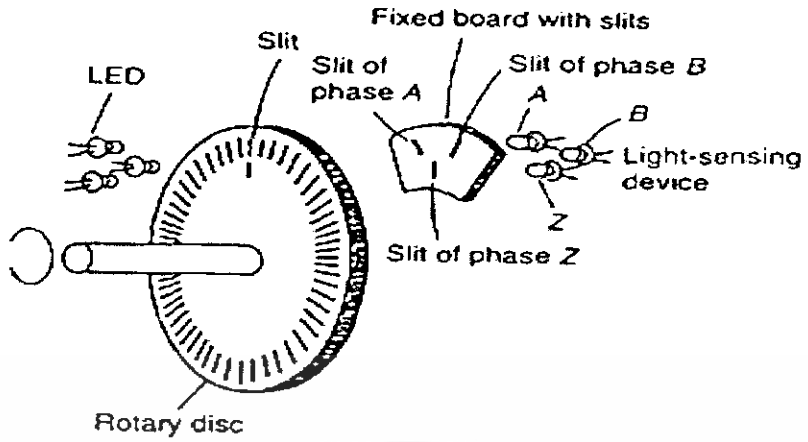


รูปที่ 2.35 การแยกประเภทของเอนโค้ดเดอร์

จากรูปที่ 2.35 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) สามารถแยกประเภทตามหลักการได้ 2 กลุ่ม คือชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำหรือเรียกว่าอะนาลอก เอนโค้ดเดอร์ (Analog Encoder) และชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการดิจิตอล (Digital Encoder)

ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำหรือเรียกว่า อะนาลอกจะประกอบไปด้วยเทคโคเจนเนอเรเตอร์(TachoGenerator) และรีโซลเวอร์ (Resolver) ส่วนชนิด ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออพติคอล หรือแบบดิจิตอลจะแยกเป็นแบบ Incremental Encoder และ Absolute Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 โครงสร้างและสัญญาณของอินคริเม้นท์เอนโค้ดเดอร์

โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง,ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆแผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ incremental encoder) และ หน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A ,B และ Z

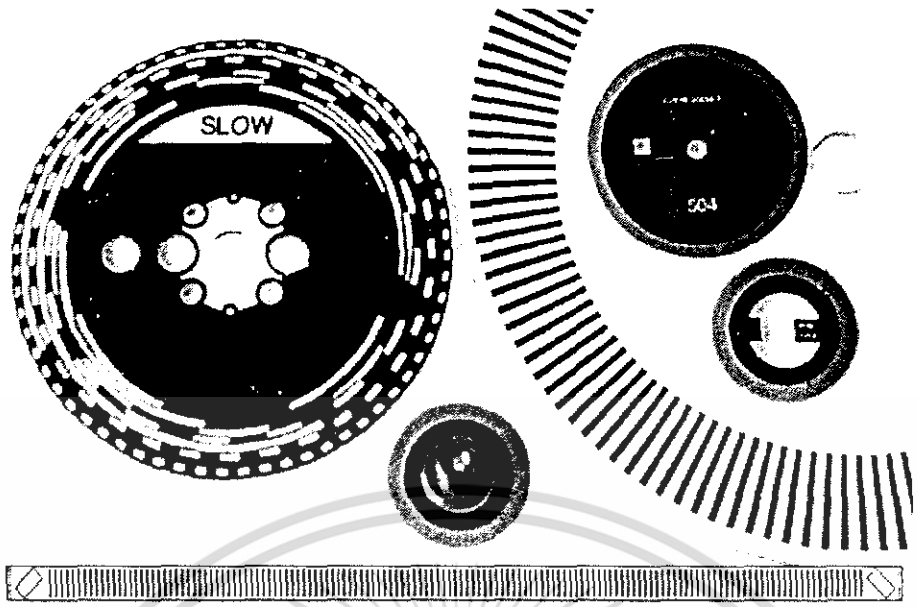
สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอนโค้ดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แทรค คือ A ,B และ Z ดังรูปที่ 2.36

พัลส์ที่เกิดจาก แทรค A และ B จะเกิดการเหลื่อมกัน มีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ ดังนี้

กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



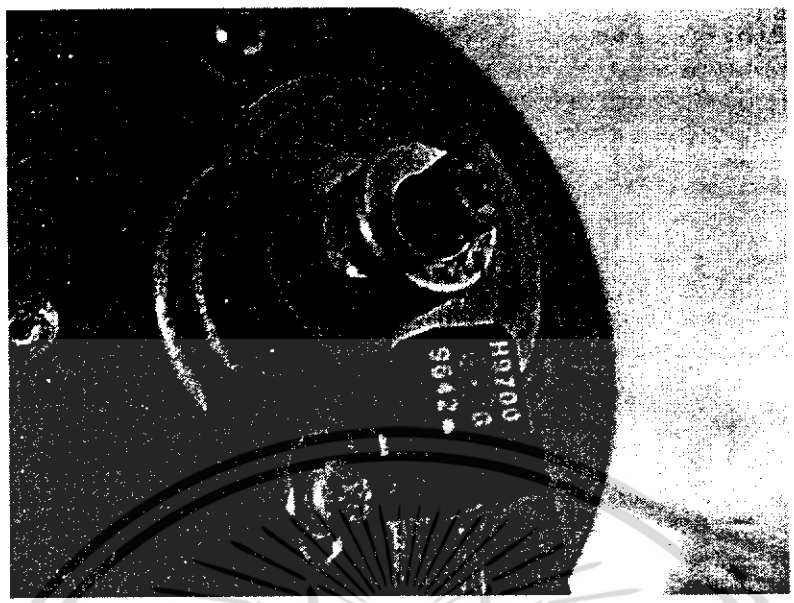
รูปที่ 2.37 ลักษณะชนิดของแผ่นจานหมุนที่แบ่งช่องให้แสงผ่าน

2.6.1 ความละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์แบบ incremental

ความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์ คือ จำนวนคาบของสัญญาณเอาท์พุทต่อการหมุนของเพลา 1 รอบ ซึ่งจะบอกมาเป็นจำนวนพัลซ์ต่อรอบ หรือจำนวนไซเคิล ต่อ 360 องศา มุมทางกล หรือไซเคิล ต่อ องศา ของเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไป จะมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง10,000 พัลซ์

รูปที่ 2.38 จานหมุนของเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ มีความละเอียด 400 พัลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 การติดตั้งจานหมุนและตัวเซ็นเซอร์แสง

2.6.2 เอาท์พุทของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์แบบ incremental

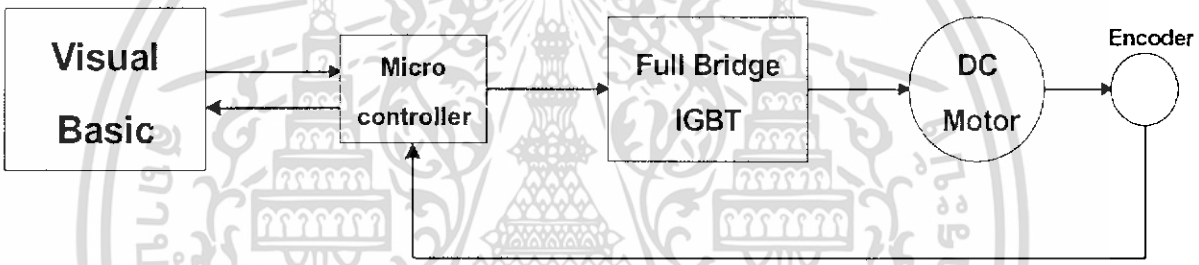
โดยทั่วไปแล้วสัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาจากเอนโค้ดเดอร์โดยตรง มักจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุมหรือประมวลผล ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยาย และแปลงสัญญาณต่อไว้ในตัวเอนโค้ดเดอร์ด้วยเสมอ สัญญาณลูกคลื่นที่ได้รับจากตัวเซ็นเซอร์ปกติแล้วจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือซายน์ จะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ รูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้โดยการต่อ คอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมพลิไฟล์ของเอนโค้ดเดอร์ จึงจะได้เอาท์พุทเป็นรูปสี่เหลี่ยมตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงานและการออกแบบวงจร

สำหรับในโครงงานนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลคำสั่ง ส่งออกไปที่ชุดขับซึ่งเป็นวงจร DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE ซึ่งใช้ไอจีบีที เป็นสวิทช์ ทั้งหมด 4 ตัว โดยเป็นโหมดการทำงานคือ 4 คอร์ดแตรนท์ โดยการทำงานทีละคู่ เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงานและเปลี่ยนโหมดตามต้องการ จะมีการป้อนกลับของระบบโดยใช้ตัว เอนโค้ดเดอร์ ป้อนกลับไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

ในส่วนของคอมพิวเตอร์นั้น จะใช้โปรแกรม Visual Basic ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานเพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการและรับการป้อนกลับจากมอเตอร์มาเพื่อแสดงค่าต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานหรือตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ตัวนั้นๆ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานและการควบคุมโดยรวม

3.1 วงจรควบคุม

ในส่วนของการควบคุมทั้งหมดของระบบของโครงงานจะใช้รูปแบบของ การควบคุมป้อนกลับเบื้องต้น (Basic Feedback Control) ซึ่งรูปแบบนี้จะเป็นหลักการควบคุมที่นิยมใช้ในงานที่เกี่ยวกับมอเตอร์ และเป็นการควบคุมที่เหมาะกับวัตถุประสงค์ของโครงงาน ซึ่งในการควบคุมแบบป้อนกลับนี้ จะมีคุณลักษณะในการควบคุมทั่วๆ ไปอยู่ 5 ลักษณะ คือ การควบคุมแบบ P, I, PI, PD และ PID ซึ่งรายละเอียดและคุณลักษณะของแต่ละชนิดจะอธิบายต่อไป

นอกจากนี้ยังมีวงจรควบคุมการทำงานอื่นๆ อีก คือ วงจรเดดไทม์ วงจรควบคุมการทำงานแต่ละตัวของไอจีบีทีในชุดวงจรกำลัง ซึ่งการควบคุมเหล่านี้จะต้องทำงานประสานกันเพื่อให้การทำงานของมอเตอร์และระบบทั้งหมดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.1 การควบคุมป้อนกลับเบื้องต้น (Basic Feedback Control)

ระบบควบคุมที่ดีนั้นจะต้องมีผลตอบสนองเวลาต่อสัญญาณด้านเข้าแบบต่างๆมีเสถียรภาพที่ดี ดังนั้นต้องมีตัวมาควบคุมที่ดีที่สามารถทำให้ระบบสามารถทำงานให้มีสมรรถนะตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ โดยทั่วไปเราจะใช้ตัวควบคุมแบบตัวควบคุมชนิดพี (Proportional Control) ตัวควบคุมชนิดไอ (Integral Control) และตัวควบคุมชนิดดี (Derivative Control)

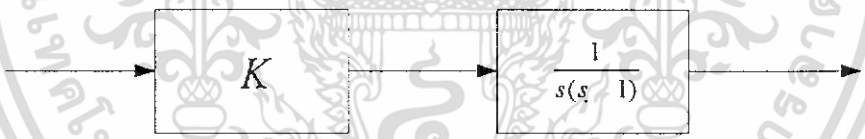
<u>คุณสมบัติของการควบคุมแบบป้อนกลับ (Characteristics of Feedback)</u>

1. การควบคุมแบบป้อนกลับสามารถทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพได้
2. การควบคุมแบบป้อนกลับยังสามารถทำให้สมรรถนะในช่วงทรานเซี้ยนของระบบดีขึ้น
3. สามารถลดหรือกำจัดค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้
4. สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้
5. สามารถลดความไวของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ได้

สมมุติถ้าระบบใด ๆมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$Y(s) = \frac{1}{s(s+1)}$$

เมื่อทำการควบคุมระบบดังกล่าวด้วยวิธีแบบลูปเปิด

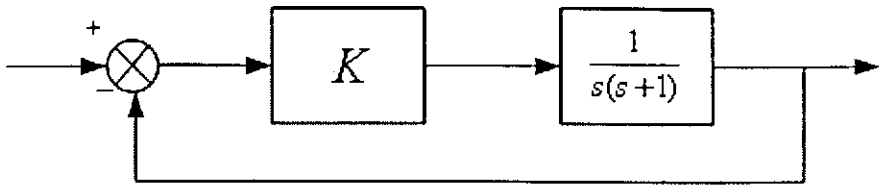


รูปที่ 3.2 การควบคุมแบบลูปเปิด

$$T(s) = \frac{K}{s(s+1)}$$

พบว่าระบบจะไม่เสถียร ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากเทอมอินทิกรัล ($j\omega$) จากนั้นเมื่อใช้หลักการของการควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การควบคุมแบบลูปปิด

$$T(s) = \frac{\frac{K}{s(s+1)}}{1+\frac{K}{s(s+1)}} \qquad \frac{K}{s^2+s\quad K}$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อ $K > 0$ ระบบจะเสถียรภาพ

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าหลักการควบคุมแบบป้อนกลับจะทำให้ระบบที่ไม่เสถียรสามารถเสถียรภาพได้ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบดีขึ้น

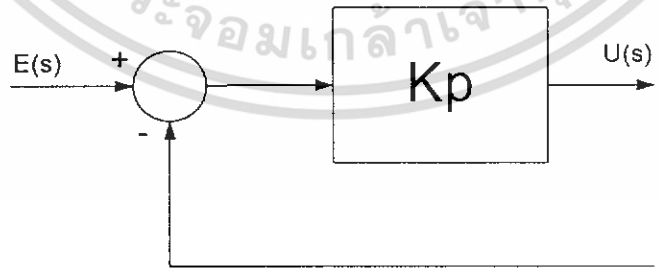
3.1.2 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพี (P-controller)
ตัวควบคุมนี้มีสัญญาณควบคุมออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณเข้า

$$U(t) = K_p e(t)$$

หรือ

$$U(s) = K_p E(s)$$

โดยค่า K_p คืออัตราขยายสัดส่วนมีค่าคงที่



รูปที่ 3.4 แผนภาพกรอบของตัวควบคุมชนิดพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดไอ (I-controller)

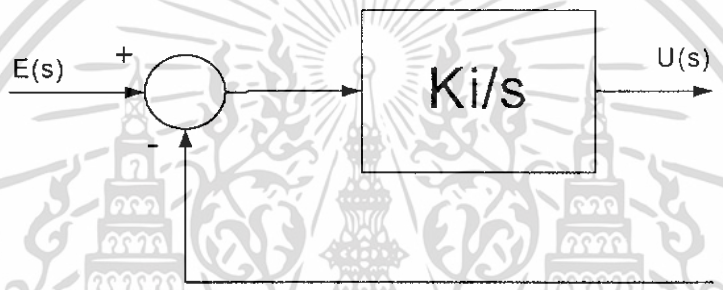
ตัวควบคุมชนิดนี้มีสัญญาณควบคุมออกมาด้วยอัตราที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณคลาดเคลื่อนเข้า

$$D\,U(t) = Ki.e(t)$$

$$U(t) = Ki \int e(t)dt$$

โดย K_I คือค่าคงที่ที่ปรับค่าได้

$$U(s) = Ki/s.E(s)$$



รูปที่ 3.5 แผนภาพกรอบของตัวควบคุมชนิดไอ

3.1.4 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ (PI-controller)

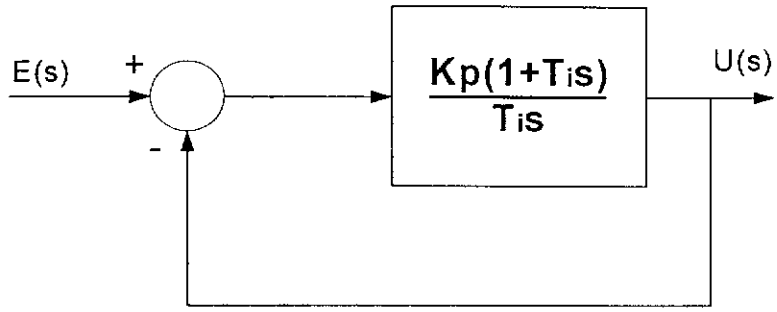
ตัวควบคุมแบบนี้เป็นการรวมตัวควบคุมแบบ P กับ I เข้าด้วยกัน และเป็นการควบคุมแบบที่โครงงานนี้เลือกใช้

$$U(t) = Kp.e(t) + (Kp/Ti) \int e(t)dt$$

เขียนเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนได้

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp(1+1/Tis)$$

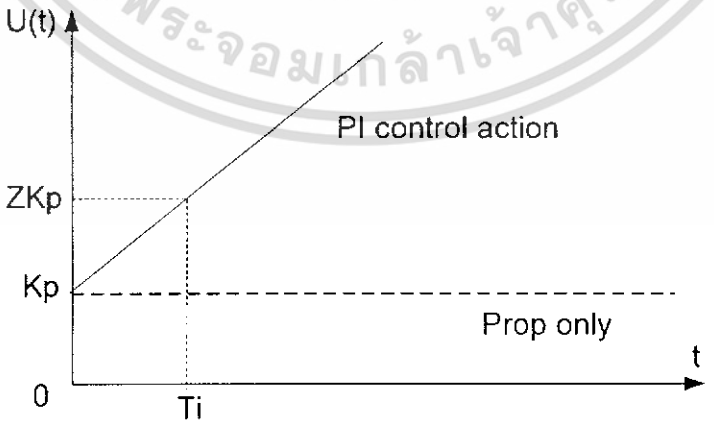
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การใช้ตัวควบคุมแบบ PI

โดย K_p คืออัตราขยายส่วน และ T_1 เรียกว่าช่วงเวลาอินทิกรัล (Intigral time) ค่า K_p และ T_1 เป็นค่าคงที่ที่ปรับค่าได้ ส่วนกลับของค่า T_1 เรียก reset rate ซึ่งหมายถึงจำนวนครั้งต่อนาทีที่สัญญาณควบคุมมีค่าเป็น 2 เท่า

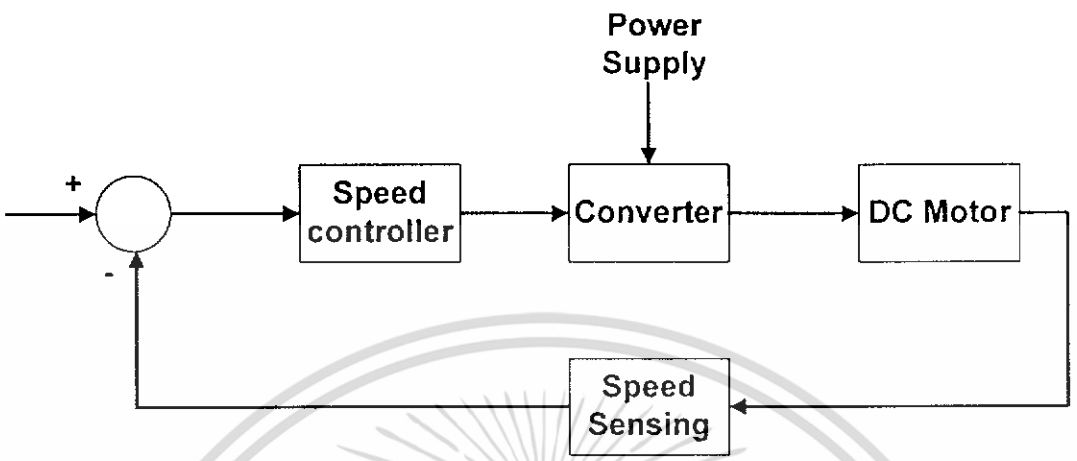
รูปที่ 3.7 สัญญาณเข้าฟังก์ชั่นหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.8 สัญญาณออกของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการควบคุมของโครงงานจะเป็นการรวมตัวควบคุมแบบ P เข้ากับแบบ I



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

3.1.5 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีดี (PD-controller) ตัวควบคุมแบบนี้เป็นการรวมตัวควบคุมแบบ P กับ D เข้าด้วยกัน

$$U(t) = Kp.e(t) + KpTd \ D\ e(t)$$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

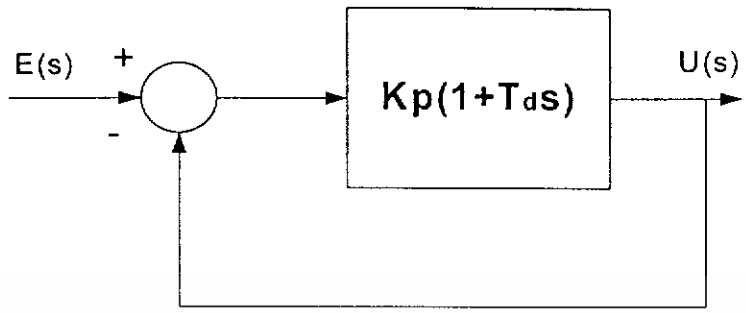
$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp(1+Tds)$$

โดย K_p คืออัตราขยายส่วน และ T_d เรียกว่าช่วงเวลาอนุพันธ์ (Derivative time) ค่า K_p และ T_d เป็นค่าคงที่ที่ปรับค่าได้ การกระทำควบคุมแบบ D ให้สัญญาณออกมีค่าเป็นสัดส่วนกับอัตราเปลี่ยนแปลงของสัญญาณคลาดเคลื่อนเข้า

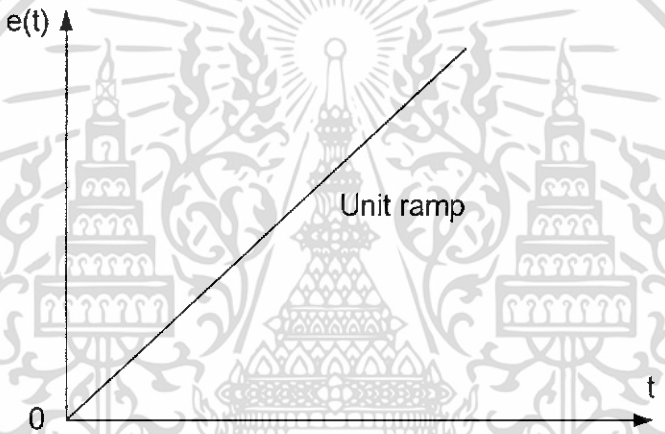
รูปที่ 3.10 แสดงแผนภาพกรอบของตัวควบคุม PD ถ้าสัญญาณคลาดเคลื่อนเข้ามีลักษณะเป็นแรมป์หนึ่งหน่วยดังรูป 3.11 จะได้สัญญาณควบคุมดังรูปที่ 3.12

จะสังเกตได้ว่าการกระทำควบคุมแบบ D ให้ผลต่อระบบกว่าแบบ P ซึ่งเป็นข้อดีของแบบ D แต่มีข้อเสียคือ ขยายสัญญาณรบกวนและอาจทำให้เกิดการอิ่มตัว (Saturation) ขึ้นในตัวขับเร้า (Actuator) ได้

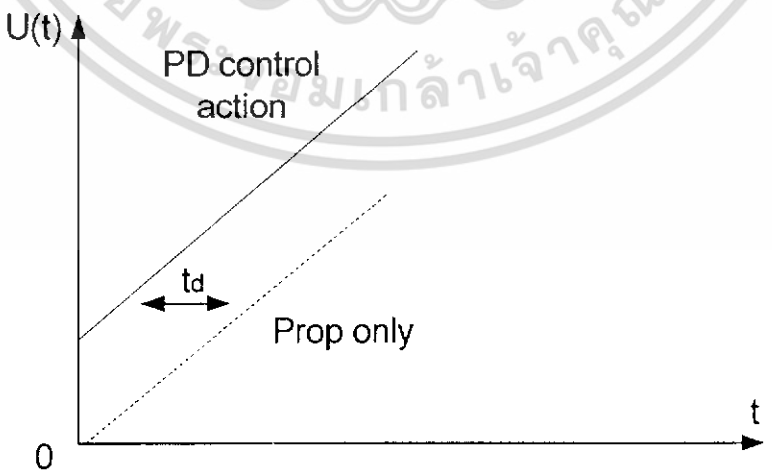
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การใช้ตัวควบคุมแบบ PD



รูปที่ 3.11 สัญญาณที่เข้าฟังก์ชั่นแรมป์หนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.12 สัญญาณออกของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

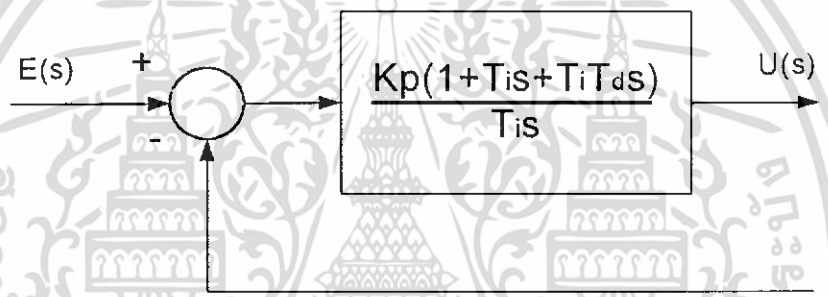
3.1.6 คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอดี (PID-controller)

$$U(t) = Kp.e(t) + (Kp/Ti)\int e(t)dt + KpTd \ D\ e(t)$$

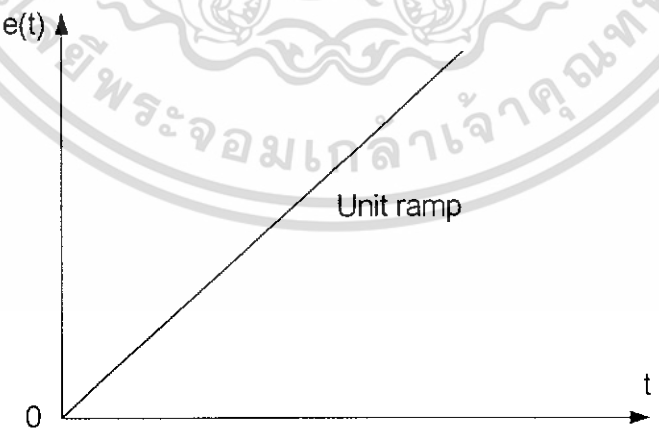
ฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp(1+1/Tis+Tds)$$

โดย K_p คืออัตราสัดส่วน T_i เรียกว่าช่วงเวลาอินทิกรัล และ T_d เรียกว่าช่วงเวลาอนุพันธ์

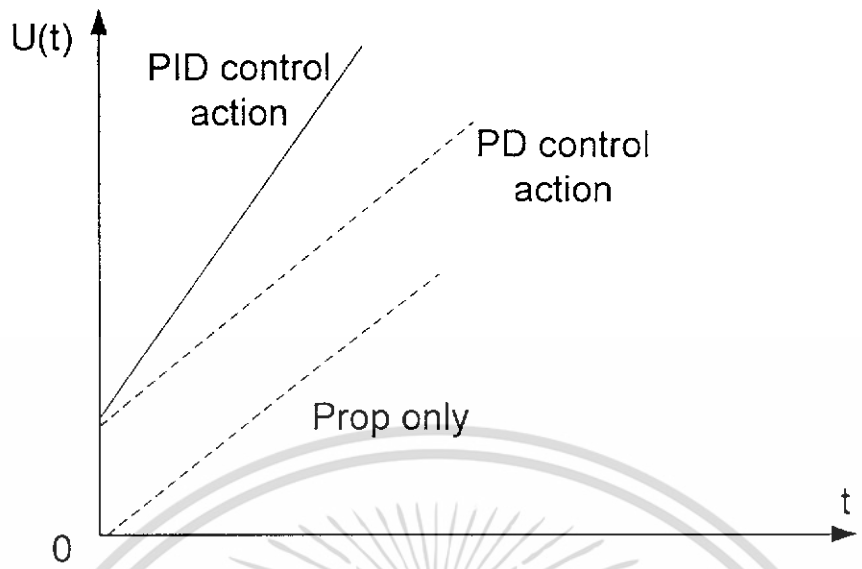


รูปที่ 3.13 การใช้ตัวควบคุมแบบ PID



รูปที่ 3.14 สัญญาณที่เข้าฟังก์ชั่นแรมป์หนึ่งหน่วย

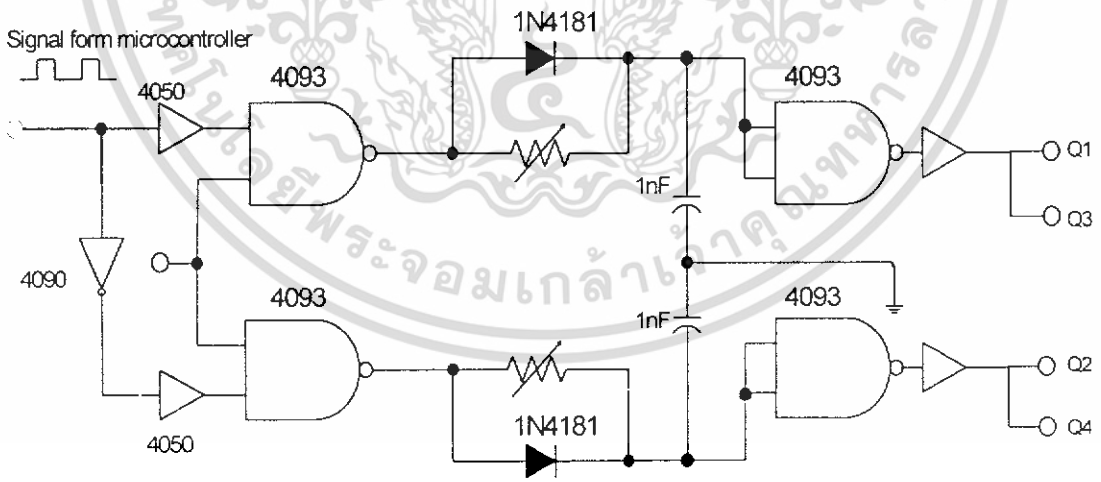
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 สัญญาณออกของตัวควบคุม

3.1.7 วงจรเดดไทม์

วงจรเดดไทม์มีไว้เพื่อป้องกันสวิทช์ในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน ซึ่งหากเกิดลัดวงจรขึ้นจะทำให้สวิทช์เสียหาย และส่งผลไปถึงความเสียหายโดยรวมของระบบได้



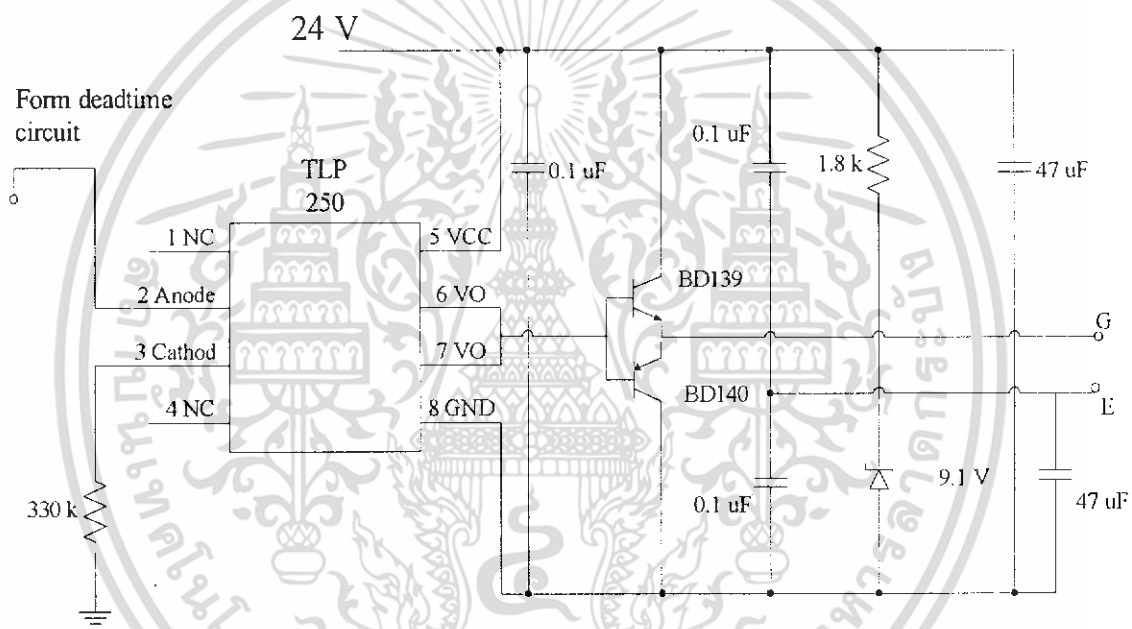
รูปที่ 3.16 วงจรเดดไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่าเดดไทม์สามารถกำหนดได้โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน และค่าตัวเก็บประจุ แต่โดยทั่วไปนั้นนิยมใช้แบบความต้านทานปรับค่าได้ ดังนั้นในโครงงานนี้จึงใช้วิธีปรับค่าเดดไทม์โดยใช้การปรับที่ความต้านทานปรับค่าได้เช่นเดียวกัน โดยจะใช้ที่ค่าเวลาประมาณ 3 μs

3.1.8 วงจรขับไอจีบีที

วงจรขับไอจีบีทีที่ใช้ในโครงงานนี้ตัวหลักอยู่ที่ ไอซีทีแอลพี 250 ซึ่งเป็น ออปโตคัปเปลอร์ ซึ่งไอซีทีแอลพี 250 ตัวนี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ที่ต้องการได้ดี และสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ สามารถนำไปขับได้เลย ไม่จำเป็นต้องมีวงจรปรับแต่งสัญญาณแต่อย่างใด



รูปที่ 3.17 วงจรชุดขับของไอจีบีที

จากวงจรที่แสดงในรูปที่ 3. จะเป็นเพียง 1 โหมด การทำงานเท่านั้น ซึ่งความเป็นจริงจะมีวงจรในลักษณะนี้ ทั้งหมด 4 วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

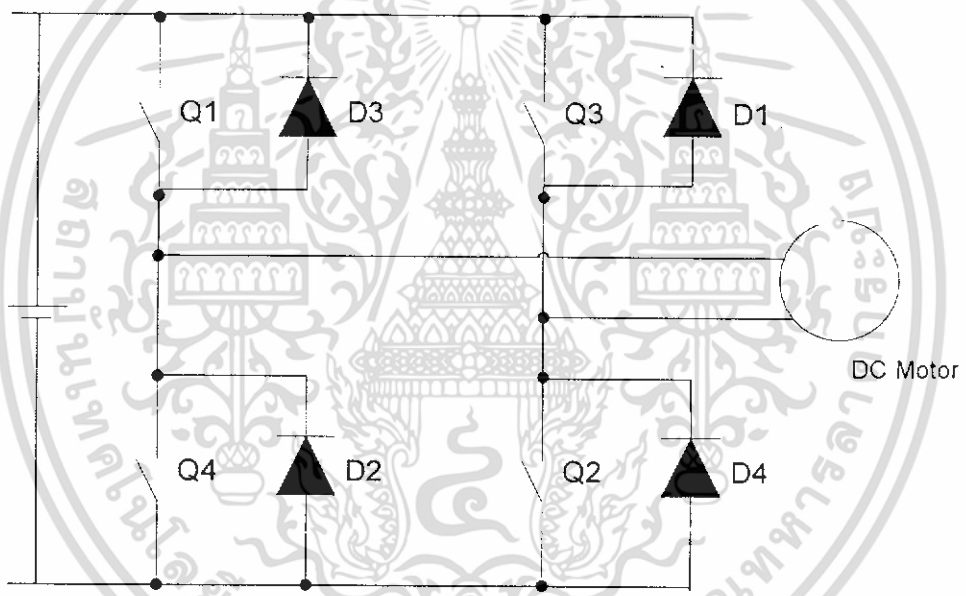
3.2 วงจรกำลัง

การต้องการให้มอเตอร์กระแสตรงทำงานได้ทั้ง 4 คอร์ดแดรนท์นั้น เพื่อที่จะทดสอบว่าการใช้ วิชวล เบสิก เป็นตัวสั่งและควบคุม จะทำงานได้อย่างสมบูรณ์ทุกๆ ย่านการทำงานที่มอเตอร์สามารถทำงานได้หรือไม่

ดังนั้นโครงงานนี้จึงเลือกใช้การขับเคลื่อนมอเตอร์ แบบ DC - DC CONVERTER FULL – BRIDGE โดยใช้ ไอจีบีที เป็นตัวสวิทช์

3.2.1 DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE

การทำงาน 4 คอร์ดแดรนท์ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการควบคุมของวงจร DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE สามารถกระทำได้ดังวงจรรูปที่ 3.18



รูปที่ 3. 18 การควบคุม 4 คอร์ดแดรนท์

จากรูปที่ 3.18 แสดงวงจรกำลังที่จะนำไปขับมอเตอร์ ใช้รูปแบบของวงจร DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE โดยใช้ไอจีบีทีเป็น ตัวสวิทช์

โดยทั่วไปแล้วการควบคุมสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การให้สวิทช์ Q ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอย่างต่อเนื่อง หรือว่า การทำงานเป็นคู่ๆ สลับ กับไดโอด และการควบคุมกระแสที่ไหลอีก ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้อีกหลายวิธี

แต่ในโครงงานนี้จะขออธิบายในวิธีที่ใช้ในการควบคุมโครงงานจริง ซึ่งคือวิธี การควบคุมให้ Q1 และ Q2 ทำงานเป็นคู่ พร้อมด้วยไดโอด D1 และ D2

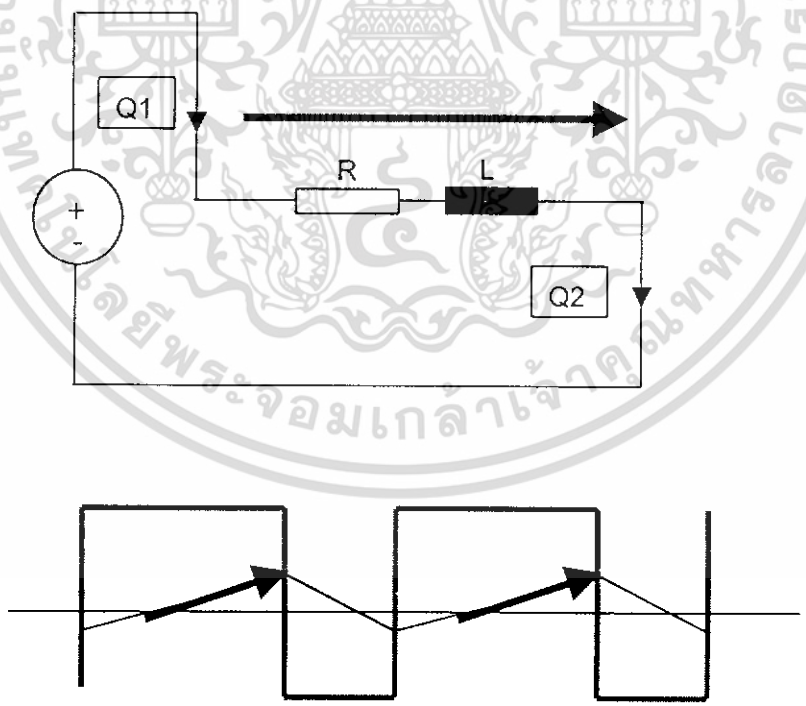
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานคือ เมื่อเราใช้สวิทช์ Q1 และ Q2 ทำงานเป็นคู่ พร้อมด้วยไดโอด D1 และ D2 วงจรดังกล่าวจะให้กระแสที่เป็นบวกและแรงดันที่ปรับค่าได้ในแต่ละทิศทาง ดังนั้นจึงเป็นการควบคุมมอเตอร์ใน คอร์ดแดรนท์ ที่ 1 และ 4 ส่วนสวิชท์ Q3 และ Q4 พร้อมด้วยไดโอด D3 และ D4 จะเป็นอีกวงจรหนึ่งที่ให้กระแสเป็นลบและให้แรงดันที่ปรับค่าได้ในแต่ละทิศทาง ดังนั้นจึงหมายถึงการควบคุมใน คอร์ดแดรนท์ ที่ 2 และ 3 นั่นเอง

การเปลี่ยนการทำงานจากคอร์ดแดรนท์ ที่ 1 ไปเป็น คอร์ดแดรนท์ ที่ 3 สามารถกระทำได้โดย ใช้ขั้นตอนดังต่อไปนี้

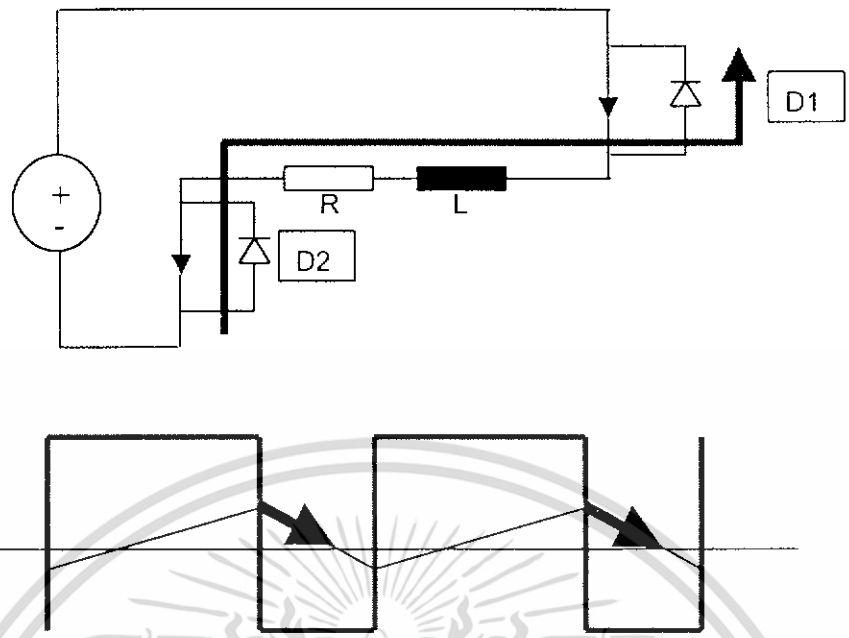
ใน คอร์ดแดรนท์ ที่ 1 สวิทช์ Q1 และ Q2 จะถูกควบคุมด้วย $0.5<\delta<1.0$ ในช่วงนี้ สวิทช์ Q1 และ Q2 จะถูกสั่งให้ถูกทำงาน กระแสอาร์เมเจอร์ไหลผ่านไดโอด D1 แหล่งจ่าย V และไดโอด D2 กระแสจะตกลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว แรงดันไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์จะมีขั้วทางด้านซ้ายมือเป็นบวก หลังจากนั้นสวิทช์ Q3 และ Q4 จะถูกควบคุมด้วย $0<\delta<0.5$ แต่โดยทั่วไปจะใช้ที่ประมาณใกล้เคียงกับ 0.5 กระแสมอเตอร์จะลดลงที่แรงบิดสูงสุดและอัตราเร็วจะค่อยๆ ตกลงเป็นศูนย์

หลังจากนั้นปรับค่า δ ให้สอดคล้องกับอัตราเร็วที่ต้องการ $0.5<\delta<1.0$ มอเตอร์มีอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้นที่แรงบิดสูงสุด และเป็นการหมุนกลับทิศทางตามที่ต้องการ

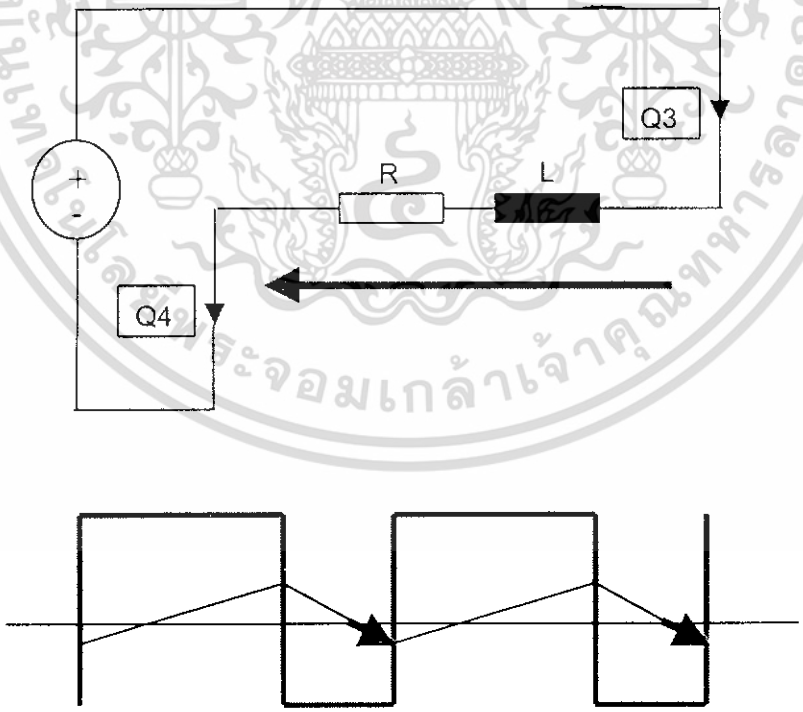


รูปที่ 3.19 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q1 และ Q2 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

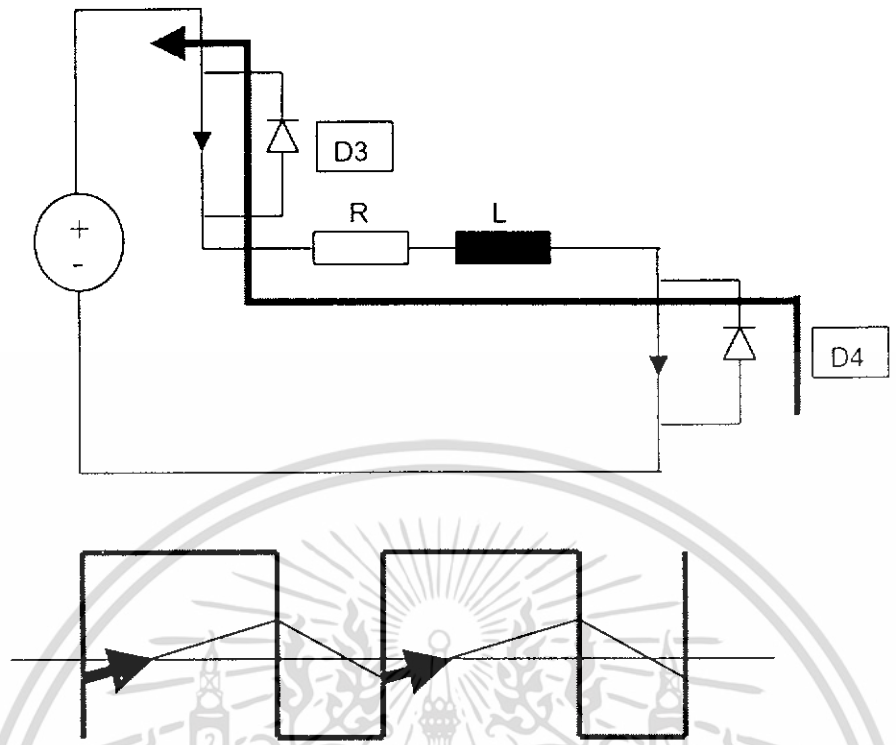


รูปที่ 3.20 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q3 และ Q4 ทำงาน พร้อม D1 และ D2



รูปที่ 3.21 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q3 และ Q4 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

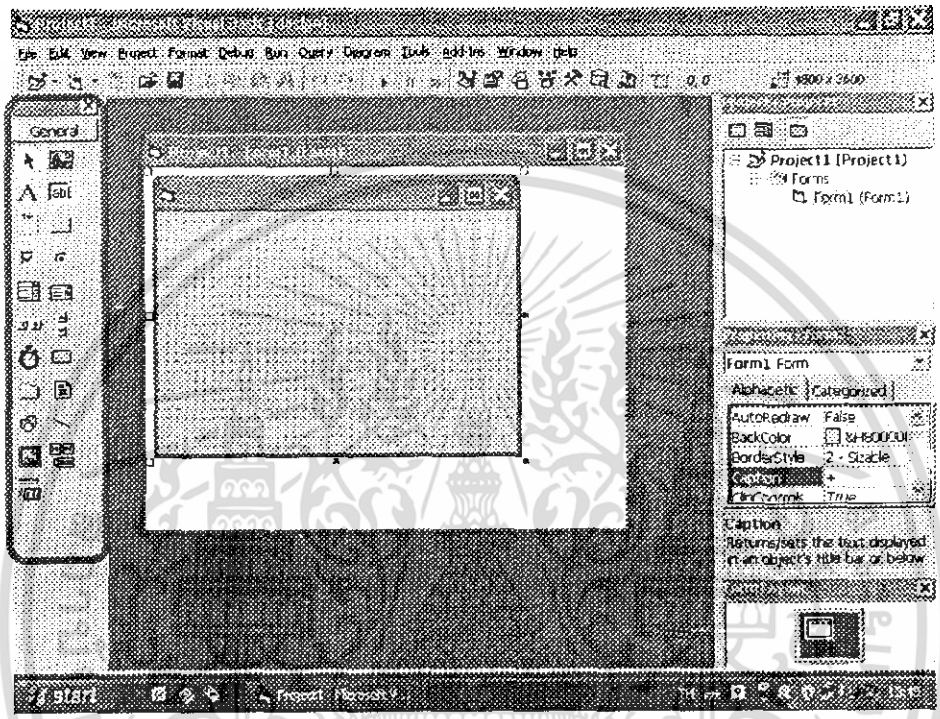


รูปที่ 3.22 ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ สวิทช์ Q1 และ Q2 ทำงาน พร้อม D3 และ D4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบในส่วนของโปรแกรม วิชวล เบสิก

ในส่วนของการออกแบบหน้าต่างของโปรแกรมวิชวล เบสิก ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่จะใช้ในการออกคำสั่งรวมถึงการแสดงผลที่ได้กระทำให้เราเห็นนั้น จะใช้ตัวอุปกรณ์ในการออกแบบเป็นแบบพื้นฐานโดยทั่วไป ซึ่งมีบรรจุอยู่แล้วในแถบเครื่องมือ (Tool Box) บนหน้าต่างของโปรแกรมวิชวล เบสิก



รูปที่ 3.23 แถบเครื่องมือ (Tool Box) และอุปกรณ์พื้นฐานบนหน้าต่างโปรแกรม

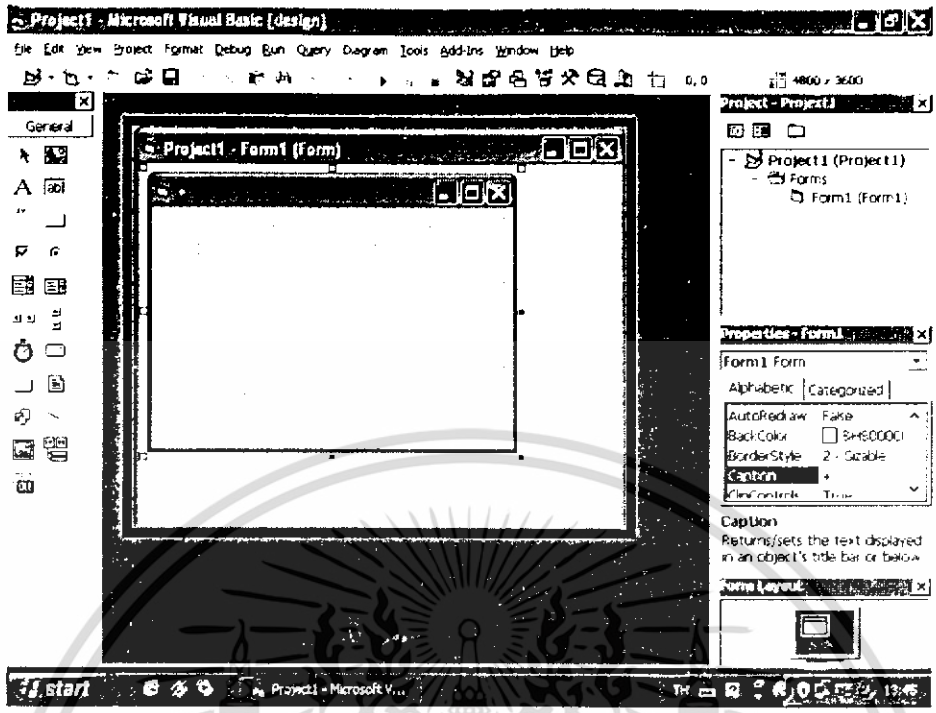
จากวัตถุประสงค์หลักที่ต้องการจะส่งคำสั่งที่สั่งมอเตอร์ในลักษณะต่างๆ และรวมถึงรับค่าการกระทำของมอเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จากการทำโครงงานก็จะพบว่ามีอุปกรณ์และเครื่องมือหลักๆ ที่อยู่ในแถบเครื่องมือของ วิชวล เบสิก ที่เลือกมาใช้งานเพื่อให้ตรงวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

3.4.1 Form Object

Form Object เป็นอ็อบเจ็กต์แรกสุดที่โปรแกรม วิชวล เบสิก ติดตั้งให้เองโดยอัตโนมัติ และเป็นอ็อบเจ็กต์ที่ไม่ได้อยู่บน Tool Box แต่จะนำขึ้นมาหลังจากได้เรียกโปรแกรม วิชวล เบสิก ขึ้นมาทำงานเป็นที่เรียบร้อย

Form Object ก็จะประกอบไปด้วย คุณสมบัติ (Property), กฎเกณฑ์ (Method), และเหตุการณ์ (Event) ต่างๆ ที่ช่วยให้เราเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของฟอร์มตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ฟอร์มที่ปรากฏขึ้นมาเมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม

ฟอร์มเป็นเหมือนกับแผ่นกระดาษเปล่าๆ แผ่นหนึ่งที่จะแต่งเติมอะไรลงไปก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อความ ช่องกรอกข้อมูล ปุ่มกด หรือการแสดงรูปหรือผลการทำงานต่างๆ ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นสิ่งที่เป็นส่วนโต้ตอบหรือแสดงผลกับผู้ใช้โปรแกรม ดังนั้นการทำงานบนโปรแกรมวิชวล เบสิก อันดับแรกต้องเป็นส่วนของฟอร์มเสมอ

3.3.2 Frame Object

Frame Object เป็นอ็อบเจ็กต์สำหรับจัดกลุ่มของอ็อบเจ็กต์ต่างๆ ที่เราออกแบบไว้บนฟอร์ม เพื่อให้ดูเป็นหมวดหมู่ และมีชื่อกำกับโดยไม่จำเป็นว่าในเฟรมนั้นจะมีอ็อบเจ็กต์กี่ตัว อีกประการคือเพื่อที่เวลาเกิดความผิดพลาด การแก้ไข หรือย้ายตำแหน่งของอ็อบเจ็กต์ต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ก็จะกระทำได้โดยง่าย

การเลือก Frame Object ออกมาใช้งานนั้นสามารถลากออกมาจาก แถบเครื่องมือพื้นฐาน (Tool Box) มาวางบนฟอร์มและลากกำหนดขนาดได้ตามต้องการ

พรอเพอร์ตี้สำคัญสำหรับ Frame Object ประกอบด้วย Caption, Font และForeColor, BackColor และ BorderStyle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Caption : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับเก็บข้อความเอาไว้แสดงเป็นหัวข้อของ เฟรม ตามปกติแล้ว ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะเป็นข้อความที่ชื่อ Frame1 แต่ถ้าเราต้องการเปลี่ยนจาก Frame1 ก็ให้พิมพ์ข้อความลงไปในพรอเพอร์ตี้ Caption ที่ Property Box

Font and ForeColor : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับปรับแต่งตัวหนังสือที่แสดงบนพรอเพอร์ตี้ Caption อย่างเดียว

BackColor : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับกำหนดสีฉากหลังแก่ เฟรม ที่สามารถกำหนดจาก Property Box หรือจากโปรแกรม

BorderStyle : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับกำหนดเส้นขอบของ เฟรม โดยจะมีค่าเป็นตัวเลข คือ 0 หรือ 1 ที่สามารถกำหนดจาก Property Box ถ้าเลือก 0 จะไม่แสดงเส้นขอบของเฟรม รวมทั้งข้อความที่แสดงที่ Caption แต่ถ้าเลือก 1 จะแสดงเส้นขอบตามปกติ

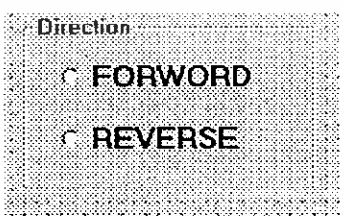
3.4.3 Option Object

Option Object เป็นอ็อบเจ็กต์ที่มีลักษณะเป็นปุ่มสำหรับเลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้น Option จะต้องมีอย่างน้อย 2 ตัวหรือมากกว่า ถ้า Option ตัวใดถูกเลือก ตัวที่เหลือก็จะถูกเลือกไม่ได้อีกโดยอัตโนมัติ

การเลือก Option Object ออกมาใช้งานนั้นสามารถลากออกมาจาก แถบเครื่องมือพื้นฐาน (Tool Box) ทั่วไปจะใช้ร่วมกับ Frame ที่ถูกวางบนฟอร์มอยู่ก่อนแล้ว โดยการกำหนดชื่อของสิ่งที่ต้องการให้เลือก

ค่าของ Option จะมีค่าเป็น True หรือ False เท่านั้น จะเป็น True เมื่อเราคลิกที่ปุ่มกลมจนมีจุดดำอยู่ที่กึ่งกลางวงกลม และจะเป็น False โดยอัตโนมัติเมื่อไปคลิกที่ปุ่มกลมอันอื่น

โดยในโครงงานนี้ใช้ Option ร่วมกับ Frame ในการเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจะมีให้เลือก 2 ทิศทาง คือใช้ 2 Option คือ FORWORD และ REVERSE โดยอยู่ใน Frame ที่มีชื่อว่า Direction ดังรูปที่ 3.25



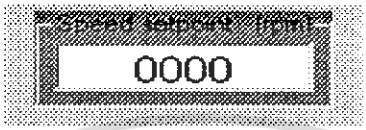
รูปที่ 3.25 การเลือกทิศทางการหมุนของมอเตอร์โดยใช้ Option ร่วมกับ Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 Text Box Object

Text Box เป็นอ็อบเจ็กต์สำหรับบันทึกข้อความในรูปแบบตัวอักษรขณะที่โปรแกรมทำงาน ผู้ใช้งานสามารถจะพิมพ์ข้อความหรือตัวเลข ลงใน Text Box ได้

การเลือก Text Box ออกมาใช้งานนั้นสามารถลากออกมาจาก แถบเครื่องมือพื้นฐาน (Tool Box) ทั่วไปจะใช้ร่วมกับ Frame ที่ถูกวางบนฟอร์มอยู่ก่อนแล้วเช่นเดียวกันกับ Option Object โดยการกำหนดหัวข้อที่ Frame ที่ต้องการจะให้ใส่ข้อความหรือตัวเลขลงไปใน Text Box



รูปที่ 3.26 Text Box สำหรับใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการโดยวางอยู่ใน Frame

โดยในโครงงานนี้ใช้ Text Box ร่วมกับ Frame ในการใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการลงไป เพื่อให้มอเตอร์หมุนตามรอบที่ต้องการ โดยจะมีพรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในโครงงานดังนี้

BorderStyle : เป็นพรอเพอร์ตี้ที่เกี่ยวกับการตีกรอบของอ็อบเจ็กต์ที่ใช้ ซึ่งมีใช้ในอ็อบเจ็กต์ต่อไปนี้คือ Form, Picture, Text Box และ Label โดยค่าของ BorderStyle จะมีอยู่ 2 ค่า คือ 0 และ 1 ถ้าเลือก 0 จะไม่แสดงเส้นกรอบ ถ้าเป็น 1 จะแสดงเส้นกรอบ

Enable : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับให้อ็อบเจ็กต์นั้นทำงานได้หรือไม่ โดยมีค่าเป็น True หรือ False ถ้าเป็น True ก็ทำงานเป็น False ก็ไม่ทำงาน พรอเพอร์ตี้นี้จะใช้มากในอ็อบเจ็กต์ Timer แต่ในส่วนของ Text Box ก็มีความสำคัญคือถ้าเป็น False โปรแกรมก็จะไม่สามารถนำค่าตัวเลขหรือข้อความที่ใส่ไปกระทำต่อได้ จะเป็นเพียงแค่การแสดงให้เห็นว่าใส่อะไรลงไปเท่านั้น

Name : เป็นพรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในเกือบทุกอ็อบเจ็กต์ โดยปกติใน Text Box จะแสดงคำว่า Text1 หากต้องการเปลี่ยน ไปเปลี่ยนได้ที่พรอเพอร์ตี้ Name ที่ Property Box ซึ่งการเปลี่ยนนั้นจะเปลี่ยนเป็นไม่มีข้อความเลยเพื่อที่จะรอข้อความที่ผู้ใช้งานจะใส่ลงไปก็ได้ แต่หากข้อความที่จะใส่ลงไปเป็นตัวเลข ให้เปลี่ยนจากเดิมเป็นเลข 0

3.3.5 Label Object

Label Object เป็นอ็อบเจ็กต์ ที่ใช้ในการนำเสนอข้อความบนฟอร์มคล้ายกับ Text Box แต่ว่า Label จะไม่สามารถรับข้อมูลที่ต้องการใส่ลงไปได้ มันจะแสดงข้อความหรือตัวเลขที่ใส่ไว้ตอนเขียนโปรแกรมหรือข้อมูลที่ได้จากการกระทำของโปรแกรมมาแสดงให้ชม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือก Label Object ออกมาใช้งานนั้นสามารถลากออกมาจาก แถบเครื่องมือพื้นฐาน (Tool Box) มาวางบนฟอร์มและลากกำหนดขนาดได้ตามต้องการ

พรอเพอร์ตี้ที่สำคัญของ Label มีดังต่อไปนี้ คือ

Caption : มีหน้าที่กำหนดข้อความที่ใช้บรรยายอ็อบเจ็กต์นั้น ซึ่งสามารถจะบรรยายได้ใน Property Box ที่ Caption ของ Label ข้อความที่พิมพ์ลงไปก็จะปรากฏใน Label นั้นๆ

Alignment : เป็นคำสั่งสำหรับจัดตัวอักษรให้ชิดซ้าย ชิดขวา หรือกึ่งกลาง เมื่อคลิกที่พรอเพอร์ตี้ Alignment ใน Property Box ก็จะพบตัวเลือก 3 ตัวเลือก คือ ถ้าเป็น 0 จะชิดซ้าย 1 จะชิดขวา และ 2 จะอยู่ตรงกลาง

BorderStyle : เป็นพรอเพอร์ตี้ที่เกี่ยวกับการตีกรอบของอ็อบเจ็กต์ที่ใช้ ซึ่งมีใช้ในอ็อบเจ็กต์ต่อไปนี้คือ Form, Picture, Text Box และ Label โดยค่าของ BorderStyle จะมีอยู่ 2 ค่า คือ 0 และ 1 ถ้าเลือก 0 จะไม่แสดงเส้นกรอบ ถ้าเป็น 1 จะแสดงเส้นกรอบ

สำหรับในโครงงานนี้การทำงานของ Label จะขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามที่เราต้องการ คือค่าที่ Label แสดงจะเป็นค่าที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบไปแล้ว ที่เห็นได้ชัดคือค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่จับมาจากการใช้เอนโค้ดเดอร์แล้วมาแสดงที่คอมพิวเตอร์ ก็จะแสดงผ่านที่ตัว Label นี้

3.4.6 Command Button Object

Command Button Object เป็นอ็อบเจ็กต์ที่มีลักษณะเป็นปุ่มสี่เหลี่ยม ออกแบบมาเพื่อให้ไซเมาส์คลิกตัวหนังสือที่อยู่บนปุ่มที่คลิก

พรอเพอร์ตี้ของ Command Button ที่สำคัญได้แก่ พรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อความบนปุ่ม พรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบตัวอักษรที่แสดงข้อความ รวมทั้งพรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของ Command Button ซึ่งมีดังต่อไปนี้

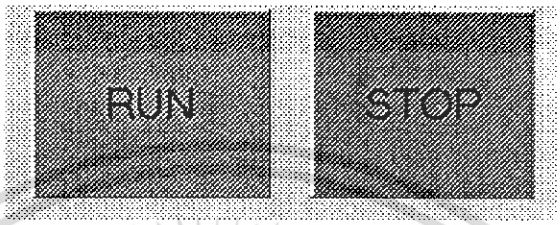
Caption : มีหน้าที่กำหนดข้อความต่างๆ บนปุ่ม โดยปกติจะมีค่าชื่อเป็น Command Button การเปลี่ยนแปลงสามารถทำได้ที่ Property Box ที่ Caption ของ Command Button ข้อความที่พิมพ์ลงไปก็จะปรากฏใน Command Button นั้นๆ

Font and ForeColor : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับปรับแต่งตัวหนังสือที่แสดงบนพรอเพอร์ตี้ Caption สามารถปรับปรุงขนาดและสีของตัวหนังสือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Style and BackColor : เป็นพรอเพอร์ตี้ที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของ Command Button โดยเราจะใช้พรอเพอร์ตี้ 2 ตัวในการเปลี่ยนสี เริ่มจากการไปที่ พรอเพอร์ตี้ Style ซึ่งจะมีค่าให้เลือก ระหว่าง 0 คือไม่ปรับเปลี่ยน กับ 1 คือการปรับเปลี่ยน เลือก 1 แล้วไปที่ พรอเพอร์ตี้ที่ชื่อ BackColor แล้วทำการเลือกสีของ Command Button ตามต้องการ

ในโครงงานนี้ใช้ Command Button เป็นตัวปุ่มกด RUN และ STOP การทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ปุ่มกด RUN และ STOP โดยใช้ Command Button Object

3.3.7 Picture Object

Picture Object เป็นอ็อบเจ็กต์ที่ใช้แสดงรูปภาพบนโปรแกรมวิชวล เบสิก ซึ่งรูปภาพนั้นจะเกิดจากการสร้างขึ้นหรือเป็นไฟล์รูปภาพก็ได้

ในโครงงานนี้จะใช้อ็อบเจ็กนี้ในลักษณะของกราฟแสดงการทำงานของค่าความเร็วรอบ โดยเราจะลากเส้นทำเป็นตารางกราฟและกำหนดจุดที่เส้นกราฟสามารถจะวิ่งไปได้ ให้ได้มากที่สุด และนำกราฟที่สร้างจาก Picture Object ไปวางไว้ใน Frame

โดยจะมีคำสั่งที่สำคัญที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ดังนี้

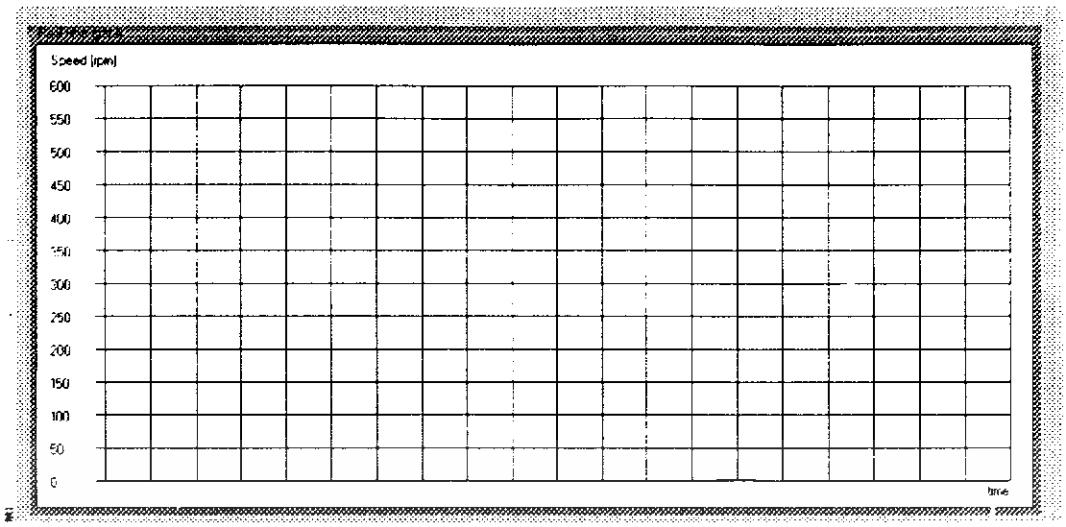
Picture.Line (X1,Y1)-(X2,Y2),สี : เป็นคำสั่งสำหรับลากเส้นตรงพร้อมทั้งกำหนดสีให้กับเส้นที่ลากด้วย ถ้าไม่กำหนดสี ถือว่าเป็นสีดำ

Picture.Line -(X1,Y1) : เป็นคำสั่งสำหรับลากเส้น โดยลากต่อจากจุดสุดท้ายของคำสั่งเดิม มายังจุด X1,Y1 เพื่อให้เส้นมีการต่อเนื่อง ถ้าใช้คำสั่งนี้แล้ว ไม่มีจุดเริ่มต้น ก็จะถือว่าเป็นจุด (0,0)

Picture.Pset (X1,Y1) : เป็นคำสั่งสำหรับกำหนดสร้างจุดลงใน Picture ที่ตำแหน่ง X1,Y1 หลังจากใช้คำสั่งนี้แล้วจะได้จุด 1 จุด เราใช้คำสั่งนี้ในการสร้างกราฟ

การทำงานของ Picture Object ในกรณีนี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่รับมาจากตัวเอนโคัดเดอร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงผลเข้ามาที่ วิชวล เบสิก ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นการวิ่งของกราฟเส้นที่ตอบสนองอย่างทันทีทันใด (Real Time) ดังแสดงในรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงค่าความเร็วรอบที่สร้างจาก Picture Object

3.3.8 Timer Object

Timer Object เป็นอ็อบเจ็กต์สำหรับตั้งรอบเวลาทำงาน โดยจะทำงานเป็นรอบ เมื่อจบรอบหนึ่งก็จะเริ่มรอบใหม่ในเวลาที่ตั้ง หรืออาจจะให้จบการทำงานเลยก็ได้ ซึ่งสามารถจะกำหนดได้ในพรอเพอร์ตี้

สำหรับ Timer Object เมื่อติดตั้งลงบนฟอร์มแล้ว เวลาโปรแกรมทำงานจะไม่แสดงอ็อบเจ็กต์ Timer ให้เห็น ดังนั้นสามารถนำ Timer ไปติดตั้งที่ใดบนฟอร์มก็ได้

พรอเพอร์ตี้ที่สำคัญของ Timer มีดังนี้

Interval : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับตั้งเวลาแก่ Timer มีค่าเป็นตัวเลข โดยที่หนึ่งหน่วยจะมีค่าหนึ่งในพันของวินาที (1 หน่วย=1/1000 วินาที) ดังนั้นหากต้องการตั้งเวลา 1 วินาที จะต้องกำหนดค่า Interval เป็น 1000 การกำหนดสามารถกำหนดได้ใน Property Box หรือเขียนเป็นโปรแกรม

Enable : เป็นพรอเพอร์ตี้สำหรับให้อ็อบเจ็กต์นั้นทำงานได้หรือไม่ โดยมีค่าเป็น True หรือ False ถ้าเป็น True นั้น Timer ก็ทำงานถ้าเป็น False Timer ก็ไม่ทำงาน

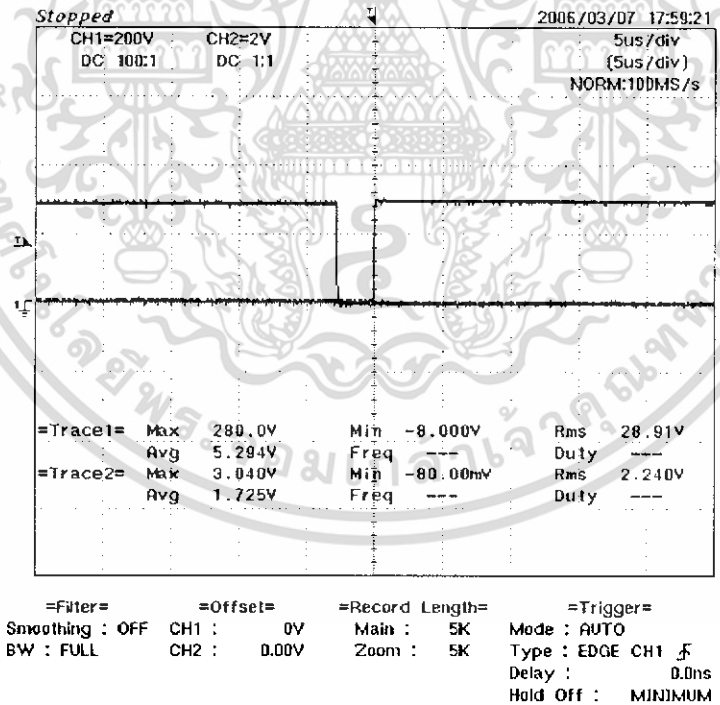
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการที่ได้ต่อวงจรและศึกษาการทำงานของระบบแล้ว จึงทำการทดลองระบบเพื่อที่จะดูว่าถูกต้องตามวัตถุประสงค์หรือไม่หากไม่ตรงตามวัตถุประสงค์จะต้องแก้ไขอย่างไร และระบบโดยรวมทั้งหมดมีประสิทธิภาพอย่างไร โดยจะทดลองและทดสอบเป็นลำดับขั้น ดังนี้

4.1 การทดสอบจับสัญญาณของวงจรเดดไทม์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าวงจรเดดไทม์ คือวงจรที่มีไว้เพื่อป้องกันสวิทช์ในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน ซึ่งหากเกิดลัดวงจรขึ้นจะทำให้สวิทช์เสียหาย และส่งผลไปถึงความเสียหายโดยรวมของระบบได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อระบบ การกำหนดค่าเดดไทม์จึงมีผลมาก เพราะว่า หากมีค่าเดดไทม์มากเกินไปก็จะทำให้การทำงานของแต่ละกิ่งของสวิทช์ทำงานช้าลง เพราะไปเสียเวลาที่เดดไทม์อยู่ ดังนั้นค่าเดดไทม์จึงต้องเป็นค่าที่มีช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพดี



รูปที่ 4.1 ส่วนช่วงเดดไทม์ที่อยู่ประมาณ 3 μs

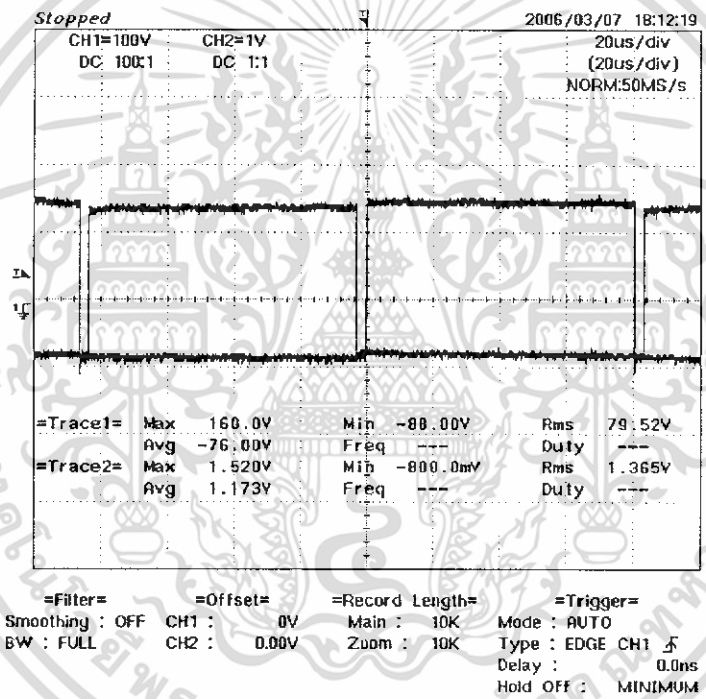
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้างต้นที่กล่าวว่าการกำหนดค่าเดดไทม์สามารถกำหนดได้โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน โดยใช้แบบความต้านทานปรับค่าได้ (R-trim pot)

จากวงจรและการทดลองจะพบว่าเมื่อปรับค่าความต้านทาน จนมีผลให้ค่า Duty Cycle อยู่ที่ประมาณ 50 % แล้วนั้น เราจะพบว่าช่วงของเดดไทม์จะอยู่ที่ประมาณ 3 μs โดยแสดงการจับสัญญาณในรูปที่ 4.1

4.2 การทดสอบจับสัญญาณที่ออกจากวงจรชุดขับและวงจรกำลัง

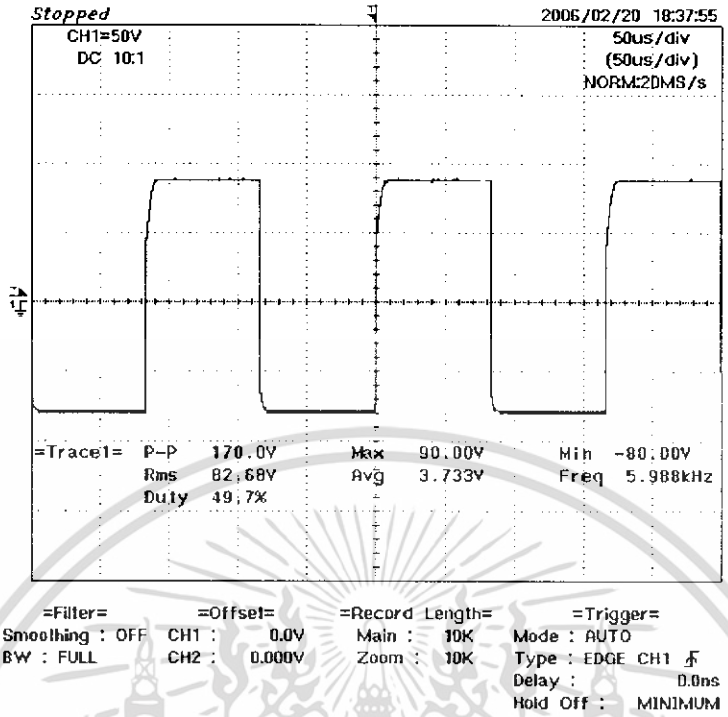
วงจรชุดขับที่จะไปสั่งให้วงจรกำลังทำงาน จะใช้ ไอซีทีแอลพี 250 ซึ่งเป็น ออปโตคัปเปลอร์ ประกอบกับวงจรส่วนอื่นๆ เพื่อไปขับ ไอจีบีที ที่ชุดวงจรกำลังเพื่อนำไปขับมอเตอร์



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ออกจากชุดขับและช่วงเดดไทม์

จากการทดลองในการจับสัญญาณ 1 โหมดแล้วนั้น จึงได้ทดลองต่อว่าเมื่อจับสัญญาณ 2 โหมดแล้วสัญญาณจะออกมาในลักษณะใด เมื่อทดลองจึงพบว่าสัญญาณที่ออกมาใน 2 โหมดที่ต่างกันเป็นไปในอย่างที่ต้องการ คือ มีช่วงเดดไทม์ที่เหมาะสม ทำให้ระบบเกิดความปลอดภัย และน่าจะสามารถนำไปสั่งให้ชุด วงจรกำลังทำงานได้ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



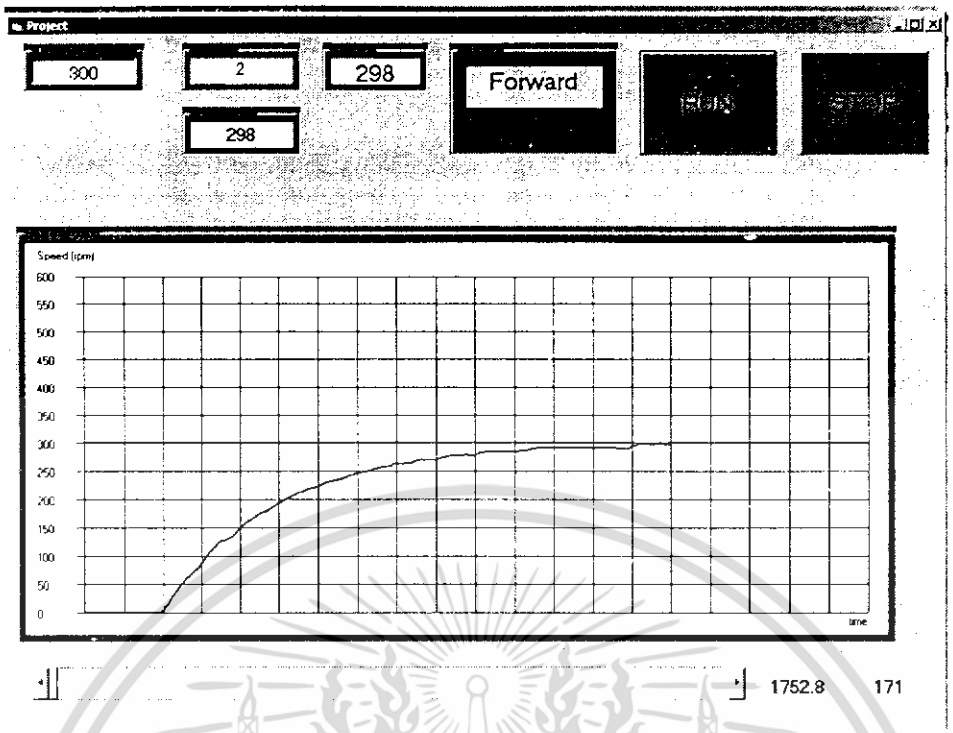
รูปที่ 4.3 การจับสัญญาณที่ออกจากชุดวงจรกำลังที่พร้อมไปขับมอเตอร์

จากสัญญาณที่ออกมาจากชุดวงจรกำลังจะพบว่า แรงดันที่ออกมาใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่มอเตอร์ต้องการ คือ 90 โวลท์ ซึ่งวงจรกำลังที่ใช้วงจร DC – DC CONVERTER FULL-BRIDGE โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวสวิทช์นั้น การที่จะแรงดันออกมาตามที่ต้องการจะต้องใช้หม้อแปลง แปลงแรงดันออกมาให้ได้ใกล้เคียงกับค่าพิกัดมอเตอร์ ซึ่งแรงดันที่ออกมาก่อนที่จะไปขับมอเตอร์ สามารถจับสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.3

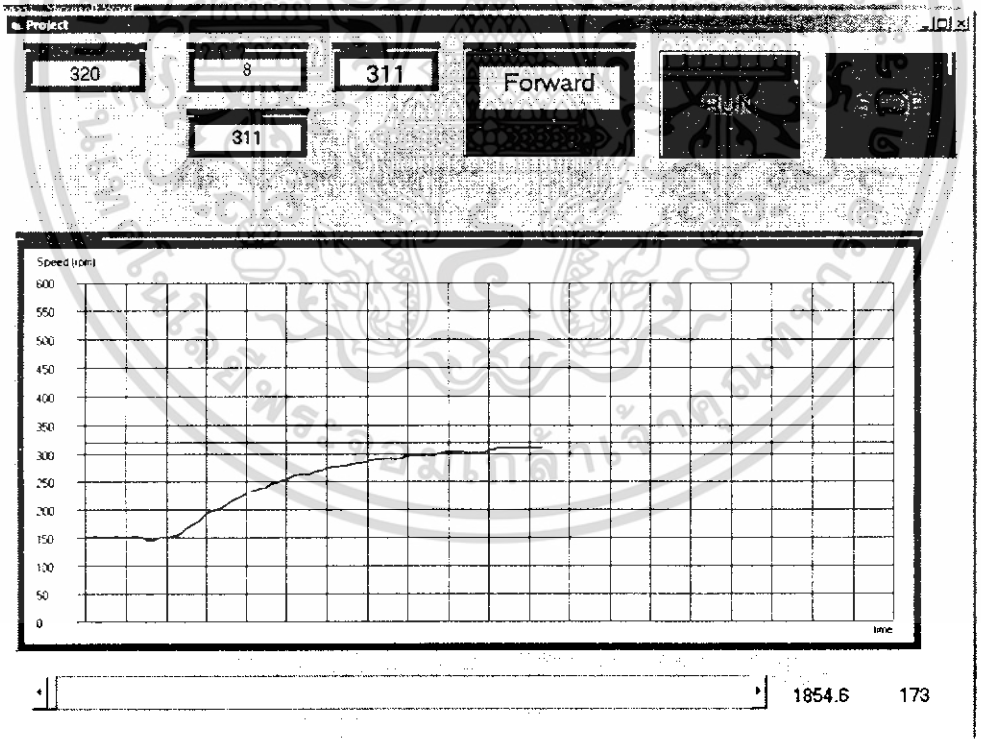
4.3 การทดลองแบบวงรอบปิด

การทดลองในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดลองการทำงานโดยรวมของโครงงาน โดยจะใช้หน้าต่างโปรแกรม วิชวล เบสิก เป็นตัวสั่งและควบคุม รวมถึงแสดงผลที่ได้ในการทำงานประกอบกับชุดวงจรทุกส่วนในการทำงาน เพื่อที่จะทดสอบว่าโครงงานโดยรวมเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลตอบชัวครู่ของความเร็วรอบมอเตอร์เมื่อตั้งค่าความเร็วที่ 300 rpm



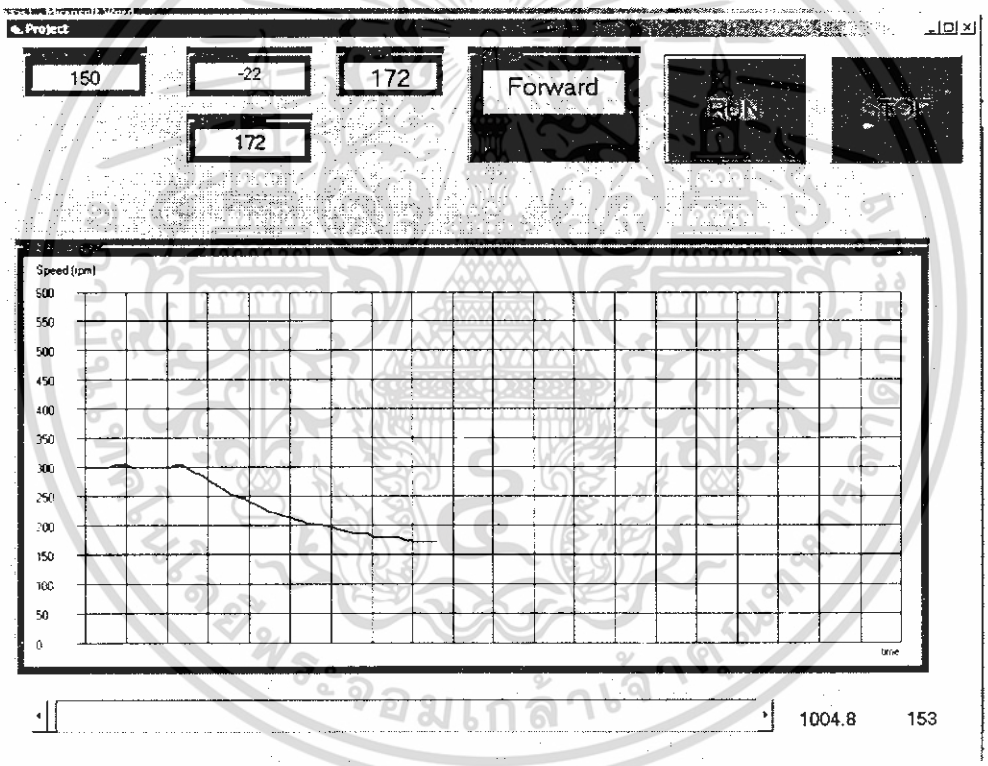
รูปที่ 4.5 กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วจาก 150 rpm ไปยัง 320 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่ากราฟของความเร็วรอบจะพุ่งขึ้นไปหาค่าที่ต้องการ โดยการสั่งผ่านทางหน้าต่างของโปรแกรม เมื่อกด RUN กราฟก็จะพุ่งขึ้นไปตามค่าที่กำหนดไว้ในช่อง Speed Setpoint โดยค่าที่ได้จะแสดงในรูปของตัวเลขในช่อง Actual Speed ส่วนต่างที่ผิดพลาดไปจากค่าที่ตั้งไว้จะแสดงในช่อง Error

ในรูปที่ 4.6 เป็นการเพิ่มค่าของความเร็วรอบหลังจากที่มอเตอร์หมุนที่ค่าความเร็วรอบค่าใดค่าหนึ่งแล้ว ซึ่งการสั่งการทำงานก็จะสามารถทำได้เหมือนกับการเริ่มสตาร์ทตอนแรก ค่าความเร็วรอบก็จะพุ่งขึ้นไปตามที่ต้องการ

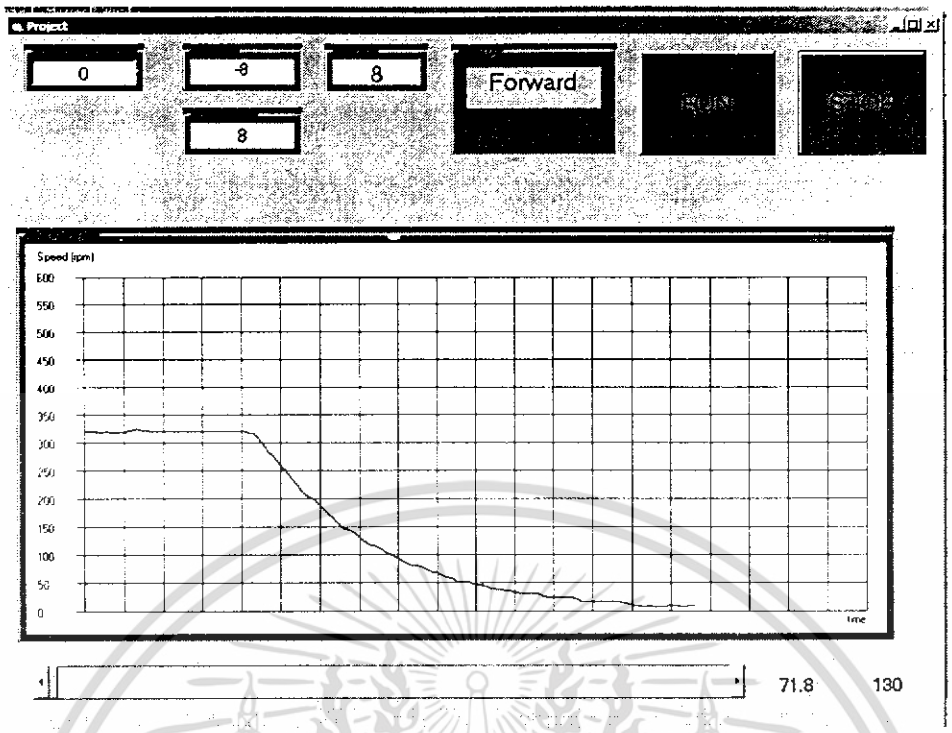
จากการทดลองทั้งสองขั้นตอน ดังที่ปรากฏในกราฟทั้งสองนั้น ทำให้รู้ว่าระบบสามารถทำงานในการเพิ่มความเร็วรอบให้กับมอเตอร์ให้ได้ความเร็วตามต้องการได้ และใช้การควบคุมและแสดงผลผ่านทางโปรแกรมวิชวล เบสิก ได้ตามวัตถุประสงค์



รูปที่ 4.6 กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนค่าความเร็วจาก 300 rpm ไปยัง 150 rpm

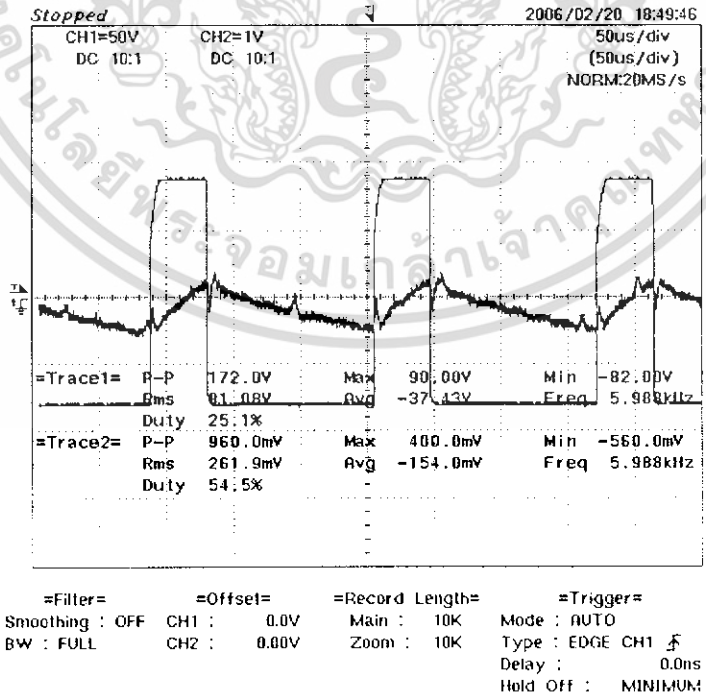
ในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่าความเร็วรอบ มาสู่ค่าความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ ในขณะที่มอเตอร์หมุนอยู่ที่ความเร็วเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมสามารถทำให้มอเตอร์ทำงานตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความเร็วรอบที่ลดลงสู่ศูนย์

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงการทำงานในช่วงที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดการทำงาน โดยเราจะกดปุ่ม STOP เพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุน กราฟจะตกลงสู่ศูนย์และมอเตอร์หยุดการทำงาน เพื่อรอคำสั่งใหม่ต่อไป



รูปที่ 4.8 ลักษณะของกระแสเทียบกับแรงดันขณะปรับความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์โครงงาน

5.1 สรุปโครงงาน

การควบคุมในลักษณะของโครงงานที่ทำนี้ จะช่วยในเรื่องของความสะดวกในการทราบคุณลักษณะของมอเตอร์ในด้านของความเร็วรอบ ในขณะที่มอเตอร์ทำงาน รวมไปถึงการปรับค่าความเร็วรอบต่างๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถกระทำได้ในโครงงานนี้

การออกแบบวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ โครงงานนี้ใช้เทคนิคการควบคุมแบบ DC – DC CONVERTER FULL- BRIDGE ซึ่งใช้สวิทช์เป็น ไอจีบีที 4 ตัว ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยให้สวิทช์ไอจีบีทีทำงานเป็นคู่ มีโหมดการทำงานเป็น 4 ควอร์ดแดรนท์ ซึ่งสามารถที่จะตอบสนองความต้องการในการทดสอบการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานได้หลากหลาย โดยสั่งผ่านทางหน้าต่างโปรแกรม วิชวล เบสิก ได้เป็นอย่างดี

จากการทดลองต่อเนื่องมา ทางกลุ่มสามารถที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ด้วยการสั่งจากหน้าต่างโปรแกรมวิชวล เบสิก ที่ได้สร้างขึ้น โดยการส่งคำสั่งไปที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไปสั่งให้ชุดขับทำงานให้มอเตอร์หมุน และมีเอนโค้ดเดอร์คอยตรวจสอบค่าการทำงานของมอเตอร์มาแสดงที่หน้าต่างของ โปรแกรมวิชวล เบสิก เพื่อทราบผลการทำงาน

ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์ โครงงานนี้ได้ใช้การควบคุมแบบ PI ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าระบบจะตอบสนองต่อการสั่งการได้รวดเร็วยิ่งขึ้นจากการควบคุมแบบ P และการผิดเพี้ยนของการตอบสนองหรือค่า error ของระบบลดน้อยลงเมื่อได้รับการควบคุมแบบ I ซึ่งเมื่อนำการควบคุมทั้ง 2 มาใช้ร่วมกัน ก็เป็นผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

เมื่อมองโครงงานโดยรวมจะได้ว่าจากการศึกษาและค้นคว้าเนื้อหาของโครงงานและการประกอบชิ้นงานและทำการทดลองนั้น ผลที่ได้สามารถที่จะยืนยันแนวความคิดของการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงโดยควบคุมผ่านทางโปรแกรม วิชวล เบสิก ได้เป็นอย่างดี เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงานที่วางไว้ทุกประการ

สุดท้าย จากการเริ่มต้นทำโครงงานและทดลองในส่วนต่างๆ นั้น ทำให้ผู้ทำได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำงานใหม่ๆ ได้มองเห็นถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ และความผิดพลาดรวมไปถึงการแก้ปัญหาในการทำงาน ซึ่งจะนำไปปรับแก้และประยุกต์ใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตประจำวันต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไข

จากการทำงานที่ผ่านมาสามารถที่จะสรุปปัญหาและอุปสรรค รวมถึงการแก้ไขได้ดังนี้

ในส่วนของชิ้นงาน ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญคือ ในส่วนของวงจรชุดขับที่ใช้ ออปโตคัปเปลอร์ TLP 250 เป็นตัวไอโซเลต ซึ่งในการทดลองและต่อวงจรนั้นเกิดการผิดพลาดในการต่อวงจร ทำให้อุปกรณ์และวงจรเกิดการเสียหาย

ส่วนต่อมาที่สำคัญที่สุดคือ ส่วนของวงจรกำลังที่ใช้ ไอจีบีที 4 ตัวเป็นตัวสวิทช์ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาจะประสบปัญหาความเสียหายจากไอจีบีทีบ่อยครั้งมาก ซึ่งเกิดมาจากการต่อวงจรที่ผิดพลาดอย่างหนึ่ง รวมไปถึงการทดลอง โดยการถอดชุดแหล่งจ่ายที่มาจ่ายให้กับชุดวงจรกำลังหลังสุด ซึ่งในความเป็นจริงจะต้องปิดแหล่งจ่ายนี้เป็นอันดับแรก จึงเป็นผลให้เกิดการช็อตกันระหว่างขาของไอจีบีที ทำให้เกิดการเสียหายกับตัวไอจีบีที ไม่สามารถที่จะใช้งานต่อไปได้ ทำให้การทดลองการทำงานของโครงงานต้องหยุดชะงักไป

แนวทางการแก้ไขที่ทางกลุ่มได้จัดทำคือการแยกสวิทช์ที่ทำการตัดต่อแหล่งจ่ายนี้ ออกมาให้เห็นเด่นชัด ไม่รวมกับแหล่งจ่ายชุดอื่นๆ ทำเครื่องหมายและบอกลำดับการตัดต่อการทำงานอย่างชัดเจน เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงาน ซึ่งก็สามารถรองรับกับความผิดพลาดได้เป็นอย่างดี

อุปสรรคที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้ประกอบในการทดลอง ซึ่งเครื่องมือบางชนิด ทางกลุ่มยังไม่มีความชำนาญพอในการใช้งาน จึงต้องศึกษาการใช้งานอย่างละเอียด เพื่อความถูกต้องในการทดลองและที่สำคัญคือป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดได้กับเครื่องมือวัดนั้นๆ ซึ่งในส่วนนี้ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การทดลองล่าช้าไปพอสมควร แต่ก็มีประโยชน์ที่ได้ความรู้จากการได้ใช้เครื่องมือหลากหลายประเภท

ปัญหาที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือ การเลือกซื้ออุปกรณ์มาทำการต่อวงจร เพราะอุปกรณ์บางตัวเมื่อไปซื้อกลับพบว่าของหมด หรือของยังไม่มา อีกข้อคือการซื้ออุปกรณ์หรือไอซี บางตัวผิดเบอร์ทำให้เกิดการล่าช้าในการจัดซื้อใหม่หรือเปลี่ยนใหม่

ทางด้านปัญหาของการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้นั้น ส่วนใหญ่จะมาจากการรวบรวมข้อมูล การคัดเลือกข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสมกับโครงงาน ซึ่งข้อมูลของอุปกรณ์หรือวงจรบางจุด มีหลากหลายเนื่อหาที่ต่างกันจึงต้องนำมาประยุกต์ให้ได้ข้อมูลที่ได้ใจความและเหมาะสมที่สุด และความผิดพลาดทางด้านการพิมพ์และการจัดวางรูปแบบ ซึ่งทั้งหมดนี้ก็เป็นปัญหาอีกทางหนึ่งที่ทำให้โครงงานเกิดความล่าช้า

จากปัญหาอุปสรรคต่างๆ ที่มีผลทำให้โครงงานสะดุดหรือล่าช้า ตามที่ได้กล่าวมานั้น แนวทางการแก้ไขของทางกลุ่ม อันดับแรกคือการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในขอบเขตที่สามารถศึกษาและค้นคว้าด้วยตนเองได้ แต่หากเป็นปัญหาหรืออุปสรรคที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ก็จะทำการขอคำปรึกษา คำอธิบาย หรือการแก้ไขปัญหาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคำแนะนำจากนักศึกษาปริญญาโท ซึ่งจากการปรึกษาและขอคำแนะนำ ทำให้ข้อผิดพลาดของโครงงานถูกแก้ไขอย่างถูกต้องทำให้โครงวงานสามารถดำเนินการต่อไปได้ และประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

สามารถที่จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในงานอุตสาหกรรมได้ โดยใช้การควบคุมแบบควบคุมความเร็วรอบ สามารถจะทำงานกับมอเตอร์หลาย ๆตัวได้ภายในหน้าต่างโปรแกรมเดียวกัน ในส่วนของการสื่อสารแบบ RS-232 ที่ใช้สายเชื่อมต่อผ่านทาง Serial Port ก็อาจจะเปลี่ยนมาใช้การสื่อสารไร้สายโดยใช้ Wire Less แทน และอาจจะพัฒนาไปถึงการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ และเครื่องจักรกลทางอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design,** John Wiley & Sons, Inc., 1989.

[2] Jan Axelson, **Serial port complete : programming and circuits for RS-232 and RS-485 links and networks,** Madison WI : Lakeview Research, 2000.

[3] Muhammad H. Rashid, **Power electronics : circuits, devices, and applications,** 2nd Ed., London : Prentice-Hall International, 1993.

[4] B.K. Bose, **Power electronics and AC drives,** Englewood Cliffs, NJ : Prentice - Hall, 1986.

[5] วีระเชษฐ์ ขันเงิน และวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง,** กรุงเทพ,2547.

[6] ไวภพ วัฒนะ และคณะ, " การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 คอร์ดแดรนท์ ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ", **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต,** สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544

[7] ทิวา ชำนาญถิ่นเถื่อน และคณะ, " เอซีซอปเปอร์ชนิดกลับขั้วได้สำหรับปรับสภาพแรงดันไฟฟ้า ", **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต,** สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547

[8] อภิชาติ ภู่พลับ,**สนุก! กับการประยุกต์ใช้ Visual Basic,** นนทบุรี : อินโฟเพรส,2546

[9] อภิชาติ ภู่พลับ, **เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic,** นนทบุรี : อินโฟเพรส,2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม วิชวล เบสิก

```
Dim speed(0 To 200) As Single
Dim Index As Single
Dim data As String
Dim counter As Single
Dim error, U_PCA, error_Old, sum, Ui, Up, U, txtSpeeds As Single
Dim status_For, status_Rev As Boolean
Private Sub cmdRUN_Click()

    txtSpeeds = Val(txtSpeed.Text)
    pic(0).DrawWidth = 2
    pic(0).Line (0, Val(txtSpeed.Text))-(200, Val(txtSpeed.Text)), vbRed


    If txtSpeeds < 3000 Then
       trmComp.Enabled = True
    Else
       MsgBox ("Speed can't more than 3000 rpm"), , "command error"
       txtSpeed.Text = " "
    End If
End Sub
Private Sub cmdStop_Click()
    txtSpeeds = 0
    txtSpeed.Text = "0"

    lblhsc.Caption = U_PCA
    lblError.Caption = error
    lblPCA.Caption = U


  End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Activate()

    pic(0).DrawWidth = 1
    pic(0).Scale (-15, 660)-(205, -60)
    pic(0).Line (0, 0)-(200, 0)
    pic(0).Line (0, 0)-(0, 600)

    For i = 0 To 600 Step 50
    pic(0).Line (-2, i)-(200, i)
    pic(0).CurrentX = -9
    pic(0).CurrentY = i + 9
    pic(0).Print i
    Next i

    For k = 0 To 200 Step 20
    pic(0).CurrentX = k - 2
    pic(0).CurrentY = -6
    pic(0).Print k * 0.025
    Next k

    For j = 10 To 200 Step 10
    pic(0).Line (j, 600)-(j, 0)
    Next j

    pic(0).CurrentX = -12
    pic(0).CurrentY = 650
    pic(0).Print "Speed (rpm)"

    pic(0).CurrentX = 190
    pic(0).CurrentY = -35
    pic(0).Print "time (sec)"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub Form_Initialize()
    Index = 0
    For i = 1 To 4 Step 1
    pic(i).Visible = False
    Next i
End Sub
Private Sub Form_Load()
    msc.CommPort = 2
    msc.Settings = "9600,n,8,1"
    msc.PortOpen = True
    msc.RThreshold = 1
    msc.InputLen = 0
    If Not msc.PortOpen Then
    msc.PortOpen = True
    Else
    MsgBox ("com port already open"), , "comport error"
    End If
    hsc.Min = 128
    hsc.Max = 200
    hsc.Value = 128
    trmComp.Enabled = False
    error_Old = 0
    lblStatus_F.Visible = False
    lblStatus_R.Visible = False
End Sub
Private Sub hsc_Change()
    msc.Output = Chr(hsc.Value)
    lblhsc.Caption = (hsc.Value)
End Sub
Private Sub hsc_Scroll()
    msc.Output = Chr(hsc.Value)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lblhsc.Caption = (hsc.Value)
End Sub
Private Sub msc_OnComm()
Select Case msc.CommEvent
            Case comEvReceive

            data = msc.Input                    'get data from 8051

            lbl6.Caption = Asc(Right(data, 1)) * 256 + Asc(Left(data, 1))
            lbl1.Caption = Round(Val(lbl6.Caption))                    ' sampling 100
mS if mul by 1.5
            counter = Round(Val(lbl1.Caption))
            Call plotgraph
End Select
End Sub
Sub plotgraph()

If Index < 200 Then
    If counter < 600 Then
        pic(1).Visible = False
        pic(2).Visible = False
        pic(3).Visible = False
        pic(4).Visible = False
        Call scale_0
     ElseIf counter < 1200 Then
        pic(1).Visible = True
        pic(2).Visible = False
        pic(3).Visible = False
        pic(4).Visible = False
        Call scale_1
    ElseIf counter < 1800 Then
        pic(1).Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pic(2).Visible = True
        pic(3).Visible = False
        pic(4).Visible = False
        Call scale_2
    ElseIf counter < 2400 Then
        pic(1).Visible = False
        pic(2).Visible = False
        pic(3).Visible = True
        pic(4).Visible = False
        Call scale_3
        ElseIf counter < 3000 Then
        pic(1).Visible = False
        pic(2).Visible = False
        pic(3).Visible = False
        pic(4).Visible = True
        Call scale_4
    End If
Else
Index = 0
speed(0) = speed(200)
pic(0).Cls
pic(1).Cls
pic(2).Cls
pic(3).Cls
pic(4).Cls


End If
End Sub
Sub scale_0()
        pic(0).DrawWidth = 1
        pic(0).Scale (-15, 660)-(205, -40)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pic(0).Line (0, 0)-(200, 0)        'X axis
pic(0).Line (0, 0)-(0, 600)        'Y axis

For i = 0 To 600 Step 50           ' scale Y axis
pic(0).Line (-2, i)-(200, i)
pic(0).CurrentX = -9
pic(0).CurrentY = i + 9
pic(0).Print i
Next i

 For k = 0 To 200 Step 20
pic(0).CurrentX = k - 2
pic(0).CurrentY = -6
pic(0).Print k * 0.025
Next k


For j = 10 To 200 Step 10
pic(0).Line (j, 600)-(j, 0)
Next j

pic(0).CurrentX = -12
pic(0).CurrentY = 650
pic(0).Print "Speed (rpm)"

pic(0).CurrentX = 190
pic(0).CurrentY = -20
pic(0).Print "time (sec)"

pic(0).DrawWidth = 2
speed(Index + 1) = counter
pic(0).Line (Index, speed(Index))-(Index + 1, speed(Index + 1)), vbBlue
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Index = Index + 1
End Sub
Sub scale_1()

        pic(1).DrawWidth = 1
        pic(1).Scale (-15, 1260)-(205, 560)
        pic(1).Line (0, 600)-(200, 600)
        pic(1).Line (0, 600)-(0, 1200)

        For i = 600 To 1200 Step 50
        pic(1).Line (-2, i)-(200, i)
        pic(1).CurrentX = -13
        pic(1).CurrentY = i + 9
        pic(1).Print i
        Next i

        For j = 10 To 200 Step 20
        pic(1).Line (j, 1200)-(j, 600)
        Next j

        pic(1).CurrentX = -12
        pic(1).CurrentY = 1250
        pic(1).Print "Speed (rpm)"

        pic(1).CurrentX = 195
        pic(1).CurrentY = 595
        pic(1).Print "time"

        pic(1).DrawWidth = 2
        speed(Index + 1) = counter
        pic(1).Line (Index, speed(Index))-(Index + 1, speed(Index + 1)), vbBlue
        Index = Index + 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Sub scale_2()
    pic(2).DrawWidth = 1
    pic(2).Scale (-15, 1860)-(205, 1160)
    pic(2).Line (0, 1200)-(200, 1200)
    pic(2).Line (0, 1200)-(0, 1800)

    For i = 1200 To 1800 Step 50
    pic(2).Line (-2, i)-(200, i)
    pic(2).CurrentX = -13
    pic(2).CurrentY = i + 9
    pic(2).Print i
    Next i

    For j = 10 To 200 Step 20
    pic(2).Line (j, 1800)-(j, 1200)
    Next j

    pic(2).CurrentX = -12
    pic(2).CurrentY = 1850
    pic(2).Print "Speed (rpm)"

    pic(2).CurrentX = 195
    pic(2).CurrentY = 1195
    pic(2).Print "time"

    pic(2).DrawWidth = 2
    speed(Index + 1) = counter
    pic(2).Line (Index, speed(Index))-(Index + 1, speed(Index + 1)), vbBlue
    Index = Index + 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Sub scale_3()
        pic(3).DrawWidth = 1
        pic(3).Scale (-15, 2460)-(205, 1760)
        pic(3).Line (0, 2400)-(200, 2400)
        pic(3).Line (0, 1800)-(0, 2400)

        For i = 1800 To 2400 Step 50
        pic(3).Line (-2, i)-(200, i)
        pic(3).CurrentX = -13
        pic(3).CurrentY = i + 9
        pic(3).Print i
        Next i

        For j = 10 To 200 Step 20
        pic(3).Line (j, 2400)-(j, 1800)
        Next j

        pic(3).CurrentX = -12
        pic(3).CurrentY = 2450
        pic(3).Print "Speed (rpm)"

        pic(3).CurrentX = 195
        pic(3).CurrentY = 1795
        pic(3).Print "time"

        pic(3).DrawWidth = 2
        speed(Index + 1) = counter
        pic(3).Line (Index, speed(Index))-(Index + 1, speed(Index + 1)), vbBlue
        Index = Index + 1
End Sub
Sub scale_4()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pic(4).DrawWidth = 1
        pic(4).Scale (-15, 3060)-(205, 2360)
        pic(4).Line (0, 2400)-(200, 2400)
        pic(4).Line (0, 2400)-(0, 3000)

        For i = 2400 To 3000 Step 50
        pic(4).Line (-2, i)-(200, i)
        pic(4).CurrentX = -13
        pic(4).CurrentY = i + 9
        pic(4).Print i
        Next i

        For j = 10 To 200 Step 20
        pic(4).Line (j, 3000)-(j, 2400)
        Next j

        pic(4).CurrentX = -12
        pic(4).CurrentY = 3050
        pic(4).Print "Speed (rpm)"

        pic(4).CurrentX = 195
        pic(4).CurrentY = 2395
        pic(4).Print "time"

        pic(4).DrawWidth = 2
        speed(Index + 1) = counter
        pic(4).Line (Index, speed(Index))-(Index + 1, speed(Index + 1)), vbBlue
        Index = Index + 1
End Sub
Private Sub optFor_Click()
        lblStatus_F.Visible = True
        lblStatus_R.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        status_For = True
        status_Rev = False
End Sub
Private Sub optRev_Click()
       lblStatus_F.Visible = False
        lblStatus_R.Visible = True
        status_For = False
        status_Rev = True

End Sub
Private Sub trmComp_Timer()
If status_For = True Then
        error = txtSpeeds - counter
        sum = (error + error_Old)
        error_Old = sum
        Ui = sum * 0.05
        Up = error * 0.05
        U = Ui + Up
        U_PCA = Round(U / 41 + 128)
        lblStatus_F.Visible = True
        lblStatus_R.Visible = False

        msc.Output = Chr(U_PCA)

  '********************************** PCA upper bound Protection  ***********
        If U_PCA > 190 Then
        trmComp.Enabled = False
        End If
  '*****************************************************************************

        lblhsc.Caption = U_PCA
        lblError.Caption = error
        lblPCA.Caption = U
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Else
        error = txtSpeeds - counter
        sum = (error + error_Old)
        error_Old = sum
        Ui = sum * 0.05
        Up = error * 0.05
        U = Ui + Up
        U_PCA = Round(128 - U / 41)
        lblStatus_F.Visible = False
        lblStatus_R.Visible = True

        msc.Output = Chr(U_PCA)

    '********************************** PCA upper bound Protection  ***********
        If U_PCA < 66 Then
        trmComp.Enabled = False
        End If
    '*****************************************************************************
        lblhsc.Caption = U_PCA
        lblError.Caption = error
        lblPCA.Caption = U
End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์

```
CKCON     EQU    08FH          ; Clock Control Register
CMOD      EQU    0D9H          ; PCA Timer/Counter Mode
CCAP0H    EQU    0FCH          ; PCA Compare/Capture Module 0 High
CCAP0L    EQU    0ECH          ; PCA Compare/Capture Module 0 Low
CCAPM0    EQU    0DCH          ; PAC Timer/Counter Mode0
CCON      EQU    0D8H          ; PCA Timer/Counter Control

ORG    0000H
;-------------------------------------------------------------------------------BAUD RETE SETTING
      MOV    IE,#00000000B       ; ensure that IE register never set before
      MOV    TMOD,#00100101B       ; setting T1 auto reload T0 COUNTR 16 BIT
      MOV    TL1,#251D           ; setting
      MOV    TH1,#251D           ; setting
      MOV    SCON,#01010000B       ; setting  serial communication mode 1 (poppular
mode)
      CLR    RI                  ; ensure that RI can't be "1" before
      CLR    TI
      SETB   TR1                 ; begin communication
      mov    p0,#00000000B
;-------------------------------------------------------------------------------------------------*/
      MOV    CKCON,#11011110B
      MOV    CMOD,#11111001B
      MOV    CCAP0H,#128D
      MOV    CCAP0L,CCAP0H
      MOV    CCAPM0,#01000010B
      MOV    CCON,#01000000B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MAIN:   JNB     RI,$                    ;
        CLR     RI                      ; waite for recive data
        MOV     A,SBUF                  ;
LOOP:   NOP
        MOV     CKCON,#11011110B
        MOV     CMOD,#11111001B
        MOV     CCAP0H,A
        MOV     CCAP0L,CCAP0H
        MOV     CCAPM0,#01000010B
        MOV     CCON,#01000000B         ; begin PCA

        MOV     TL0,#00D                ; setting
        MOV     TH0,#00D                ; setting
        SETB    P3.4
        SETB    TR0
        ACALL   DELAY
        CLR     TR0

        MOV     SBUF,TL0
        JNB     TI,$
        CLR     TI
        MOV     SBUF,TH0
        JNB     TI,$
        CLR     TI

        MOV     P0,A
        JNB     RI,LOOP
        SJMP    MAIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY:  MOV    R7,#60D      ; 240 equal delay 100 mS
LOOP1:  MOV    R6,#159D
LOOP2:  NOP
        NOP
        DJNZ   R6,LOOP2
        DJNZ   R7,LOOP1
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- 80C51 Core Architecture
- 256 Bytes of On-chip RAM
- 1 KB of On-chip XRAM
- 32 KB of On-chip Flash Memory
  - Data Retention: 10 Years at 85°C
    Read/Write Cycle: 10K
- 2 KB of On-chip Flash for Bootloader
- 2 KB of On-chip EEPROM
  Read/Write Cycle: 100K
- 14-sources 4-level Interrupts
- Three 16-bit Timers/Counters
- Full Duplex UART Compatible 80C51
- Maximum Crystal Frequency 40 MHz, in X2 Mode, 20 MHz (CPU Core, 20 MHz)
- Five Ports: 32 + 2 Digital I/O Lines
- Five-channel 16-bit PCA with:
  - PWM (8-bit)
  - High-speed Output
  - Timer and Edge Capture
- Double Data Pointer
- 21-bit Watchdog Timer (7 Programmable Bits)
- 10-bit Resolution Analog to Digital Converter (ADC) with 8 Multiplexed Inputs
- On-chip Emulation Logic (Enhanced Hook System)
- Power Saving Modes:
  - Idle Mode
  - Power-down Mode
- Power Supply: 3V to 5.5V
- Temperature Range: Industrial (-40° to +85°C)
- Packages: VQFP44, PLCC44

Description

The A/T89C51AC2 is a high performance Flash version of the 80C51 single chip 8-bit microcontrollers. It contains a 32 KB Flash memory block for program and data.

The 32 KB Flash memory can be programmed either in parallel mode or in serial mode with the ISP capability or with software. The programming voltage is internally generated from the standard VCC pin.

The A/T89C51AC2 retains all features of the 80C51 with 256 bytes of internal RAM, a 7-source 4-level interrupt controller and three timer/counters. In addition, the A/T89C51AC2 has a 10-bit A/D converter, a 2 KB Boot Flash memory, 2 KB EEPROM for data, a Programmable Counter Array, an XRAM of 1024 bytes, a Hardware Watch-Dog Timer, and a more versatile serial channel that facilitates multiprocessor communication (EUART). The fully static design of the A/T89C51AC2 reduces system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The A/T89C51AC2 has two software-selectable modes of reduced activity and an 8-bit clock prescaler for further reduction in power consumption. In the idle mode the CPU is frozen while the peripherals and the interrupt system are still operating. In the Power-down mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

The added features of the A/T89C51AC2 make it more powerful for applications that need A/D conversion, pulse width modulation, high speed I/O and counting capabilities such as industrial control, consumer goods, alarms, motor control, among others. While remaining fully compatible with the 80C52, the T8C51AC2 offers a superset of this standard microcontroller. In X2 mode, a maximum external clock rate of 20 MHz reaches a 300 ns cycle time.

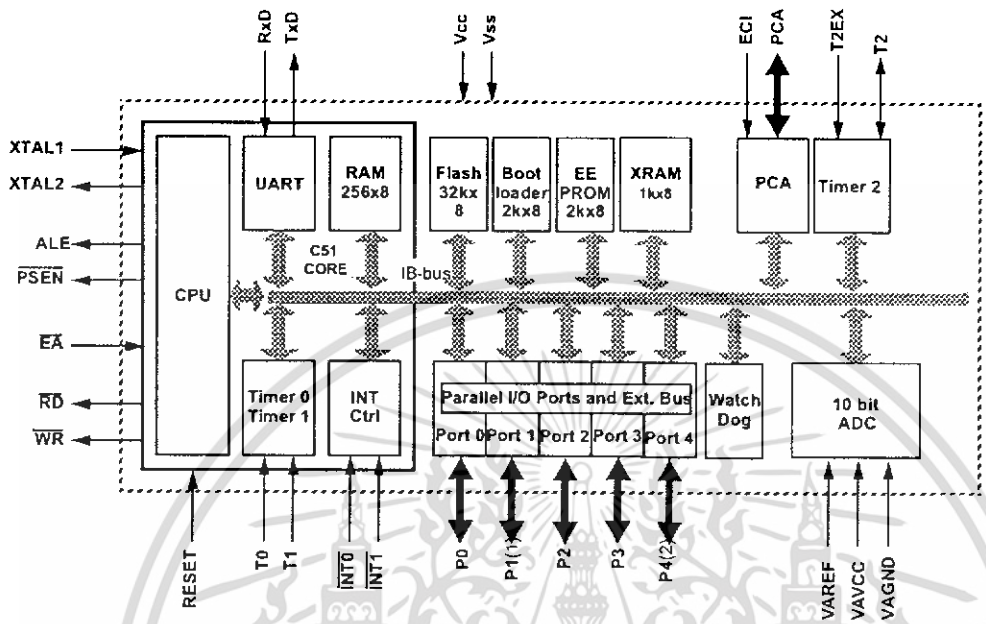
Enhanced 8-bit Microcontroller with 32 KB Flash Memory

AT89C51AC2
T89C51AC2

Rev. 4127F–8051–03/05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

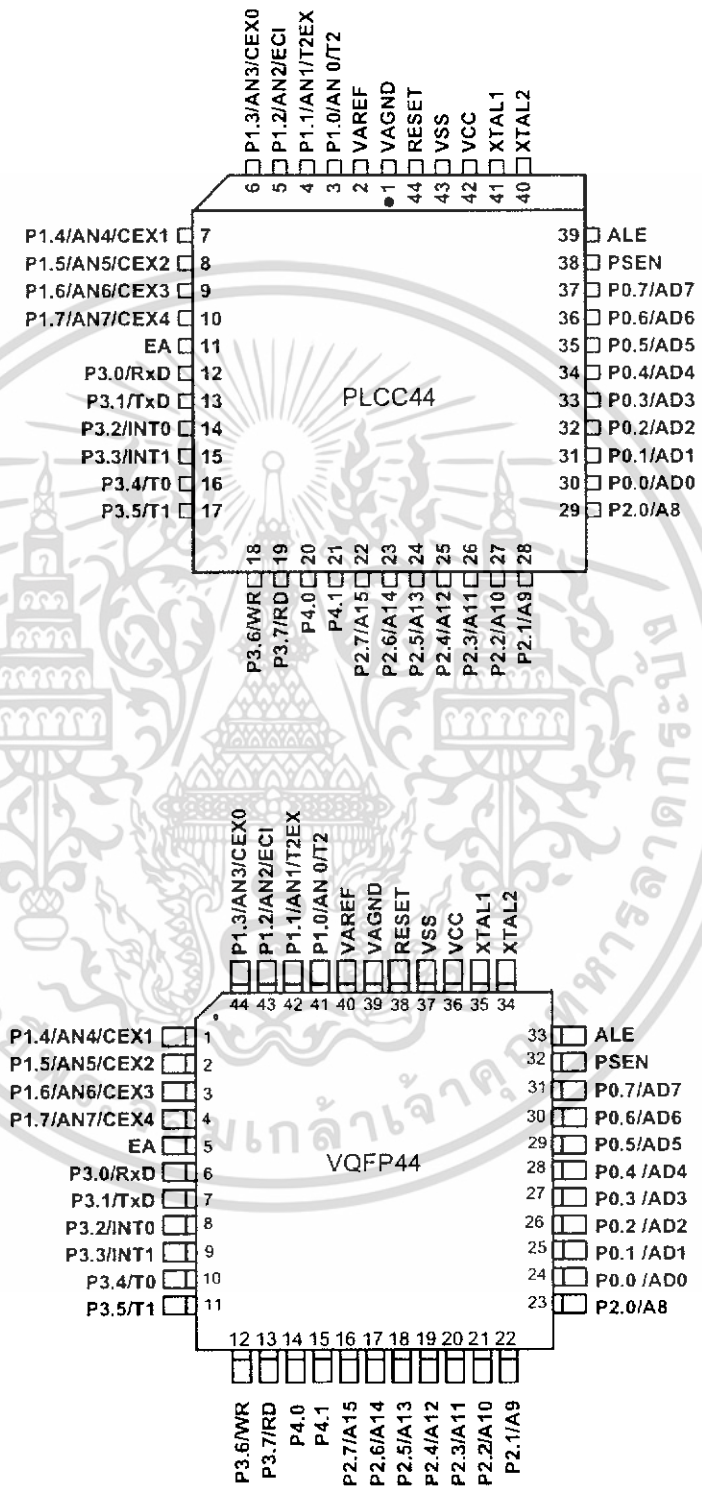
Block Diagram



Notes: 1. 8 analog Inputs/8 Digital I/O
2. 2-Bit I/O Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configuration



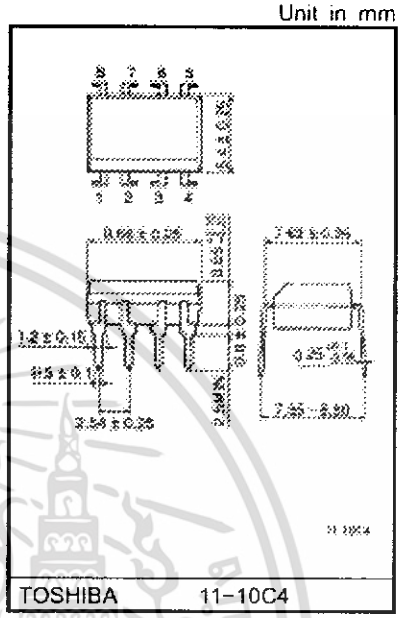
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

Transistor Inverter
Inverter For Air Conditionor
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

Unit in mm



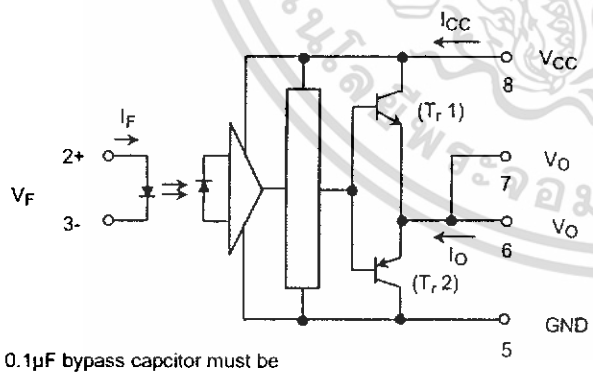
Weight: 0.54 g

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: I_F=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 1.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min.)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
  VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
  Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
  Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

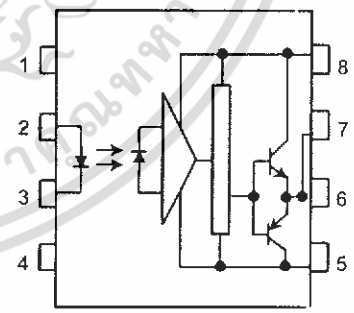
  (Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"
- Creepage distance: 6.4mm(min.)
  Clearance: 6.4mm(min.)

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)



1 : N.C.
2 : Anode
3 : Cathode
4 : N.C.
5 : GND
6 : V_O (Output)
7 : V_O
8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic			Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			T_{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T_{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)		(Note 4)	T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%)		(Note 5)	BV_S	2500	Vrms

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exporenential wavefom

Note 3: Exporenential wavefom, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic		Symbol	Min.	Typ.	Max.		Unit
Input current, on	(Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off		$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage		V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current		I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature		T_{opr}	−20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Ta = –20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition		Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V_F	—	I_F = 10 mA , Ta = 25°C			1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	–2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C			—	10	μA
Input capacitance		C_T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I_{OPH}	3	V_{CC} = 30V (*1)	I_F = 10 mA V_{8-6} = 4V	–0.5	–1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	5	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_F = 0.8V		—	–14.2	–12.5	
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I_{FLH}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V_{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input–output)		C_S	—	V_S = 0 , f = 1MHz Ta = 25• •		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input–output)		R_S	—	V_S = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Characteristics (Ta = −20~70°C , unless otherwise specified)

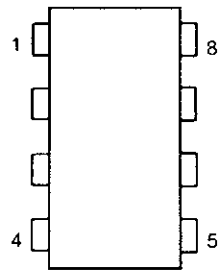
Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	6	I_F = 8mA (Note 7) V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C_{MH}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 8mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	−5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C_{ML}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 0mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

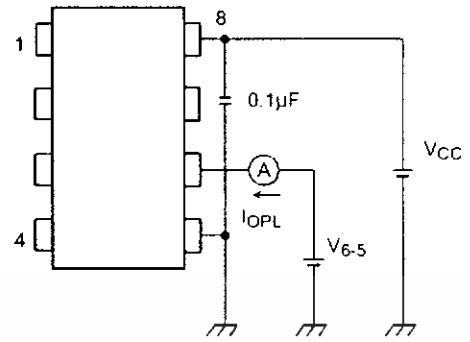
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

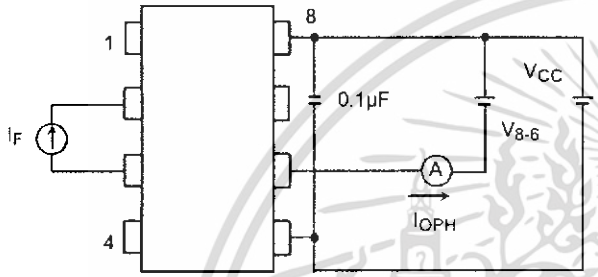
Test Circuit 1 :



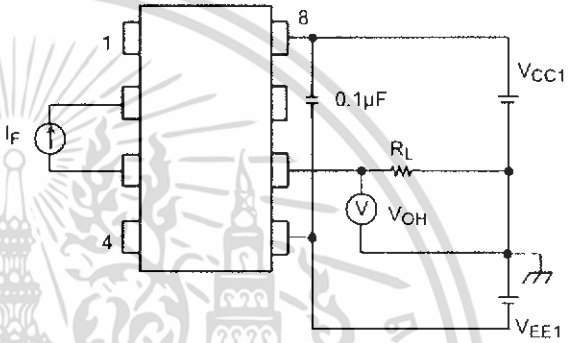
Test Circuit 2 : IOPL



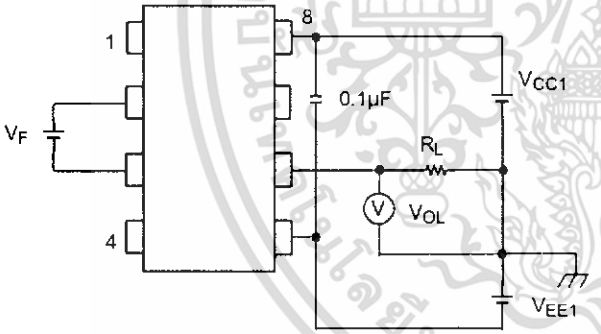
Test Circuit 3 : IOPH



Test Circuit 4 : VOH

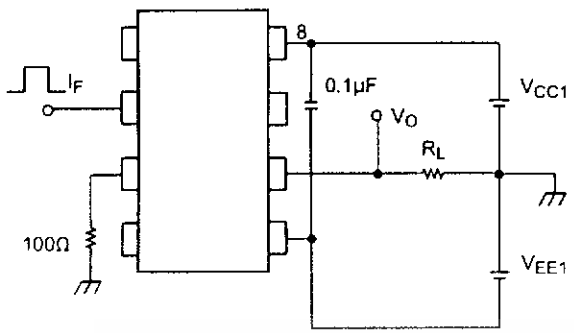


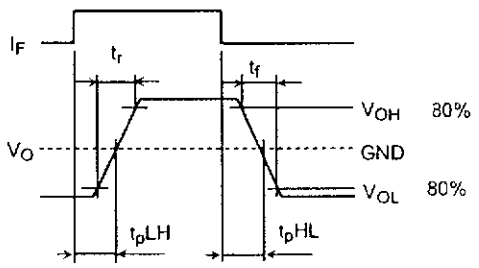
Test Circuit 5 : V_{OL}



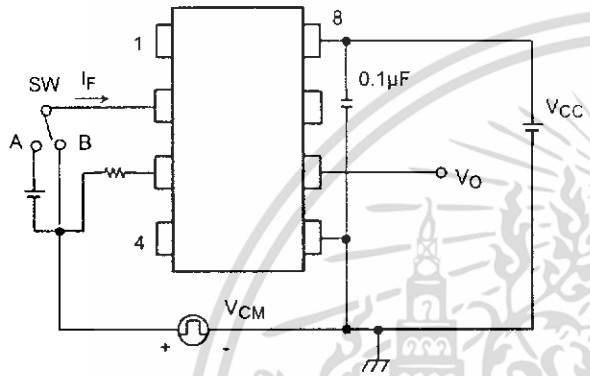
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

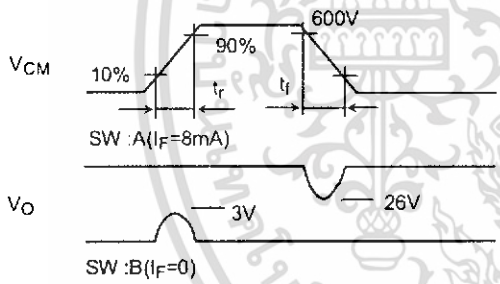
Test Circuit 6: t_{pLH}, t_{pHL}, t_r t_f





Test Circuit 7: C_{MH}, C_{ML}





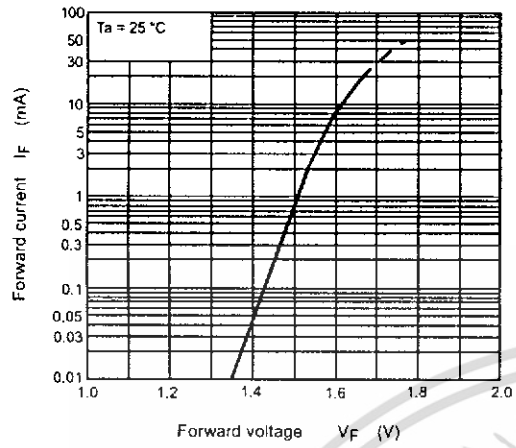
$$C_{ML} = \frac{480\ (V)}{t_{r\ (\mu s)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480\ (V)}{t_{f\ (\mu s)}}$$

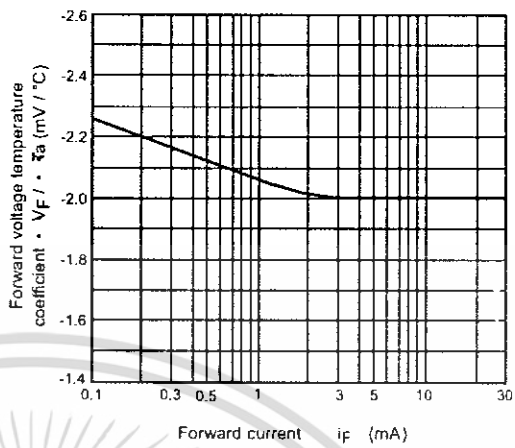
C_{ML}(C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

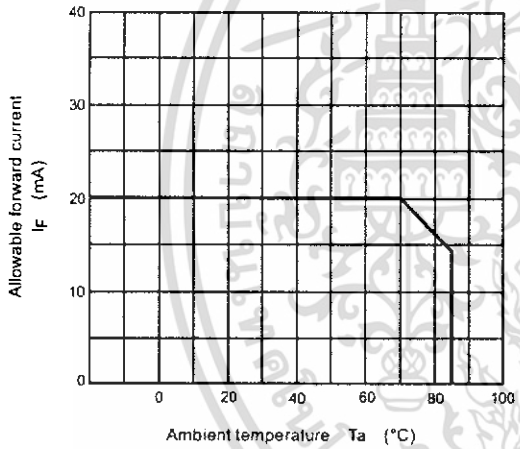
$I_F - V_F$



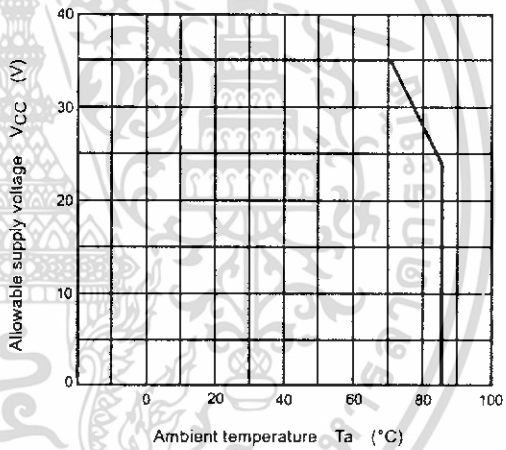
$\Delta V_F / \Delta Ta - I_F$



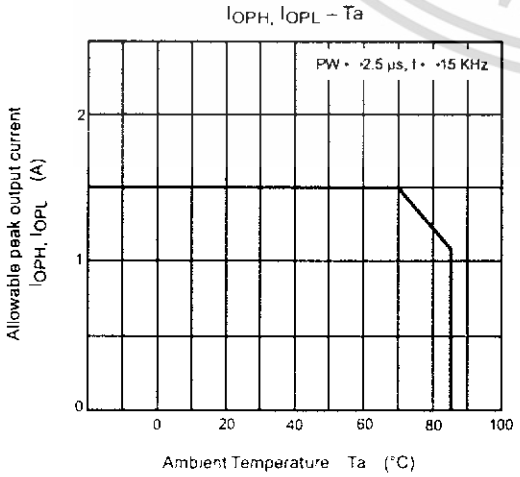
$I_F - Ta$



$V_{CC} - Ta$



$I_{OPH}, I_{OPL} - Ta$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

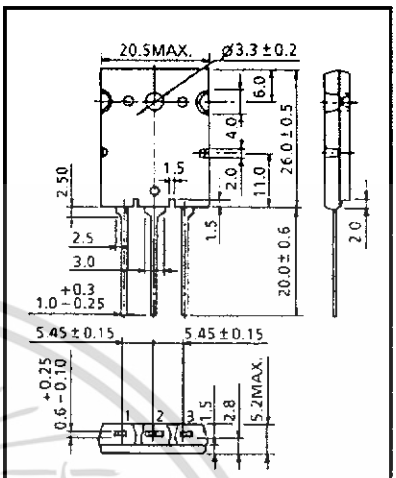
TOSHIBA INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR SILICON N CHANNEL IGBT

GT60M303

HIGH POWER SWITCHING APPLICATIONS

- The 4th Generation
- FRD Included Between Emitter and Collector
- Enhancement-Mode
- High Speed IGBT : t_f = 0.25μs (TYP.)
  FRD : t_{rr} = 0.7μs (TYP.)
- Low Saturation Voltage : $V_{CE\ (sat)}$ = 2.1V (TYP.)

Unit: mm



1. GATE
2. COLLECTOR (HEAT SINK)
3. EMITTER

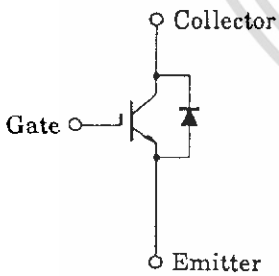
JEDEC	—
JEITA	—
TOSHIBA	2-21F2C

Weight : 9.75g

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

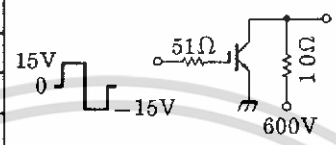
CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Emitter Voltage		V_{CES}	900	V
Gate-Emitter Voltage		V_{GES}	±25	V
Collector Current	DC	I_C	60	A
	1ms	I_{CP}	120	
Emitter-Collector Foward Current	DC	I_{ECF}	15	A
	1ms	I_{ECFP}	120	
Collector Power Dissipation (Tc = 25°C)		P_C	170	W
Junction Temperature		T_j	150	°C
Storage Temperature Range		T_{stg}	−55~150	°C
Screw Torque		—	0.8	N·m

EQUIVALENT CIRCUIT

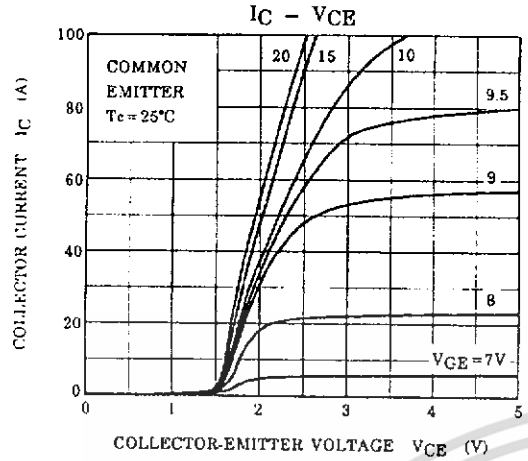


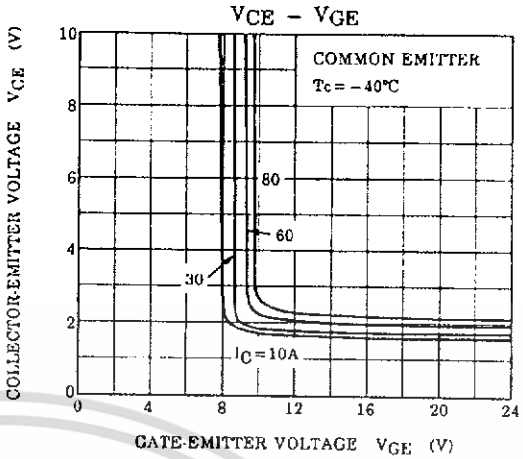
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

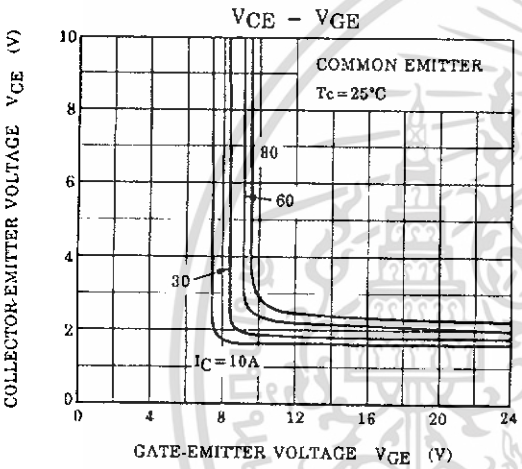
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

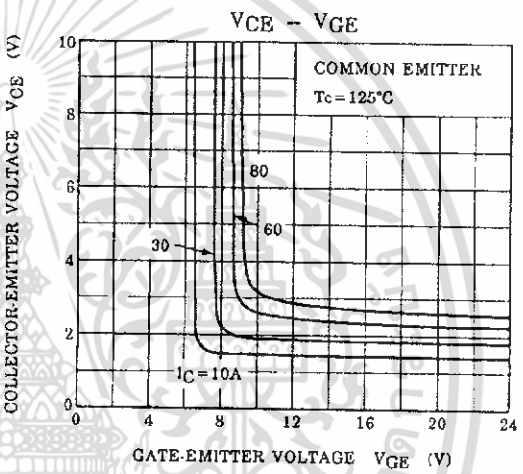
CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Gate Leakage Current		I_{GES}	V_{GE} = ±25V, V_{CE} = 0	—	—	±500	nA
Collector Cut-off Current		I_{CES}	V_{CE} = 900V, V_{GE} = 0	—	—	1.0	mA
Gate-Emitter Cut-off Voltage		$V_{GE\ (OFF)}$	I_C = 60mA, V_{CE} = 5V	3.0	—	6.0	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE\ (sat)\ (1)}$	I_C = 10A, V_{GE} = 15V	—	1.6	2.2	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE\ (sat)\ (2)}$	I_C = 60A, V_{GE} = 15V	—	2.1	2.7	V
Input Capacitance		C_{ies}	V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0, f = 1MHz	—	3800	—	pF
Switching Time	Rise Time	t_r		—	0.35	0.60	μs
	Turn-On Time	t_{on}		—	0.46	0.75	
	Fall Time	t_f		—	0.25	0.40	
	Turn-Off Time	t_{off}		—	0.60	0.70	
Emitter-Collector Forward Voltage		V_{ECF}	I_{EC} = 15A, V_{GE} = 0	—	1.5	2.0	V
Reverse Recovery Time		t_{rr}	I_F = 15A, V_{GE} = 0 di / dt = −20A / μs	—	0.7	2.5	μs
Thermal Resistance		$R_{th\ (j-c)}$	IGBT	—	—	0.74	°C / W
Thermal Resistance		$R_{th\ (j-c)}$	Diode	—	—	4.0	°C / W

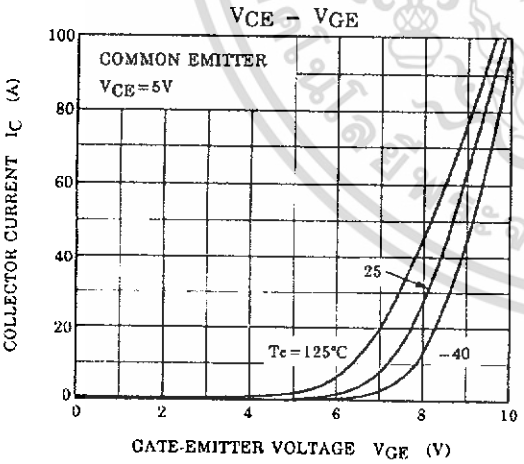
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

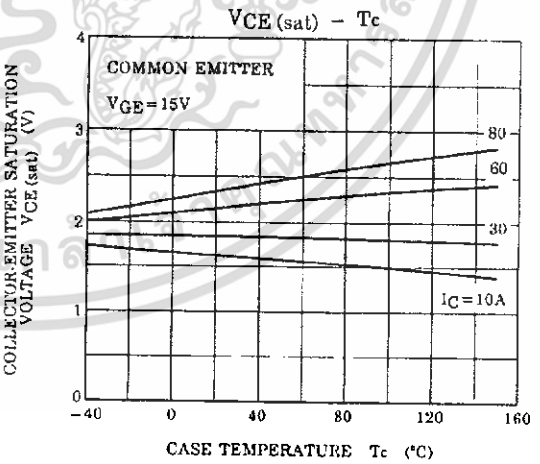






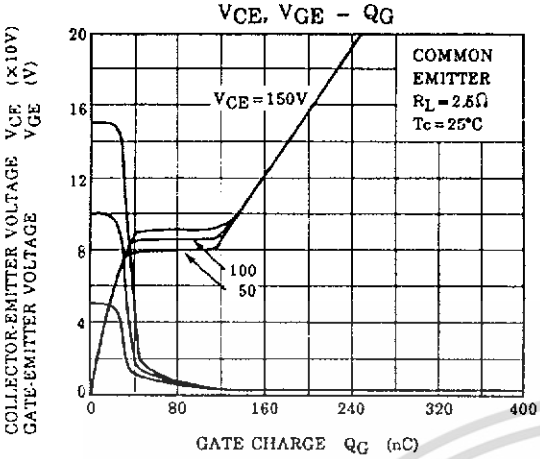




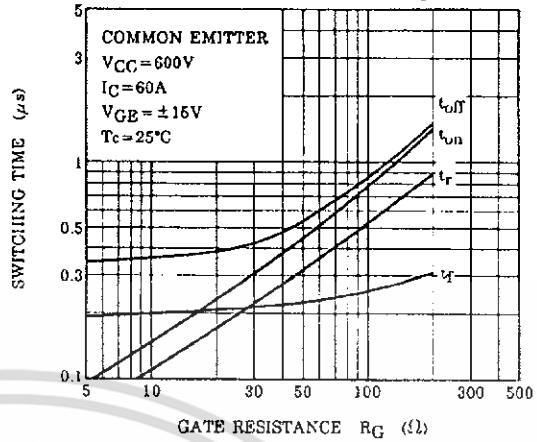


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

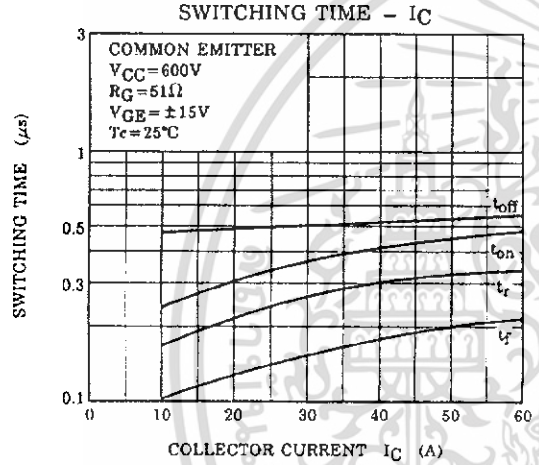
V_{CE}, V_{GE} – Q_G



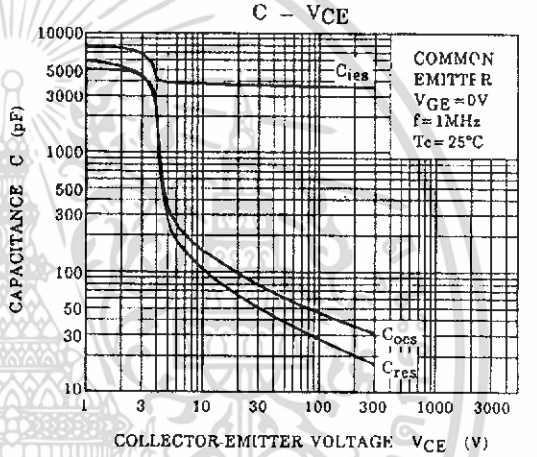
SWITCHING TIME – R_G



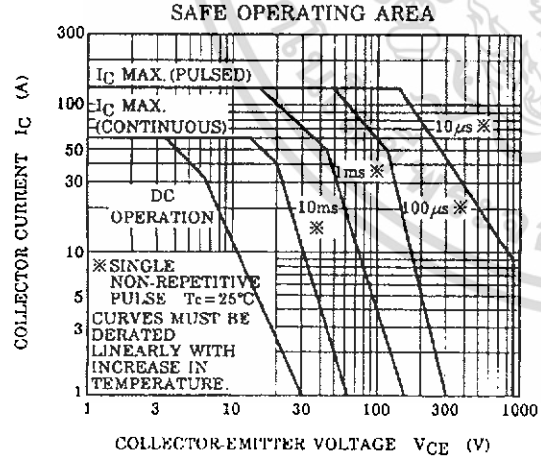
SWITCHING TIME – I_C



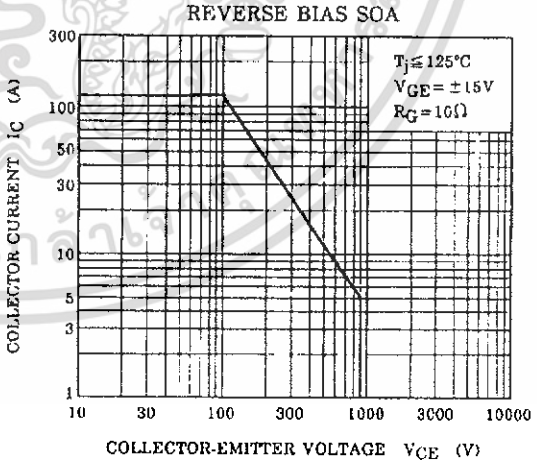
C – V_{CE}



SAFE OPERATING AREA

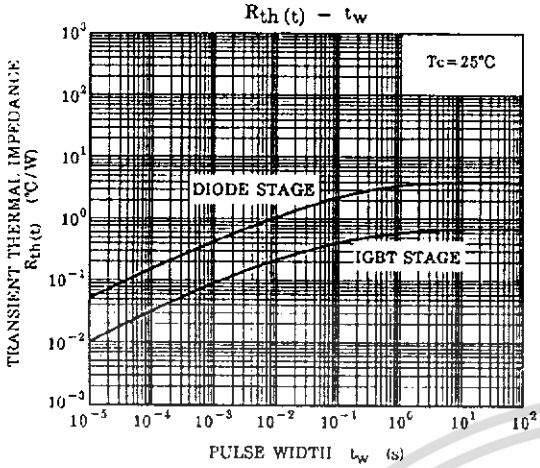


REVERSE BIAS SOA

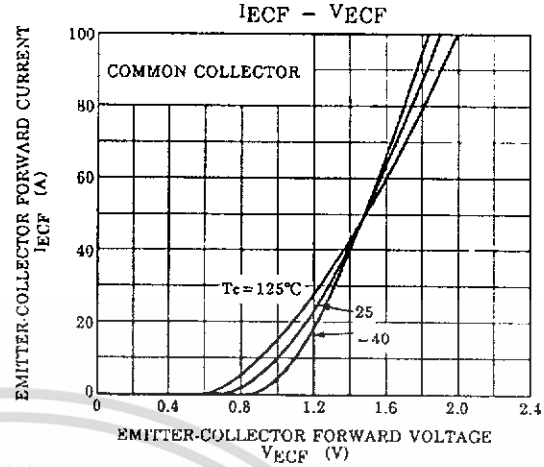


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

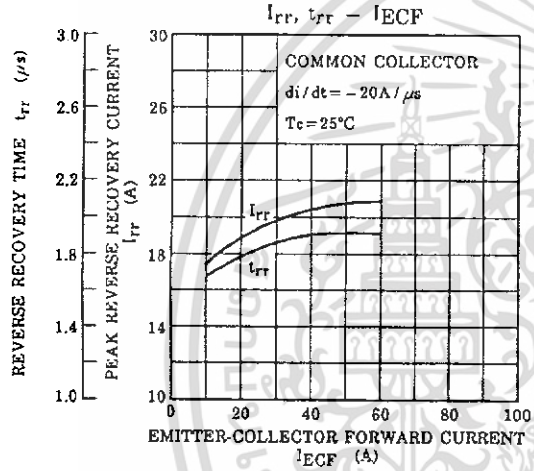
$R_{th}(t) - t_w$



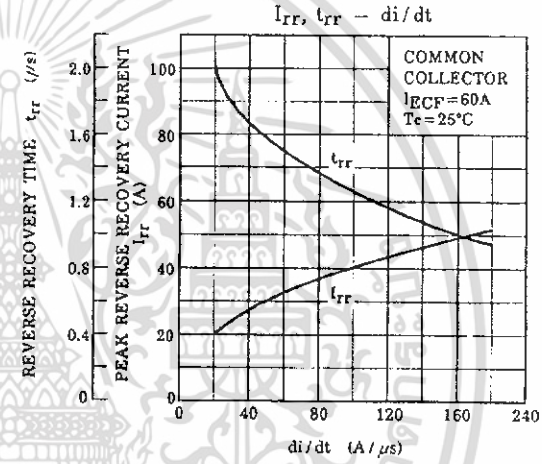
$I_{ECF} - V_{ECF}$



$I_{rr}, t_{rr} - I_{ECF}$



$I_{rr}, t_{rr} - di/dt$

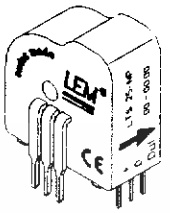


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Transducer LTS 25-NP

I_{PN} = 8 - 12 - 25 A

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



Preliminary

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current		25	At
I_P	Primary current, measuring range		0 .. ± 80	At
V_{OUT}	Analog output voltage	$I_P = 0$	2.5 [1]	V
		$\pm I_{PN}$	2.5 ± 0.625	V
N_S	Number of secondary turns (± 0.1 %)		2000	
R_L	Load resistance		≥ 2	kΩ
R_{IM}	Internal measuring resistance (± 0.5 %)		50	Ω
TCR_{IM}	Thermal drift of R_{IM}		< 50	ppm/K
V_C	Supply voltage (± 5 %)		5	V
I_C	Current consumption @ V_C = 5 V	Typ	20 + I_S	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50/60 Hz, 1 mn		2.5	kV
V_b	R.m.s. rated voltage		525 [2]	V

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN}, T_A = 25°C		± 0.2		%
	Accuracy with R_{IM} @ I_{PN}, T_A = 25°C		± 0.7		%
ε_L	Linearity		< 0.1		%
			Typ	Max	
TCV_{OUT}	Thermal drift of V_{OUT} @ I_P = 0	- 10°C .. + 85°C	50	100	ppm/K
$TC\varepsilon_G$	Thermal drift of the gain	- 10°C .. + 85°C		50 [3]	ppm/K
V_{OM}	Residual voltage @ I_P = 0, after an overload of 3 x I_{PN}			± 0.5	mV
		5 x I_{PN}		± 2.0	mV
		10 x I_{PN}		± 2.0	mV
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of $I_{P\,max}$		< 50		ns
t_r	Response time @ 90 % of $I_{P\,max}$		< 200		ns
di/dt	di/dt accurately followed		> 100		A/µs
f	Frequency bandwidth (0 .. - 0.5 dB)		DC .. 100		kHz
		(- 0.5 .. 1 dB)	DC .. 200		kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 10 .. + 85	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 100	°C
m	Mass	10	g
	Standards	EN 50178	

Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Unipolar voltage supply
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Compact design for PCB mounting
- Incorporated measuring resistance
- Extended measuring range.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Very low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

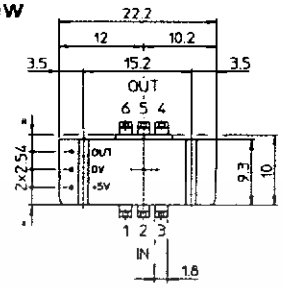
Notes : [1] Absolute value @ T_A = 25°C, 2.4875 < V_{OUT} < 2.5125
[2] Pollution class 2, category III
[3] Only due to TCR_{IM}

Copyright protected.

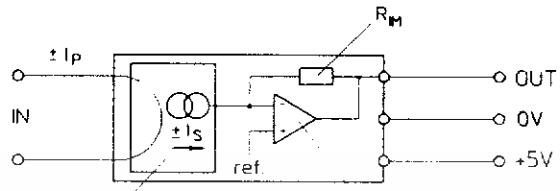
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions LTS 25-NP (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)

Bottom view



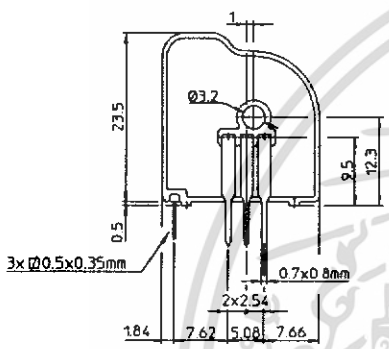
Operation principle



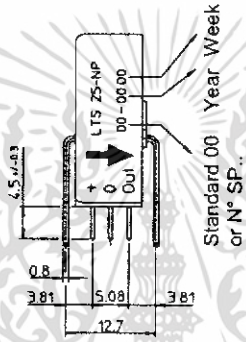
Closed loop transducer

Output amplifier

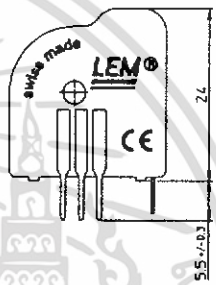
I_S = ± 12.5 mA @ I_P = ± 25 At



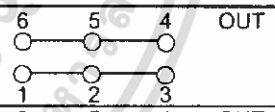
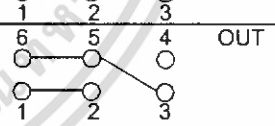
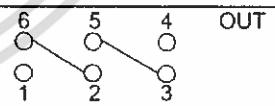
Back view



Right view



Front view

Number of primary turns	Primary nominal r.m.s. current I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [µH]	Recommended connections
1	± 25	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	
3	± 8	2.5 ± 0.600	1.62	0.12	

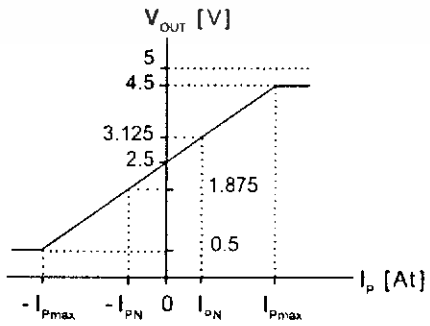
Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 6 pins 0.7 x 0.8 mm
  Recommended PCB hole 1.3 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins 0.5 x 0.35 mm
  Recommended PCB hole 0.8 mm
- Additional primary through-hole Ø 3.2 mm

Remark

- V_{OUT} is positive when I_p flows from terminals 1, 2, 3 to terminals 6, 5, 4

Output Voltage - Primary Current



LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without previous notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้