

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง

DC-MOTOR POSITION CONTROL



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 82999  
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2551

b. 11๑๕๑๑31  
i.....

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง  
DC-MOTOR POSITION CONTROL



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง  
DC-MOTOR POSITION CONTROL



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง (DC-MOTOR POSITION CONTROL)

ผู้จัดทำ 1. นายวุฒิชัย ศรีวิชา

2. นายอานัติ บุปผาสุข

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ บัญญา แซ่ตั้ง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง

นายวุฒิชัย ศรีวิชา รหัส 46010753

นายอนันต์ บุปผาสุข รหัส 46010968

รศ. ขนิษฐา แซ่ตั้ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการควบคุมตำแหน่งการหมุนมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว โดยเขียน โปรแกรมควบคุมผ่านตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย 1. ส่วนป้อนข้อมูล 2. ส่วนเข้ารหัส (ENCODER) 3. ส่วนประมวลผลและ 4. แสดงผล เมื่อป้อนข้อมูลเข้าไป ENCODERจะเป็นตัวตรวจจับสัญญาณและตำแหน่งของมอเตอร์ ป้อนกลับไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีการประมวลผลเพื่อจะสั่งให้มอเตอร์หมุนหรือหยุดหมุนตามตำแหน่งและทิศทางตามที่กำหนดจากนั้นจะแสดงผลของตำแหน่งที่มอเตอร์หมุนไปได้พร้อมกับทิศทางผ่านจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC-MOTOR POSITION CONTROL

Mr. Wuttichai Seewicha ID.46010753

Mr. Arnut Pubphasuk ID.46010968

Assoc. Prof. Khanittha Saetung Advisor

Educational Year 2007

### Abstract

This thesis is control position DC-Motor rotary by control rotate by microcontroller so; in this Thesis have 1.keyboard 2.encoder 3.microcontroller 4.led. drive DC-Motor circuit is a main component and have feedback circuit for stop DC-Motor rotate in position to assign by assign sum position that motor rotate by keyboard and have encoder is position count that DC-Motor rotate .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคำแนะนำ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงจากอาจารย์ขนิษฐา แซ่ตั้ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ท่านให้ความรู้ทั้งด้านวิชาการ และแนวคิดในการดำเนินชีวิตเอาไว้อย่างมากมาย ทางผู้จัดทำจึงรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีจากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และจะนำความรู้ที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

และที่สำคัญและขาดไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่คอยให้กำลังใจ และให้ทุนการทำโครงการนี้ ลูกขอระลึกถึงพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



ผู้จัดทำ

นายวุฒิชัย ศรีวิชา

นายอานันต์ บุญผาสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน</b>	2
2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	2
2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	2
2.3 โมเดลทางแมคคาทรอนิกส์ของดีซีมอเตอร์	3
2.4 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์เมคคาทรอนิกส์	4
2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนของดีซีมอเตอร์	7
2.6 หลักการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง	9
หลักการควบคุมความเร็ว และ ตำแหน่ง	
2.6.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน	11
2.6.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์	14
2.7 ความรู้พื้นฐานของจอแสดงผล LCD	19
2.7.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโมดูล LCD	19
2.8 การใช้งานไอซีเบอร์ MAX232	20
<b>บทที่ 3 รายละเอียดการทำงานและการออกแบบวงจร</b>	21
3.1 หลักการทำงาน	21
3.2 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply)	22
3.3 วงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Mcs-51)	22
3.4 ส่วนของโปรแกรมควบคุม	25
3.5 วงจรขับมอเตอร์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.6 โครงสร้างภายนอก	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	30
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
ภาคผนวก	IX
เอกสารอ้างอิง	X



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	2
รูปที่ 2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของ โมเดลทางแมคคาทรอนิกส์ของมอเตอร์	3
รูปที่ 3 แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระตุ้น	4
รูปที่ 4 แสดงถึงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อ โทลคของมอเตอร์	5
รูปที่ 5 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล	6
รูปที่ 6 ระบบควบคุมความเร็ว ที่ประกอบด้วยลูปรูการควบคุมป้อนกลับ เพียงรูปเดียวเหมาะสำหรับอุปกรณ์ส่วน ไฟฟ้า	9
รูปที่ 7 ระบบควบคุมตำแหน่ง ประกอบด้วยลูปรูการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับ และลูปรูควบคุมความเร็วป้อนกลับ	10
รูปที่ 8 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบ ใช้ตัวต้านทานอนุกรม และกราฟแสดงคุณสมบัติ	11
รูปที่ 9 การควบคุมความเร็ว โดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	12
รูปที่ 10 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่าง ๆ กัน	13
รูปที่ 11 แสดงการเข้ารหัสแบบหมุน	14
รูปที่ 12 แสดงการสร้างพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	15
รูปที่ 13 แสดงพัลส์ของตัวเข้ารหัสชนิดหมุนแบบสองเฟส	15
รูปที่ 14 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	16
รูปที่ 15 ลักษณะพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส	16
รูปที่ 16 แสดงความละเอียดของพัลส์	17
รูปที่ 17 แสดงบล็อก ไดแกรมของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	18
รูปที่ 18 รูปแสดงการตรวจจับขอบขาขึ้น และขอบขาลงของทั้ง 2 เฟส	18
รูปที่ 19 รูปแสดงวิธีการตรวจจับทิศทางการหมุนของตัวเข้ารหัสแบบหมุน	19

โดยอ่านค่าเข้ามาทาง Port 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 20 แสดงการเช็คความกว้างของพัลส์	19
รูปที่ 21 แสดงขาโมดูล LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	20
รูปที่ 22 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232	20
รูปที่ 23 รูปวงจรภายในและการต่อใช้งาน MAX232 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	20
รูปที่ 24 กระบวนการงานของเครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง	21
รูปที่ 25 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	22
รูปที่ 26 วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	23
รูปที่ 27 การต่อ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 28 แสดงการต่อMAX 232 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 29 แสดง Flowchart ทั้งระบบ	25
รูปที่ 30 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	27
รูปที่ 31 แสดงโครงสร้างภายนอกของระบบ	28
รูปที่ 32 แสดงชุดควบคุม และ แสดงผล	29
รูปที่ 33 แสดงชุดขับมอเตอร์กระแสตรง	29
รูปที่ 34 พัลส์ A ที่วัดจากขา 12 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 35 พัลส์ B ที่วัดจากขา 13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 36 สัญญาณ Enable ที่วัดจากขา 8 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ	17
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนซ้าย	30
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนขวา	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบัน การคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC Motor) จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนมาก ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronic) และ ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้การออกแบบระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงและการวิเคราะห์ปัญหาเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความสำคัญมาก ระบบการคอนโทรลแบบดั้งเดิมมีพลังจักรกลที่สำคัญ คือ พวงมอเตอร์ไฟฟ้าต่างๆ ไฮดรอลิก และ พวง เบรก และ คลัทช์ เป็นต้น แต่ด้วยความเจริญของเทคโนโลยีการสร้างแม่เหล็กถาวรที่มีคุณภาพสูง ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลายเป็นพลังจักรกลที่สำคัญในระบบคอนโทรลเกือบทุกชนิดในปัจจุบันซึ่งพบเห็นได้ตั้งแต่การใช้มอเตอร์กระแสตรงในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยปกติ การใช้ในรถยนต์ การใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ การใช้ในหุ่นยนต์ตลอดถึงเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมต่างๆ ฯลฯ บวกกับความก้าวหน้าของไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงได้ จึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน

มอเตอร์กระแสตรงมีผลการทำงานที่ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอน ดังนั้นระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงจึงเป็นแบบวงรอบปิด ตำแหน่งเอาต์พุตหรือความเร็วเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิงเพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ เช่นการบังคับตำแหน่งหุ่นยนต์ เมื่อจับวัตถุขึ้นมาชิ้นหนึ่งเราจะควบคุมให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปอีกจุดหนึ่งแล้ววางวัตถุลงหรือใช้ในการส่งของจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เป็นต้น

ซึ่งโครงการนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งของดีซีมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051 โดยความเร็ว และ ตำแหน่งที่ต้องการจะถูกป้อนเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม โดยจะใช้โปรแกรมภาษาซีเป็นตัวติดต่อรับส่งค่า และ ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามความเร็ว และ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการนั้นจะผ่านวงจรขับมอเตอร์อีกวงจรในการขับมอเตอร์โดยใช้ 89C51 ซึ่งจะเป็นตัวสร้าง Pulse Width Modulate ในการขับมอเตอร์ และ ในส่วนของการตรวจสอบตำแหน่งจะใช้เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) ส่งค่ากลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จากนั้นจะส่งค่ามาแสดงยังโปรแกรมอินเตอร์เฟซทางจอ LCD

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการทำงานพื้นฐาน

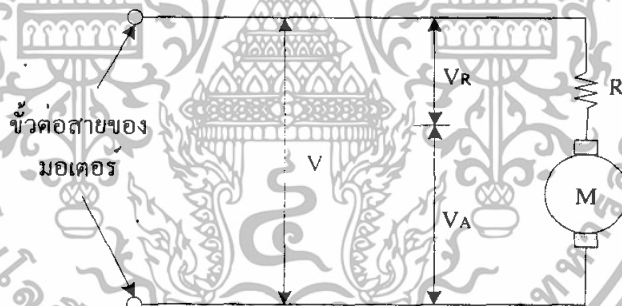
#### 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็ก หรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่ และ ขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

#### 2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่น โรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด ( $V_R$ )

แรงดัน  $V_A$  ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ

ตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีค่าตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับความเร็ว ในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่หุ้มโรเตอร์ ( $V_A$ ) และแรงดันตกคร่อมขดลวด ( $V_R$ ) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ( $V$ )

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad (2.1)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น  $V_A = 0$ ,  $V_R = V$  กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = V_R / R \quad (A) \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ  $V_A$  เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว  $V_R$  ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง  $V_A$  และ  $V$  และแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ( $V$ ) จะเริ่มลดลงกระแส  $I$  ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร็วอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร็ง และ แรงต้านอากาศทำให้  $V_A$  เกือบเท่ากับค่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ( $V$ )

### 2.3 โมเดลทางแมคคาทรอนิกส์ของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีแอมพลิฟายเออร์ทั้งในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็ว มักจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังงานในระบบการนำร่องและระบบบังคับต่างๆ และเนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสารแม่เหล็กและการขยายด้วยโซลิดสเตททำให้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดลูปต่างๆ มากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมจะต้องใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ

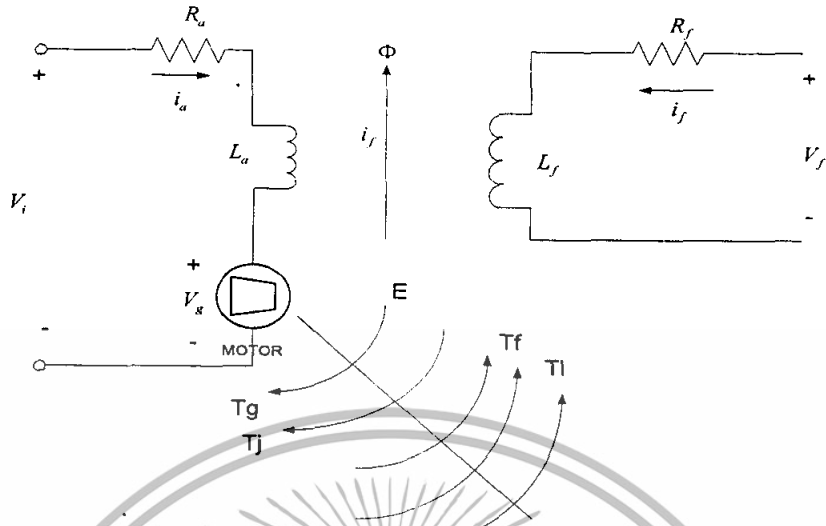


รูปที่ 2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของ โมเดลทางแมคคาทรอนิกส์ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดักชัน

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระดุนมีโมเดลดังแสดงในรูป



รูปที่ 3 แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระดุน

$R_a$  : ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

$L_a$  : อินдукแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

$V_g$  : โวลต์เตจกำเนิดในอาร์เมเจอร์ (โวลต์เตจเดี่ยวย้อนกลับ)

$R_f$  : ความต้านทานของฟีดแบ็ก

$L_f$  : อินдукแตนซ์ของฟีดแบ็ก

$\phi$  : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

$T_g$  : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

$T_f$  : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

$T_j$  : แรงเฉื่อยของมอเตอร์

$T_l$  : แรงบิดโหลดบนเพลาของมอเตอร์

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐาน โมเดลของดีซีมอเตอร์ได้จากกฎของอาร์เมเจอร์

$$V_i(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (2.3)$$

เทอมโวลต์เตจ  $V_g(t)$  ในสมการ (1) คือโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์มาเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นในกระแสของฟีดแบ็ก ( $i_f$ ) ตามกฎของฟาราเดย์ลูปของเส้นลวดตัวนำหมุนในฟีดแบ็กแม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นในขดลวดนั้น

$$V_i(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\lambda(t)$  คือเส้นแรงแม่เหล็กที่ลิงเคจ(Linkages) ไปยังขดลวดและ  $t$  คือเวลาในการหมุนของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เตจขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ (2.4) เมื่อ  $\frac{d\lambda(t)}{dt}$  จะเป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและความเร็วเชิงมุม  $\omega(t)$  เราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K\phi(t)\omega(t) \quad (2.5)$$

สมมติให้กระแสของฟิลด์มีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟิลด์เนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นเส้นแรงฟิลด์ก็จะมีค่าคงที่ดังนั้นสมการ (2.5) ก็จะเป็น

$$V_g(t) = K_c\omega(t) \quad (2.6)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟิลด์มีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสของอาร์มาเจอร์

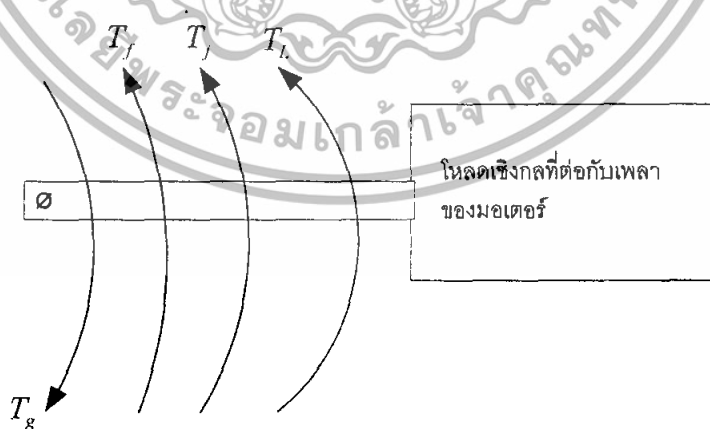
$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $k_t$  คือ ค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t)\omega(t) \quad (2.8)$$

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะจ่ายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียจากแรงเสียดทาน หมายถึงความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กของโรเตอร์และฮีสเทรีซิส โดยแรงบิดต่างๆแสดงดังนี้



**รูปที่ 4** แสดงถึงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_g$  : แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$ : แรงบิดเนื่องจากการเสียดทาน

$T_j(t)$  : แรงบิดเนื่องจากความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$  : แรงบิดโหลด

ในช่วงเวลาใดๆก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับและมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด  $T_f(t)$ ,  $T_j(t)$  และ  $T_L(t)$  ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $J$  คือผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของแรงเสียดทานวิสกอสและมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากแรงเสียดทานอื่นๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (2.10)$$

เมื่อ  $B$  คือสัมประสิทธิ์ของวิสกอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์  $T_f(t)$  คือผลรวมของแรงเสียดทานของโหลดและมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลามอเตอร์ยกเว้นแรงเสียดทานของวิสกอส

สมการ (2.3) (2.6) (2.7) และ (2.10) เป็นชุดสมการพื้นฐานของดีซีมอเตอร์โมเดลและสมการเหล่านี้เราสามารถจะหาฟังก์ชันถ่ายโอนของดีซีมอเตอร์ได้ โดยใส่ลาปลาซทรานส์ฟอร์มทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐานได้เป็น

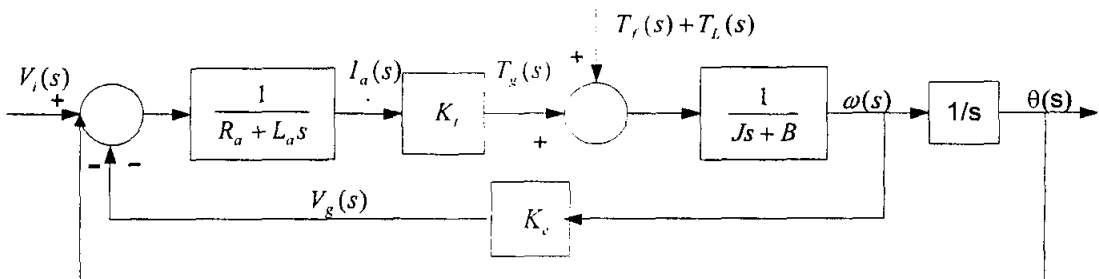
$$V_i(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a)I_a(s) \quad (2.11)$$

$$V_g(s) = K_e \omega(s) \quad (2.12)$$

$$T_g(s) = K_t I_a(s) \quad (2.13)$$

$$T_g(s) - T_f(s) - T_L(s) = (B + sJ)\omega(s) \quad (2.14)$$

สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสมการพื้นฐานเหล่านี้ได้ดังนี้



**รูปที่ 5** แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อสังเกต

สมมติว่า โวลต์เตจที่ป้อนให้กับวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าคงที่ ดังนั้นมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่คือทำงานอยู่ที่สภาวะคงตัวด้วยโหลดที่คงที่ กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นโดยโรเตอร์จะหาได้จากสมการ (6) จะได้ว่า

$$P_g = T_g \omega = K_t I_a \omega \quad (2.15)$$

เมื่อทุกเทอมในสมการสุดท้ายมีค่าคงที่เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่ที่สภาวะคงตัวกำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนโดยอาร์มาเจอร์ต้องเท่ากับ

$$P = V_g I_a = K_e I_a \omega \quad (2.16)$$

ดังนั้นเราจะได้ว่ากำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นต้องเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนในโรเตอร์คือสรุปได้ว่า  $K_e = K_t$

### 2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนของดีซีมอเตอร์

บล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 5 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุต และมีเอาต์พุตเป็นความเร็วเชิงมุม  $\omega(s)$  และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม  $\theta(s)$  จากรูปที่ 5 ความเร็วเอาต์พุตของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s)V_i(s) + G_2(s)[T_f(s) + T_L(s)] \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{V_i(s)} \Big|_{T_f(s)+T_L(s)=0} \quad (2.18)$$

$$G_2(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} \Big|_{V_i(s)=0} \quad (2.19)$$

$G_1(s)$  คือฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างโวลต์เตจและความเร็ว

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_t K_e} \\ &= \frac{K_m}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \end{aligned} \quad (2.20)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} K_m &= \frac{K_t}{R_a B + K_t K_e} \\ \alpha &= \frac{L_a J}{R_a B + K_t K_e} \\ \beta &= \frac{R_a J + L_a B}{R_a B + K_t K_e} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.20) เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนทางโวลต์เฉยของดีซีมอเตอร์ในเมื่อสมมติว่า  $T_f$  และ  $T_L$  มีค่าเป็นศูนย์ สมการ (2.20) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$G_1(s) = \frac{K_t}{R_a B(1 + \tau_e s)(1 + \tau_m s) + K_t K_c}$$

เมื่อ  $\tau_e = \frac{L_a}{R_a}$  = ค่าเวลาคงตัวทางไฟฟ้า

$\tau_m = \frac{J}{B}$  = ค่าเวลาคงตัวทางเชิงกล

ถ้าอินดักเต้นซ์ของอาร์มาเจอร์มีค่าน้อย ค่าเวลาคงตัวทางไฟฟ้าสามารถตัดทิ้งได้และได้สมการเป็น

$$\begin{aligned} G_V(s) &= \frac{\omega(s)}{V_f(s)} = \frac{K_t}{R_a (Js + B) + K_t K_c} \\ &= \frac{K_m}{\tau s + 1} \end{aligned} \quad (2.21)$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{R_a J}{R_a B + K_t K_c}$$

ในสมการ (2.21) ค่าคงที่  $K_m$  อาจเรียกได้ว่าเป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ฟังก์ชันถ่ายโอนของแรงบิดโหลด  $G_2(s)$  หาได้เป็น

$$\begin{aligned} G_2(s) &= \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{1}{1 + \frac{Js + B}{K_t K_c}} \\ &= \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m \left[ \frac{L_a}{R_a} s + 1 \right]}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \end{aligned} \quad (2.22)$$

ซึ่งถ้าอินดักเต้นซ์ของอาร์มาเจอร์ไม่นำมาคิด จะทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m}{\tau s + 1} \quad (2.23)$$

ซึ่งจากสมการที่ (2.17) เมื่อให้ค่าของ  $T_f$  และ  $T_L$  มีค่าเป็นศูนย์จะทำให้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนมีค่าดังนี้

$$\omega(s) = G_V(s) V_f(s) = \frac{K_m}{\tau s + 1} V_f(s) \quad (2.24)$$

โมเดลคณิตศาสตร์ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จากฟังก์ชันถ่ายโอนในหัวข้อที่ 2.3 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์ ซึ่งจะได้โครงสร้างของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในรูปของสมการอันดับที่หนึ่งเป็นดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega(s) = G_v(s)V_i(s) = \frac{K_m}{\tau s + 1}V_i(s) \quad (2.25)$$

จากสมการข้างต้นดังกล่าวนั้นจะเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม (ขาสัญญาณออก) และ ค่าแรงดันที่ป้อน (ขาสัญญาณเข้า)

และในการควบคุมตำแหน่งจะมีการผ่านตัวทำอินทิเกรต (1/s) ทำให้ได้สัญญาณขาออกคือ  $\theta(s)$  ซึ่งจากรูปที่ 5. และฟังก์ชันถ่ายโอน ที่ได้จากหัวข้อที่ 3.2 ข้างต้นนั้นเมื่อทำการผ่านตัวทำอินทิเกรต (1/s) เข้าไปจะทำให้ได้ค่าของสัญญาณขาออกเป็นมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ซึ่งเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\theta(s) = \frac{\omega(s)}{s} = \left[ \frac{1}{s} \right] \left[ \frac{K_m V_i(s)}{\tau s + 1} \right] \quad (2.26)$$

## 2.6 หลักการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

### หลักการควบคุมความเร็ว และ ตำแหน่ง

รูปที่ 6 คือ บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วในระบบกลไกแบบเซอร์โวมอเตอร์ ถูกเรียกว่า มอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo motor) เครื่องวัดรอบในรูปแบบป้อนกลับจะวัดความเร็วของมอเตอร์แบบเซอร์โว และ ส่งป้อนกลับมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (แรงดัน หรือ กระแส) ซึ่ง แปรตามความเร็วเพลกซ์ของมอเตอร์ ในที่นี้รูปป้อนกลับจะทำให้ความเร็วขาออกของมอเตอร์มีค่าคงที่มากขึ้น

ระบบแบบป้อนกลับถูกใช้รวมอยู่ในระบบเครื่องมือ เครื่องจักร หรือ ส่วนกำลังเพื่อชดเชยความแตกต่างของโหลดหรือวัสดุที่ถูกตัดหรือถูกเจาะ วัสดุเนื้อแข็งจะหน่วงความเร็วของส่วน หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการตัด และ ส่วนจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในวัสดุเนื้ออ่อน



**รูปที่ 6** ระบบควบคุมความเร็วประกอบด้วยรูปการควบคุมป้อนกลับเพียงรูปเดียวเหมาะสำหรับ อุปกรณ์ส่วนไฟฟ้า

ในรูปป้อนกลับความเร็วของมอเตอร์ ที่ประกอบด้วยเครื่องวัดความเร็ว ความเร็วของเครื่องมือ จะยังคงมีค่าคงที่ เนื่องจากเมื่อเครื่องมือที่ใช้ในการตัดมีความเร็วลดลง สัญญาณป้อนกลับจะควบคุมมอเตอร์ให้เพิ่มความเร็วจน ในขณะเดียวกัน เมื่อเครื่องมือตัดชิ้นงานที่เป็นวัสดุอ่อน รูปป้อนกลับจะป้องกันไม่ให้มอเตอร์เร่งความเร็วเกินขนาด

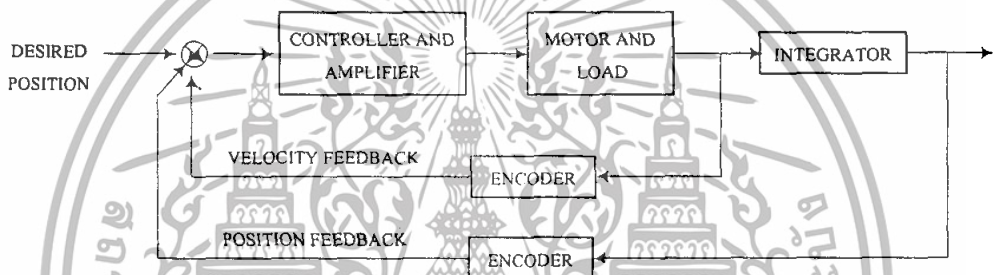
อย่างไรก็ตาม ถ้าการประยุกต์ใช้งานมีความต้องการ วงจรควบคุมเพิ่มเติมสามารถถูกเพิ่มขึ้นมา

เพื่อทำให้มอเตอร์มีความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และ ค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุด กราฟของความเร็วเขียนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เป็นรูปของสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยส่วนที่ลาดขึ้น และ ส่วนที่ลาดลง หรือ อาจเป็นรูปทราปซอยด์ (Trapezoid) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนเพิ่มความเร็วขึ้น (Ramp up) ส่วนความเร็วคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง และ ส่วนลดความเร็ว

รูปที่ 7 คือ บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งนอกจากเครื่องวัดความเร็วในลูปป้อนกลับความเร็วแล้ว ระบบกลไกแบบเซอร์โวนี้จะมีลูปป้อนกลับการกำหนดตำแหน่ง

ตัวเซนเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่ง และ ความเร็ว จะรู้ว่าเมื่อใดที่เพลลาของมอเตอร์เซอร์โวอยู่ในตำแหน่งมุมที่ต้องการ โดยการนับสัญญาณพัลส์ และ เปรียบเทียบพัลส์กับสัญญาณอินพุท ก่อนที่จะหยุดเพลลาเมื่อนับได้เท่ากัน ซึ่งก็คือ บล็อกที่ชื่อตัวอินทิเกรท (Integrator) ในรูปที่ 5 โดยทั่วไป จะเป็นวงจรรีเลคทรอนิกส์ควบคุมตำแหน่งของเพลลา ตัวเซนเซอร์ความเร็วในลูปป้อนกลับของระบบควบคุมตำแหน่ง ช่วยทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพขึ้น



รูปที่ 7 ระบบควบคุมตำแหน่ง ประกอบด้วยลูปรูการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับ และ ลูปควบคุมความเร็วป้อนกลับ

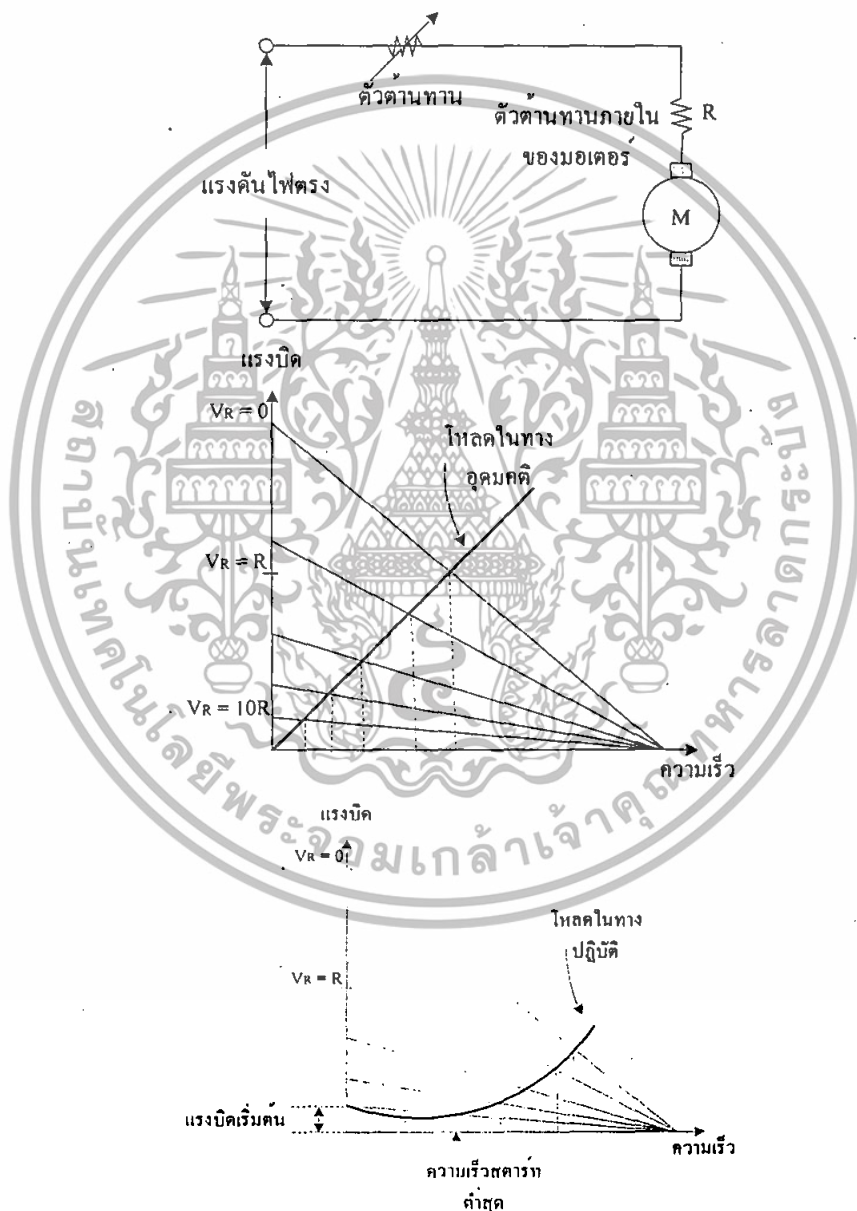
ในระบบควบคุมกำลังบิด (Torque control system) กำลังบิดของมอเตอร์เซอร์โวจะถูกรักษาให้มีค่าคงที่ เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์แปรตามกระแสของมอเตอร์ ดังนั้น กระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อรักษาค่าแรงบิดให้คงที่เอาไว้ วิธีนี้สามารถทำได้ด้วยวงจรที่ทำการเปรียบเทียบกระแสเอาท์พุทของมอเตอร์กับกระแสอินพุทของมอเตอร์ และ ขยายผลต่างเพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมแรงบิดป้อนกลับ (Torque control feedback circuit)

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบเพิ่มขึ้น (Incremental motion control system) ทำหน้าที่สับเปลี่ยนโหมดควบคุมจากโหมดหนึ่งไปเป็นอีกโหมดหนึ่ง เพื่อให้เกิดสมรรถนะการใช้งานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น การควบคุมความเร็วและตำแหน่ง ทำหน้าที่ควบคุมให้ได้ความเร็วที่ต้องการ แต่ก็สามารถปรับเปลี่ยนเป็นการควบคุมตำแหน่ง เพื่อหยุดเพลลาให้ได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น

## 2.6.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน

### 1. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น

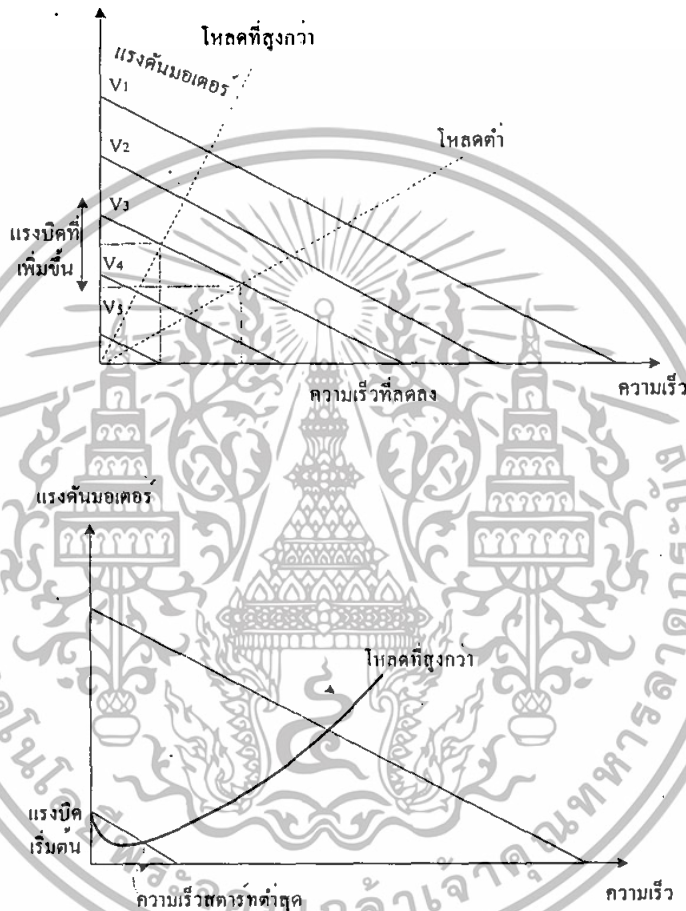


**รูปที่ 8** วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานอนุกรมและกราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อัตราขยายกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษา ระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับ มอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 9 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

## 3. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้สามารถขับมอเตอร์ได้ความเร็ว 10 : 1 และให้การเรีคุณุเลทที่ดีกว่ากระแส ถูกปล่อยให้สนามคงที่ ผลของคุณสมบัติ ความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วย ความต้านทานที่ปรับค่าได้ และให้การเรีคุณุเลทความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

การปมอดแบบปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

##### การทำงานของสัญญาณ PWM

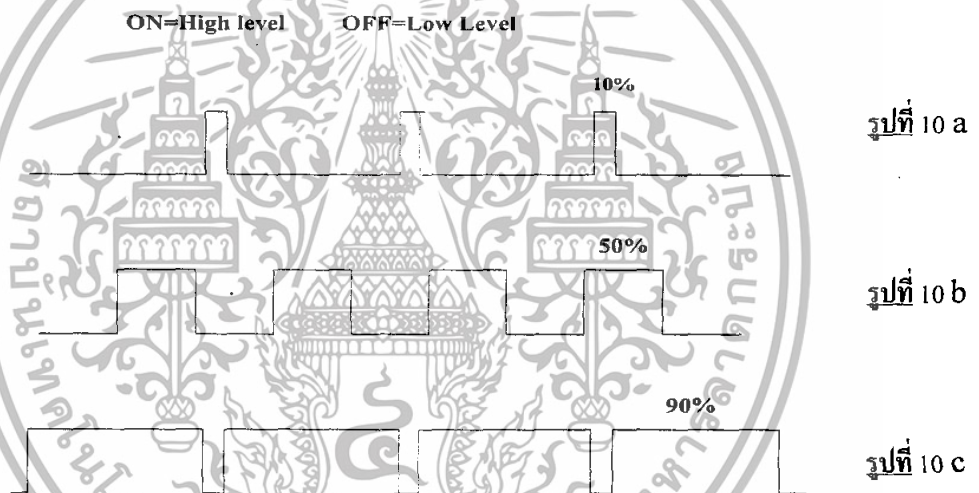
รูปที่ 1 แสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ

- โดย 10a แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการอนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

- โดย 10b แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการอนจะเป็น 50% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ

- โดย 10c แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการอนจะเป็น 90% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ

เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ duty cycle เป็น 10% จะได้อาท์พุต 0.9V



รูปที่ 10 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่างกัน

ทำไมถึงใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

มีหลายเหตุผลว่าทำไม PWM ถึงถูกเลือกใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เช่น สัญญาณ

- PWM ง่ายในการอินเทอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ใช้เพียงแค่เอาท์พุตเดียวในการควบคุมความเร็ว

- PWM มีประสิทธิภาพ คือ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)

- PWM ทำให้ได้ค่า ทอร์ค และ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เป็นเพราะ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF (FULL ON and FULL OFF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

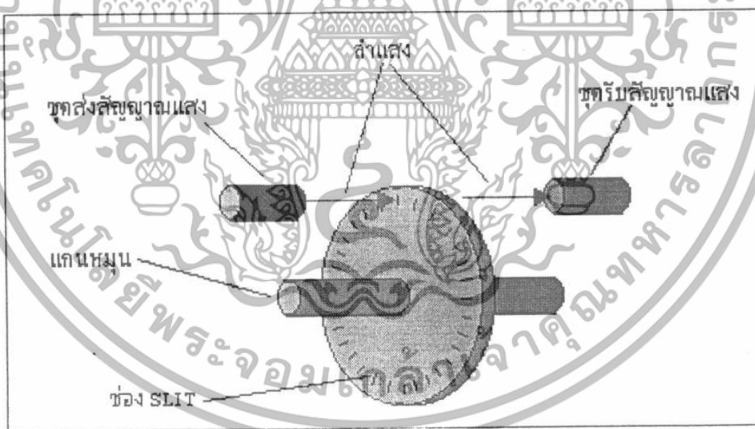
ซึ่งในโครงการนี้ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตัดต่อวงจร เราสามารถจะควบคุมจังหวะในการจ่ายกระแสได้ การ On และ off ในสัดส่วนต่างๆกัน ด้วยความถี่ที่เหมาะสมก็จะทำให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วต่างๆ กันตามความต้องการได้ ถ้าความถี่ต่ำไปมอเตอร์ก็จะหมุนแบบกระตุกๆ ไม่เรียบ และอาจจะได้ยินเสียง จากการสั่นของ ขดลวดทองแดง ถ้าความถี่สูงกว่า 20 kHz หูเราก็จะไม่ได้ยินเสียง ขดลวดสั่นอีกต่อไป และ ที่ความถี่สูงขึ้นไป มากๆ ก็จะเกิดการสูญเสีย พลังงาน ในวงจรมากเกินความจำเป็น

## 2.6.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

ในโครงการนี้ได้นำเอา ตัวเข้ารหัสแบบ เข้ามาใช้ และ อ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทาง และ ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่าสัญญาณขาเข้า โดยหลักการทำงานของ ตัวเข้ารหัส มีดังนี้

### ตัวเข้ารหัส (Encoder)

ตัวเข้ารหัสแบบหมุน (Rotary Encoder) มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลาง และ ที่แผ่นกลม จะมีช่องเล็ก ที่แสงสามารถ ส่องผ่านได้ เป็นจำนวนมากเราเรียกช่องนี้ว่าช่องหรือสลิต ซึ่งที่ด้านหนึ่งของ แผ่นกลม นี้ จะมีตัวส่งแสงอินฟราเรด (Infrared) ไปยังตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 11

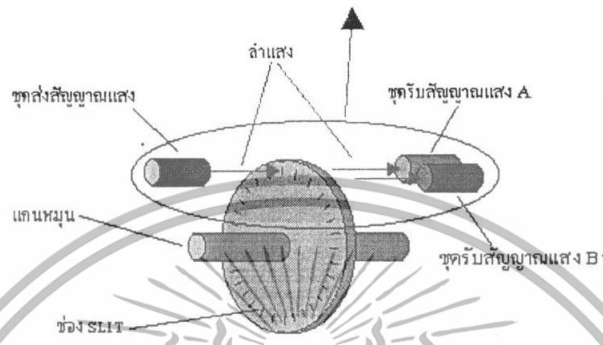
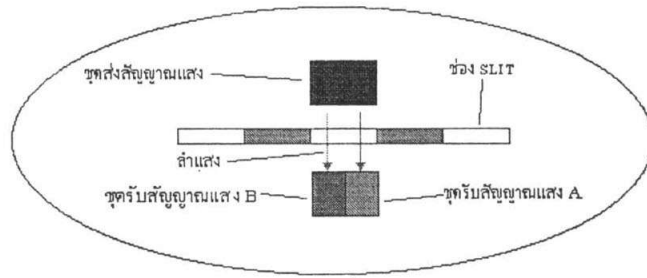


รูปที่ 11 แสดงการเข้ารหัสแบบหมุน

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสงอินฟราเรดดังนั้นตัวรับแสงอินฟราเรดจึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ (เป็นพัลส์) ตามจังหวะที่แสงผ่านช่องสลิตจึงทำให้ สัญญาณขาเข้าของ ตัวรับแสงอินฟราเรดมีลักษณะเป็นพัลส์ ดังรูปที่ 12

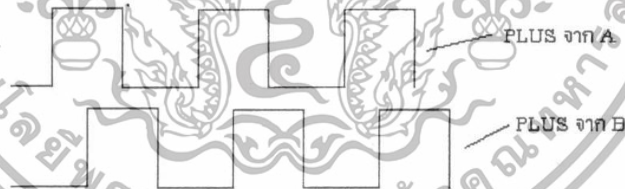
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 14 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

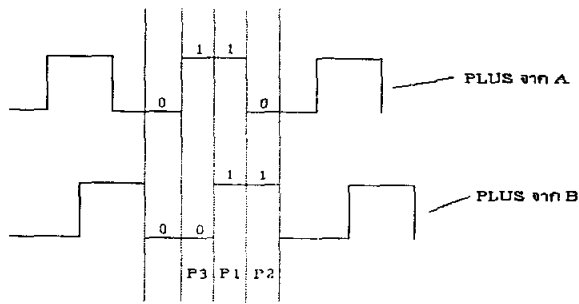
ดังนั้นสัญญาณขาออกจากมอเตอร์จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณพัลส์จาก A และ B ก็  
จะเหลื่อมกัน 90 องศาด้วย หากกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก จากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2 บิต คือหนึ่ง บิตมา  
จาก A และอีกหนึ่ง บิต มาจาก B ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ลักษณะพัลส์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุนทั้งสองเฟส

ถ้าเราให้พัลส์ในช่วงสูง มีค่าเป็น “1” และพัลส์ในช่วงต่ำ มีค่าเป็น “0” เราสามารถใช้ค่าดังกล่าว  
มาคำนวณหาทิศทางที่มอเตอร์หมุนได้ด้วยใช้วิธีการทางดิจิทัลคือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการเอกซ์คลู  
ซีฟ OR (XOR) กัน โดยการนำ bit ทางขวาของค่าเก่ามา XOR กับบิตทางซ้ายของค่าใหม่ทีอ่านได้ตาม  
ตัวอย่างข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงความละเอียดของพัลส์

สมมุติในตอนแรกมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง P1 เพราะฉะนั้นค่าของตัวเลขอันดับสองที่อ่านได้จากตัวเข้ารหัสจะมีค่าเป็น 11 ถ้าเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง P3 จะทำให้ค่าของตัวเลขอันดับสองที่อ่านได้จากตัวเข้ารหัสจะมีค่าเป็น 10 ดังนั้นถ้าเรานำเอาค่าทางขวา จากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (10) ซึ่งก็คือ 1 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0 เพราะฉะนั้นค่า 0 จึงเป็นค่าที่บอกว่าการมอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทางกลับกันถ้าในตอนแรกมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง P1 และต่อมามอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง P2 ถ้าเรานำเอา ค่าทางขวา จากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (01) ซึ่งก็คือ 0 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1 เพราะฉะนั้นค่า 1 จึงเป็นค่าที่บอกมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และการ XOR ค่าต่างๆ ได้แสดงไว้ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ

XOR Example		
A XOR B		RESULT
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

ที่ได้จากตัวเข้ารหัสแบบหมุนจะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับวงจรรับพัลส์หรือวงจรรคำนวณ เพื่อที่จะตรวจสอบว่ามอเตอร์หมุนไปทิศทางใดและอยู่ที่ตำแหน่งใด ตามวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยส่วนมากแล้วมอเตอร์ที่ใช้ตัวเข้ารหัสแบบหมุนแบบนี้ จะมีจำนวนรอบ ของการหมุนที่ไม่จำกัดโดยจะหมุนไปกี่รอบก็ได้ขึ้นอยู่กับ ความสามารถของวงจรรับพัลส์และวงจรรคำนวณ

ดังนั้นเราอาจจะกล่าวได้ว่าตัวเข้ารหัสที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆคือตัวเข้ารหัสแบบมีค่าสัญญาณขาออกที่ไม่จำกัด (incremental encoder) และตัวเข้ารหัสแบบที่มีค่าสัญญาณขาออกที่จำกัด (absolute encoder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเข้ารหัสแบบมีค่าสัญญาณขาออกที่ไม่จำกัดมักจะเป็นตัวเข้ารหัสแบบแบบหมุนดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าขนาดของสัญญาณขาออกของตัวเข้ารหัสแบบนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรนับและวงจรคำนวณ

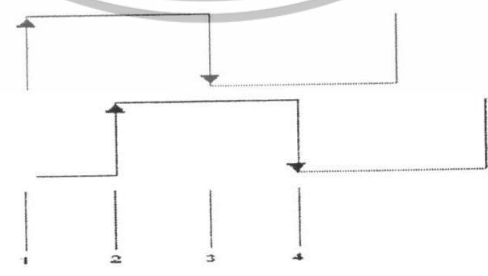
ตัวเข้ารหัสแบบที่มีค่าสัญญาณขาออกที่จำกัดที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบวัฏระยะทางแต่ในบางครั้งก็อาจเป็นแบบแบบหมุนก็ได้แต่จะมีการออกแบบลักษณะของช่องสลิตที่ต่างไปจากตัวเข้ารหัสแบบหมุนที่ได้ไว้ในตอนต้นโดยอาจจะมีค่าของสัญญาณขาออกตั้งแต่ 4 บิต ถึง 16 บิต

ในแง่ของการใช้งานแล้วมอเตอร์ที่มีตัวเข้ารหัสแบบมีค่าสัญญาณขาออกที่ไม่จำกัดนั้นจะใช้งานยุ่งยากกว่ามอเตอร์ที่มีตัวเข้ารหัสแบบมีค่าสัญญาณขาออกที่จำกัดเพราะสัญญาณขาออกของตัวเข้ารหัสแบบมีค่าสัญญาณขาออกที่ไม่จำกัดนั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุมมอเตอร์ (Controller) ได้ทันทีโดยต้องต่อผ่านวงจรนับพัลส์และวงจรคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนก่อนถึงจะต่อเข้ากับชุดควบคุมมอเตอร์ได้แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเรามีไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล PIC เป็นต้น ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาใช้แทนวงจรนับพัลส์และวงจรคำนวณได้จึงทำให้การใช้งานมีความง่ายขึ้น ดังรูปที่แสดงไว้ข้างล่าง



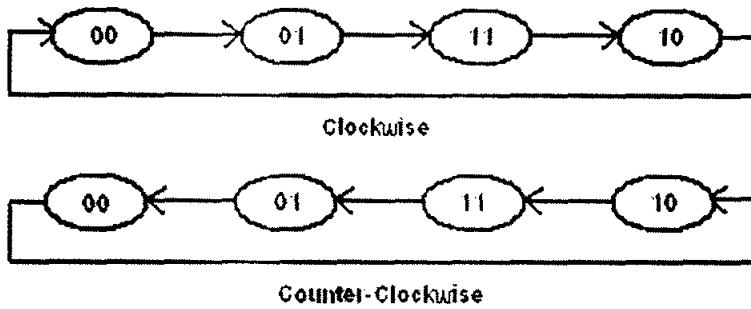
รูปที่ 17 แสดงบล็อกไดแกรมของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

ในโครงงานอาศัยการตรวจนับขอบขาขึ้นและขาของทั้งเฟส A และเฟส B ทำให้สามารถแบ่ง 1 พัลส์เป็น 4 ส่วน



รูปที่ 18 รูปแสดงการตรวจนับขอบขาขึ้น และขอบขาลงของทั้ง 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 19** รูปแสดงวิธีการตรวจจับทิศทางการหมุนของตัวเข้ารหัสแบบหมุน โดยอ่านค่าเข้าที่ Port 1

- ในการนับจำนวน Pulse จะทำการนับขอบขาขึ้นของ Pulse A ว่าเท่าไร
- ในการหาความกว้างของ Pulse จะทำการเช็คขอบขาขึ้นของ A กับขอบขาลงของ A ว่ามีระยะห่างระหว่างกันเท่าไร โดยใช้ Timer เป็นตัวจับ



รูปที่ 20 แสดงการเช็คความกว้างของพัลส์

## 2.7 ความรู้พื้นฐานของจอแสดงผล LCD

### 2.7.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโมดูล LCD

ในรูปที่ 21 แสดงการจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งมี 2 แบบ

$V_{SS}$  (ขา1): ต่อกราวด์

$V_{DD}$  (ขา2): ต่อไฟเลี้ยง +5V

VO (ขา3): เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา4): เป็นขาอินพุตใช้แยกชนิดของข้อมูลที่ประมวลผลว่าเป็นคำสั่งหรือข้อมูล

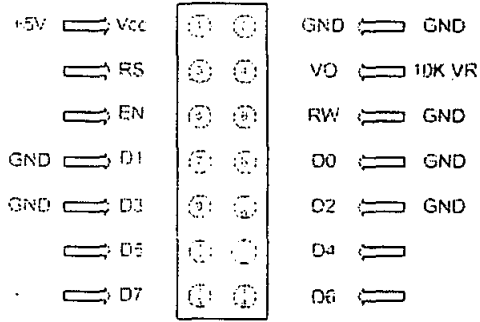
โดยถ้าขานี้เป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล

R/W (ขา5): เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือการเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น "0" เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา6): เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิล โมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14): เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



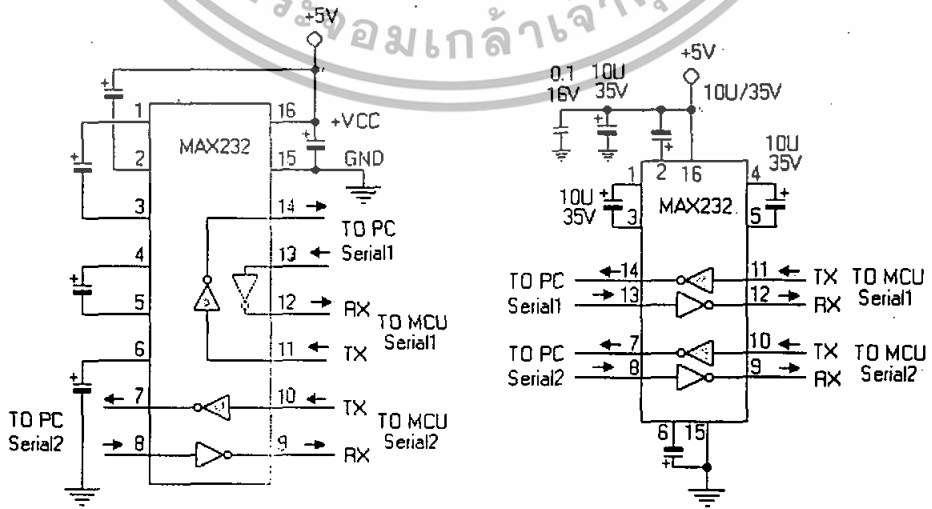
รูปที่ 21 แสดงขาโมดูล LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

2.8 การใช้งานไอซีเบอร์ MAX232

MAX232, ICL 232 เป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณของ RS-232 มาเป็นระดับ TTL และในทำนองเดียวกันก็แปลงระดับสัญญาณ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณ RS-232



รูปที่ 22 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232



รูปที่ 23 รูปวงจรรภายในและการต่อใช้งาน MAX232 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### หลักการทำงานและการออกแบบ

หลักการสร้างและออกแบบเครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรงนี้ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนของโปรแกรมควบคุม ส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยส่วนย่อยๆดังต่อไปนี้

1. วงจรจ่ายไฟฟ้า (Power Supply)
2. วงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (mcs-51)
3. วงจรขับมอเตอร์

#### หลักการทำงาน

เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรงมีหลักการทำงานคือเมื่อเราป้อนจำนวนพัลส์ที่จะขับมอเตอร์เข้าไปผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลแล้วส่งสัญญาณพัลส์ไปขับมอเตอร์โดยจากนั้นมอเตอร์ก็จะหมุนซ้ายหรือขวาตามคำสั่ง โดยเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนตัวตรวจนับสัญญาณก็จะเริ่มนับแล้วก็จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลเพื่อส่งให้มอเตอร์หยุดหมุนแล้วแสดงผลผ่านจอ LCD

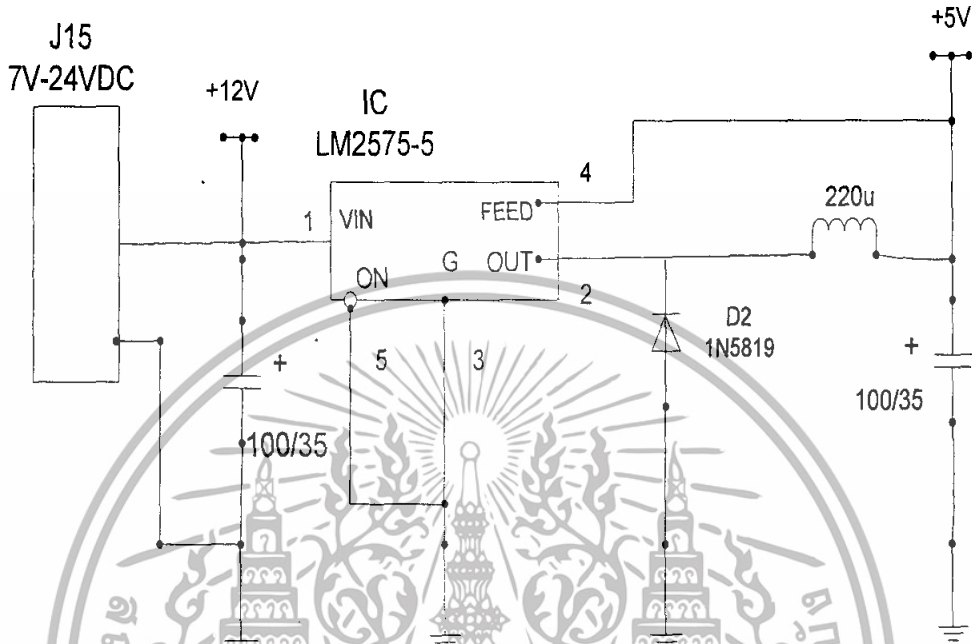


รูปที่ 24 กระบวนการทำงานของเครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply)

ส่วนวงจรกำลังไฟฟ้านี้ จะทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้วงจรของไอซีดิจิตอลต่างๆรวมทั้งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลท์

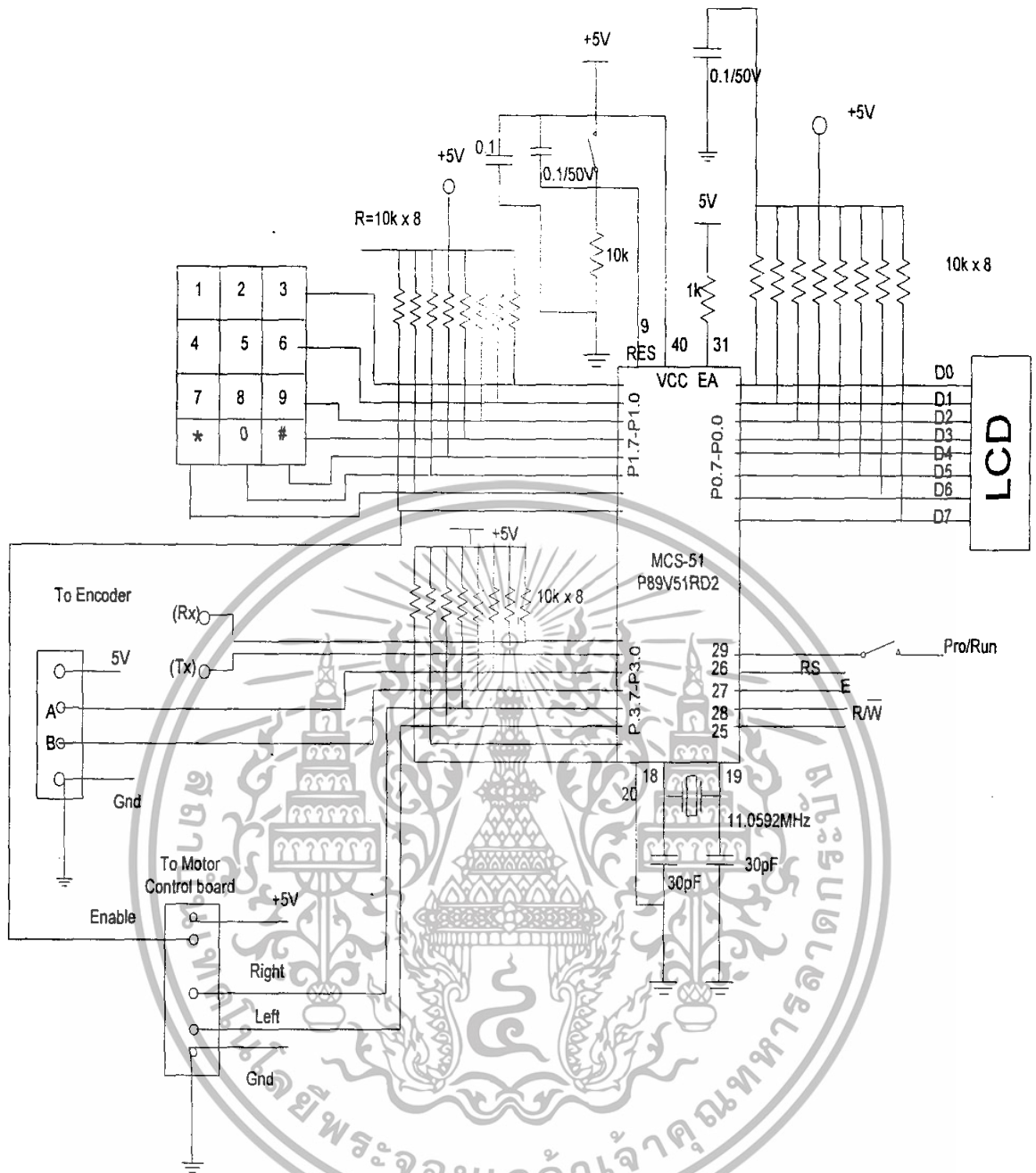


รูปที่ 25 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

### 3.3 วงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Mcs-51)

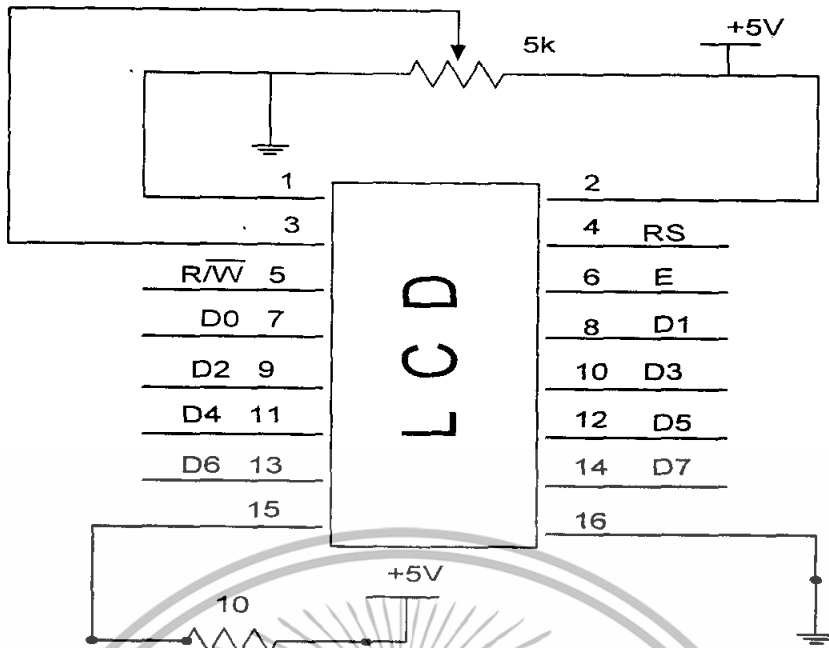
ในการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อ Port 1.0-1.6 เข้ากับตัวคีย์บอร์ดเพื่อจะรับข้อมูลInterrupt มาประมวลผลคำสั่ง และPort 1.7 จะตัวจ่ายค่า Enable ซึ่งจะเป็นพัลส์แบบ PWM มีความถี่เท่ากับ 22.1184 MHz เพื่อที่จะ ไปขับมอเตอร์ ส่วน Port0.0-0.7 จะต่อเข้ากับจอ LCD แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

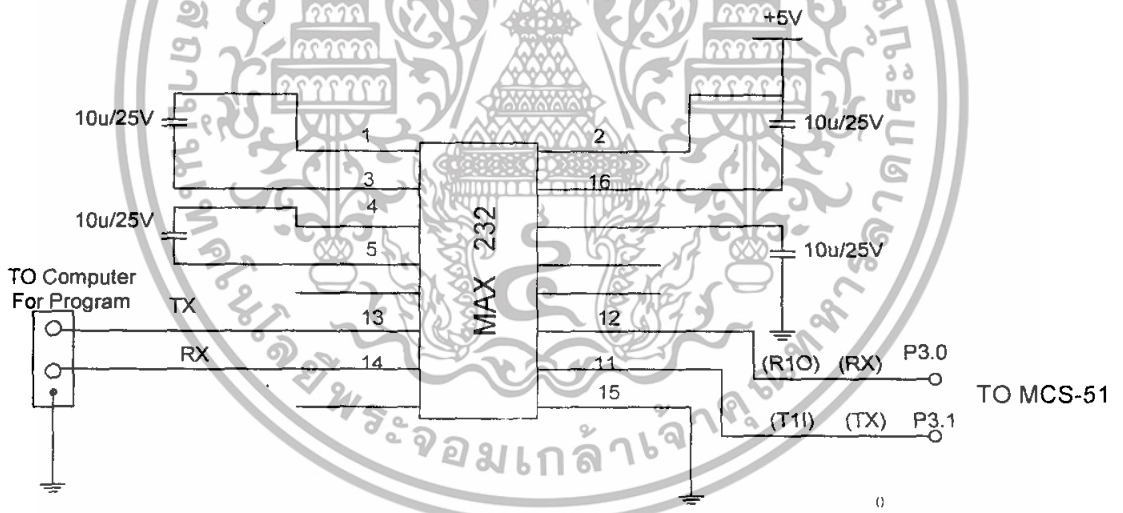


รูปที่ 26 วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



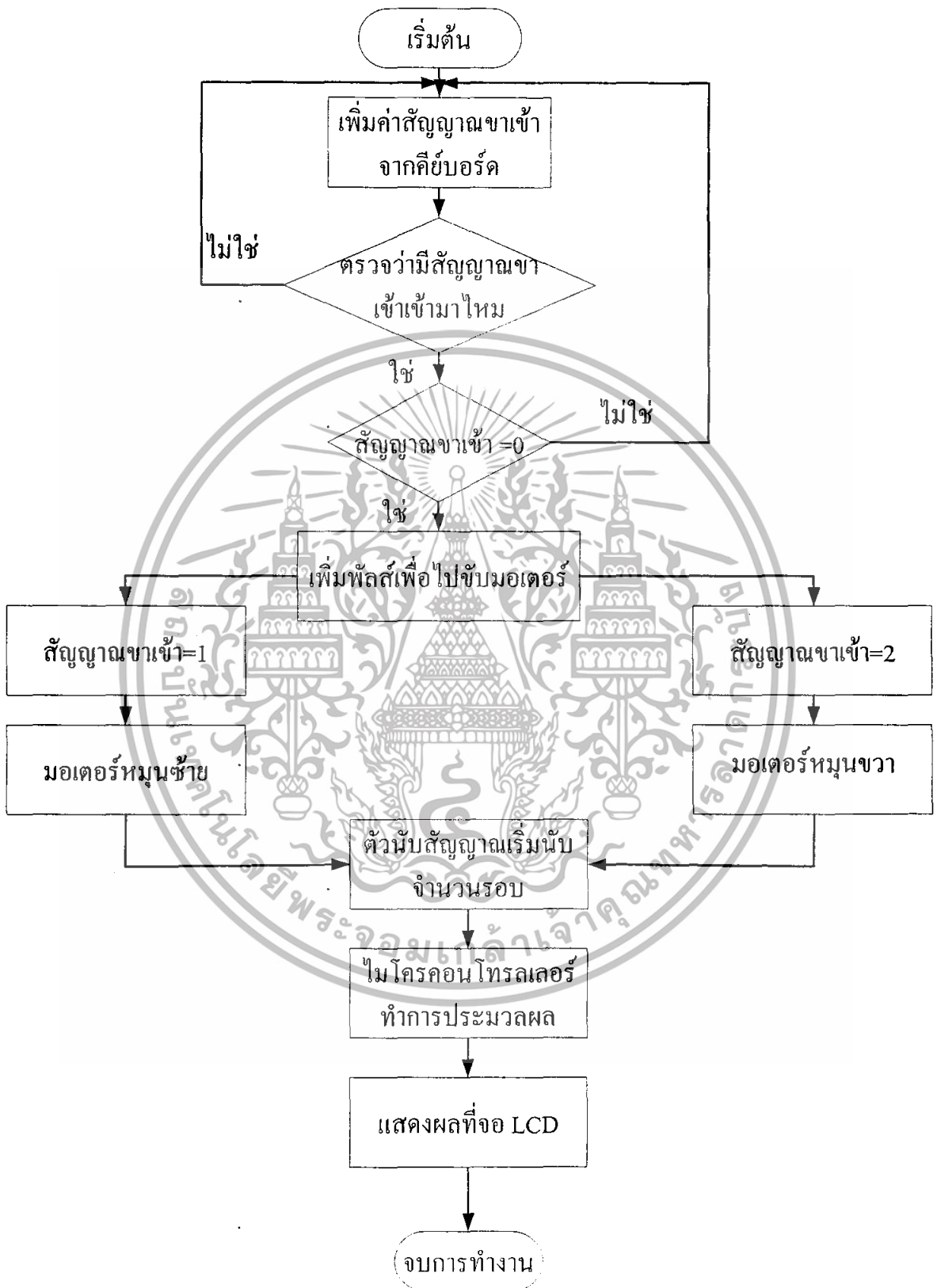
รูปที่ 27 การต่อ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 28 แสดงการต่อ MAX 232 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 ส่วนของโปรแกรมควบคุม

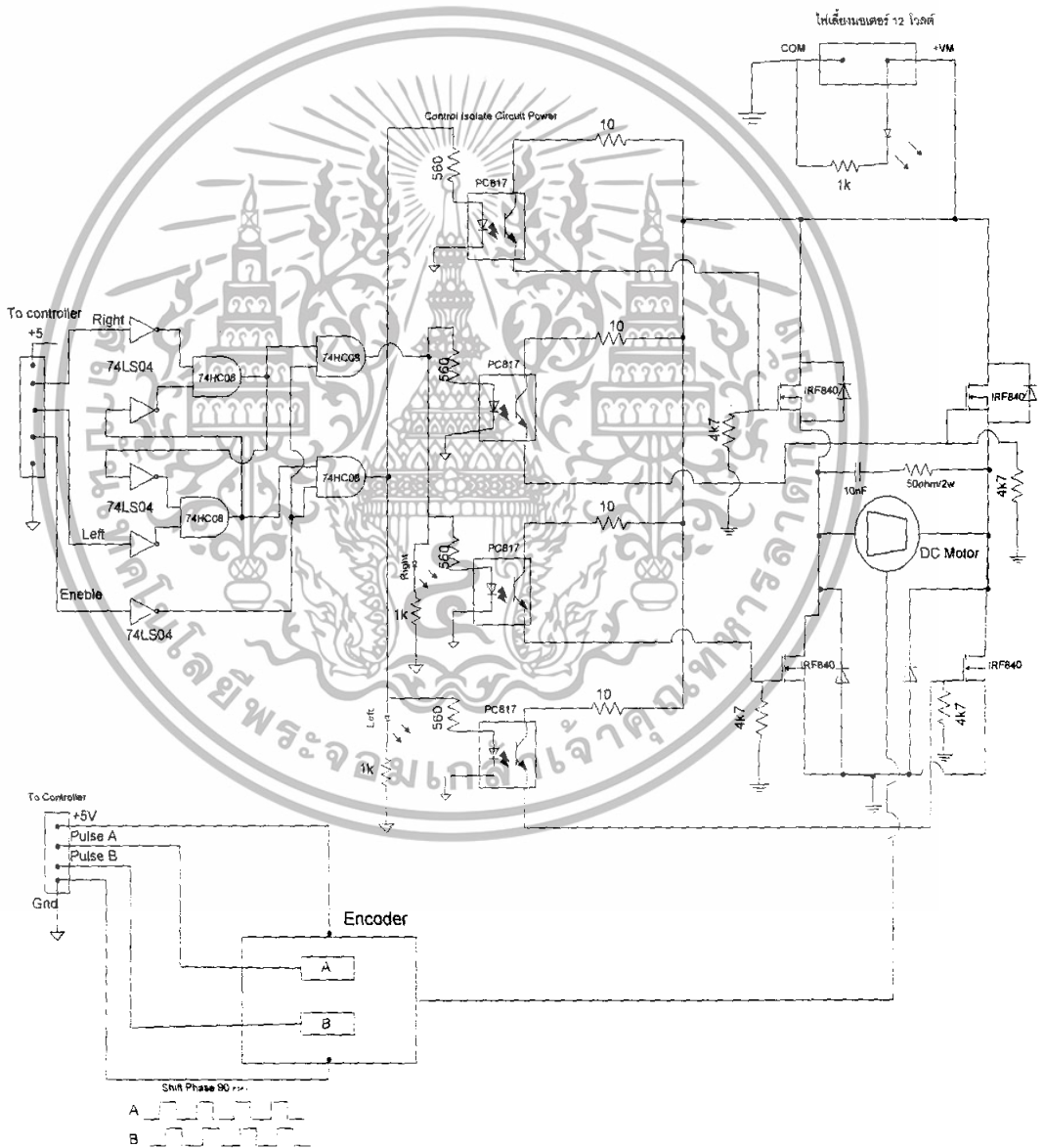


รูปที่ 29 แสดง Flowchart ทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรขับมอเตอร์

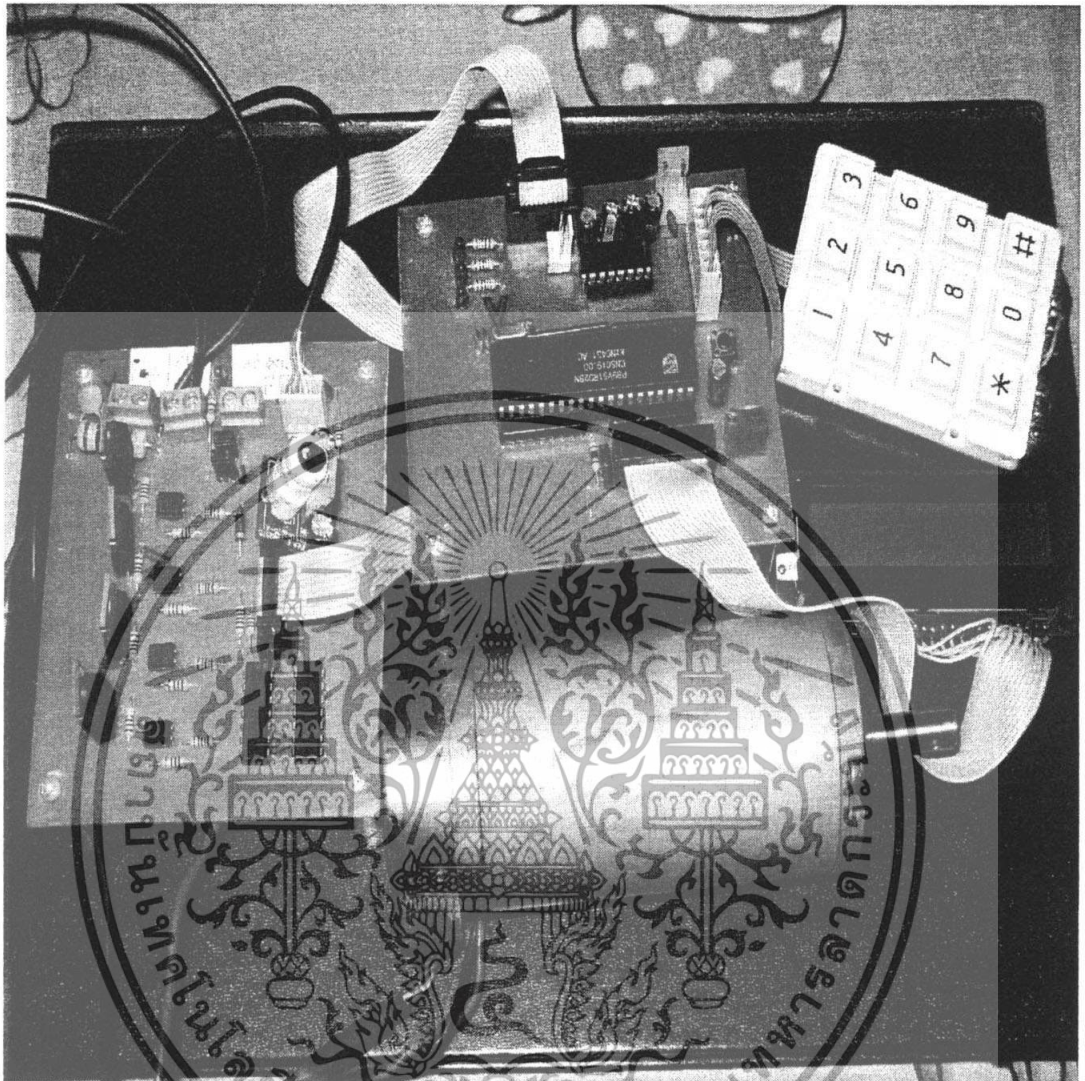
ในวงจรขับมอเตอร์จะมีไอซีเบอร์PC817 ทำหน้าที่คอยเป็นตัวเชื่อมโยงทางแสงขาเข้าเป็นไดโอดเปล่งแสงอยู่ภายในขาออกเป็นทรานซิสเตอร์ที่ไม่มีขาเบสใช้เพื่อที่จะเชื่อมวงจรสองส่วนเข้าหากันระหว่างวงจร Logic กับส่วนของวงจรขับมอเตอร์ ในวงจรขับมอเตอร์จะใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF 840 เป็นเหมือนสวิตช์ในวงจร โดยที่ถ้ามีไฟจ่ายเข้ามาที่ขาเบสของขับเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF 840 แล้วตัวมันจะทำงานเหมือนลัดวงจร (Short circuit) ทำให้มีไฟจ่ายไปยังมอเตอร์แต่ถ้าไม่มีไฟจ่ายไปยังขาเบสของเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF 840 ตัวมันจะทำตัวเหมือนเปิดวงจร(Open Circuit) ทำให้ไม่มีไฟจ่ายไปยังมอเตอร์จากรูปในวงจรจะเห็นได้ว่าเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF 840จะทำหน้าที่สลับกันทีละสองตรง



รูปที่ 30 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

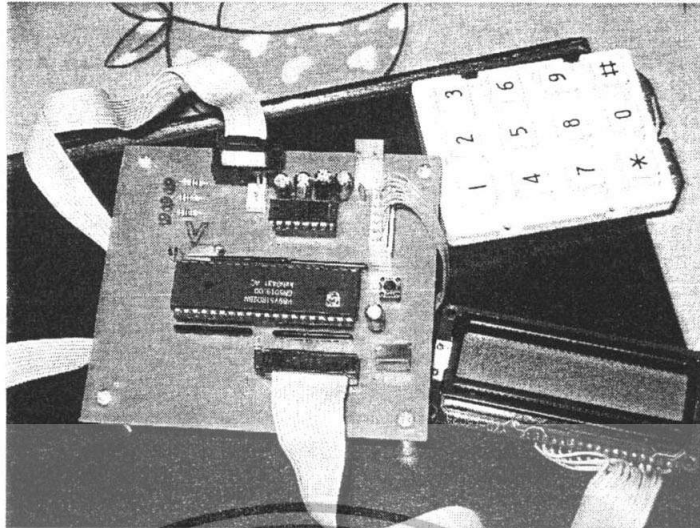
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 โครงสร้างภายนอก



รูปที่ 31 แสดง โครงสร้างภายนอกของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 32 แสดงชุดควบคุม และ แสดงผล



รูปที่ 33 แสดงชุดขับมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนซ้าย

ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าที่ได้จากการทดลอง			เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน (%)
จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	
50	0.25	90	47	0.235	84.6	6.00
100	0.5	180	102	0.51	183.6	-2.00
200	1	360	204	1.02	367.2	-2.00
400	2	720	404	2.02	727.2	-1.00
600	3	1080	610	3.05	1098	-1.67
800	4	1440	815	4.08	1467	-1.88
1000	5	1800	1012	5.06	1821.6	-1.20
2000	10	3600	2014	10.07	3625.2	-0.70
4000	20	7200	4018	20.09	7232.4	-0.45
6000	30	10800	6019	30.10	10834.2	-0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนซ้าย (ต่อ)

ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าที่ได้จากการทดลอง			เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน (%)
จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	
8000	40	14400	8022	40.11	14439.6	-0.28
10000	50	18000	10020	50.10	18036	-0.20
15000	75	27000	15019	75.10	27034.2	-0.13
20000	100	36000	20035	100.18	36063	-0.18
25000	125	45000	25037	125.19	45066.6	-0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนขวา

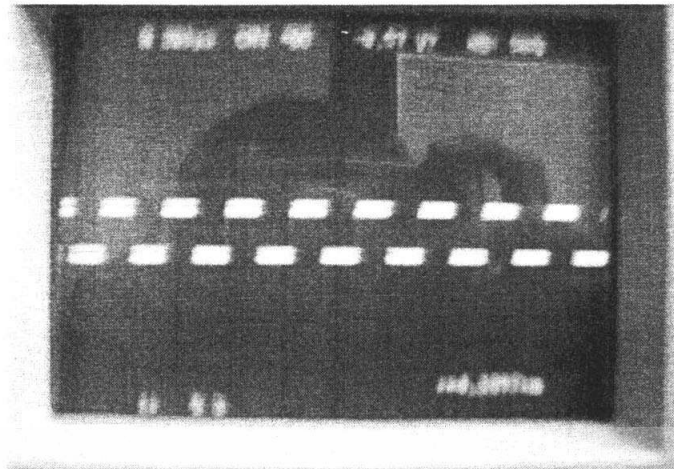
ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าที่ได้จากการทดลอง			เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน (%)
จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	
50	0.25	90	48	0.24	86.4	4.00
100	0.5	180	99	0.495	178.2	1.00
200	1	360	199	0.995	358.2	0.50
400	2	720	402	2.01	723.6	-0.50
600	3	1080	602	3.01	1083.6	-0.33
800	4	1440	810	4.05	1458	-1.25
1000	5	1800	1011	5.06	1819.8	-1.10
2000	10	3600	2015	10.08	3627	-0.75
4000	20	7200	4018	20.09	7232.4	-0.45
6000	30	10800	6020	30.10	10836	-0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

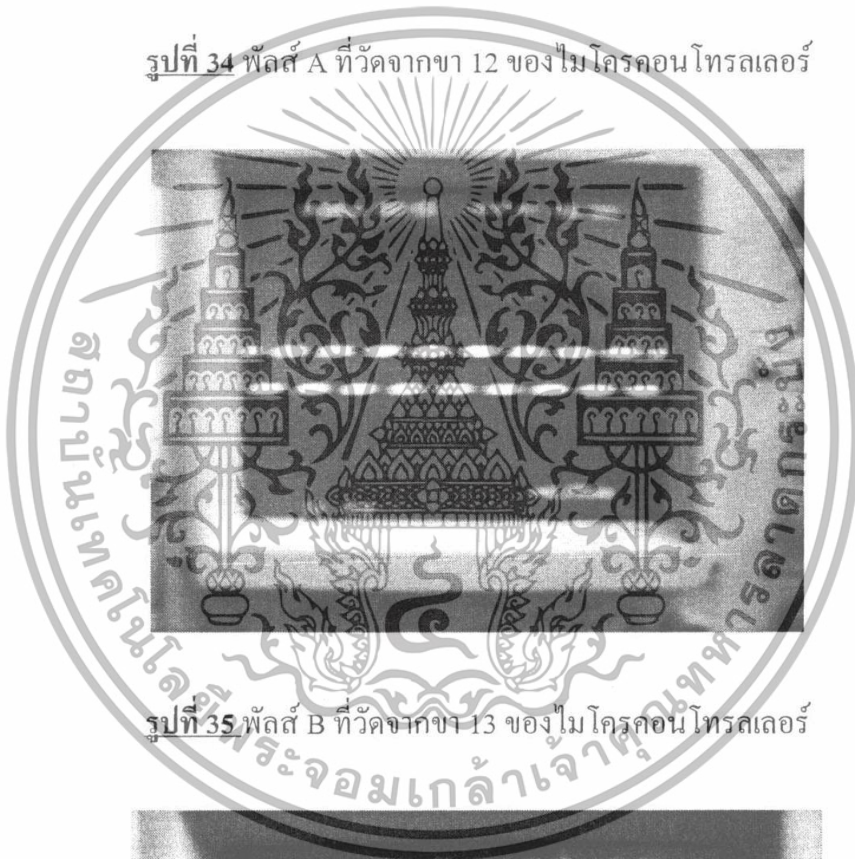
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองกรณีมอเตอร์หมุนขวา (ต่อ)

ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าที่ได้จากการทดลอง			เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน (%)
จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	จำนวน พัลส์	จำนวน รอบ (200p/1r)	คิดเป็นมุม (องศา)	
8000	40	14400	8011	40.06	14419.8	-0.14
10000	50	18000	10011	50.06	18019.8	-0.11
15000	75	27000	15015	75.08	27027	-0.10
20000	100	36000	20018	100.09	36032.4	-0.09
25000	125	45000	25021	125.11	45037.8	-0.08

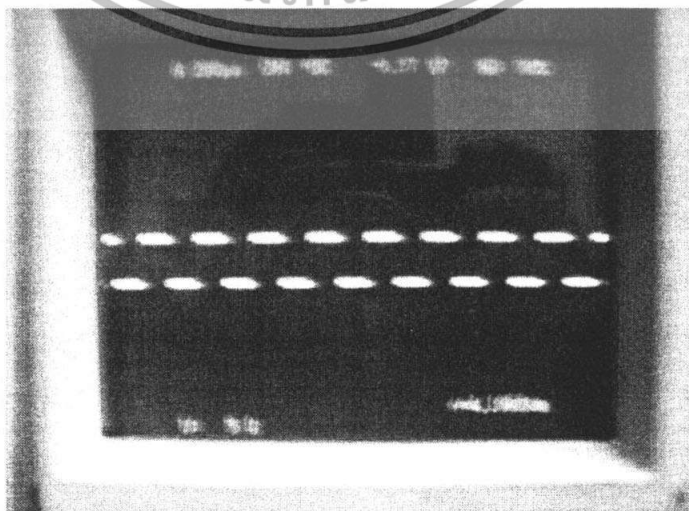
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 ฟลีส A ที่วัดจากขา 12 ของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 35 ฟลีส B ที่วัดจากขา 13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ โดยขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เครื่องควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรงเป็นเครื่องที่ควบคุมแบบมีการป้อนกลับ โดยแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน และส่วนขับมอเตอร์

จากการทดลองใบบพที่ 4 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าผลการทดลองมีข้อผิดพลาดค่อนข้างน้อย และสามารถแสดงผลออกมาทางจอ LCD ได้อย่างชัดเจน แต่ข้อเสียของเครื่องนี้ก็คือ มีความละเอียดของการควบคุมตำแหน่งน้อยเกินไป คือ เฟลส์เท่ากับ 1.8 องศา

#### ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ที่จำนวนพัลส์1-50พัลส์ไม่สามารถสั่งให้มอเตอร์หมุนได้เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยค่านี้ไม่สามารถขับทอร์คเริ่มต้นของมอเตอร์ได้แนวทางแก้ไขคือต้องออกแบบเพิ่มวงจรขับทอร์คเริ่มต้น
2. ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์มีความละเอียดน้อยเกินไปคือ1พัลส์เท่ากับ 1.8 องศาแนวทางแก้ไขคือควรเพิ่มความละเอียดตัวเข้ารหัสให้มากกว่านี้ และเขียน โปรแกรมควบคุมใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช , “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051”, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2537
2. อุดม จีนประทีป , “ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51,” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3. โยธิน เปรมปราณีรัชต์, “SOLID-STATE DC-MOTOR CONTROL,” ภาควิชาระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <89v51rd2.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define MaxBuf 10
#define PORT_LCD P0
#define PORT_KB P1
/***** I/O PORT *****/
```

```
sbit i2c_scl = P2^2;
sbit i2c_sda = P2^3;
```

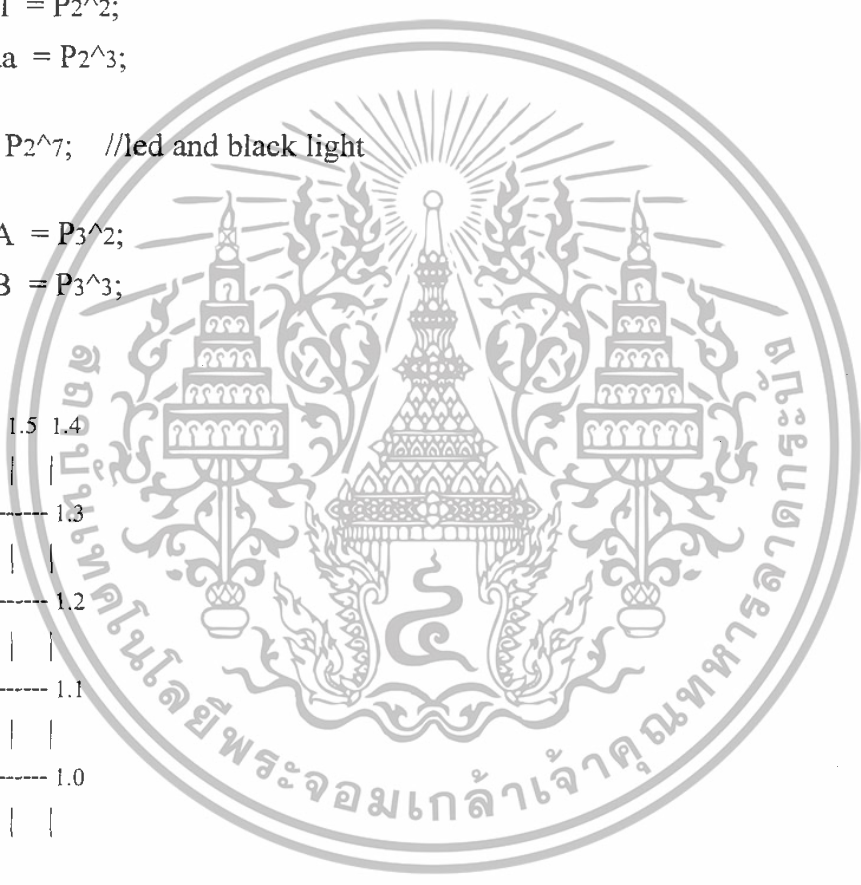
```
sbit BL = P2^7; //led and black light
```

```
sbit PulseA = P3^2;
sbit PulseB = P3^3;
```

```
/*
1.6 1.5 1.4
| | |
----- 1.3
| | |
----- 1.2
| | |
----- 1.1
| | |
----- 1.0
| | |
*/
```

```
sbit col1 = P1^6;
sbit col2 = P1^5;
sbit col3 = P1^4;

sbit row1 = P1^3;
sbit row2 = P1^2;
sbit row3 = P1^1;
sbit row4 = P1^0;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****LCD PORT*****/
sbit rs_lcd = P2^5;
sbit rw_lcd = P2^7;
sbit en_lcd = P2^6;
/*****control slave*****/
sbit tl = P3^4;
sbit tr = P3^5;

sbit PWM = P1^7;

/***** INT-RAM WORKING AREA *****/
unsigned char    BUF[8];
unsigned char    LCDBUF[40];
unsigned char    pwm_data;
unsigned int speed;
unsigned int round;
int PV_rps;
int SP_rps;
int DP_rps;

float duty_cycle;
/***** BASIC FUNCTION *****/
void dmsec (unsigned int count) { // mSec Delay
    unsigned int i; // Keil CA51 (x1)
    while (count) {
        i = 230; while (i>0) i--;
        count--;
    }
}

/*****
unsigned char code KeyCode[] =
{0x5e,0x37,0x57,0x67, //0 1 2 3
0x3b,0x5b,0x6b,0x3d, //4 5 6 7
0x5d,0x6d,0x3e,0x6e, //8 9 A B
};

unsigned char key2dec (unsigned char kb_code) { // change segment to hex
    unsigned char i; // 0xff = Error
    for (i=0;i<=11;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if (kb_code==KeyCode[i]) return (i);
    return (0xff);
}

//***** Scan key pad *****
unsigned char scankey(void)
{
    unsigned char key=0xff;
    PORT_KB = PORT_KB & 0x80; //don't care bit7
    PORT_KB = PORT_KB | 0x7f; //set all to high
    col1=0;col2=1;col3=1;dmsec(5);
    if( (PORT_KB & 0x0f) != 0x0f){ //press any key
        key=key2dec (PORT_KB & 0x7f); //don't care bit 7
        return(key);
    }
    col1=1;col2=0;col3=1;dmsec(5);
    if( (PORT_KB & 0x0f) != 0x0f){ //press any key
        key=key2dec (PORT_KB & 0x7f); //don't care bit 7
        return(key);
    }
    col1=1;col2=1;col3=0;dmsec(5);
    if( (PORT_KB & 0x0f) != 0x0f){ //press any key
        key=key2dec (PORT_KB & 0x7f); //don't care bit 7
        return(key);
    }
    col1=1;col2=1;col3=1;dmsec(5); //release key to high
    return(0xff); // no key press
}

```

//\*\*\*\*\* LCD COMMAND INSTRUCTION \*\*\*\*\*

```

void lcd_wr_ins (unsigned char com) { // LCD write instruction
    rs_lcd = 0; rw_lcd = 0; en_lcd = 1;
    PORT_LCD = com;
    en_lcd = 0; en_lcd = 1;
    dmsec(1);
}
void goto_lcd (unsigned char com) { // LCD write instruction
    rs_lcd = 0; rw_lcd = 0; en_lcd = 1;
    com = com | 0x80;
    PORT_LCD = com;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    en_lcd = 0; en_lcd = 1;
    dmsec(1);
}
void lcd_wr_data (unsigned char dat) { // LCD write data
    rs_lcd = 1; rw_lcd = 0; en_lcd = 1;
    PORT_LCD = dat;
    en_lcd = 0; en_lcd = 1;
    dmsec(1);
}

void lcd_set (void) { // LCD start process
    unsigned char i;
    for (i=0;i<=3;i++) {
        lcd_wr_ins (0x38); // function set
    }
    lcd_wr_ins (0x0c); // display on
}

void lcd_wr_ch (unsigned char dat) { // load LCDBUF to LCD
    unsigned char i,j;
    i = 0;
    for (j=1;j<=dat;j++)
        lcd_wr_data (LCDBUF[i++]);
}

void Clear_Lcd (void) {
    //012345678901234567890
    sprintf (LCDBUF, " ");
    goto_lcd (0x00);lcd_wr_ch (20);
    goto_lcd (0x40);lcd_wr_ch (20);
    goto_lcd (0x14);lcd_wr_ch (20);
    goto_lcd (0x54);lcd_wr_ch (20);
}

```

/\*\*\*\*\*\* P3.2 \*\*\*\*\*/

```

void EncoderA() interrupt 0
{
    if(PulseB){ //case turn Left
        TR0 = 0; //stop timer
        TH0 = 0x00;
        TL0 = 0x00;
        TF0 = 0; //set bit over flow
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        TR0 = 1; //start open timer
        round=0;
    }else{ //case turn Right
        TR0 = 0; //stop
        speed = TH0;
        speed <<= 8;
        speed += TL0;
        PV_rps++;
    }
}
/***** P3.3 *****/
void EncoderB() interrupt 2
{
    if(PulseA){ //case turn Right
        TR0 = 0; //stop timer
        TH0 = 0x00;
        TL0 = 0x00;
        TF0 = 0; //set bit over flow
        TR0 = 1; //start open timer
        round=0;
    }else{ //case turn Left
        TR0 = 0; //stop
        speed = TH0;
        speed <<= 8;
        speed += TL0;
        PV_rps--;
    }
}
//-----
void StopRun (void) {
    CCON = 0x00;
    tl=1;tr=1;
    TR0 = 0; //stop
        speed = TH0;
        speed <<= 8;
        speed += TL0;
    dmsec(100);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----Low speed (Ramp Down when Turn Left)-----
void cal_ramp_down_Left (void) {
    float data_pulse;
    float d=0.00000003;
    float c=0.00007;
    float b=0.0543;
    float a=16.228;
    DP_rps=(SP_rps - PV_rps);
    while(DP_rps>100){
        DP_rps=(SP_rps - PV_rps);
        data_pulse = (d*DP_rps*DP_rps*DP_rps)-
(c*DP_rps*DP_rps)+(b*DP_rps)+a;
        CCAP4L=data_pulse;
        CCAP4H=CCAP4L;
    }
    while(DP_rps>0){
        DP_rps=(SP_rps - PV_rps);
        if(CCAP4L<16){//16-17 position will error 0-6 and it can drive motor
            CCAP4L++;
            CCAP4H=CCAP4L;
        }else if(CCAP4L>17){
            CCAP4L--;
            CCAP4H=CCAP4L;
        }
    }
    StopRun();
    return;
}

```

```

//-----Turn Left Function-----
void TurnLeft (void) {
    CCON = 0x40;
    tr=1;
    tl=0;

    while(1){
        DP_rps=(SP_rps - PV_rps); //PV=+
        if(DP_rps>1000){
            if(CCAP4L<60){
                CCAP4L++;
                CCAP4H++;
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }else {
            cal_ramp_down_Left();

            return;
        }
    }
}

//-----Low speed (Ramp Down when Turn Right)-----
void cal_ramp_down_Right (void) {
    float data_pulse;
    float d=0.0000008;
    float c=0.0004;
    float b=0.0962;
    float a=14.592;
    DP_rps=(SP_rps + PV_rps);
    while(DP_rps>100){
        DP_rps=(SP_rps + PV_rps);
        data_pulse = (d*DP_rps*DP_rps*DP_rps)-
(c*DP_rps*DP_rps)+(b*DP_rps)+a;
        CCAP4L=data_pulse;
        CCAP4H=CCAP4L;
    }
    while(DP_rps>0){
        DP_rps=(SP_rps + PV_rps);
        if(CCAP4L<14){//15-16 position will error 0-6 and it can drive motor
            CCAP4L++;
            CCAP4H=CCAP4L;
        }else if(CCAP4L>15){
            CCAP4L--;
            CCAP4H=CCAP4L;
        }
    }
    StopRun();
    return;
}

//-----Turn Right Function-----

void TurnRight (void) {
    CCON = 0x40;
    tl=1;
    tr=0;

    while(1){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DP_rps=(SP_rps + PV_rps); //PV=-
if(DP_rps>1000){
    if(CCAP4L<60){
        CCAP4L++;
        CCAP4H++;
    }
}else {
    cal_ramp_down_Right();

    return;
}
}

}

//*****
void setbaud (void) { // set RS232 baud rate
    SCON = 0x52; // for clock 22.1184 Mhz
    TMOD = 0x21; //t0 for capture pulse
    TH1 = 0xfd; // 9600
    TR1 = 1;
// ES = 1; // set serial interrupt
    EX0 = 1; // Enable External interrupt0
    IT0 = 1; // Detect falling edge

    EX1 = 1; // Enable External interrupt2
    IT1 = 1; // Detect falling edge

    CMOD = 0x02; // Set CMOD PCA count pulse as (osc/12) 00=7.2khz
,02=21.6khz
    CCAPM4 = 0x42; // Set CCAP Module 4 as 8 bit PWM
    CCAP4L = 0; //
    CCAP4H = 0; //

    EA = 1; // Enable interrupt all
}

```

\*\*\*\*\* Service interrupt Timer0 \*\*\*\*\*/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void sevice_timer0(void) interrupt 1 using 2
{
    if(round<100) // Check counter for 100 time(100x10 ms =
1 sec)
    {
        round++; // Increase counter
1 time
    }
}
//-----

```

```

void menu_set_sp (void) {
    unsigned int data_sp=0;
    unsigned char k=0,j=0,i;
    bit f;

    Clear_Lcd(); //12345678901234567890
    sprintf(LCDBUF,"Old SP =%0dround   ",SP_rps); goto_lcd (0x00);lcd_wr_ch
(20);
    dmsec(100);
    f=1;
    //***** date *****
    while(1){
        if(f){sprintf(LCDBUF,"New SP = 0   "); goto_lcd
(0x40);lcd_wr_ch (20); f=0;data_sp=0;
        for (i=0;i<5;i++) BUF[i] =0;
        }

        k=scankey();
        if(k!=0xff){
            if(k==10){return;}
            else if(k==11){
                if(data_sp<32000){
                    SP_rps=data_sp;return;
                }else f=1;
            } else{
                for (i=4;i>0;i--) BUF[i] = BUF[i-1];
                BUF[0]=k;
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        data_sp =
(BUF[4]*10000)+(BUF[3]*1000)+(BUF[2]*100)+(BUF[1]*10)+(BUF[0]);
        sprintf (LCDBUF,"New SP = %0d          ",data_sp);
goto_lcd (0x40);lcd_wr_ch (20);
        j++;
        dmsec(50);
    }
}
//-----
if(data_sp>32000){ //more than sp
    f=1;
}
//-----
dmsec(300);
}
}

/***** MAIN *****/
void main (void) {
    unsigned char keypress;
    bit f;
    dmsec (10); //delay for power up 0.5 sec
    lcd_set ();

    Clear_Lcd();
    dmsec(500);
    setbaud();
    pwm_data=00;
    SP_rps=200; //initial =200 round /decoder 200 pulse/round
    PV_rps=0;
    f=1;
    while (1) {
        if(f){
            // 1234567890123456789
            sprintf (LCDBUF,"PV=%d/%dround          ",PV_rps,SP_rps);
goto_lcd (0x00);lcd_wr_ch (20);
            sprintf (LCDBUF,"1=L,2=R,0=SP          "); goto_lcd
(0x40);lcd_wr_ch (20);
            f=0;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

keypress=scankey();
    if(keypress==1){
        PV_rps=0;
        sprintf (LCDBUF,"PV=%d/%d r.          ",PV_rps,SP_rps);
goto_lcd (0x00);lcd_wr_ch (20);
        TurnRight();f=1;
    }else if(keypress==2){
        PV_rps=0;
        sprintf (LCDBUF,"PV=%d/%d r.          ",PV_rps,SP_rps);
goto_lcd (0x00);lcd_wr_ch (20);
        TurnLeft();f=1;
    }else if(keypress==3){
        StopRun();
    }
    if(keypress==0){
        menu_set_sp();
        f=1;
    }
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM1575/LM2575/LM2575HV SIMPLE SWITCHER® 1A Step-Down Voltage Regulator

## General Description

The LM2575 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 1A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2575 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in many cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2575 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and  $\pm 10\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50  $\mu\text{A}$  (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

## Features

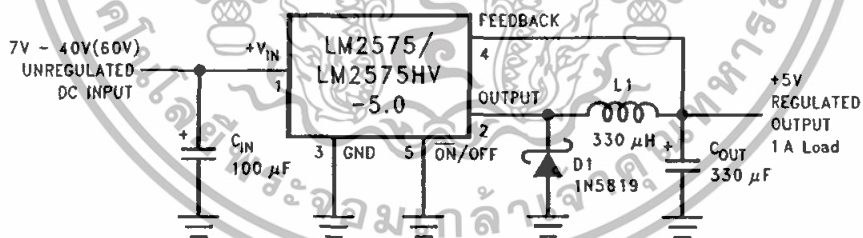
- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version)  $\pm 4\%$  max over line and load conditions
- Guaranteed 1A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

## Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

## Typical Application

(Fixed Output Voltage Versions)



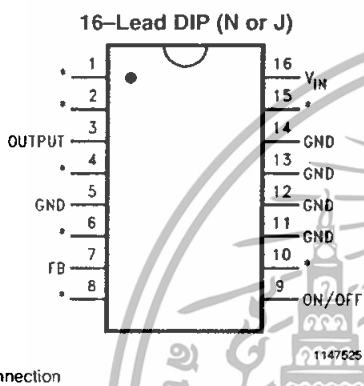
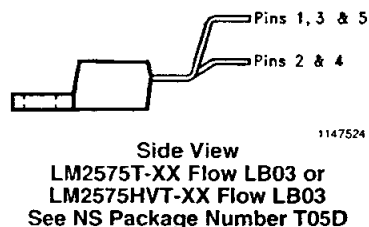
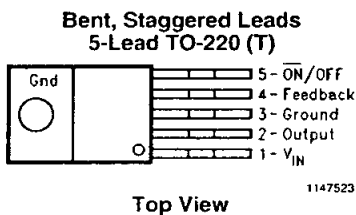
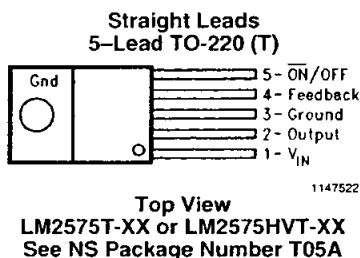
1147501

Note: Pin numbers are for the TO-220 package.

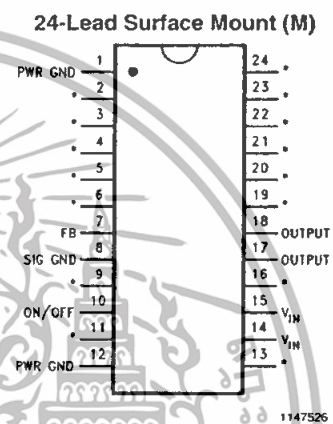
SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation

## Connection Diagrams

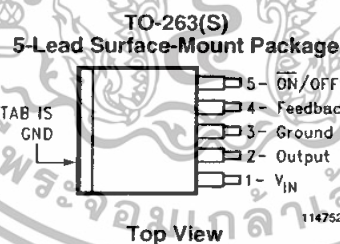
(XX indicates output voltage option. See Ordering Information table for complete part number.)



\*No Internal Connection



\*No Internal Connection



LM2575S-XX or LM2575HVS-XX  
See NS Package Number TS5B

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Maximum Supply Voltage	
LM1575/LM2575	45V
LM2575HV	63V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally Limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C

Minimum ESD Rating

(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)

2 kV

Lead Temperature

(Soldering, 10 sec.)

260°C

**Operating Ratings**

Temperature Range

LM1575

 $-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$ 

LM2575/LM2575HV

 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$ 

Supply Voltage

LM1575/LM2575

40V

LM2575HV

60V

**LM1575-3.3, LM2575-3.3, LM2575HV-3.3**  
**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-3.3	LM2575-3.3 LM2575HV-3.3	Units (Limits)
				Limit (Note 2)	Limit (Note 3)	

**SYSTEM PARAMETERS** (Note 4) Test Circuit *Figure 2*

$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.2A$ Circuit of <i>Figure 2</i>	3.3	3.267 3.333	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM1575/LM2575	$4.75V \leq V_{IN} \leq 40V, 0.2A \leq I_{LOAD} \leq 1A$ Circuit of <i>Figure 2</i>	3.3	3.200/3.168 3.400/3.432	3.168/3.135 3.432/3.465	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2575HV	$4.75V \leq V_{IN} \leq 60V, 0.2A \leq I_{LOAD} \leq 1A$ Circuit of <i>Figure 2</i>	3.3	3.200/3.168 3.416/3.450	3.168/3.135 3.450/3.482	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 1A$	75			%

**LM1575-5.0, LM2575-5.0, LM2575HV-5.0**  
**Electrical Characteristics**

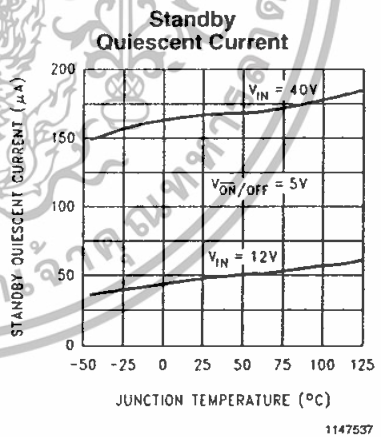
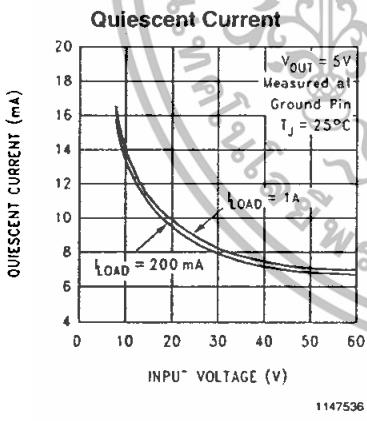
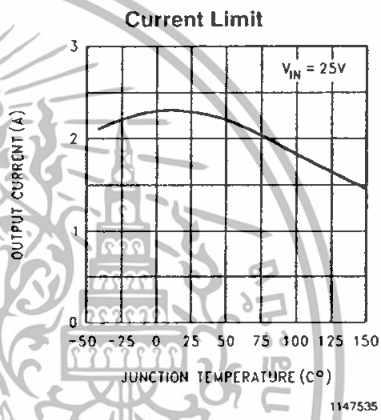
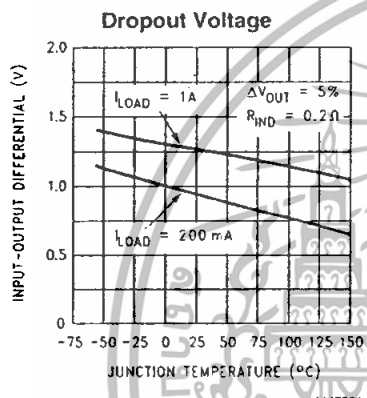
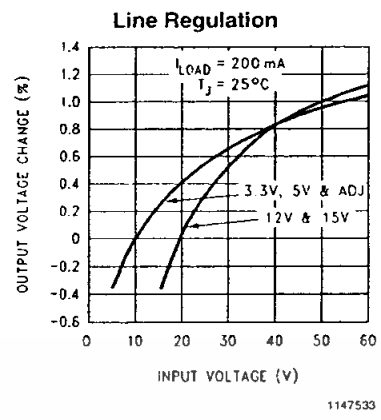
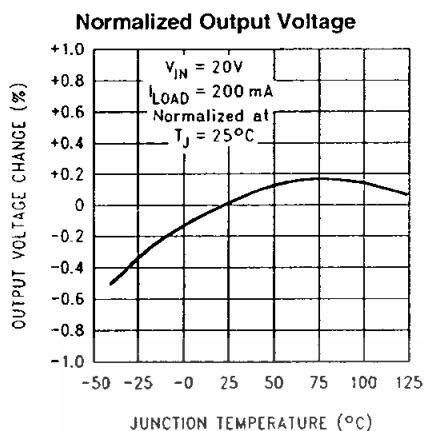
Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LM1575-5.0	LM2575-5.0 LM2575HV-5.0	Units (Limits)
				Limit (Note 2)	Limit (Note 3)	

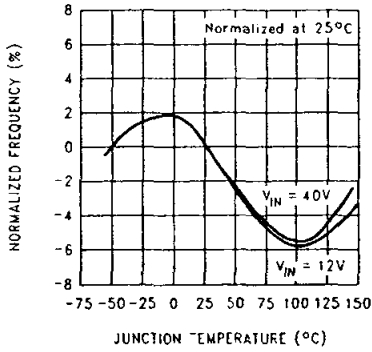
**SYSTEM PARAMETERS** (Note 4) Test Circuit *Figure 2*

$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.2A$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.950 5.050	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM1575/LM2575	$0.2A \leq I_{LOAD} \leq 1A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 40V$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.850/4.800 5.150/5.200	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(Min) V(Max)

# Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2)

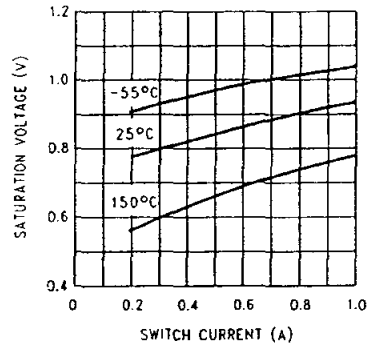


Oscillator Frequency



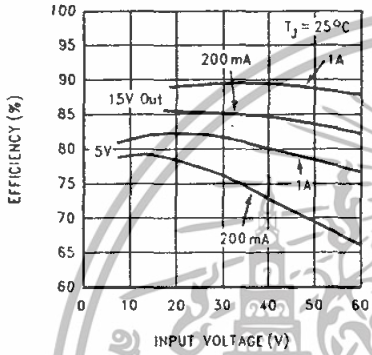
1147538

Switch Saturation Voltage



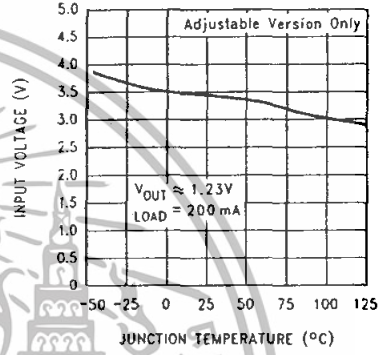
1147539

Efficiency



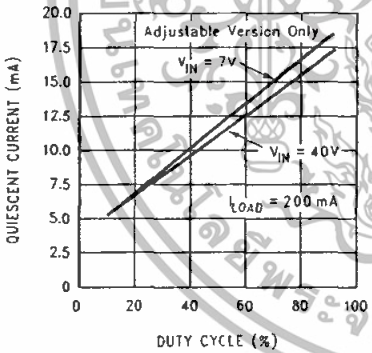
1147540

Minimum Operating Voltage



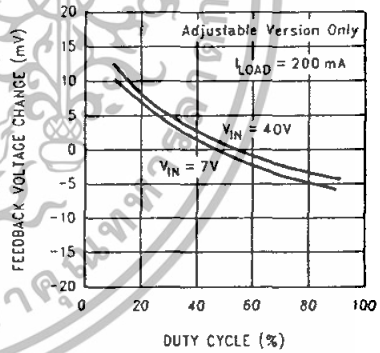
1147541

Quiescent Current vs Duty Cycle



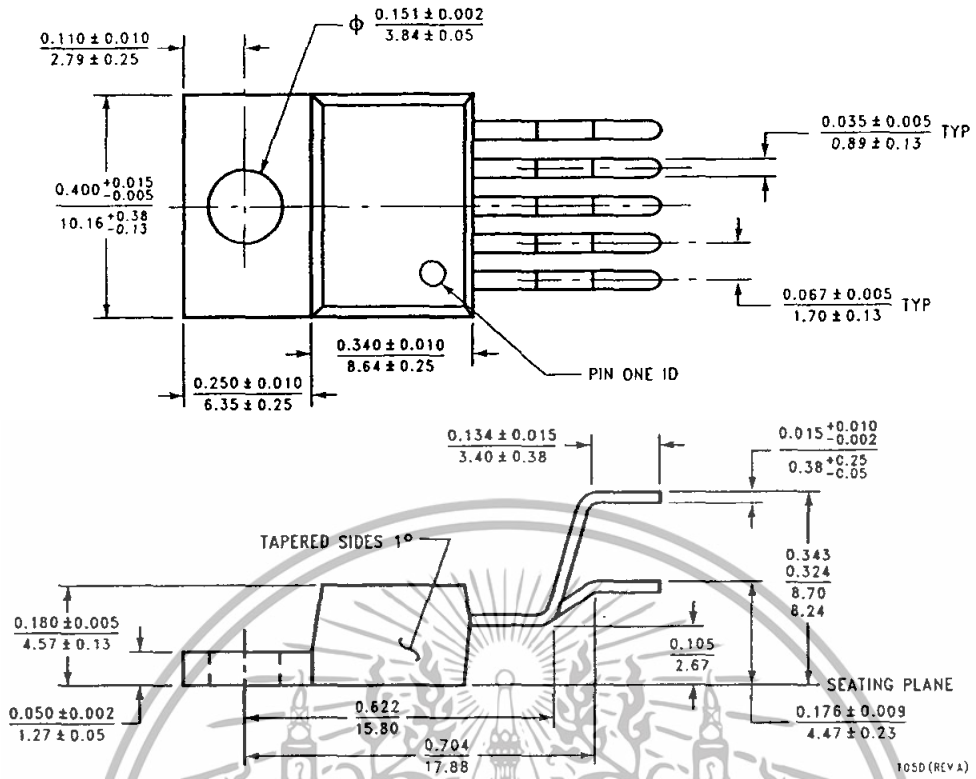
1147542

Feedback Voltage vs Duty Cycle



1147543

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p><b>Given:</b></p> <p><math>V_{OUT}</math> = Regulated Output Voltage  <math>V_{IN}(\text{Max})</math> = Maximum Input Voltage  <math>I_{LOAD}(\text{Max})</math> = Maximum Load Current  <math>F</math> = Switching Frequency (Fixed at 52 kHz)</p> <p><b>Programming Output Voltage (Selecting R1 and R2, as shown in Figure 2)</b></p> <p>Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V$ <p><math>R1</math> can be between 1k and 5k. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors)</p> $R2 = R1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$ <p><b>Inductor Selection (L1)</b></p> <p>Calculate the inductor Volt • microsecond constant, <math>E \cdot T</math> (V • <math>\mu</math>s), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \cdot \frac{1000}{F \text{ (in kHz)}} \text{ (V} \cdot \mu\text{s)}$ <p>Use the <math>E \cdot T</math> value from the previous formula and match it with the <math>E \cdot T</math> number on the vertical axis of the <b>Inductor Value Selection Guide</b> shown in Figure 7.</p> <p>On the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>Identify the inductance region intersected by the <math>E \cdot T</math> value and the maximum load current value, and note the inductor code for that region.</p> <p>Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in Figure 9. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2575 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of <math>1.15 \times I_{LOAD}</math>. For additional inductor information, see the inductor section in the application hints section of this data sheet.</p> <p><b>Output Capacitor Selection (<math>C_{OUT}</math>)</b></p> <p>The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:</p> $C_{OUT} \geq 7,785 \frac{V_{IN}(\text{Max})}{V_{OUT} \cdot L(\mu\text{H})} \text{ (}\mu\text{F)}$ <p>The above formula yields capacitor values between 10 <math>\mu</math>F and 2000 <math>\mu</math>F that will satisfy the loop requirements for stable operation. But to achieve an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.</p> <p>The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 10V regulator, a rating of at least 15V or more is recommended.</p> <p>Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rated for a higher voltage than would normally be needed.</p> <p><i>Continued</i></p>	<p><b>Given:</b></p> <p><math>V_{OUT} = 10V</math>  <math>V_{IN}(\text{Max}) = 25V</math>  <math>I_{LOAD}(\text{Max}) = 1A</math>  <math>F = 52 \text{ kHz}</math></p> <p><b>1. Programming Output Voltage (Selecting R1 and R2)</b></p> $V_{OUT} = 1.23 \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{Select } R1 = 1k$ $R2 = R1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left( \frac{10V}{1.23V} - 1 \right)$ <p><math>R2 = 1k (8.13 - 1) = 7.13k</math>, closest 1% value is 7.15k</p> <p><b>2. Inductor Selection (L1)</b></p> <p>A. Calculate <math>E \cdot T</math> (V • <math>\mu</math>s)</p> $E \cdot T = (25 - 10) \cdot \frac{10}{25} \cdot \frac{1000}{52} = 115 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$ <p>B. <math>E \cdot T = 115 \text{ V} \cdot \mu\text{s}</math>          C. <math>I_{LOAD}(\text{Max}) = 1A</math>          D. Inductance Region = H470          E. Inductor Value = 470 <math>\mu</math>H Choose from AIE part #430-0634, Pulse Engineering part #PE-53118, or Renco part #RL-1961.</p> <p><b>3. Output Capacitor Selection (<math>C_{OUT}</math>)</b></p> <p>A.</p> $C_{OUT} > 7,785 \frac{25}{10 \cdot 150} = 130 \mu\text{F}$ <p>However, for acceptable output ripple voltage select <math>C_{OUT} \geq 220 \mu\text{F}</math>  <math>C_{OUT} = 220 \mu\text{F}</math> electrolytic capacitor</p> <p><i>(Continued)</i></p>



Bent, Staggered 5-Lead TO-220 (T)  
 Order Number LM2575T-3.3 Flow LB03, LM2575HVT-3.3 Flow LB03,  
 LM2575T-5.0 Flow LB03, LM2575HVT-5.0 Flow LB03,  
 LM2575T-12 Flow LB03, LM2575HVT-12 Flow LB03,  
 LM2575T-15 Flow LB03, LM2575HVT-15 Flow LB03,  
 LM2575T-ADJ Flow LB03 or LM2575HVT-ADJ Flow LB03  
 NS Package Number T05D

T05D (REV A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-39-13

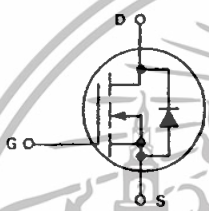
**MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA**

**IRF840  
IRF841  
IRF842  
IRF843**

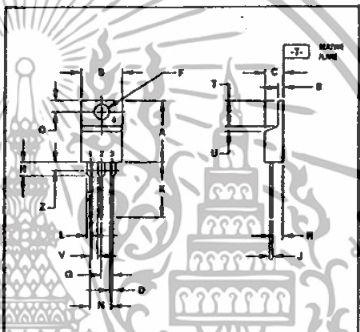
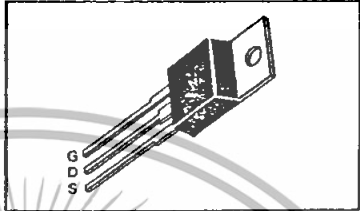
**N-CHANNEL ENHANCEMENT-MODE SILICON GATE TMOS POWER FIELD EFFECT TRANSISTOR**

These TMOS Power FETs are designed for high voltage, high speed power switching applications such as switching regulators, converters, solenoid and relay drivers.

- Silicon Gate for Fast Switching Speeds
- Low  $r_{DS(on)}$  to Minimize On-Losses. Specified at Elevated Temperature
- Rugged — SOA is Power Dissipation Limited
- Source-to-Drain Diode Characterized for Use With Inductive Loads



Part Number	V <sub>DSS</sub>	r <sub>DS(on)</sub>	I <sub>D</sub>
IRF840	500 V	0.85 Ω	8.0 A
IRF841	450 V	0.85 Ω	8.0 A
IRF842	500 V	1.10 Ω	7.0 A
IRF843	450 V	1.10 Ω	7.0 A



STYLE 1  
M I. CASE  
2. DRAIN  
3. SOURCE  
4. GATE

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1987.
  2. CONTROLLING DIMENSION IS INCH.
  3. DIM 2 DECREASES AS PIONE WIREZ ALL BODY AND LEAD PRECIPITATES ARE ALLOWED.

Dim	MILLIMETER		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	11.40	15.10	0.450	0.670
B	2.70	3.20	0.100	0.120
C	0.80	0.90	0.030	0.030
D	0.80	0.80	0.030	0.030
E	1.61	1.73	0.060	0.060
F	2.65	3.00	0.100	0.120
G	1.90	2.00	0.070	0.070
H	1.30	1.50	0.050	0.050
I	1.20	1.10	0.040	0.040
J	1.70	1.70	0.060	0.060
K	1.90	1.90	0.070	0.070
L	1.40	1.40	0.050	0.050
M	1.60	1.60	0.060	0.060
N	1.20	1.20	0.040	0.040
O	1.40	1.40	0.050	0.050
P	1.90	1.90	0.070	0.070
Q	1.40	1.40	0.050	0.050
R	1.40	1.40	0.050	0.050
S	1.40	1.40	0.050	0.050
T	1.40	1.40	0.050	0.050
U	0.00	1.27	0.000	0.050
V	1.25	—	0.050	—
W	—	1.00	—	0.040

CASE 221A-04  
TO-220AB

**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	IRF				Unit
		840	841	842	843	
Drain-Source Voltage	V <sub>DSS</sub>	500	450	500	450	Vdc
Drain-Gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 1.0 mΩ)	V <sub>DGR</sub>	500	450	500	450	Vdc
Gate-Source Voltage	V <sub>GS</sub>	±20				Vdc
Drain Current Continuous Pulsed	I <sub>D</sub>	8.0		7.0		Adc
	I <sub>DM</sub>	32		28		
Total Power Dissipation @ T <sub>c</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	125		1.0		Watts W/°C
		1.0		1.0		
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	-55 to 150				°C

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Thermal Resistance Junction to Case	R <sub>θJC</sub>	1.0	°C/W
	R <sub>θJA</sub>	62.5	
Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from Case for 5 Seconds	T <sub>L</sub>	275	°C

See the MTP8N45 Designer's Data Sheet for a complete set of design curves for the product on this data sheet.

The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

**MOTOROLA TMOS POWER MOSFET DATA**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Drain-Source Breakdown Voltage (V <sub>GS</sub> = 0, I <sub>D</sub> = 0.25 mA)	IRF841, IRF843 IRF840, IRF842	V <sub>(BR)DSS</sub>	450 500	— —	V <sub>dc</sub>
Zero Gate Voltage Drain Current (V <sub>DS</sub> = Rated V <sub>DSS</sub> , V <sub>GS</sub> = 0) (V <sub>DS</sub> = 0.8 Rated V <sub>DSS</sub> , V <sub>GS</sub> = 0, T <sub>J</sub> = 125°C)		I <sub>DSS</sub>	— —	0.25 1.00	mAdc
Gate-Body Leakage Current, Forward (V <sub>GSF</sub> = 20 V <sub>dc</sub> , V <sub>DS</sub> = 0)		I <sub>GSSF</sub>	—	500	nAdc
Gate-Body Leakage Current, Reverse (V <sub>GSR</sub> = 20 V <sub>dc</sub> , V <sub>DS</sub> = 0)		I <sub>GSSR</sub>	—	500	nAdc
<b>ON CHARACTERISTICS*</b>					
Gate Threshold Voltage (V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 0.25 mA)		V <sub>GS(th)</sub>	2.0	4.0	V <sub>dc</sub>
Static Drain-Source On-Resistance (V <sub>GS</sub> = 10 V <sub>dc</sub> , I <sub>D</sub> = 4.0 Adc)	IRF840, IRF841 IRF842, IRF843	r <sub>DS(on)</sub>	— —	0.85 1.0	Ohm
On-State Drain Current (V <sub>GS</sub> = 10 V) (V <sub>DS</sub> ≥ 6.8 V <sub>dc</sub> ) (V <sub>DS</sub> ≥ 7.0 V <sub>dc</sub> )	IRF840, IRF841 IRF842, IRF843	I <sub>D(on)</sub>	8.0 7.0	— —	Adc
Forward Transconductance (V <sub>DS</sub> ≥ 6.8 V, I <sub>D</sub> = 4.0 A) (V <sub>DS</sub> ≥ 7.0 V, I <sub>D</sub> = 4.0 A)	IRF840, IRF841 IRF842, IRF843	g <sub>FS</sub>	4.0 4.0	— —	mhos
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>					
Input Capacitance	V <sub>DS</sub> = 25 V, V <sub>GS</sub> = 0, f = 1.0 MHz	C <sub>iss</sub>	—	1600	pF
Output Capacitance		C <sub>oss</sub>	—	350	
Reverse Transfer Capacitance		C <sub>rss</sub>	—	150	
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS*</b>					
Turn-On Delay Time	V <sub>DD</sub> = 200 V, I <sub>D</sub> = 4.0 Apk, R <sub>gen</sub> = 4.7 Ohms	t <sub>d(on)</sub>	—	25	ns
Rise Time		t <sub>r</sub>	—	15	
Turn-Off Delay Time		t <sub>d(off)</sub>	—	90	
Fall Time		t <sub>f</sub>	—	30	
Total Gate Charge		Q <sub>g</sub>	40 (Typ)	60	nC
Gate-Source Charge	V <sub>GS</sub> = 10 V, V <sub>DS</sub> ≥ 0.8 × Rated V <sub>DSS</sub> , I <sub>D</sub> = Rated I <sub>D</sub>	Q <sub>gs</sub>	20 (Typ)	—	
Gate-Drain Charge		Q <sub>gd</sub>	20 (Typ)	—	
<b>SOURCE DRAIN DIODE CHARACTERISTICS*</b>					
Forward On-Voltage	I <sub>S</sub> = Rated I <sub>D</sub> , V <sub>GS</sub> = 0	V <sub>SD</sub>	—	1.9 (1)	V <sub>dc</sub>
Forward Turn-On Time		t <sub>on</sub>	Limited by stray inductance		
Reverse Recovery Time		t <sub>rr</sub>	600 (Typ)	—	ns
<b>INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE (TO-220)</b>					
Internal Drain Inductance (Measured from the contact screw on tab to center of die) (Measured from the drain lead 0.25" from package to center of die)		L <sub>d</sub>	3.5 (Typ) 4.5 (Typ)	—	nH
Internal Source Inductance (Measured from the source lead 0.25" from package to source bond pad)		L <sub>s</sub>	7.5 (Typ)	—	

\*Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.  
 (1) Add 0.1 V for IRF840 and IRF841.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)  
 TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

### Features

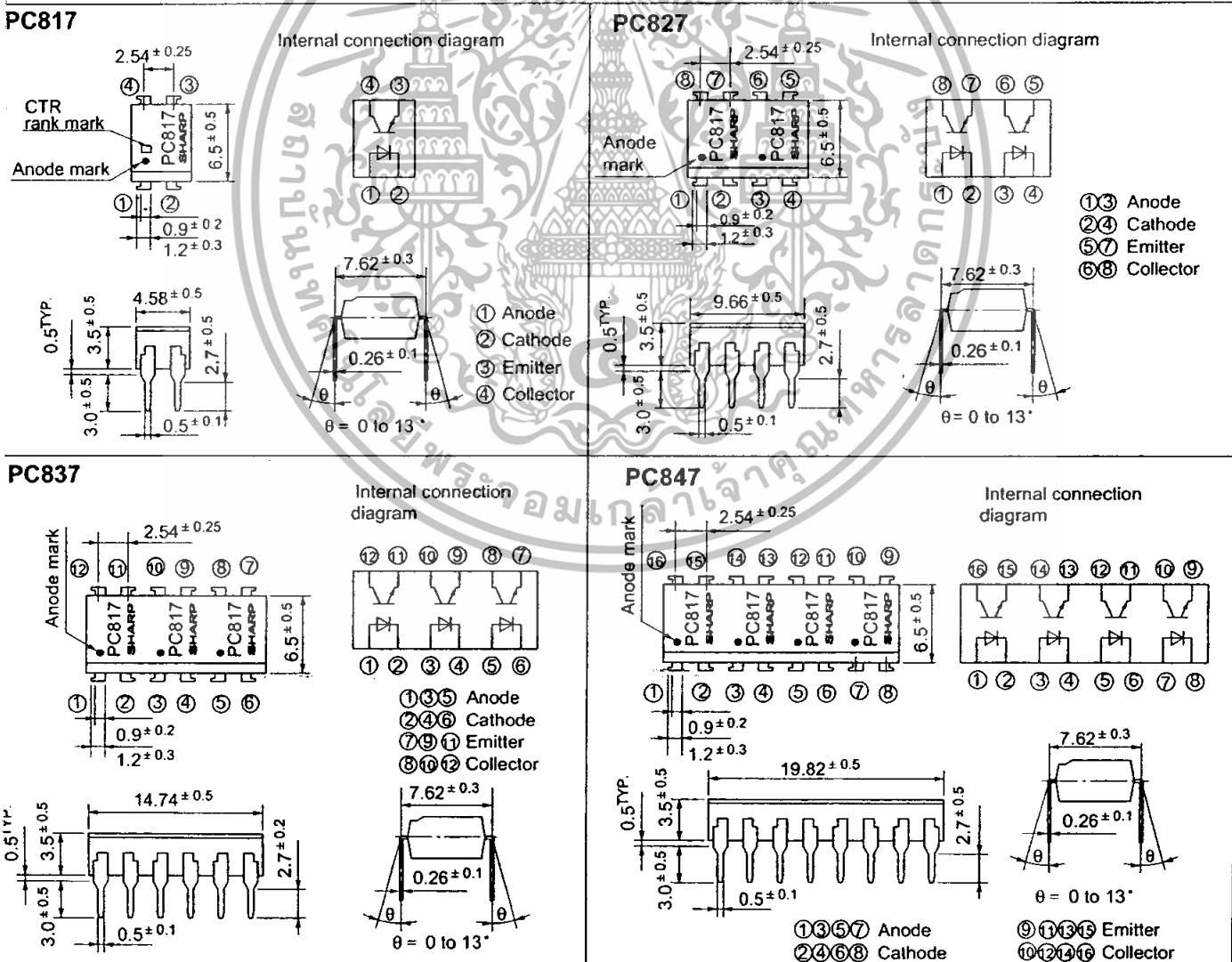
- Current transfer ratio  
 (CTR: MIN. 50% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$ )
- High isolation voltage between input and output ( $V_{iso}$ : 5 000V<sub>rms</sub>)
- Compact dual-in-line package
- PC817 : 1-channel type
- PC827 : 2-channel type
- PC837 : 3-channel type
- PC847 : 4-channel type
- Recognized by UL, file No. E64380

### Applications

- Computer terminals
- System appliances, measuring instruments
- Registers, copiers, automatic vending machines
- Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
- Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### Outline Dimensions

(Unit : mm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
 In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device. "ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

**I Absolute Maximum Ratings**

(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	$I_F$	50	mA
	*1Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	$P$	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
Total power dissipation		$P_{tot}$	200	mW
*2Isolation voltage		$V_{iso}$	5 000	$V_{rms}$
Operating temperature		$T_{opr}$	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		$T_{stg}$	- 55 to + 125	°C
*3Soldering temperature		$T_{sol}$	260	°C

1 Pulse width ≤ 100µs, Duty ratio : 0.001

2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

3 For 10 seconds

**II Electro-optical Characteristics**

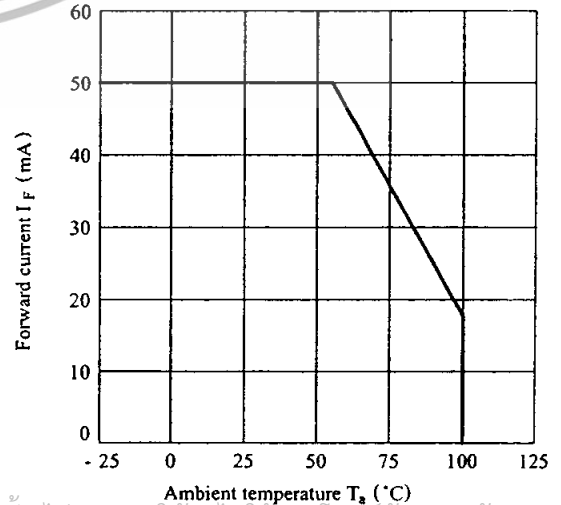
(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	$V_F$	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	$I_R$	$V_R = 4V$	-	-	10	µA	
	Terminal capacitance	$C_t$	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 20V$	-	-	$10^{-7}$	A	
Transfer characteristics	*4Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	$R_{iso}$	DC500V, 40 to 60% RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{11}$	-	Ω	
	Floating capacitance	$C_f$	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Response time	Cut-off frequency	$f_c$	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz
		Rise time	$t_r$	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18	µs
Fall time	$t_f$	-	3		18	µs		

1 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**

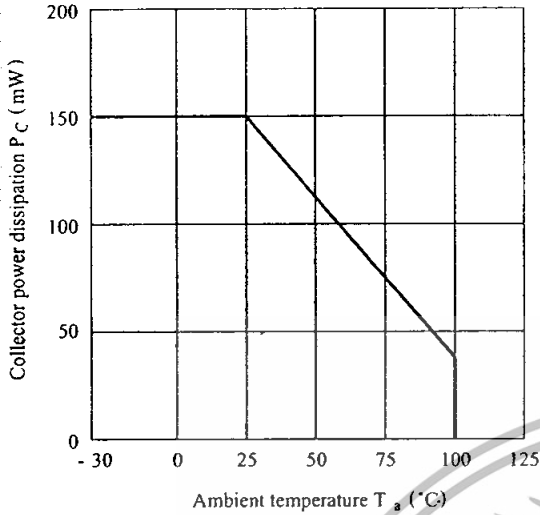


1: 1 or 2 or 3 or 4

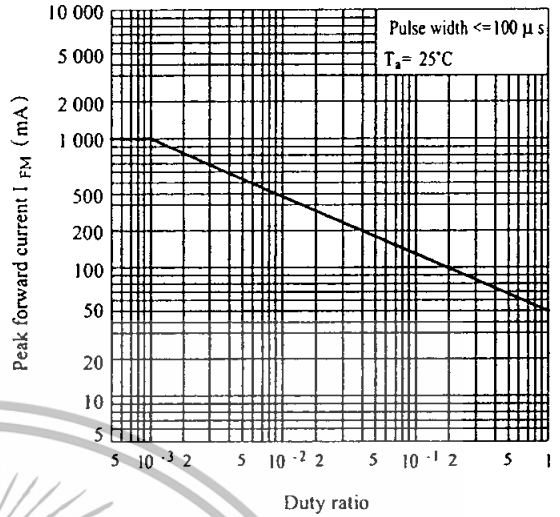
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

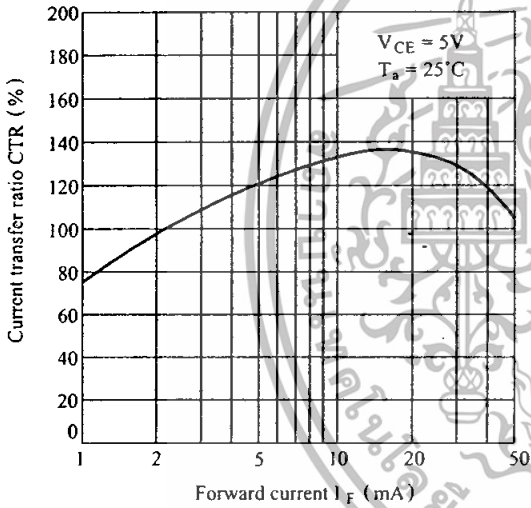
**Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature**



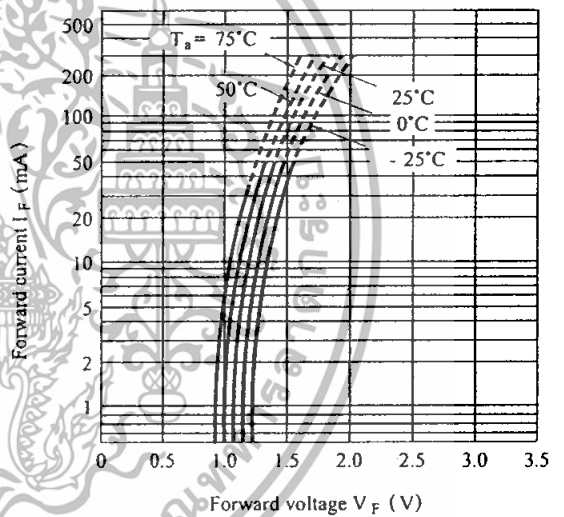
**Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio**



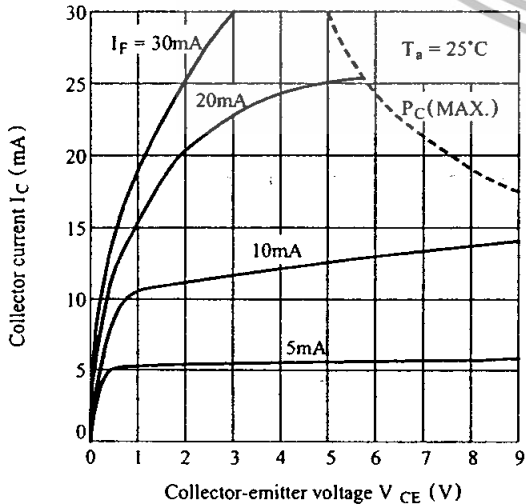
**Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current**



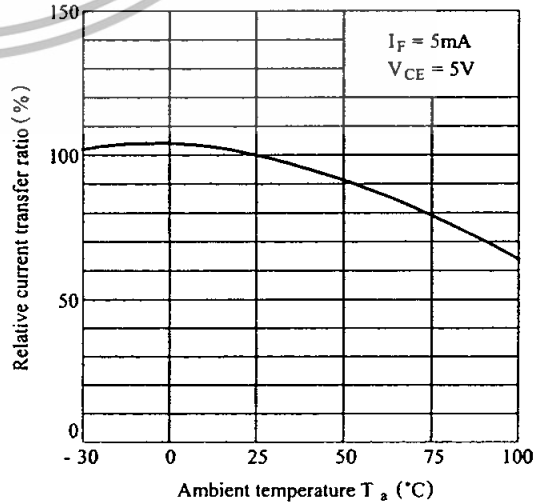
**Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage**



**Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage**



**Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

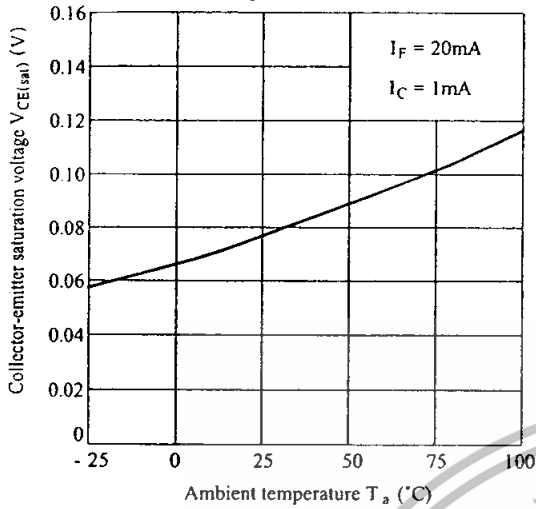


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

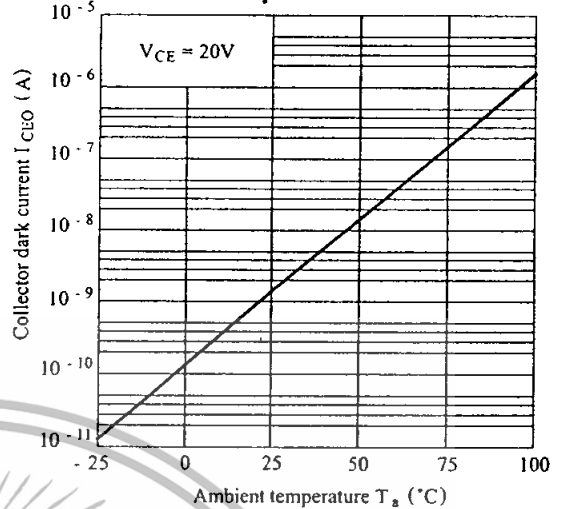


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

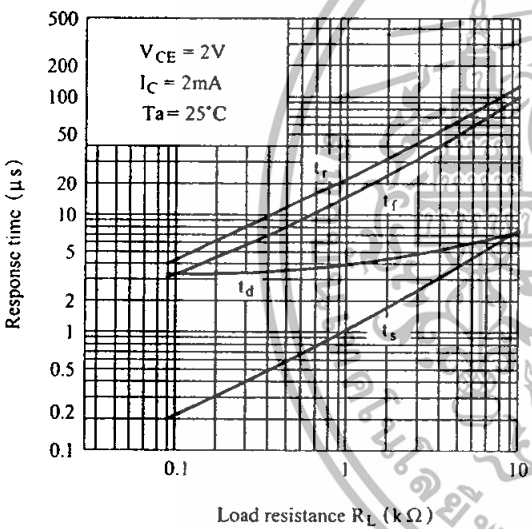
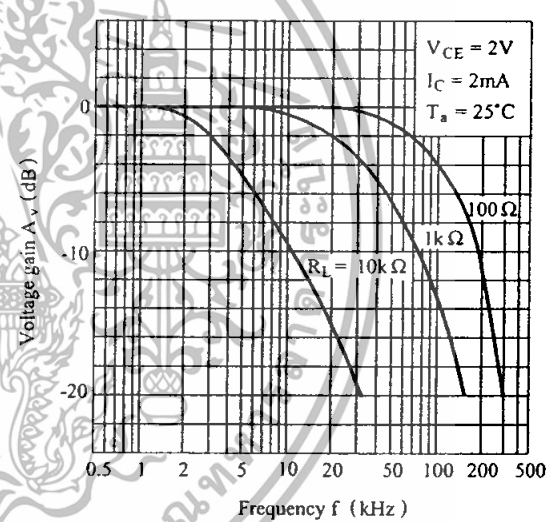
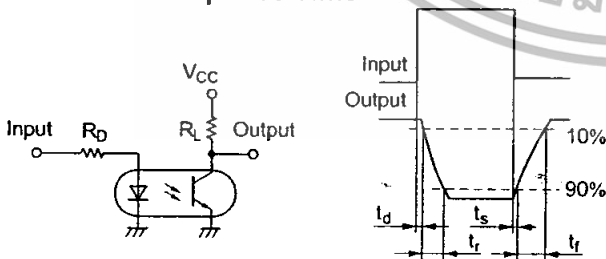


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

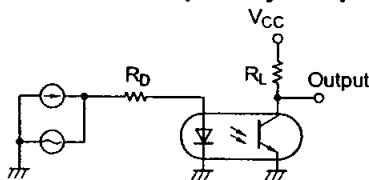
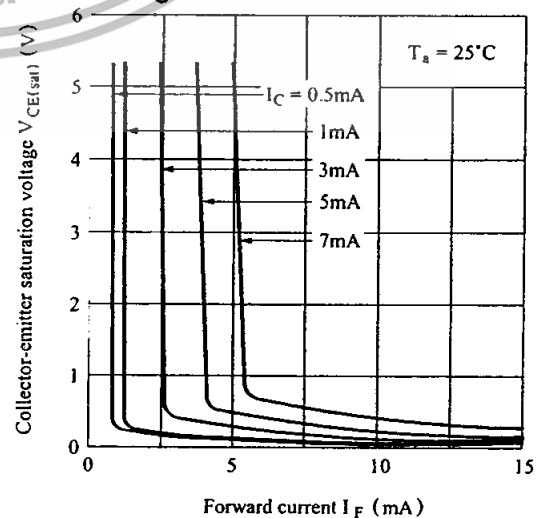


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



Please refer to the chapter "Precautions for Use" เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้