

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

DC MOTOR CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

DC Motor Control

โดย

นาย เอกภพ นิลเต็ม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

(DC Motor Control)

จัดทำโดย

นาย เอกภพ นิลเต็ม 54011577

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวัฒนา



รายงานฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.เฉลิมพันธ์ หวังวัฒนา)

วันที่ 8 / ๗๓ / ๒๕๕๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

นาย เอกภพ นิลเต็ม รหัสนักศึกษา 54011577

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงหรือ DC Motor พบได้ทั่วไปโดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนมากด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยี Microelectronic และ Microprocessor ทำให้การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงและการวิเคราะห์ปัญหาเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วรอบและทิศทางของ DC Motor โดยใช้ Arduino เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีควบคุมแบบ พัลส์สวิตชิ่งมอดูเลชัน (PWM) ซึ่งเป็นการควบคุมในการปรับเปลี่ยนความกว้างของพัลส์ (Duty Cycle) แรงดันไฟฟ้าจะเข้าสู่จอร์ชัมอเตอร์ เพื่อควบคุมมอเตอร์ และแสดงผลความเร็วรอบออกมาทางหน้าจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Motor Control

Mr. Ekapob Nintem 54011577

Mr.Chalermpan Wangvivattana Advisor

Education Year 2014

Abstract

DC Motor Controlled is general used in industrial. With microelectronic technology and microprocessor technology make DC motor controlled design and problem analysis are interesting

This project has designed to controlled the direction and RPM of DC Motor by using Arduino as microcontroller. Pulse width modulator is use to change RPM and direction by changing duty cycle of switching frequency. Output Voltage is then sending to DC Drive circuit to control motor and Show RPM on LCD screen.

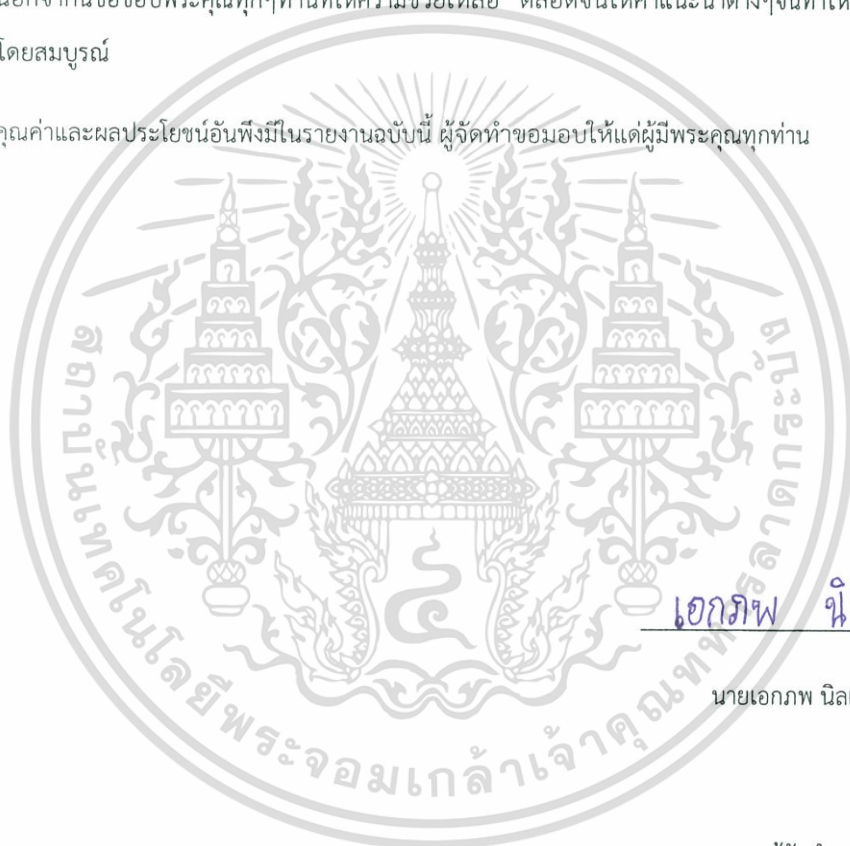
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำรายงาน และโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับความอนุเคราะห์ในครั้งนี้

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆจนทำให้รายงานฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์

คุณค่าและผลประโยชน์อันพึงมีในรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



เอกภพ นิลเต็ม

นายเอกภพ นิลเต็ม

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1.1 โครงสร้างภาษาของ Arduino	8
2.1.2 คำสั่งควบคุมการทำงานของ Arduino	9
2.1.3 การรับค่า Input และ Output ของ Arduino	13
2.1.4 จอแสดงผล LCD	17
2.2 วงจรขับมอเตอร์	24
2.2.1 การควบคุมมอเตอร์แต่ละแบบ	24
2.2.2 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง.....	26
2.3 มอเตอร์กระแสตรง.....	27
2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์	28
2.3.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง.....	30
2.3.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
2.4 เซ็นเซอร์.....	42
2.4.1 เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (Load Cell)	43
2.4.2 ชนิดของโหลดเซลล์.....	44
2.4.3 หลักการทำงานของโหลดเซลล์แบบ Strain Gages.....	48
2.4.4 ปัญหาจากการใช้โหลดเซลล์.....	50
บทที่ 3 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	52
3.1 คุณสมบัติของวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	52
3.2 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง.....	53
3.2.1 Microcontroller (Arduino)	53
3.2.2 วงจรขับมอเตอร์	64
3.2.3 ตัวมอเตอร์	67
3.2.4 เซ็นเซอร์	68
บทที่ 4 ผลการทดลอง	71
4.1 ผลการวัดค่า PWM (Pulse Width Modulator) ที่ขา Output ของ Arduino UnoR3.....	71
4.2 ผลของ Duty Cycle กับ RPM ของมอเตอร์	73
4.3 ผลการทดลอง Load Cell และวงจร Instrument Amp.....	75
บทที่ 5 สรุปผล.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	78

Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

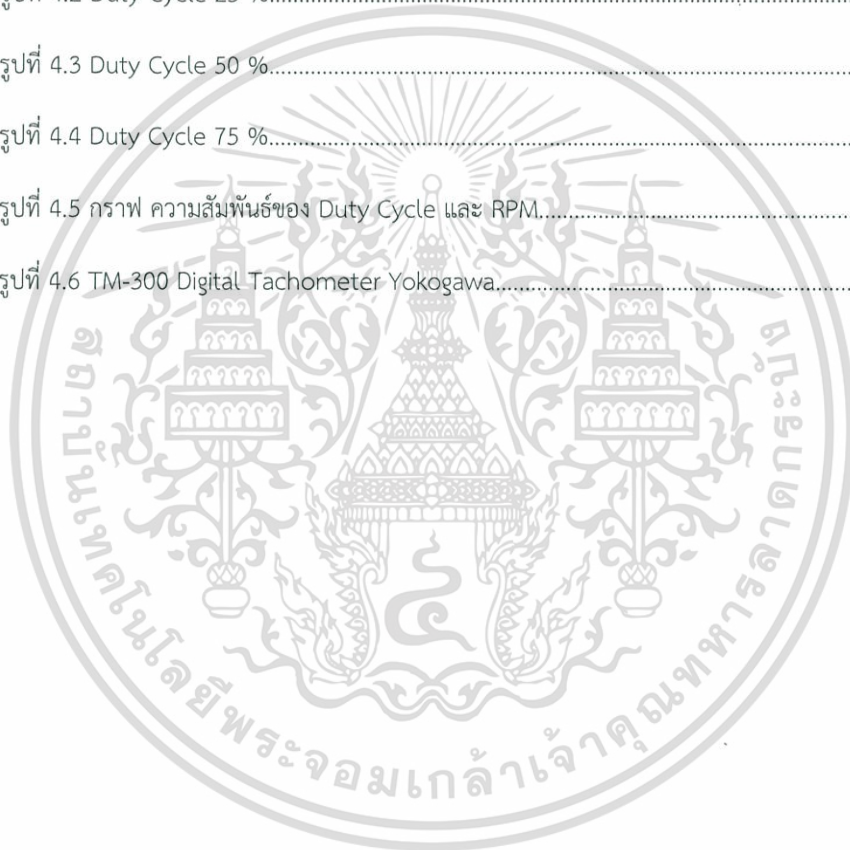
รูป	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 Block Diagram.....	2
รูปที่ 2.2 Arduino Uno R3.....	4
รูปที่ 2.3 Arduino Uno R3 Schematic.....	5
รูปที่ 2.4 ATmega328 Block Diagram.....	6
รูปที่ 2.5 ATmega328 Pin Mapping.....	7
รูปที่ 2.6 Arduino Uno R3 Analog Pin.....	13
รูปที่ 2.7 Arduino Uno R3 Digital Pin.....	16
รูปที่ 2.8 Paralled LCD 16 Pin และ Serial LCD 4 Pin.....	17
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อ LCD กับ Arduino Uno R3.....	21
รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อขา I2C กับ Arduino.....	22
รูปที่ 2.11 การควบคุมความเร็วด้วยความต้านทาน.....	24
รูปที่ 2.12 สัญญาณของค่าดิวิตีเซลล์ต่างๆ.....	25
รูปที่ 2.13 วงจร H-Bridge พื้นฐาน.....	26
รูปที่ 2.14 วงจรH-bridge ทั้งสามสถานะ.....	26
รูปที่ 2.15 DC Motor.....	27
รูปที่ 2.16 โรเตอร์.....	28
รูปที่ 2.17 โรเตอร์และสเตเตอร์.....	29
รูปที่ 2.18 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง.....	30
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก.....	31
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป	หน้า
รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน.....	32
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม.....	33
รูปที่ 2.23 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม.....	33
รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างภายในของ Stepper Motor.....	35
รูปที่ 2.25 สัญญาณพัลส์ของมอเตอร์สตีป.....	36
รูปที่ 2.26 รูปรวมเซ็นเซอร์แต่ละชนิด.....	42
รูปที่ 2.27 Load Cell แบบ Strain Gages.....	43
รูปที่ 2.28 โหลดเซลแบบ Strain Gauge.....	44
รูปที่ 2.29 โหลดเซลแบบ Hydraulic.....	45
รูปที่ 2.30 โหลดเซลแบบ Pneumatic.....	46
รูปที่ 2.31 โหลดเซลแบบ ไพโซรีซิสทีฟ.....	47
รูปที่ 2.32 โหลดเซลแบบ แมกเนโตสเตร็กทีฟ.....	47
รูปที่ 2.33 Strain Gages ในลักษณะต่างๆ.....	48
รูปที่ 2.34 โครงสร้างภายใน Load Cell ประกอบด้วย Strain Gauge 4 ตัว.....	49
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 Block Diagram.....	53
รูปที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของ L298N.....	64
รูปที่ 3.3 แสดงขาต่างๆของ L298N.....	64
รูปที่ 3.4 วงจรภายใน L298N.....	65
รูปที่ 3.5 มอเตอร์กระแสตรง NM01 747 Nihon Micro Motor.....	67
รูปที่ 3.6 Load Cell 5 kg.....	68
รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายในของ Load Cell.....	68
รูปที่ 3.8 IC INA 118.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป	หน้า
รูปที่ 3.9 วงจรขยายภายใน INA 118.....	69
รูปที่ 3.10 Schematic ของ โปรเจค.....	70
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 Duty Cycle 10 %.....	71
รูปที่ 4.2 Duty Cycle 25 %.....	71
รูปที่ 4.3 Duty Cycle 50 %.....	72
รูปที่ 4.4 Duty Cycle 75 %.....	72
รูปที่ 4.5 กราฟ ความสัมพันธ์ของ Duty Cycle และ RPM.....	74
รูปที่ 4.6 TM-300 Digital Tachometer Yokogawa.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้าที่
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 ขาของจอ LCD แบบขนาน.....	19
ตารางที่ 2.2 ขาของจอ LCD แบบ I2C.....	20
ตารางที่ 2.3 ตารางเทียบระหว่างขา LCD และ Arduino.....	21
ตารางที่ 2.4 ตารางเทียบระหว่างขา I2C กับ Arduino.....	22
ตารางที่ 2.5 การทำงานของการควบคุมมอเตอร์สแต็ปแบบหนึ่งเฟส.....	36
ตารางที่ 2.6 การทำงานของการควบคุมมอเตอร์สแต็ปแบบสองเฟส.....	37
ตารางที่ 2.7 การทำงานของการควบคุมมอเตอร์สแต็ปแบบฮาร์ฟสเต็ป.....	37
บทที่ 3	
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซี L298 N.....	65
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 ผลของ Duty Cycle ต่อ RPM.....	73
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง Load Cell และ วงจร Instrument Amp.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

จากการทดลองการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงเป็นการศึกษาการทำงานของวงจร ทั้งนี้ ในโครงงานนี้ได้แบ่งการทำงานของวงจรเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือส่วนของ Microcontroller ส่วนของวงจรขับมอเตอร์ DC Drive เซ็นเซอร์ และส่วนสุดท้ายคือส่วนของ ตัวมอเตอร์เอง

สำหรับในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้งาน บอร์ด Arduino ในการควบคุมการทำงาน มีการแสดงผลการทำงานด้วยหน้าจอ LCD และมีการป้อนค่าอินพุตจากสวิตช์

สำหรับในส่วนของวงจรขับมอเตอร์เลือกใช้ IC เบอร์ 298N Dual Full-Bridge Driver ซึ่งเป็น IC วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก - ขนาดกลาง

สำหรับในส่วนของตัวมอเตอร์ ทางผู้จัดทำได้ใช้ มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 V รุ่น NM01 747 Nihon Micro Motor

สำหรับเซ็นเซอร์ โครงงานนี้ได้ใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก Load Cell แบบ Strain Gauge ขนาด 5kg

1.2 วัตถุประสงค์

การทำโครงงานการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

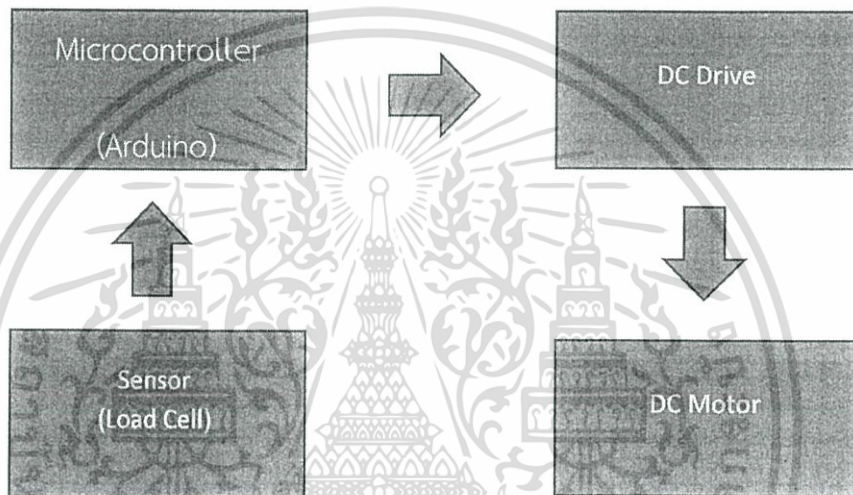
1. เพื่อเรียนรู้การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบ และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง
2. เพื่อเรียนรู้หลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรง และนำไปใช้งานได้จริงตามทฤษฎีที่ได้ทำการค้นคว้าและทดลอง
3. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับชนิดของมอเตอร์กระแสตรงและการนำไปใช้งานสำหรับงานแต่ละประเภท เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดสำหรับงานแต่ละชนิด
4. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับวงจรขับมอเตอร์แต่ละแบบ สำหรับมอเตอร์กระแสตรงแต่ละชนิดเพื่อที่จะได้เลือกใช้แบบที่เหมาะสมกับการทำงานมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของโปรเจกต์การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ และมีการทำงานเป็นขั้นตอน สามารถเขียนเป็น Block Diagram ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน และมีส่วนพิเศษอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัทที่ผลิตขึ้นมาจะใส่ลงไป ไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเหมือนกับสมองของมนุษย์ มีหน้าที่คิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ คำนวณทางลอจิก สั่งการ มีส่วนความจำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหรือประมวลผลต่างๆ แต่จะไม่สามารถทำงานได้เอง โดยไม่มีมือ เท้า แขน ขา หรือ ตา หู จมูก ซึ่งเปรียบได้กับอุปกรณ์ส่วนควบ (Accessories) เช่น เซนเซอร์ มอเตอร์ ระบบสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต ระบบแสดงผลผ่านจอภาพ เป็นต้น ดังนั้นโดยสรุปคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอก เข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ

โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังต่อไปนี้

- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)
- หน่วยความจำ (Memory)
- ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Input / Output Port)
- ช่องทางเดินของสัญญาณ (Data Bus , Address Bus , Control Bus)
- วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

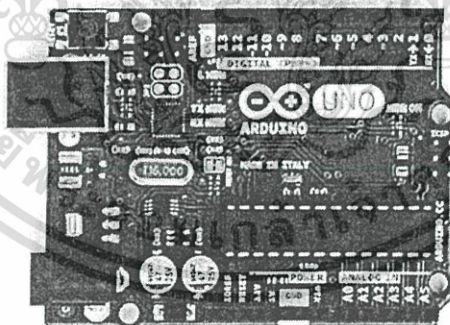
ซึ่งในที่นี้ เราจะกล่าวถึง Arduino ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR มีจุดเริ่มต้นที่ประเทศอิตาลี โดยผู้สร้างตั้งใจสร้างอุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกที่นักเรียนนักศึกษาสามารถเข้าถึง และซื้อหามาเป็นเจ้าของได้ โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Crystal Oscillator ที่มีค่า 16 MHz เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมได้อย่างลงตัว

ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้ มีจุดเด่นตรงที่มีภาษาที่เรียบง่ายต่อการพัฒนา และเป็น Open Hardware ทำให้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง และมีผู้พัฒนาเยอะจึงทำให้สามารถหาความรู้เพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ตได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

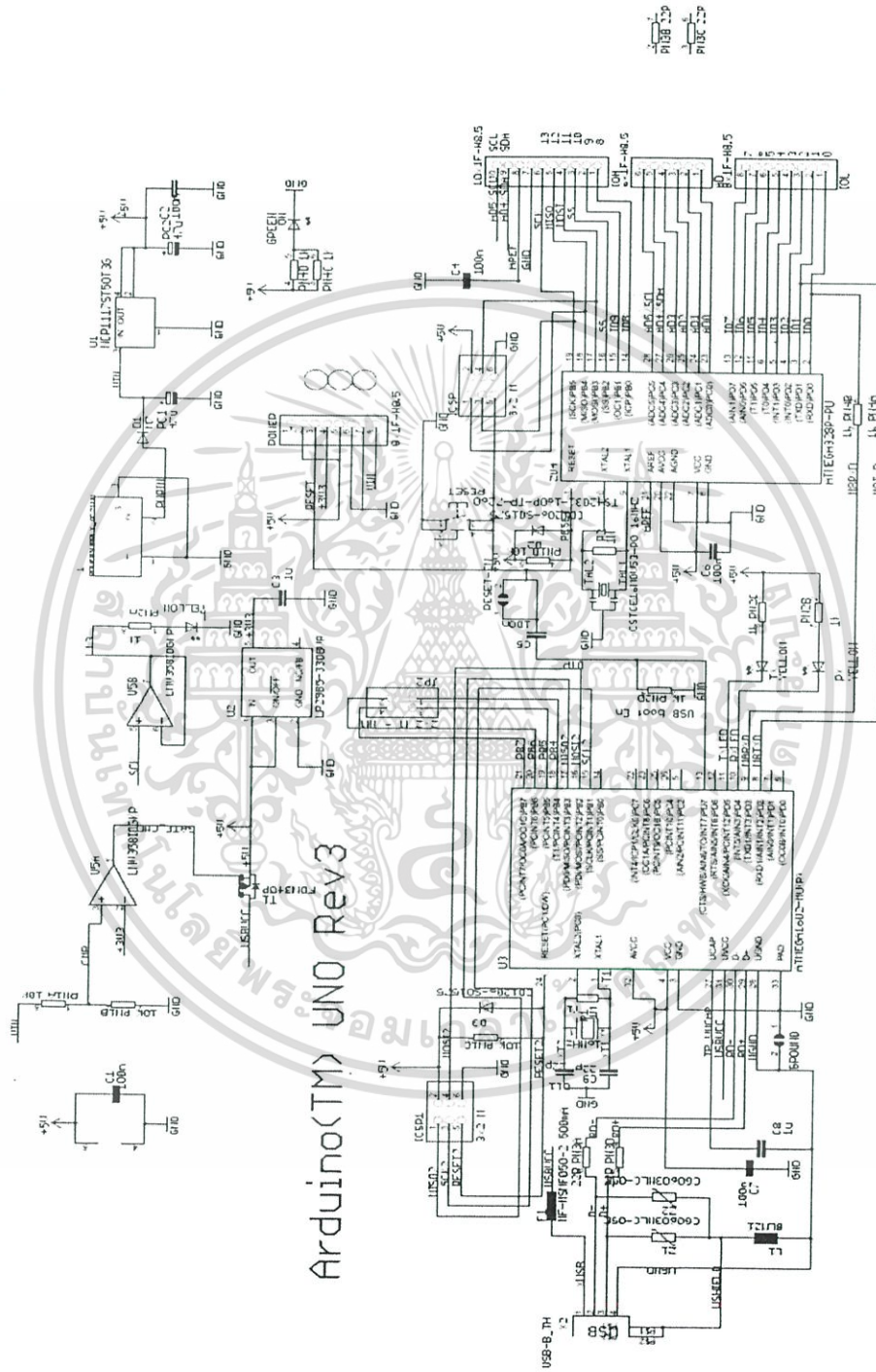
ในที่นี้เราจะกล่าวถึง Arduino Uno R3 ใช้ชิพประมวลผล ATmega328 ซึ่งมี Spec ดังต่อไปนี้

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (สามารถใช้ PWM ได้ทั้งสิ้น 6 พอร์ต)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) โดยแบ่งเป็น bootloader 0.5 KB
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz



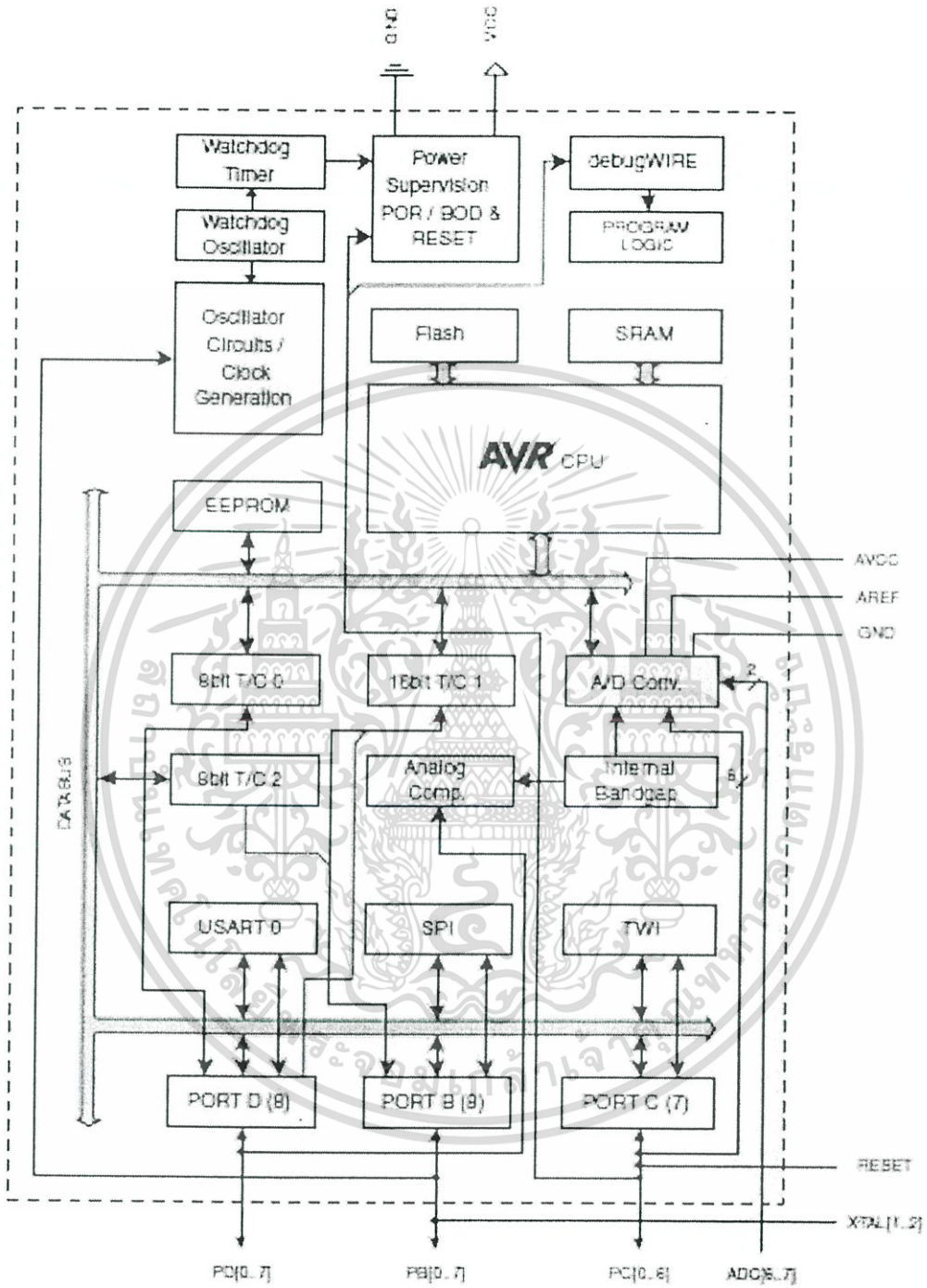
รูปที่ 2.2 Arduino Uno R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 Arduino Uno R3 Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ATmega328 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATmega328P pin mapping

∞ Arduino function

reset
 digital pin 0 **RX**
 digital pin 1 **TX**
 digital pin 2
 digital pin 3 **PWM**
 digital pin 4
 VCC
 GND
 crystal
 crystal
 digital pin 5 **PWM**
 digital pin 6 **PWM**
 digital pin 7
 digital pin 8

PC6 1
 PD0 2
 PD1 3
 PD2 4
 PD3 5
 PD4 6
 VCC 7
 GND 8
 PB6 9
 PB7 10
 PD5 11
 PD6 12
 PD7 13
 PB0 14



28 PC5
 27 PC4
 26 PC3
 25 PC2
 24 PC1
 23 PC0
 22 GND
 21 AREF
 20 AVCC
 19 PB5 **SCK**
 18 PB4 **MISO**
 17 PB3 **MOSI** **PWM**
 16 PB2 **PWM**
 15 PB1 **PWM**

When using
 ISP to program
 the chip

Arduino function ∞

analog input 5
 analog input 4
 analog input 3
 analog input 2
 analog input 1
 analog input 0
 GND
 analog reference
 AVCC
 digital pin 13
 digital pin 12
 digital pin 11
 digital pin 10
 digital pin 9

รูปที่ 2.5 ATmega328 Pin-Mapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างภาษาของ Arduino

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino นั้น จะต้องใช้ภาษาของ Arduino ซึ่งทางผู้จัดทำได้สร้างโปรแกรมไว้ให้สำหรับ Download มีชื่อว่า Arduino IDE (*Arduino integrated development environment*) ซึ่งได้พัฒนาต่อมาจากโอเพ่นซอร์สโปรเจกต์ที่มีชื่อว่า Wiring ภาษาของ Arduino สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ

- โครงสร้างภาษาตัวแปรและค่าคงที่ (Structure)
- ฟังก์ชัน (function)

ภาษาของ Arduino จะอ้างอิงตามภาษา C/C++ เราจึงอาจกล่าวได้ว่า การเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino นั้น คือการเขียนภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารีที่ทาง Arduino ได้เตรียมไว้แล้ว ซึ่งสะดวกและทำให้ผู้ไม่มีความรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้อย่างสะดวก และเข้าใจง่าย

โปรแกรม Arduino แบ่งได้เป็นสองส่วนคือ

- Void setup()
- Void loop()

โดยฟังก์ชัน setup() เมื่อเริ่มโปรแกรมทำงานจะทำตามคำสั่งของฟังก์ชันนี้เพียงครั้งเดียว ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน ส่วนฟังก์ชัน loop() เป็นส่วนการทำงาน โปรแกรมจะทำงานในฟังก์ชันนี้ต่อเนื่องตลอดเวลา เช่นการอ่านค่าอินพุต เอ้าพุท ประมวลผล โดยส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเช่นตัวแปร จะต้องเขียนที่หัวของโปรแกรมก่อนถึงตัวฟังก์ชัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงตัวพิมพ์เล็ก - พิมพ์ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชันให้ถูกต้อง

2.1.2 คำสั่งควบคุมการทำงานของ Arduino

2.1.2.1 คำสั่ง if

ใช้ทดสอบเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมเช่น ถ้าอินพุตมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ให้ทำอะไรโดยจะมีรูปแบบการเขียนดังนี้

```
If (somevariable > 50)
```

```
{
```

```
    // Do something here
```

```
}
```

ตัวโปรแกรมจะทดสอบว่า ค่าตัวแปรมากกว่า 50 หรือไม่ ถ้ามากกว่า 50 ให้ทำส่วนต่อไป ถ้าไม่ใช่ให้ข้ามการทำงานส่วนนี้ไป การทำงานนี้ นี้จะเป็นตัวตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงทำตามคำสั่งที่เขียนในวงเล็บปีกกา ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จ ข้ามการทำงานส่วนนี้ไป

ส่วนของการทดสอบเงื่อนไข จะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบต่างๆดังนี้

$x == y$ (x เท่ากับ y)

$x != y$ (x ไม่เท่ากับ y)

$x < y$ (x น้อยกว่า y)

$x > y$ (x มากกว่า y)

$x <= y$ (x น้อยกว่าหรือเท่ากับ y)

$x >= y$ (x มากกว่าหรือเท่ากับ y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 คำสั่ง if – else

ใช้ทดสอบกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมได้มากกว่าคำสั่ง if ธรรมดา โดยสามารถกำหนดได้ว่า ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ถ้าเป็นเท็จให้ทำอะไร โดยจะมีรูปแบบการเขียนดังนี้

```
If (somevariable < 50 )
```

```
{
```

```
    //do thing A
```

```
}
```

```
Else
```

```
{
```

```
    //do thing B
```

```
}
```

ตัวโปรแกรมจะทดสอบว่า ค่าตัวแปรมากกว่า 50 หรือไม่ ถ้ามากกว่า 50 ให้ทำส่วนต่อไป ถ้าไม่ใช่ให้ไปทำงานในอีกส่วนหนึ่ง หลังจากคำสั่ง else สามารถแทนได้ด้วยคำสั่ง if ไม่จำกัดจำนวน เมื่อใช้คำสั่ง if – else แล้ว ต้องกำหนดด้วยว่า หากไม่ตรงกับเงื่อนไขใดเลยให้ทำอะไรที่คำสั่ง else ตัวสุดท้าย

2.1.2.3 คำสั่ง Switch-case

ใช้ทดสอบเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม ถ้าตัวแปรที่ทดสอบตรงกับเงื่อนไขใดก็ให้ทำงานตามที่กำหนดไว้ โดยมีพารามิเตอร์สำคัญ สามตัวดังนี้

- Var ตัวแปรที่ทดสอบตรงกับเงื่อนไขใด
- Default ถ้าไม่ตรงกับเงื่อนไขใดๆเลยให้ทำตามคำสั่งนี้
- Break เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ต่อ case ต่างๆ เมื่อพบเงื่อนไขนั้นแล้วทำตามคำสั่งต่างๆจะให้โปรแกรมหยุดการทำงานของคำสั่ง ถ้าลืมเขียน Break เมื่อโปรแกรมพบเงื่อนไขแล้ว จะทำตามเงื่อนไขต่อไปเรื่อยๆจนกว่าจะพบคำสั่ง Break

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใช้คำสั่ง Switch-case จะมีรูปแบบการเขียนดังนี้

```
Switch (var)
{
    Case 1:
        //do something when var == 1
    Break;
    Case 2:
        //do something when var = =2
    Break;
    Default:
        //if nothing else matches, do the default
}
```

2.1.2.4 คำสั่ง while

เป็นคำสั่งวนรอบ โดยจะทำคำสั่งให้เขียนในวงเล็บปีกกาต่อเนื่องจนกว่าเงื่อนไขในวงเล็บของคำสั่ง while จะเป็นเท็จ คำสั่งที่จะให้ทำซ้ำอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรค่าที่ทดสอบ เช่นมีการเพิ่มค่าตัวแปร หรือมีเงื่อนไขภายนอก เช่นการอ่านค่าจากตัวเซ็นเซอร์เรียบร้อยแล้วหยุดอ่านค่า มิฉะนั้นเงื่อนไขของ while จะเป็นจริงตลอดเวลา ทำให้ while กลายเป็น infinity loop โดยคำสั่ง while จะมีรูปแบบการเขียนดังนี้

```
While (expression)
{
    //do statement
}
```

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ

- Expression เพื่อเป็นคำสั่งสำหรับทดสอบเงื่อนไขว่าจริงหรือเท็จ หากเงื่อนไขมีความจริงเป็นจริง โปรแกรมจะทำงานตามลูปด้านล่าง หากเงื่อนไขมีความจริงเป็นเท็จ จะข้ามการทำงานส่วนนี้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 คำสั่ง for

คำสั่งนี้ใช้เพื่อสั่งให้คำสั่งที่อยู่ภายในวงเล็บปีกกาหลัง for มี การทำงานซ้ำกันตามจำนวนรอบที่ ต้องการ คำสั่งนี้มีประโยชน์มากสำหรับการทำงานใดๆ ที่ต้องการทำซ้ำกันเพื่อทราบจำนวนรอบการทำงานที่แน่นอนมักใช้คู่ กับตัวแปรชนิดอาร์เรย์ ในการเก็บสะสมค่าที่ได้จากขาอินพุตหลายๆค่าที่มีหมายเลขขาต่อเนื่องกัน โดยจะมี รูปแบบการเขียนดังนี้

```
for (initialization; condition; increment)
```

```
{
    //do statement(s);
}
```

โดยคำสั่ง for มีพารามิเตอร์ที่สำคัญสามประการดังนี้

- Initialization ใช้สำหรับกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรการวนลูป
- Condition ใช้สำหรับตรวจสอบการทำงานในแต่ละรอบ โดยจะตรวจสอบเป็นจริงหรือเท็จ หากเงื่อนไขเป็นจริงจะทำตามคำสั่งในวงเล็บปีกกา หากเป็นเท็จจะข้ามการทำงานในส่วนนี้ไป
- Increment หลังจากเงื่อนไขใน Condition เป็นจริงและทำตามคำสั่งในวงเล็บปีกกาเสร็จเรียบร้อย โปรแกรมจะมาเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรใน Increment และตรวจสอบเงื่อนไขใน Condition อีกรอบ หากเป็นจริงลูปของการทำงานจะวนต่อไป จนกว่าจะเป็นเท็จ

โดยคำสั่ง for ของภาษา C มีความยืดหยุ่นกว่าภาษาอื่นมาก มันสามารถละเว้นบางส่วน หรือทั้งสามส่วน พารามิเตอร์ได้ อย่างไรก็ตามการเขียนคำสั่ง for ยังคงต้องมีเซมิโคลอน นอกจากนี้ยังสามารถนำคำสั่งของ ภาษา C++ ที่ไม่เกี่ยวข้องมาเขียนในส่วนของ พารามิเตอร์ทั้งสามของคำสั่ง for ได้

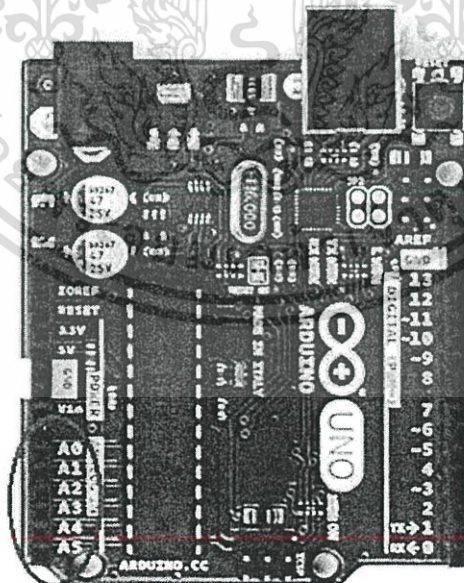
2.1.3 การรับค่า Input และ Output ของ Arduino

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino นั้น การรับค่า Input Output ทำได้ง่าย เพราะทางผู้จัดทำได้สร้างภาษาของ Arduino ไว้เพื่อให้ใช้งานได้สะดวก ซึ่งจะมีคำสั่งสำหรับรับค่า Input Output อยู่ 4 คำสั่งดังต่อไปนี้

- analogRead (สำหรับรับค่า Input Analog)
- analogWrite (สำหรับสร้าง Output Analog)
- digitalWrite (สำหรับรับค่า Input Digital)
- digitalWrite (สำหรับสร้าง Output Digital)

2.1.3.1 คำสั่งรับค่าอินพุตแบบอนาล็อก (analogRead)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino มีพอร์ตสำหรับรับค่าสัญญาณไฟฟ้าแบบ Analog จำนวนทั้งสิ้น 6 พอร์ต ซึ่งได้แก่ พอร์ต A0 , A1 , A2 , A3 , A4 , A5 ดังรูป



รูปที่ 2.6 Arduino Uno R3 Analog Pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของสัญญาณอนาล็อกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สามารถรับได้นั้น จะอยู่ที่ 0 – 5 V โดยภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีอุปกรณ์ ADC (Analog to Digital Controller) ซึ่งอยู่ในชิพประมวลผล Atmega328 เนื่องจากภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองไม่สามารถเข้าใจสัญญาณอนาล็อกได้ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่รับได้มาเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าสัญญาณอนาล็อกจาก 0 – 5 V เป็นตัวเลข 0 – 1023 ได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ตัวเลขในภาษาของ Arduino (0 - 1023)} = \text{ความต่างศักย์ (0 - 5 V)} \times 204.6$$

เมื่อสัญญาณอนาล็อกขนาด 0 – 5 V ที่รับเข้ามาได้แปลงค่าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เรียบร้อยแล้ว เราสามารถนำค่า 0 – 1023 ไปเขียนเพื่อสร้างเงื่อนไขการควบคุมต่างๆได้ด้วยคำสั่งในหัวข้อ 2.1.2 ต่อไป

2.1.3.2 คำสั่งสร้างค่าเอาต์พุตแบบอนาล็อก (analogWrite)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการรับค่าอินพุต และสามารถปล่อยค่าเอาต์พุต ออกมาเพื่อควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ เช่นเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ก็สามารถทำได้เช่นกันด้วยคำสั่ง analogWrite คำสั่ง analogWrite จะสร้างสัญญาณอนาล็อกออกมาได้ โดยรูปแบบโครงสร้างของคำสั่งมีดังนี้

analogWrite (X , (0 – 255));

โดยค่า X คือ ช่องของสัญญาณที่เราต้องการให้เป็น Output

และค่า 0 – 255 คือค่าความถี่ของสัญญาณสแควร์เวฟ (Square Wave) หากเราให้เป็น 0 คือไม่มีสัญญาณ แต่ถ้าหากเป็นค่า 255 คือสัญญาณมีความถี่สูงที่สุด (Duty Cycle 100%)

เราสามารถใช้เทคนิคนี้ในการสร้างการมอดูเลชันแบบพัลส์ (Pulse Width Modulation) เช่นถ้าเรากำหนดเลขตัวนี้เป็น 128 เราจะสามารถสร้างสัญญาณสแควร์เวฟที่มี duty cycle 50% ได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามฟังก์ชันอนาล็อกไวรท์ สามารถใช้ได้กับบางพอร์ทของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เท่านั้นซึ่งบางพอร์ทที่ได้กล่าวถึง คือพอร์ท 3 , 5 , 6 , 9 , 10 และ 11 ซึ่งคำสั่ง analogWrite แม้จะสร้างสัญญาณอนาล็อกแต่ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องใดกับพอร์ทอนาล็อกอินพุท หรือคำสั่ง analogRead ทั้งสิ้น โดยความถี่ของสัญญาณสแควเวฟจะมีค่าคงที่อยู่ที่ 490 Hz

2.1.3.3 คำสั่งรับค่าอินพุทแบบดิจิตอล (digitalRead)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino นอกจากจะสามารถรับค่าสัญญาณอนาล็อกได้ด้วยคำสั่ง analogWrite แล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองยังสามารถรับค่าสัญญาณดิจิตอลมาประมวลผลได้อีกด้วย โดยสัญญาณดิจิตอลที่พูดถึงนี้มีอยู่สองสถานะดังนี้

- สัญญาณสถานะ HIGH หมายถึงมีไฟเข้า มีค่าลอจิกเป็น 1
- สัญญาณสถานะ LOW หมายถึงไม่มีไฟเข้า มีค่าลอจิกเป็น 0

โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino นี้สามารถรับค่า Input ได้ตั้งแต่ 0 - 5 V ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้กำหนดสถานะทางดิจิตอลให้กับตัวเองดังนี้

- หากมีไฟเข้า > 2.5 V ให้เป็นสถานะ HIGH
- หากมีไฟเข้า < 2.5 V ให้เป็นสถานะ LOW

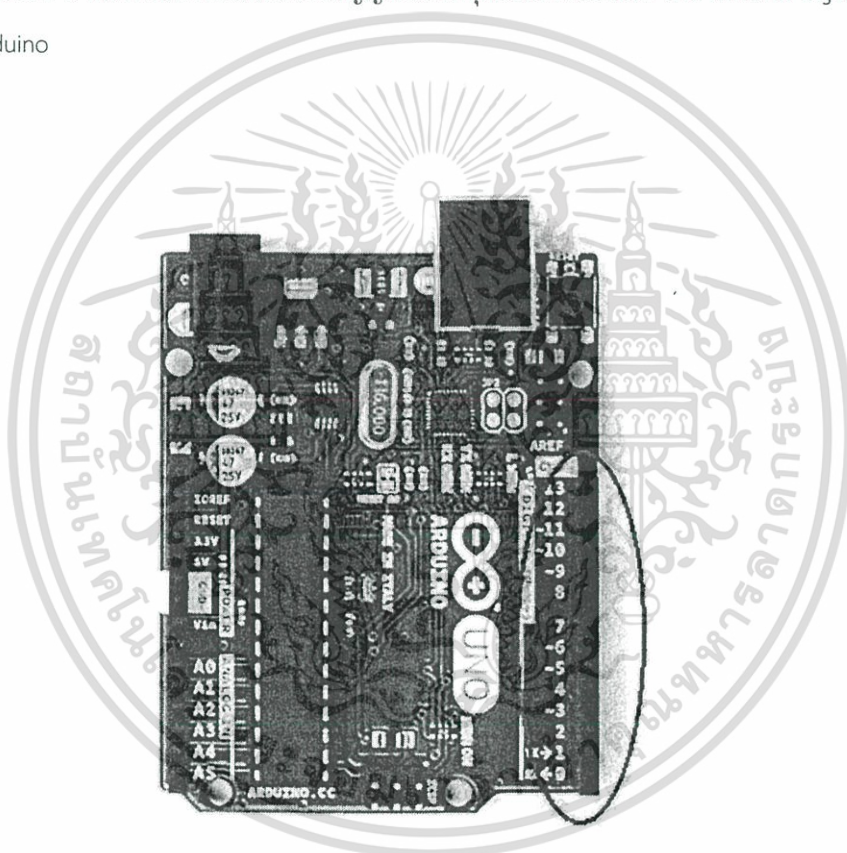
การใช้คำสั่ง digitalRead สามารถใช้ได้กับทุกพินบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ทุกรุ่นไม่ว่าแม้กระทั่งพินของสัญญาณอนาล็อก เช่น A0 , A1 , A2

2.1.3.4 การใช้คำสั่งสร้างค่า Output แบบดิจิทัล (digitalWrite)

การใช้คำสั่ง digitalWrite นั้นจะทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สามารถสร้างสัญญาณลอจิก HIGH และ LOW ได้ โดยขนาดของสัญญาณ HIGH มีค่าเท่ากับ 5 V และสัญญาณ LOW มีค่าเท่ากับ 0 V โดยมีลักษณะการเขียนดังนี้

```
digitalWrite ( X , (HIGH or LOW))
```

โดยค่า X คือค่าพินที่กำหนดให้สร้างสัญญาณเอาท์พุตแบบดิจิทัลขึ้นมา สามารถใช้พิน Digital ใดก็ได้บนบอร์ด Arduino



รูปที่ 2.7 Arduino Uno R3 Digital Pin

และค่า HIGH หรือ LOW คือการเลือกว่าพอร์ทนั้นจะตั้งค่าให้ปล่อยสัญญาณดิจิทัลแบบ HIGH ลอจิก 1 หรือ LOW ลอจิก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

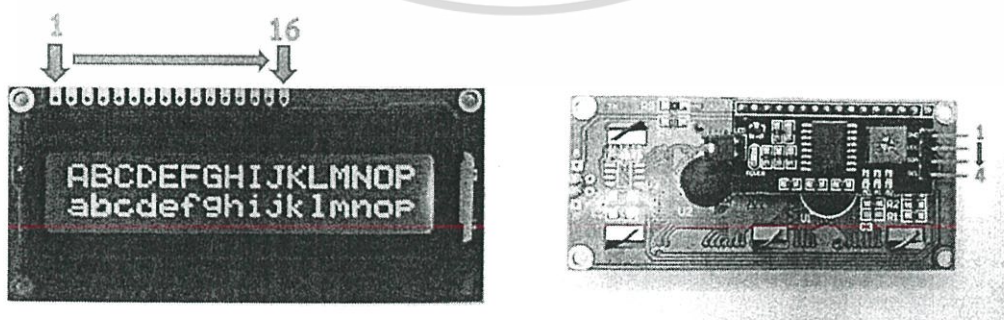
2.1.4 จอแสดงผล LCD (Liquid Crystal Display)

จอ Liquid Crystal Display (LCD) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่ยินนำมาใช้งานกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย จอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษรเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของ ผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบ เรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

- แบบ ใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- แบบ ใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน
- แบบ ส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

จอ LCD ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ LCD แบบปกติที่เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel) และ LCD แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C โดยทั้ง 2 แบบตัวจอมีลักษณะเดียวกันเพียงแต่แบบ I2C จะมีบอร์ดเสริมทำให้สื่อสารแบบ I2C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 2.8 Parallel LCD 16 Pin และ Serial LCD 4 Pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD แบบขนาน

ในการควบคุมหรือสั่งงาน จอ LCD นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่าน Controller ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร

การเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับ Microcontroller มีดังนี้

1. GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD ขนาด +5VDC
3. VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
4. RS ใช้บอกให้ LCD Controller ทราบว่า Code ที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
5. RW ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD Controller
6. E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับ LCD Controller
- 7-14. DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับ LCD Controller

วิธีการสั่งงานจะแตกต่างกันไป โดย LCD Controller สามารถรับรหัสคำสั่งจาก Microcontroller ได้จากสัญญาณ RS RW และ DB0-DB7 ในขณะที่สัญญาณ E มีค่า Logic เป็น "1" ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะใช้ร่วมกันเพื่อกำหนดเป็นรหัสคำสั่งสำหรับสั่งงาน LCD โดยหน้าที่ของแต่ละสัญญาณพอสรุปได้ดังนี้

- E เป็นสัญญาณ Enable เมื่อมีค่าเป็น
 - "1" เป็นการบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่ออ่านหรือเขียนข้อมูล
 - "0" ให้ LCD ไม่สนใจสัญญาณ RS RW และ DB7-DB0
- RS เป็นสัญญาณสำหรับกำหนดให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ LCD ในขณะนั้นเป็นรหัสคำสั่ง หรือข้อมูล โดยถ้า
 - RS = "0" หมายถึง คำสั่ง
 - RS = "1" หมายถึง ข้อมูล
- RW เป็นสัญญาณสำหรับบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการอ่านหรือเขียนกับ LCD โดยถ้า
 - RW = "0" หมายถึง เขียน
 - RW = "1" หมายถึง อ่าน
- DB0-DB7 เป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง โดยจะสัมพันธ์กับสัญญาณ RW ใช้สำหรับรับส่ง คำสั่งและข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก โดยถ้า RW = "0" สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจากอุปกรณ์ภายนอกมาที่ LCD แต่ถ้า RW = "1" สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจาก LCD ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin No.	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VDC
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pins 8-Bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED+) เป็นขา Vcc สำหรับ LED backlight (5V)
16	K	(LED-) เป็นขา Gnd สำหรับ LED backlight (Gnd)

ตารางที่ 2.1 ขาของจอ LCD แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD แบบอนุกรม I2C

จอ LCD ที่มีการเชื่อมต่อแบบ I2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial จะเป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไปที่มาพร้อมกับบอร์ด I2C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและยังมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของจอ ในรูปแบบ I2C จะใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Microcontroller เพียง 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยสามารถสรุปตารางของขาต่างๆได้ตามตารางด้านล่าง

Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

ตารางที่ 2.2 ขาของจอ LCD แบบ I2C

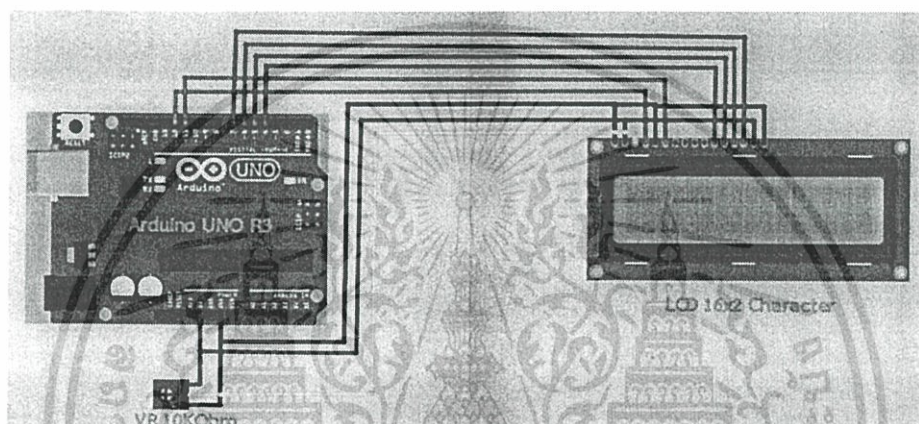
ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- MCU จะทำการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส
- แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วยรหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่า MCU ต้องการจะติดต่อด้วย ก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ส่งมามีความถูกต้อง
- และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่าสิ้นสุดการใช้บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 การนำจอแสดงผล LCD แบบขนานมาใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่าง Microcontroller กับ LCD Controller สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 บิต (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต (DB4-DB7) ทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวน ขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา และยังสามารถทำงานได้เหมือนกัน อย่างที่แน่นอนในการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ย่อมทำได้ช้ากว่า 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา ในการต่อกับ Arduino เรานั้นจึงนิยมต่อเพียง 4 ขา หรือ 4 บิต เท่านั้น



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อ LCD กับ Arduino Uno R3

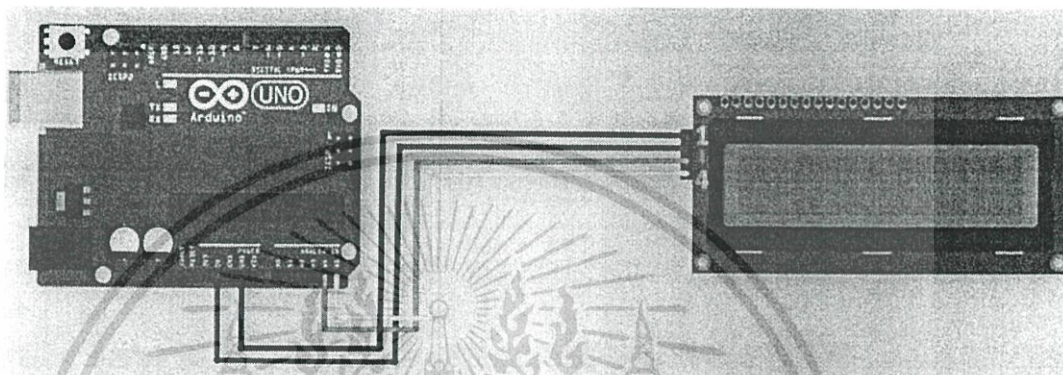
VR 10 KOhm	LCD	Arduino
GND	VSS/GND	Ground
VCC	VDD	+5VDC
Signal	VO/VEE	-
-	RS	Digital Pin 12
-	RW	Ground (เพราะเราต้องการเขียน)
-	E/EN	Digital Pin 11
-	DB4	Digital Pin 4
-	DB5	Digital Pin 5
-	DB6	Digital Pin 6
-	DB7	Digital Pin 7
-	A	+5VDC
-	K	Ground

ตารางที่ 2.3 ตารางเทียบระหว่างขา LCD และ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.4 การนำจอแสดงผล LCD แบบอนุกรมมาใช้ร่วมกับ Arduino UnoR3

คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมจอ LCD ของ Arduino แบบ I2C นั้นไม่ต่างจากจอ LCD แบบธรรมดา (Parallel) มากนัก เพียงแต่ต้องเพิ่ม Library ของการใช้งานซึ่งสามารถหาโหลดได้จากเว็บไซต์ของ Arduino การต่อขาสามารถที่จะต่อได้ตามรูป



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อขา I2C กับ Arduino

Arduino UNO R3	LCD (I2C)
GND	GND (Pin 1)
+5VDC	VCC (Pin 2)
A4 (SDA)	SDA (Pin 3 Serial Data)
A5 (SCL)	SCL (Pin 4 Serial Clock)

ตารางที่ 2.4 ตารางเทียบระหว่างขา I2C กับ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.5 รายละเอียดคำสั่งในการสั่งงานระหว่าง Arduino กับ จอ LCD

คำสั่งในการควบคุมจอ LCD ของ Arduino นั้น ทาง Arduino เขียนเป็น Library มาให้เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน หลังจากต่อสายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนแรกในการเริ่มเขียนโปรแกรมคือการเรียกใช้ Library ของ LCD จากไฟล์ชื่อ LiquidCrystal.h หลังจากนั้นมาดูกันว่าฟังก์ชันที่สำคัญอะไรบ้างที่ใช้สั่งงานให้จอ LCD

- ฟังก์ชัน LiquidCrystal(); ใช้ประกาศขาที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังจอ LCD รูปแบบในการสั่งงานคือ
 LiquidCrystal lcd(rs, enable, d4, d5, d6, d7) <<<<<<< ในกรณีใช้งานแบบ 4 บิต
 LiquidCrystal lcd(rs, enable, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7) <<<<<<< ในกรณีใช้งานแบบ 8 บิต
- ฟังก์ชัน begin(); ใช้กำหนดขนาดของจอ
- ฟังก์ชัน setCursor(); ใช้กำหนดตำแหน่งและบรรทัดของ Cursor เช่น lcd.setCursor(0, 1); คือ ให้เคอร์เซอร์ไปที่ตำแหน่งที่ 0 บรรทัดที่ 1 การนับตำแหน่งเริ่มจาก 0 ดังนั้น LCD 16x2 มีตำแหน่ง 0 – 15 บรรทัด คือ 0 ถึง -1
- ฟังก์ชัน print(); ใช้กำหนดข้อความที่ต้องการแสดง

2.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

2.2.1 การควบคุมมอเตอร์แต่ละแบบ

การควบคุมมอเตอร์กระแสดังนั้น มีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เราจะกล่าวถึง 3 วิธีหลักๆที่นิยมใช้กัน ซึ่งมีดังนี้

2.2.1.1 การควบคุมด้วยความต้านทานปรับค่าได้

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



รูปที่ 2.11 การควบคุมความเร็วด้วยความต้านทาน

2.2.1.2 การควบคุมด้วยวิธีปรับค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อัตราขยายกำลังสูง และมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation คือ เทคนิคการควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยค่าความถี่ของสัญญาณพัลส์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงของดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดีวตี้ไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณจะมีสถานะเป็นลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง และในทำนองเดียวกันหากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่าไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลยซึ่งค่าดีวตี้ไซเคิล สามารถสรุปออกมาได้เป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าดีวตี้ไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100$$

50% duty cycle



75% duty cycle



25% duty cycle

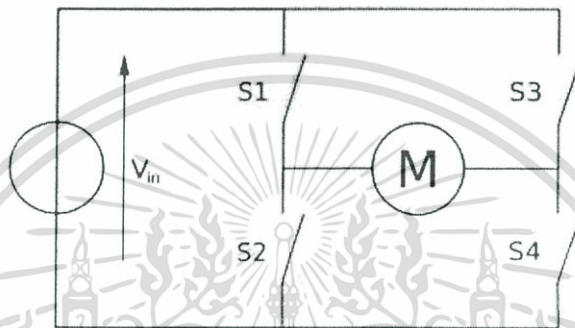


รูปที่ 2.12 สัญญาณของค่าดีวตี้ไซเคิลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การขับและการกลับทิศทางการของมอเตอร์กระแสตรง

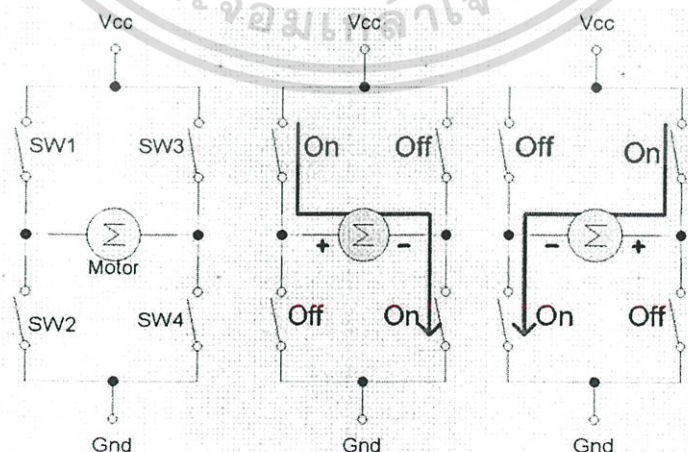
ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น เราจะต้องมีส่วนของวงจร ที่เรียกว่าวงจรขับมอเตอร์ (DC Drive) .ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้นเราจะใช้วงจร H-Bridge เราสามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลังเช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต แล้วแต่วิธีที่เราจะเลือกใช้งาน



รูปที่ 2.13 วงจร H-Bridge พื้นฐาน

วงจรที่เห็นนี้ทำหน้าที่ได้ทั้งคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ เริ่มจากการควบคุมทิศทางการหมุน โดยปกติหากต้องการกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง วิธีหนึ่งที่ทำได้คือ กลับทิศแหล่งจ่าย

- หากต้องการให้หมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise :CW) ก็ให้ S1 และ S4 ปิดวงจร และให้ S2 และ S3 เปิดวงจร
- หากต้องการให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา (Conter Clockwise :CCW) ก็ให้ S2และ S3 ปิดวงจร และให้ S1 และ S4 เปิดวงจร



รูปที่ 2.14 วงจรH-bridge ทั้งสามสถานะ

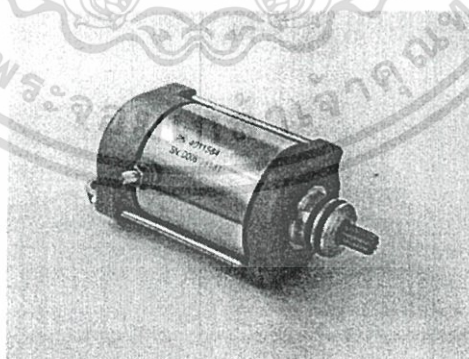
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์อุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และ การผลิตพลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บีม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดีสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับ ใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสูบจัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวกของเอาต์พุต และอื่น ๆ

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกันถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงสามารถกลับทิศทางหมุนได้ สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดจากแม่เหล็กถาวรซึ่งถูกยึดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้า โดยปกติในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 2.15 DC Motor

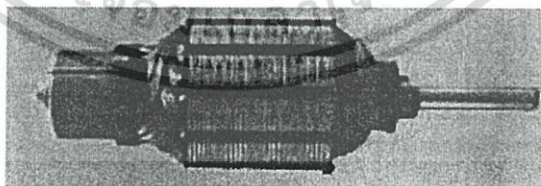
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์

- โรเตอร์ (Rotor) ในมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนที่เคลื่อนที่คือโรเตอร์ ซึ่งจะหมุนเพลาเพื่อจ่ายพลังงานกล โรเตอร์มักจะมี ขดลวดตัวนำพันอยู่โดยรอบ ซึ่งเมื่อมีกระแสไหลผ่าน จะเกิดอำนาจแม่เหล็กที่จะไปทำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กถาวรของสเตเตอร์ ขับเพลลาให้หมุนได้

โรเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

1. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวตั้งไม่มีการสั่นสะเทือนได้
2. แกนอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้าง และเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action)
4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบ ของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ

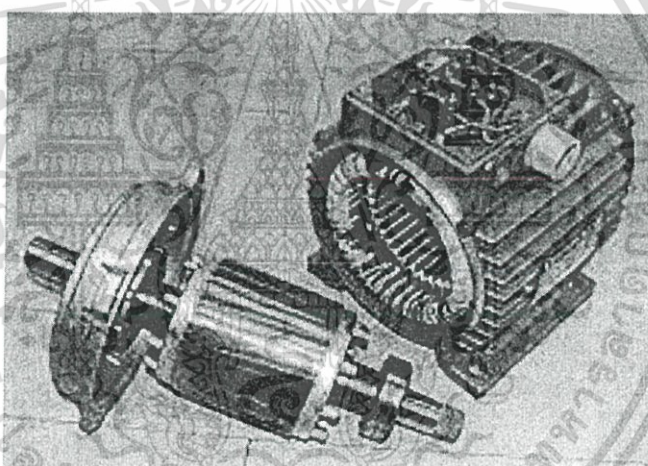


รูปที่ 2.16 โรเตอร์

- สเตเตอร์ (Stator) ส่วนที่ไม่เคลื่อนที่คือ สเตเตอร์ มักจะมีขดลวด หรือ แม่เหล็กถาวร

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. แกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กันด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)



รูปที่ 2.17 โรเตอร์และสเตเตอร์

- ช่องว่างอากาศ ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์จะเป็นช่องว่างอากาศ ซึ่งจะต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องว่างขนาดใหญ่จะมีผลกระทบทางลบอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- ขดลวด (Winding) ขดลวดจะพันโดยรอบเป็นคอยล์ ปกติจะพันรอบแกนแม่เหล็กอ่อนที่เคลือบฉนวนเพื่อให้เป็นขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

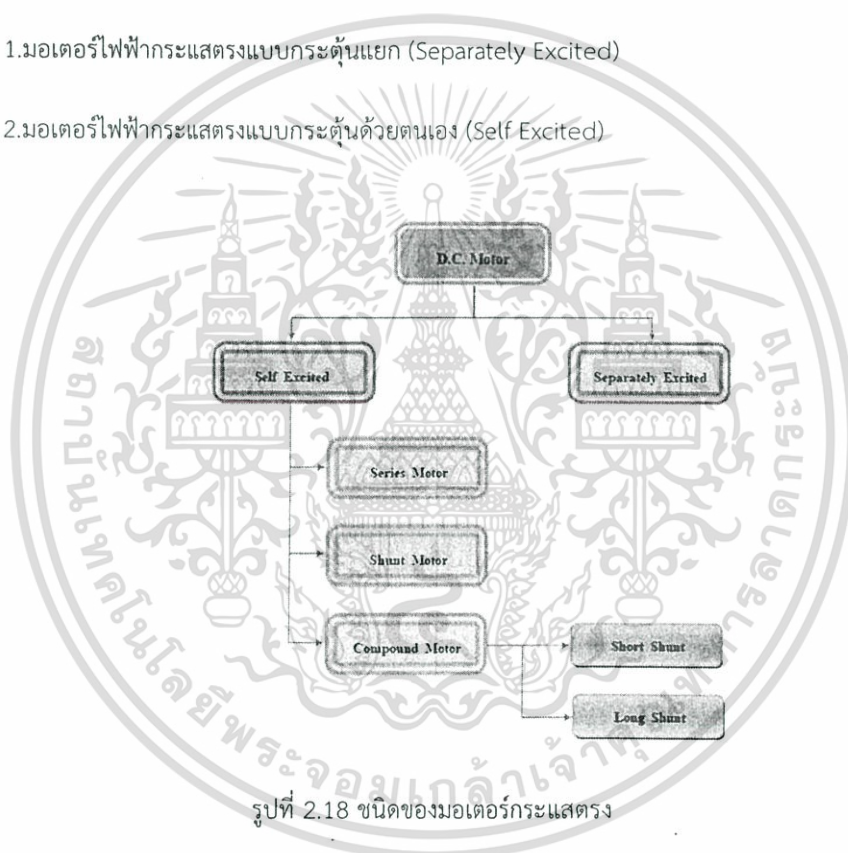
2.3.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง

งานหลายอย่างที่ต้องใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งเราพบว่างานแต่ละอย่างต้องการแรงดันกำลังที่ต่างกัน เช่นการระบายความร้อนด้วยพัดลมต้องใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วมากๆไปขับใบพัด แต่งานสายพานลำเลียงต้องการแรงหมุนมากๆ แต่ความเร็วไม่มาก ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาของงานที่มีลักษณะต่างกัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีหลายชนิดเพื่อรองรับความหลากหลายของงานข้างต้น

มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิดหลักๆ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตนเอง (Self Excited)

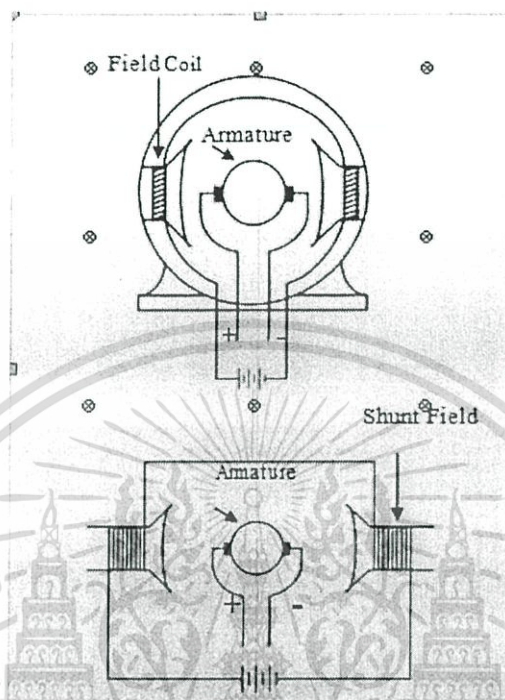


รูปที่ 2.18 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง

จะเห็นว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) นั้น โดยหลักๆ แล้วสามารถที่จะแบ่งออก ได้เป็น 2 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบกระตุ้นด้วยตนเอง (Self Excited) และ มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก(Separately Excited) โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบกระตุ้นด้วยตนเอง ยัง สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor) , มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) ซึ่งมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนั้นสามารถแยกย่อยออกได้เป็น 2 ลักษณะตามวงจรการต่อภายในคือ มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบผสมชนิดขดลวดขนานสั้น (Short Shunt Compound) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม ชนิดขดลวดขนานยาว (Long Shunt Compound)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited)



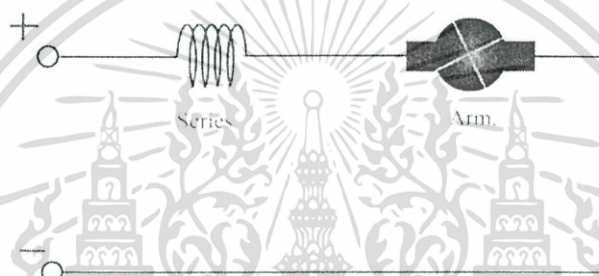
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก

Separately Excited DC Motor เป็นพื้นฐานที่สำคัญของระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า และมีบทบาทสำคัญที่ใช้ในการควบคุมความเร็วในเครื่องจักรและกระบวนการผลิตอัตโนมัติในระบบอุตสาหกรรม แสดงลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยพื้นฐานของดีซีมอเตอร์แบบแบบ Separately Excited จะคล้ายกันกับ Self - excited ลักษณะโครงสร้างหลักจะประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่หมุนเคลื่อนที่ (Rotor) หรือหากพิจารณาในรูป ของวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าก็สามารถแยกออกเป็น 2 วงจร

คือวงจรฟิลด์ (Field Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ในการ สร้างสนามแม่เหล็กหลัก และ วงจรอาร์เมเจอร์ (Armature circuit) ที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กรอบๆ อาร์เมเจอร์ โดย Separately excited dc motor แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับวงจรฟิลด์ และวงจรอาร์เมเจอร์ จะแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยคุณสมบัติด้านความเร็ว-แรงบิด จะเหมือนกับมอเตอร์ดีซีแบบขนาน

2.3.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

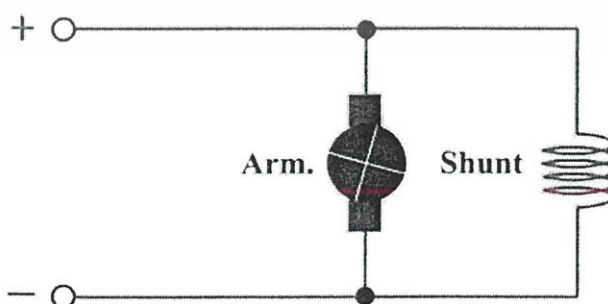
คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นตัวกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของเครน ไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมา ต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อ เริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

2.3.2.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

หรือเรียกว่าชันท่อมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับ ขดลวด ชุดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท่อมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดังนี้พัฒนาเพราะพัฒนาต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

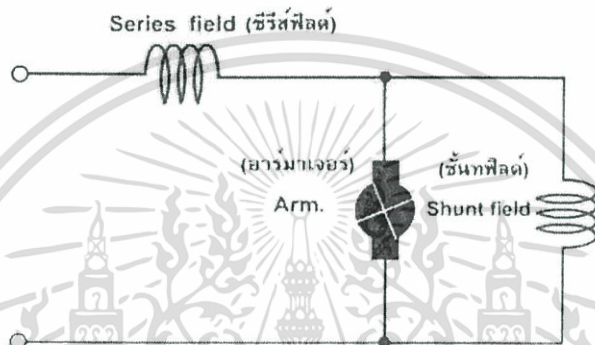
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

หรือเรียกว่าคอมเปาต์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มืโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

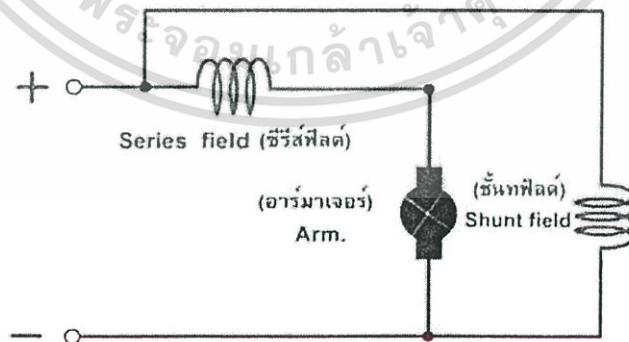
มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ 2 วิธี

วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชั้นขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท (Short Shunt Compound Motor)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

อีกวิธีคือต่อขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชันทคอมเปาต์มอเตอร์ (Long shunt motor)



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.อ. น. น. น.
ก.อ. น. น. น.

2.3.2.5 มอเตอร์สเต็ป (Stepper Motor)

มอเตอร์สเต็ปเป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยสัญญาณพัลส์เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของ สเต็ปมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้นๆ ละ(Step) 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปมอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปๆ ได้ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้สเต็ปมอเตอร์มาทำการการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิทัล เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) ฯลฯ

คุณสมบัติเด่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- มุมในการหมุน (rotation angle) มีค่าตามสัดส่วนของจำนวนของพัลส์อินพุตที่ใช้ขับมอเตอร์
- ความเร็วในการหมุน (rotation speed) มีค่าตามสัดส่วนและสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณพัลส์อินพุตที่ใช้ขับมอเตอร์
- ใช้ในการควบคุมตำแหน่งแบบระบบเปิดที่มีความแม่นยำสูง โดยไม่ต้องใช้สัญญาณป้อนกลับของการกำหนดตำแหน่ง
- ไม่มีความผิดพลาดสะสมของการกำหนดตำแหน่ง
- เหมาะกับงานที่ต้องการกลไกเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ แรงบิดสูง โดยไม่ต้องใช้ระบบเฟืองทดรอบเพิ่มเติม
- สามารถกำเนิดและรักษาแรงบิดได้ในทันทีที่มอเตอร์ถูกกระตุ้นให้ทำงาน
- สามารถรักษาสภาวะการหมุนของแกนได้โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย
- ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- มีลูกปืนความเที่ยงตรงสูง เพื่อช่วยการหมุนของแกนมีความแม่นยำ

ข้อด้อยของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- การกำหนดหรือการเกิดเรโซแนนซ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้
- การทำให้มอเตอร์สามารถหมุนแกนด้วยความเร็วสูงทำได้ยาก
- หากเกิดแรงบิดสูงสูงเกินกว่าที่รับได้หรือเกิดโอเวอร์ทอร์คมอเตอร์จะสูญเสียการรับรู้ตำแหน่งของแกนหมุนจะต้องกลับไป เริ่มต้นการอินิเชียลใหม่
- ให้แรงบิดที่น้อยกว่ามอเตอร์ไฟตรงและมอเตอร์ไฟสลัที่ขนาดของตัวมอเตอร์เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไป เพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนเป็นจังหวะตามพัลส์ที่ป้อนเข้ามา หากมีการป้อนสัญญาณพัลส์ต่อเนื่อง มอเตอร์ก็จะสามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่อง เหมือนกับมอเตอร์ไฟตรงปกติ ดังนั้นด้วยจังหวะในการป้อนสัญญาณพัลส์จึงทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้

จังหวะการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เรียกว่า สเต็ป (step) นั่นจึงเป็นที่มาของชื่อของมอเตอร์ชนิดนี้ ความละเอียดของ มอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่งสเต็ป หากมอเตอร์มีจำนวนองศาต่อสเต็ปมาก หมายความว่า มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ ยกตัวอย่าง การหมุนครบ 1 รอบเท่ากับ 360 องศา หากมอเตอร์มีสเต็ปการหมุนเท่ากับ 7.5 องศาต่อสเต็ป มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง แต่ถ้าหากมีสเต็ปการหมุนกับ 1.8 องศาต่อสเต็ป ความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 200 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ตัวหลังมีความละเอียดสูงกว่าตัวแรกมาก ทำให้นำมาใช้ในงานที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้ดีกว่า



รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างภายในของ Stepper Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

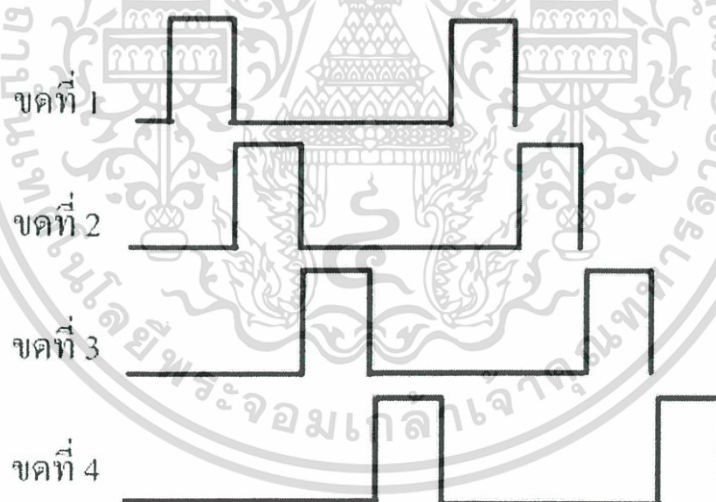
การควบคุมมอเตอร์สแต็ป แบ่งออกได้เป็นสามแบบ

1. ฟูลสแต็ปแบบ 1 เฟส

เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุด โดยการป้อนไฟเพื่อกระตุ้นการทำงานที่ละชดเรียงลำดับกันไป การขับสแต็ปเปอร์แบบ 1 เฟส แสดงดังตาราง

ลำดับ	1	2	3	4
ขดที่ 1	ทำงาน	-	-	-
ขดที่ 2	-	ทำงาน	-	-
ขดที่ 3	-	-	ทำงาน	-
ขดที่ 4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.5 การทำงานของการควบคุมของมอเตอร์สแต็ปแบบหนึ่งเฟส



รูปที่ 2.25 สัญญาณพัลส์ของมอเตอร์สแต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟูลสแต็ปแบบ 2 เฟส

การขับมอเตอร์แบบสองเฟส มีลักษณะการทำงานคล้าย 1 เฟส แต่จะกระตุ่นการทำงานที่ละสองขดลวด ทำให้ได้แรงบิดที่มากกว่าเดิม แสดงดังตาราง

ลำดับ	1	2	3	4
ขดที่ 1	ทำงาน	-	-	ทำงาน
ขดที่ 2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
ขดที่ 3	-	ทำงาน	ทำงาน	-
ขดที่ 4	-	-	ทำงาน	ทำงาน

ตารางที่ 2.6 การทำงานของการควบคุมมอเตอร์สแต็ปแบบสองเฟส

3. ฮาล์ฟสแต็ป

การขับแบบฮาล์ฟสแต็ป เป็นการนำรูปแบบการขับมอเตอร์ทั้งสองแบบมารวมกันทำให้จำนวนสแต็ปเพิ่มขึ้นมาอีก 1 เท่าตัว แสดงดังตาราง

ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8
ขดที่ 1	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	-	-	ทำงาน
ขดที่ 2	-	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	-
ขดที่ 3	-	-	-	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	-	-
ขดที่ 4	-	-	-	-	-	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน

ตารางที่ 2.7 การทำงานของการควบคุมมอเตอร์สแต็ปแบบ ฮาล์ฟสแต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.6 มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณพัลส์ โดยภายในเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดเกียร์และส่วนควบคุม โดยจะประกอบกันอยู่ภายในชุดเดียวกันการใช้งานเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะนำไปใช้ในที่ต้องการความแม่นยำในเรื่ององศา หรือ การหมุนไปตามองศาที่ต้องการ เช่น ใช้เป็นมอเตอร์บังคับการเลี้ยวของหางเสือ เรือ หรือ การเลี้ยวของเครื่องบินบังคับวิทยุ แม้แต่สร้างเป็นหุ่นยนต์เดินขนาดเล็ก เพราะตัวเซอร์โวมอเตอร์เองจะมีแรงบิดค่อนข้างสูง เพราะภายในจะมีชุดเกียร์อยู่แล้ว เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งข้อแตกต่างนี้จะเห็นได้ชัดเจนระหว่าง เซอร์โวมอเตอร์และสเต็ปเปอร์มอเตอร์

คุณสมบัติเด่นของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

- สามารถให้ค่าทอร์กที่สูง
- สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูง
- ใช้ควบคุมความเร็วได้เป็นอย่างดี
- มีขนาดให้เลือกหลากหลาย
- มีความเงียบ ไม่เสียงดัง

ข้อด้อยของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

- มีราคาแพง
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยระบบเปิด ต้องเป็นระบบปิดเท่านั้นทำให้ความซับซ้อนต่อการนำไปใช้งาน

หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ

- โหมดการควบคุมแรงบิด(Torque Control Mode)
- โหมดการควบคุมอัตราเร่ง(Velocity Control Mode)
- โหมดการควบคุมตำแหน่ง(Position Control Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง

2.3.3.1 แรงบิด (Torque)

วัตถุประสงค์พื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้า คือการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าให้เกิดการเคลื่อนไหวในช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ เพื่อผลิตแรงบิดที่เป็นประโยชน์ แรงบิดคือ แรงบิดตัวของแกนหมุนใดๆ มีหน่วยวัดได้หลายแบบ

แต่ที่นิยมก็มี 3 แบบ คือ

- ฟุต-ปอนด์ : โดยตัวเลขที่บอกจะเป็นความยาวของรัศมีการหมุน ที่มีแรงผลัก 1 ปอนด์ นิยมใช้ในอังกฤษ
- นิวตัน-เมตร : โดยตัวเลขที่บอกจะเป็นแรงผลักในหน่วย นิวตัน ที่รัศมีการหมุน 1 เมตร นิยมใช้ในสหรัฐ
- กิโลกรัม-เมตร : โดยตัวเลขที่บอกจะเป็นแรงผลักในหน่วย กิโลกรัม ที่รัศมีการหมุน 1 เมตร

โดยแรงบิดสามารถหาได้จากผลคูณของแรงกับระยะทางมีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

$$T = F \times R$$

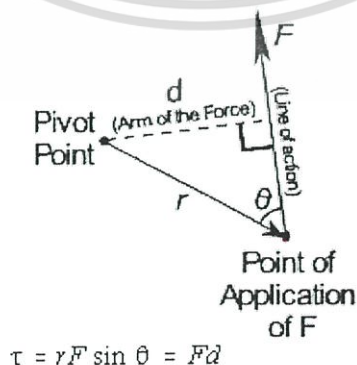
จากการพิจารณาสมการ ทอร์กหรือแรงบิดเป็นแรงที่ออกแรงเชิงมุมนั่นเอง โดยแรงที่กระทำเชิงมุมนั้นสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ท้องศาใดๆที่แรงได้กระทำดังนี้

$$\text{Torque} = F \times R \times \sin \alpha$$

F คือแรงในทิศทางตรง

R คือรัศมีของวัตถุที่กำลังหมุน

α คือมุมที่แรง F กระทำกับ R



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น ซึ่งเป็นสมการทอร์กของวัตถุที่อยู่ในสภาวะหมุน ในมอเตอร์กระแสตรงนั้น เราจะสามารถสรุปสมการที่ใช้สำหรับหาทอร์กได้ดังนี้

$$\text{Torque} = k \times \phi \times I$$

โดยที่ I คือกระแสอามาเจอร์

และ ϕ คือ ฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กในตัวมอเตอร์

และ k คือค่าคงที่ ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงหรือเครื่องจักรแต่ละตัวจะมีค่าคงตัวของมันอยู่แล้ว ดังนั้นเราจึงสามารถกล่าวได้ว่า ทอร์กของมอเตอร์กระแสตรง แปรผันกับกระแสอามาเจอร์และฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กในตัวมอเตอร์เท่านั้น

2.3.3.2 ความเร็วรอบ (RPM)

ในการวัดความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนนั้น เราจะใช้การวัดเป็นหน่วยรอบต่อนาที (RPM ย่อมาจากคำว่า Revolutions per minute) ความเร็วรอบมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับทอร์ก กล่าวคือ เมื่อความเร็วรอบมากขึ้น ค่าทอร์กจะลดลง โดยอัตราความเร็วรอบต่อนาทีถือเป็นค่าความถี่แบบหนึ่ง

2.3.3.3 กำลังของมอเตอร์ (Power)

ในการเลือกมอเตอร์กระแสตรงมาใช้งานนั้น โดยส่วนมากเราจะพิจารณาที่กำลังของตัวมอเตอร์ โดยกำลังของมอเตอร์ สามารถหาได้จาก ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของผู้จัดจำหน่าย โดยหน่วยของกำลังมีอยู่มากมายหลายหน่วย แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่สองหน่วย คือ วัตต์ (Watts) และ แรงม้า (Horse Power (HP)) โดยทั้งสองหน่วยมีความสัมพันธ์ต่อกันดังนี้

$$746 \text{ Watts} = 1 \text{ HP}$$

การคำนวณหา กำลังของมอเตอร์ สามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Power} = \text{Torque} \times \text{rpm (Watt)}$$

เช่นเดียวกัน หากเราต้องการที่จะเปลี่ยนหน่วยของกำลังให้เป็นแรงม้า เราสามารถจะเปลี่ยนได้ดังนี้

$$\text{Power} = 746 \times \text{Torque} \times \text{rpm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามอเตอร์กระแสตรงขนาดค่ากำลังหนึ่ง หากค่าทอร์กเพิ่มขึ้น ค่าความเร็วรอบก็จะลดลงเช่นกัน ตามสมการด้านบนนั่นเอง

2.3.3.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากปริมาณของพลังงานที่จ่ายเข้าไป และปริมาณของพลังงานที่ได้รับออกมาจากตัวมอเตอร์ ไฟฟ้า เราจะสามารถเขียนสมการแสดงวิธีหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\eta = \text{Power Output} / \text{Power Input}$$

โดยทั่วไป มอเตอร์มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ดังนั้นตามกฎอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์จะกลายเป็นพลังงานกลทั้งหมด แต่ในความเป็นจริง พลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานเสียง ทำให้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ การสูญเสียในมอเตอร์ส่วนใหญ่เนื่องจากการสูญเสียในความต้านทานของขดลวด การสูญเสียในแกน และการสูญเสียทางกลในแบร์ริง และการสูญเสียทางอากาศพลศาสตร์ถ้าใช้พัดลมระบายความร้อน เพราะฉะนั้นค่าของ η (ประสิทธิภาพ) จะมีค่า < 1 ส่วน Power Output สามารถคำนวณได้จากสมการด้านบน และ Power Input โดยปกติแล้วจะเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.3.3.5 แรงแม่เหล็กไฟฟ้าย้อนกลับ (EMF)

ขณะที่ขดลวดเมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงกำลังเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นบนขดลวดนั้น แรงดันไฟฟ้านี้มีแนวโน้มที่จะต่อต้านกับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ ดังนั้นจึงเรียกว่า "แรงแม่เหล็กไฟฟ้าย้อนกลับ" (EMF) แรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับ ความเร็วในการทำงานของมอเตอร์ บวกกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายในของขดลวดและแปรง จะต้องเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แปรง สิ่งนี้คือกลไกพื้นฐานของการควบคุมความเร็วในมอเตอร์กระแสตรง ถ้าโหลดเพิ่ม มอเตอร์จะช้าลง นั่นเป็นผลให้ back EMF ลดลง และกระแสจะถูกดึงจากแหล่งจ่ายมากขึ้น กระแสที่เพิ่มขึ้นนี้จะเพิ่มแรงบิดเพื่อให้สมดุลกับโหลดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

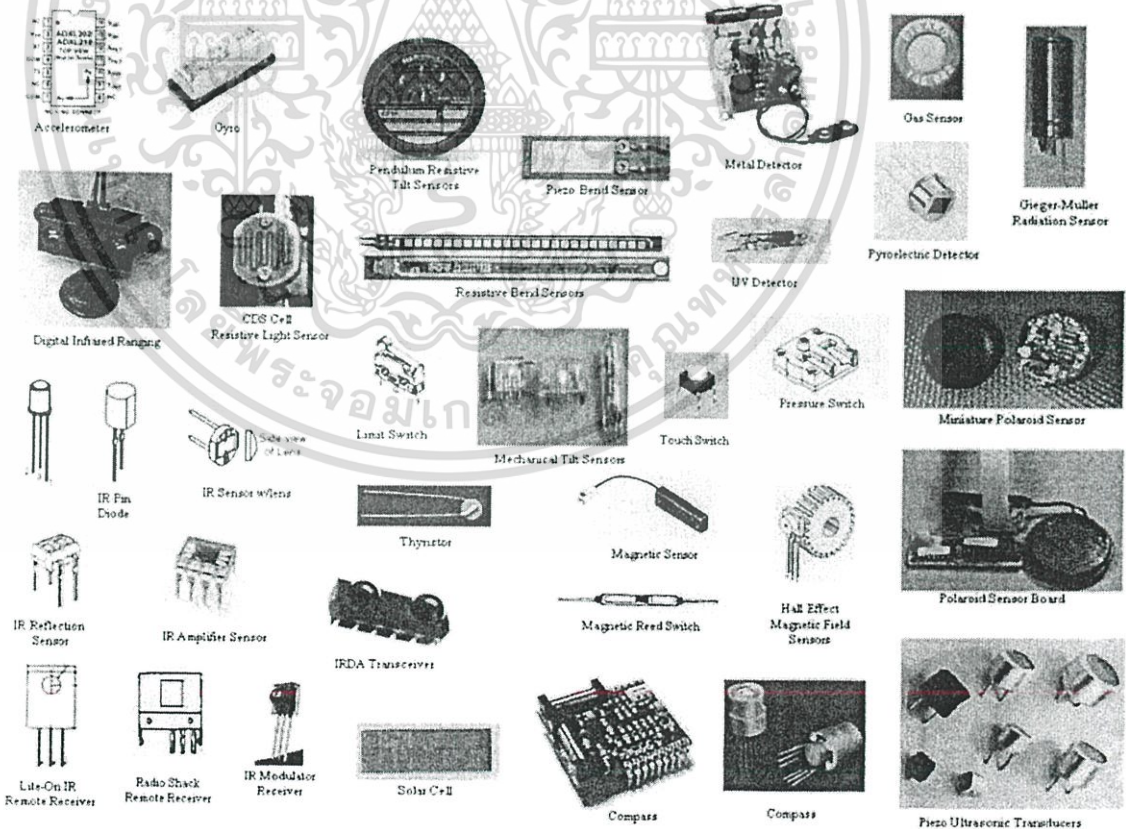
2.4 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์คือ อุปกรณ์ตัวแปลงที่วัดปริมาณทางกายภาพ แล้วแปลงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เซ็นเซอร์ถูกใช้ในอุปกรณ์ประจำวัน เช่น ปุ่มกดลิฟท์ที่ไวต่อการสัมผัส(เซ็นเซอร์สัมผัส) และโคมไฟที่สลัวหรือสว่างขึ้นโดยการสัมผัสที่ฐานโทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานเซ็นเซอร์ที่นับไม่ถ้วนที่คนส่วนใหญ่ไม่ได้รับรู้ การใช้งานรวมถึงรถยนต์, เครื่องไฟฟ้า, การบินและอวกาศ, การแพทย์, การผลิต และหุ่นยนต์

เซ็นเซอร์ที่ติดจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีความไวต่อคุณสมบัติที่จะวัดเท่านั้น
- มีความไวต่อคุณสมบัติอื่นใดที่อาจจะเกิดขึ้นในการประยุกต์ใช้ของมัน
- ไม่ได้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติที่ถูกวัด

ในปัจจุบันมีเซ็นเซอร์มากมายหลายชนิด ที่เราสามารถนำไปใช้งานได้ ยกตัวอย่างเช่น เซ็นเซอร์วัดแสง เซ็นเซอร์ตรวจจับ Infrared เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ เซ็นเซอร์วัดกระแส เซ็นเซอร์วัดแรง เซ็นเซอร์วัดปริมาณการไหลของน้ำและอากาศ วัดปริมาณฝุ่น หรือแม้กระทั่งกลิ่น ในปัจจุบัน ก็มีเซ็นเซอร์ที่สามารถใช้วัดได้แล้ว



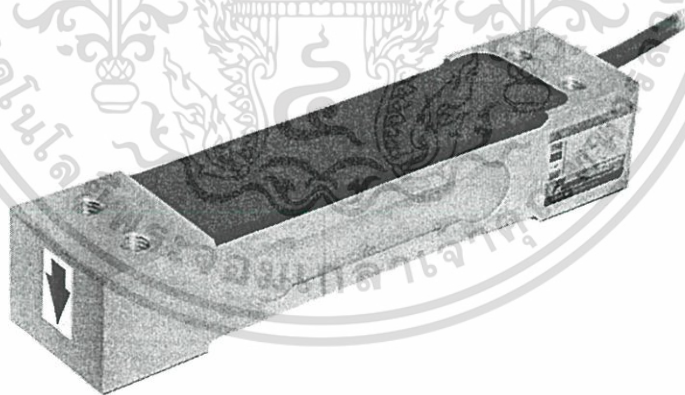
รูปที่ 2.26 รุปรวมเซ็นเซอร์แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 เซ็นเซอร์น้ำหนัก (Load Cell)

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดน้ำหนักที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมคือโหลดเซลล์ (Load Cell) แบบสเตรนเกจ (Strain Gage) อย่างไรก็ตามก่อนที่จะโหลดเซลล์จะเป็นที่นิยม เราใช้ตาชั่งแบบคานเป็นเครื่องมือวัดน้ำหนักในงานอุตสาหกรรม โดยใช้ชั่งวัดตั้งแต่ยาเม็ดเล็ก ๆ จนกระทั่งในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ ตาชั่งแบบคานเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ หากได้รับการสอบเทียบและบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการใช้ระบบชั่งวัดที่มีความทันสมัยมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

แม้ในยุคเริ่มต้นการใช้ Strain gages มีความยุ่งยาก แต่ต่อมาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ Strain gages กลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่ายขึ้นในขณะที่มีราคาถูกลง ปัจจุบันนี้แม้ในระดับห้องปฏิบัติการที่ต้องการวัดด้วยความแม่นยำสูง ยังคงมีความจำเป็นต้องใช้ตาชั่งแบบคานในการชั่งวัดอยู่ แต่ในงานอุตสาหกรรม ได้มีการใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจอย่างแพร่หลาย โหลดเซลล์แบบนิวแมติกมักจะใช้ในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยและความสะอาดของสภาพการทำงาน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้โหลดเซลล์แบบ สเตรนเกจเป็นเครื่องมือวัดที่สามารถพบได้ในโรงงานอุตสาหกรรมทุกแห่ง



รูปที่ 2.27 Load Cell แบบ Strain Gages

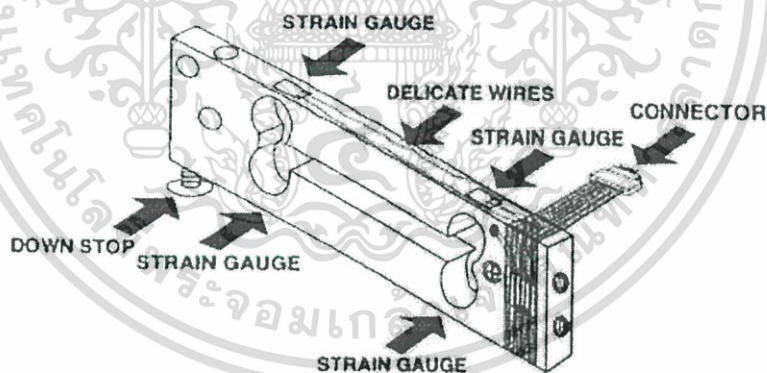
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าโหลดเซลล์ชนิดสแตนเกจจะเป็นชนิดที่มักจะถูกใช้งานก็ตาม แต่ก็มีโหลดเซลล์อื่นเช่นกัน ในการประยุกต์ใช้งานเชิงอุตสาหกรรม ไฮดรอลิก (หรือ ไฮดรอสแตติก) นับได้ว่าได้รับความนิยมเป็นอันดับที่สอง และถูกใช้ประโยชน์เพื่อแก้ปัญหาที่มาจากโหลดเซลล์ชนิดสแตนเกจ ตัวอย่างเช่น ไฮดรอลิกโหลดเซลล์ สามารถทนทานต่อความต่างศักย์อัมปลัน (ฟ้าผ่า) ได้ จึงนับว่ามีประสิทธิภาพใช้งานในสภาวะนอกตัวอาคารได้ดีกว่า สำหรับโหลดเซลล์อื่นนั้นมีโหลดเซลล์เปียโซ-อิเล็กทริก (เหมาะกับการวัดแรงเชิงพลวัตน์) และโหลดเซลล์สายเส้นสะเทือน

2.4.2 ชนิดของโหลดเซลล์

2.4.2.1 โหลดเซลล์ชนิด Strain Gauge

หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด(Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติแล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว (วงจร Wheatstone Bridge Circuit) ในการวัดโดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่ง สัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า



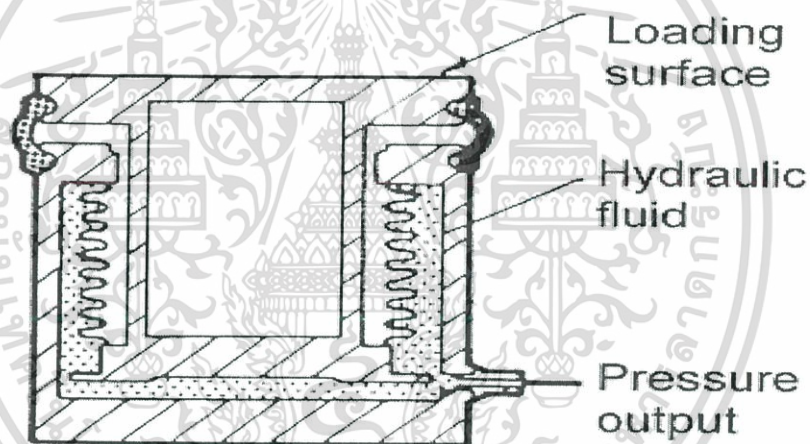
รูปที่ 2.28 โหลดเซลล์แบบ Strain Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 โหลดเซลล์ชนิด Hydraulic

โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก (Hydraulic Load Cell) ลักษณะของการทำงานก็คือจะวัดน้ำหนักจากการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวภายในระบบเมื่อมีแรงกระทำที่แท่นรับน้ำหนักในโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก ที่มีแผ่นไดอะแฟรม โดยแรงจะถูกส่งผ่านลูกสูบเป็นผลให้ของเหลวภายในช่องแผ่นไดอะแฟรมถูกกดอัด ซึ่งการวัดแรงที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากความดันของของเหลวความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับแรงดันของของเหลวนี้ มีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นและไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของของเหลวในกระบอกสูบโดยปกติโหลดเซลล์แบบนี้จะความแม่นยำ(Accuracy) ในการวัดอยู่ที่ประมาณ 0.3 % ที่ Full Scale ซึ่ง ระดับความแม่นยำนี้ก็เป็นที่ยอมรับได้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ข้อดีของโหลดเซลล์แบบนี้คือ สามารถที่จะใช้ในพื้นที่ที่อันตราย(Hazardous Area) เช่น พวกโรงงานที่มีวัตถุไวไฟต่างๆ เนื่องจาก Load cell แบบนี้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการวัด สำหรับข้อเสียคือสามารถรับแรงสูงสุดได้ไม่เกิน 1000 psig เท่านั้น จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องวัดแรงดันสูง



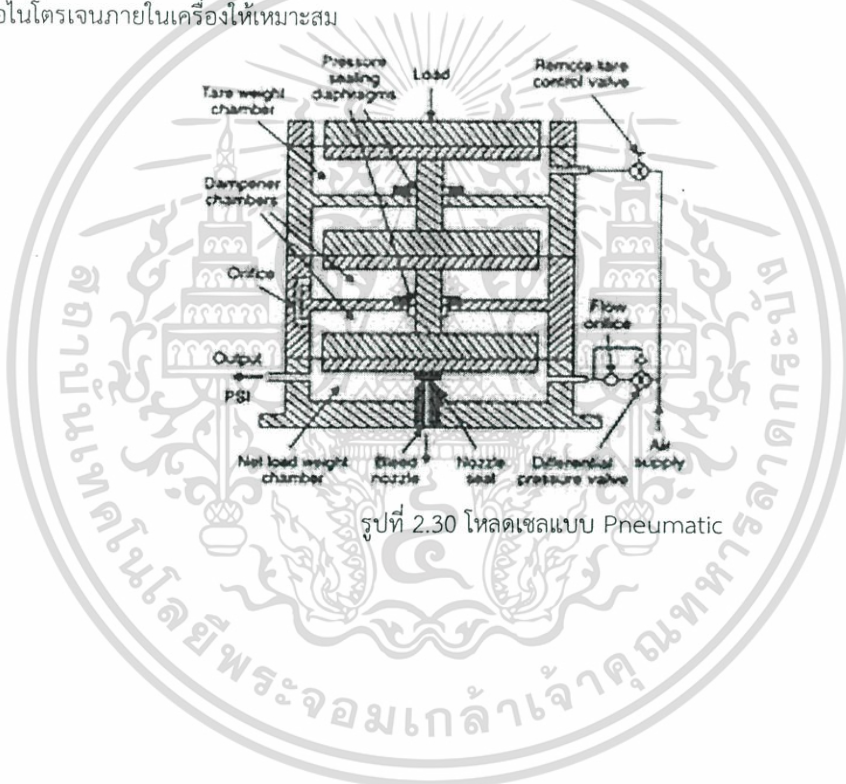
รูปที่ 2.29 โหลดเซลล์แบบ Hydraulic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 โหลดเซลล์แบบ Pneumatic

ใช้หลักการสมดุลแรงเช่นเดียวกับแบบไฮดรอลิก แต่ต่างกันว่า โหลดเซลล์แบบนี้จะมีความแม่นยำกว่าแบบไฮดรอลิก เพราะว่ามีการใช้ช่องว่างหลายช่อง ในการหน่วงความดันของของเหลวเพื่อลดแรงสั่นสะเทือน โหลดเซลล์แบบนี้ มักจะใช้วัดสิ่งของที่มีน้ำหนักไม่มากนักในงาน อุตสาหกรรมที่ต้องการความสะอาดและความปลอดภัยสูง

สำหรับจุดเด่นของโหลดเซลล์แบบนี้ คือ สามารถทนแรงกระแทกได้สูงและไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นอกจากนี้ ในระบบนิวเมติก จะไม่ใช้ของเหลวในเครื่องมือวัด เหมือนกับระบบไฮดรอลิก ทำให้ไม่มีของเหลวมาปนเปื้อนโดนสิ่งที่ต้องการจะวัดในกรณีที่ไดอะแฟรมมีการแตกรั่วสำหรับข้อเสีย ของ Load cell แบบนี้ก็คือ ความเร็วในการตอบสนองต่ำและต้องใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่สะอาดปลอดภัยความชื้น อีกทั้งยังจะต้องมีการควบคุมอากาศหรือไนโตรเจนภายในเครื่องให้เหมาะสม

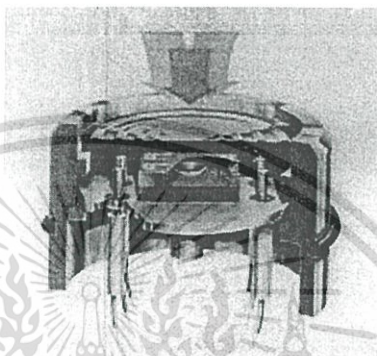


รูปที่ 2.30 โหลดเซลล์แบบ Pneumatic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 โหลดเซลล์แบบ ไพโซรีซิสทีฟ

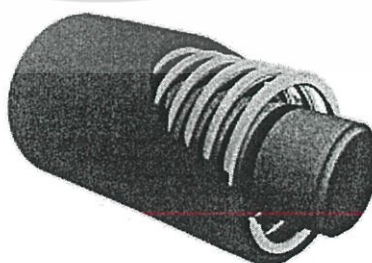
การทำงานเหมือนกับเกจวัดความเครียด แต่ไพโซรีซิสทีฟ สามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ในระดับสูงจึงเหมาะสำหรับ เครื่องชั่งน้ำหนักที่ไม่ซับซ้อนในการวัดเนื่องจากสามารถต่อเข้าโดยตรงกับส่วนแสดงผล อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดลักษณะนี้ได้รับความนิยมลดลงเรื่อย ๆ เพราะตัวขยายสัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้นมีราคาถูกลง นอกจากนี้ ไพโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive) ยังมีข้อเสียคือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกกับน้ำหนักที่ วัดมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 2.31 โหลดเซลล์แบบ ไพโซรีซิสทีฟ

2.4.2.5 โหลดเซลล์แบบ แมกเนโตสเตริกทีฟ

การทำงานของเซนเซอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในการแผ่สัญญาณแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายใต้แรงที่มากกระทำแรงทำให้เกิดการผิดรูปของสนามแม่เหล็กและจะให้เกิดสัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อแรงที่มากกระทำ ซึ่งจะใช้ หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กนั่นเอง โดยอุปกรณ์ลักษณะนี้จะตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็ก และวัดการเหนี่ยวนำของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป ในที่นี้การเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่วัดนั่นเองสำหรับโหลดเซลล์รูปแบบนี้มีความทนทานมากและยังคงมีใช้อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรีดโลหะ



รูปที่ 2.32 โหลดเซลล์แบบ แมกเนโตสเตริกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 หลักการทำงานของ Load Cell แบบ Strain Gages

สเตรนเกจ (Strain Gauge) คือเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดึงเครียด(Strain) ของวัตถุ คิดค้นโดย เอ็ดเวิร์ด อี. ซิมมอนส์ และ อาร์เทอร์ ซี. รุก ในปี ค.ศ. 1938 ส่วนใหญ่สเตรนเกจ จะทำจากเส้นลวดโลหะขนาดเล็กขดเป็นรูปร่างต่างๆ อยู่บนแผ่นฉนวนหลักการของสเตรนเกจ คือ เมื่อสเตรนเกจถูกแรงกระทำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป(ยืด หด บิด งอ) ทำให้ความต้านทานของวัตถุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำตามสมการ

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A}$$

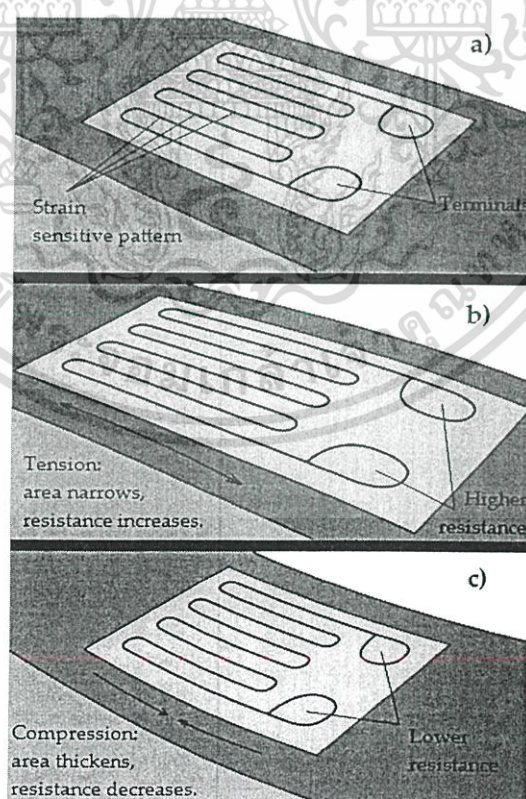
โดย

l คือ ความยาวของตัวนำ มีหน่วยเป็นเมตร(m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร(m.m)

ρ (Greek: rho) คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของสสาร มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร($\Omega.m$)

การนำ Strain Gauge ไปใช้จะใช้การต่อวงจร Wheatstone Bridge เพื่อที่จะใช้หาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามหลักการของวงจร Wheatstone Bridge

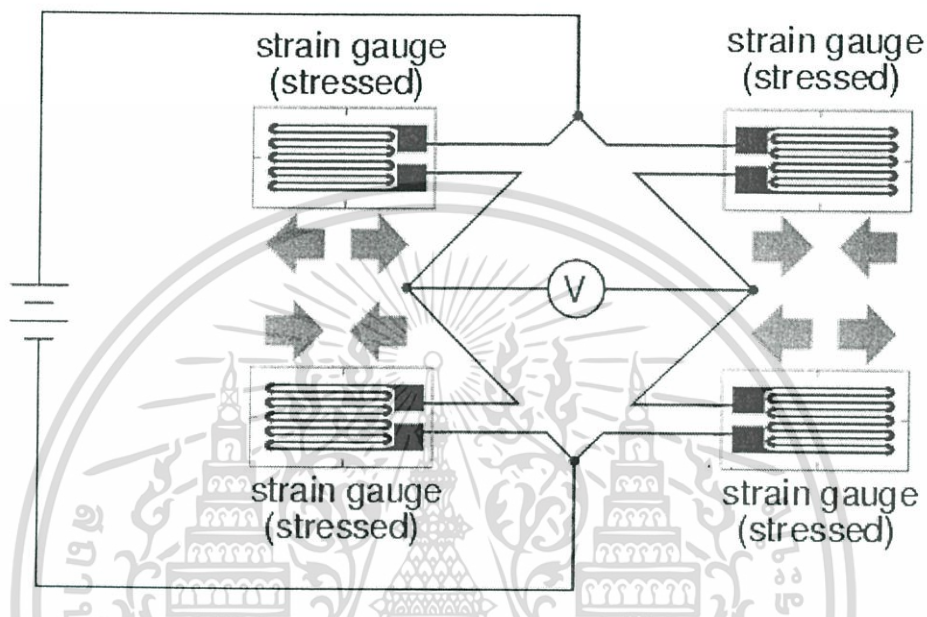


รูปที่ 2.33 Strain Gages ในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำ Strain Gages 4 ตัวมาต่อให้ลักษณะ Wheatstone bridge จะทำให้เราสามารถ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากความต้านทานที่เปลี่ยนไป

Full-bridge strain gauge circuit



รูปที่ 2.34 โครงสร้างภายใน Load Cell ประกอบด้วย Strain Gauge 4 ตัว

โดยเราจะนำแรงดันที่เกิดจากความแตกต่างของความต้านทานไปใช้งาน โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น mV/V หมายความว่า ยกตัวอย่าง ถ้าจ่ายแรงดัน 10 V ให้กับ Load cell ที่มี Spec. 2 mV/V ที่ Full load 2,000 กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อมีแรงกระทำต่อ Load cell ที่น้ำหนัก Full load สัญญาณที่จะได้ก็จะได้เท่ากับ 20 mV

ดังนั้นจาก Load Cell ตัวอย่างที่ยกมา เราจึงสรุปได้ว่า

$$0 \text{ Kg} = 0 \text{ mV}$$

$$1000 \text{ Kg} = 10 \text{ mV}$$

$$2000 \text{ Kg} = 20 \text{ mV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ปัญหาจากการใช้ Load Cell

2.4.4.1 การเสียหายของ Load Cell

คือการที่ Load cell ไม่สามารถวัดค่าได้ หรือวัดค่าไม่ได้ไม่ตรงโดยสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกมาสูงเกินไป Overload หรือสัญญาณเอาต์พุตที่จ่ายออกมาไม่นิ่ง

2.4.4.2 อาการผิดปกติของ Load Cell

- **Overload** การที่สัญญาณเอาต์พุตที่จ่ายออกจาก Load cell มีค่ามากเกินไปกว่า Rang output ของ Load cell ที่มีเอาต์พุต 2mV/V ใช้ Excitation 10VDC จะต้องมีการเอาต์พุตไม่เกิน 20 mV ซึ่งอาการนี้จะทำให้ Controller ที่รับสัญญาณ จาก Load cell ไม่สามารถอ่านค่าได้ หรือ หน้าจอแสดง OL
- **Drifting Output** สัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกมาจาก Load cell ไม่นิ่งในขณะที่มีน้ำหนัก หรือไม่มีน้ำหนักกดอยู่ก็ตาม(ไม่มีแรงสั่นสะเทือน) ซึ่งอาการนี้จะทำให้ Controller อ่านค่าไม่ตรงตัวเลขวิ่งไปวิ่งมา
- **Non-repeatability problem** คือ หลังจากที่เอาน้ำหนักออกแล้วน้ำหนักที่หน้าจอ Controller ไม่กลับไปศูนย์สัญญาณไม่กลับไปเดิม ซึ่งอาการนี้จะทำให้ค่าน้ำหนักที่ชั่งหรือแรงที่กดในแต่ละครั้งไม่มีความแม่นยำ
- **Negative voltage output** คือ การที่สัญญาณเอาต์พุตที่จ่ายออกมาจาก Load cell มีค่าเป็นลบ ซึ่งอาการนี้จะทำให้ Controller อ่านค่าน้ำหนักเป็นลบ หรือ Controller บางยี่ห้อที่รับสัญญาณอินพุตเป็นบวกเท่านั้นจะไม่สามารถอ่านค่าน้ำหนักได้หรือหน้าจออาจจะแสดง Error
- **No output** คือ การที่ไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมาจากตัว Load cell ซึ่งอาการนี้จะทำให้ Controller ไม่สามารถอ่านค่าน้ำหนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.3 สาเหตุที่ทำให้ Load Cell เสีย

- Over Weighing (Overload) การใช้น้ำหนัก หรือแรงกด เกินพิกัดของ Load cell
- Humidity, Noise (Drifting output) การที่มีความชื้นในสาย Load cell หรือ Summing box การที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในสาย Load cell เกิดจากการเดินสาย Load cell ใกล้สาย Power
- Mechanical error (Non-repeatability problem) การติดตั้ง Load cell ไม่สมดุล การที่มีโครงสร้างค้ำยัน หรือท่อที่มาต่อกับถัง แข็งเกินไปไม่สามารถให้ตัวได้
- Mistake installation or mistake wiring (Negative voltage output) การติดตั้ง Load cell ในทิศทางกลับกัน
- Electric welding and Lightning (No output) การเชื่อมโครงสร้างด้วยการเชื่อมไฟฟ้า โดยที่มี Load cell ติดตั้งอยู่ การเกิดฟ้าผ่า

2.4.4.4 การป้องกัน Load Cell ไม่ให้เสียหาย

- Design ออกแบบและเลือกขนาดพิกัดของ Load cell ให้ถูกต้อง และเหมาะสม ถ้าเลือกพิกัดน้อยเกินไป โอกาสที่น้ำหนักจะเกินและสร้างความเสียหายแก่ Load cell มีสูง แต่ถ้าเลือกพิกัดมากเกินไป ก็จะทำให้ความละเอียดน้อยลง ค่าน้ำหนักมีโอกาสผิดพลาดมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบ ติดตั้ง Load cell จึงควรปรึกษาผู้ขายที่มีความรู้เกี่ยวกับ Load cell เพื่อที่จะได้เลือกใช้งาน Load cell ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
- Electrical installation การติดตั้งอุปกรณ์ Summing box ควรติดตั้งในที่ๆ ไม่มีฝนสาดหรือเลือกอุปกรณ์ที่มีการ Seal อย่างดี สามารถกันน้ำได้ดี ควรหลีกเลี่ยงการเดินสายสัญญาณ Load cell ใกล้กับสาย Power เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่มาจากสาย Power
- Mechanical installation การติดตั้ง Load cell จะต้องสมดุลกันทุกจุด กรณีที่มีการต่อท่อเข้ากับตัวถังจะต้องเป็นท่ออ่อนที่สามารถให้ตัวได้เพื่อให้ถังเป็นอิสระ ไม่มีอะไรมาค้ำยัน
- Load cell installation and wiring การติดตั้ง Load cell ควรติดตั้งให้ถูกทิศทางซึ่งจะลูกศรบอกทิศทางที่ตัว Load cell หรือคู่มือ การต่อสาย Load cell เข้ากับ Controller จะต้องต่อให้ถูกขั้วตาม code สี ของแต่ละยี่ห้อ
- Shield and Lightning arrester ควรติดตั้งสาย Shield ระหว่าง Mounting บนและล่างของ Load cell เพื่อเป็นการ Bypass กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมเพื่อป้องกัน Load cell ไม่ให้เกิดความเสียหาย

จากที่ได้กล่าวมานี้ทำให้ ได้ทราบถึงสาเหตุการเสียของ Load cell ว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุใดได้บ้าง และทราบถึงวิธีการป้องกันว่าจะต้องทำอะไร เพื่อให้เราสามารถใช้งาน Load cell ได้ยาวนานที่สุดและไม่มีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการออกแบบชิ้นงานการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งประกอบด้วยสี่ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

- 1). ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2). วงจรขับมอเตอร์
- 3). ตัวมอเตอร์กระแสตรง
- 4). เซ็นเซอร์วัดแรง หรือ โทลด์เซลล์

3.1 คุณสมบัติของวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

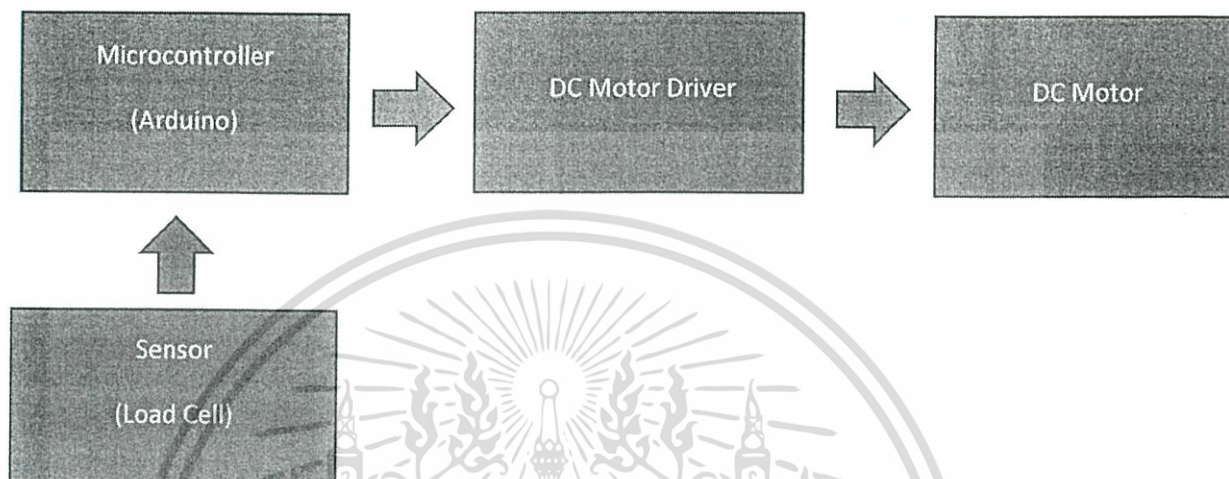
1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ในการควบคุมการทำงาน
2. เขียนโค้ดคำสั่งของโปรแกรมเพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ตามสถานะของเซ็นเซอร์ต่างๆ
3. เขียนโปรแกรมแสดงผลความเร็วรอบผ่านทางจอ LCD
4. สร้างวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง
5. เลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบ่งออกเป็นสี่ส่วนหลักๆการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนดัง

รูป



รูปที่ 3.1 Block Diagram

3.2.1 Micro Controller (Arduino)

ในส่วนแรกของวงจร เป็นส่วนควบคุมการทำงานทั้งหมด ในการเลือกใช้งาน Arduino นั้นดูจากความ ต้องการในการใช้งานคุณสมบัติ จึงจำเป็นต้องศึกษา Spec ของ Arduino แต่ละรุ่นจากเว็บไซต์ของผู้ผลิต และจาก คู่มือการใช้งาน(Datasheet) ของ Arduino รุ่นนั้นเพื่อประกอบการตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขของทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง จำกัดให้คุ้มค่าที่สุด โดยหลักการในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่นใดมีดังนี้

- ต้องการใช้พอร์ตอินพุต – เอาท์พุตทั้งหมดกี่พอร์ต
- ระดับแรงดันของการทำงานมีสองระดับคือ 3.3V และ 5V
- ขนาดของตัวบอร์ด Arduino
- ความเร็วของ Clock และ Flash Memory ซึ่งจะส่งผลให้การประมวลผลโปรแกรมช้าหรือเร็ว
- ฟังก์ชันการทำงานของบอร์ด เช่น PWM (Pulse Width Modulator) การต่อกับ Ethernet การใช้งาน ร่วมกับ SD Card

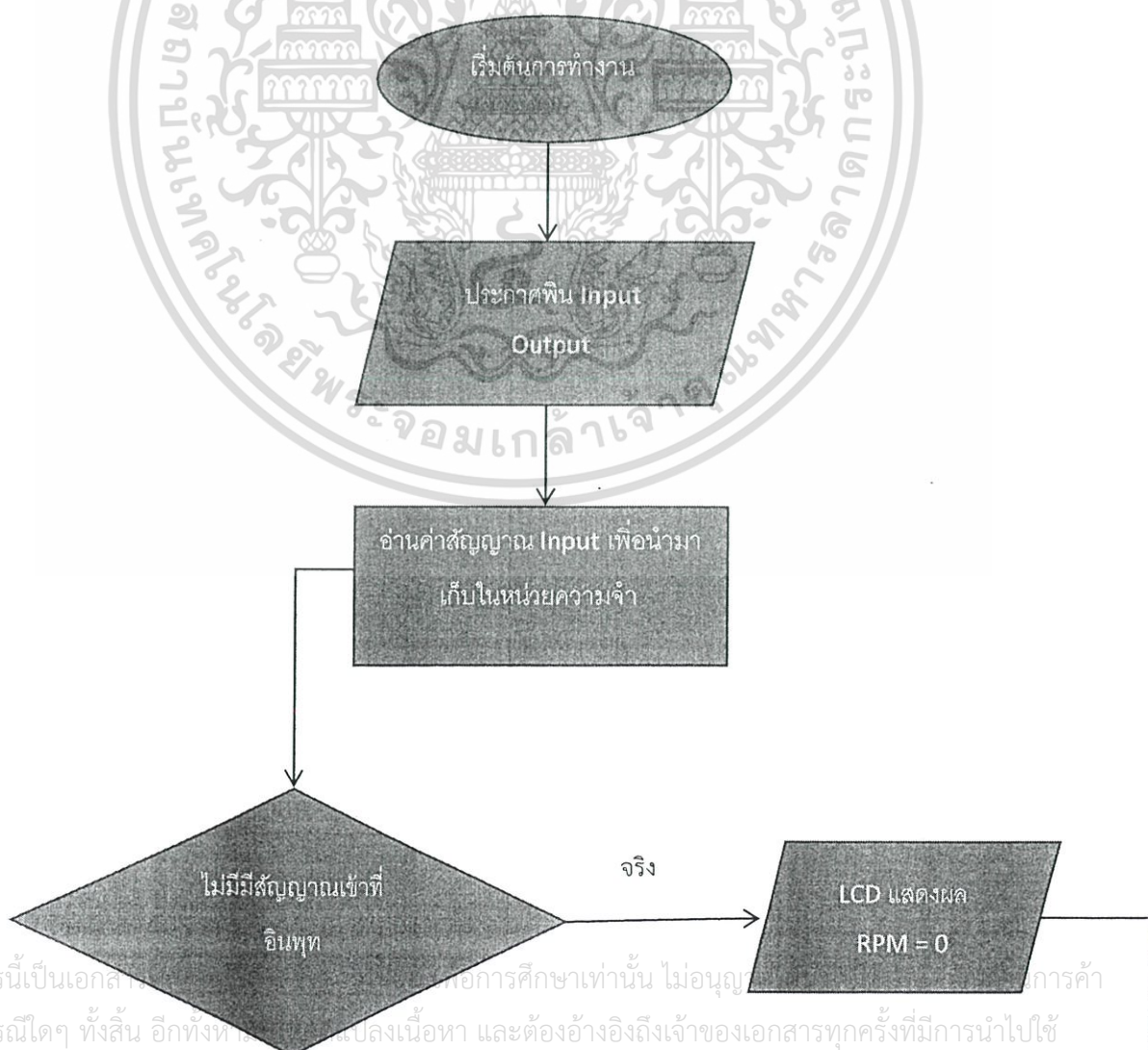
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้เราได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Arduino UnoR3 ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

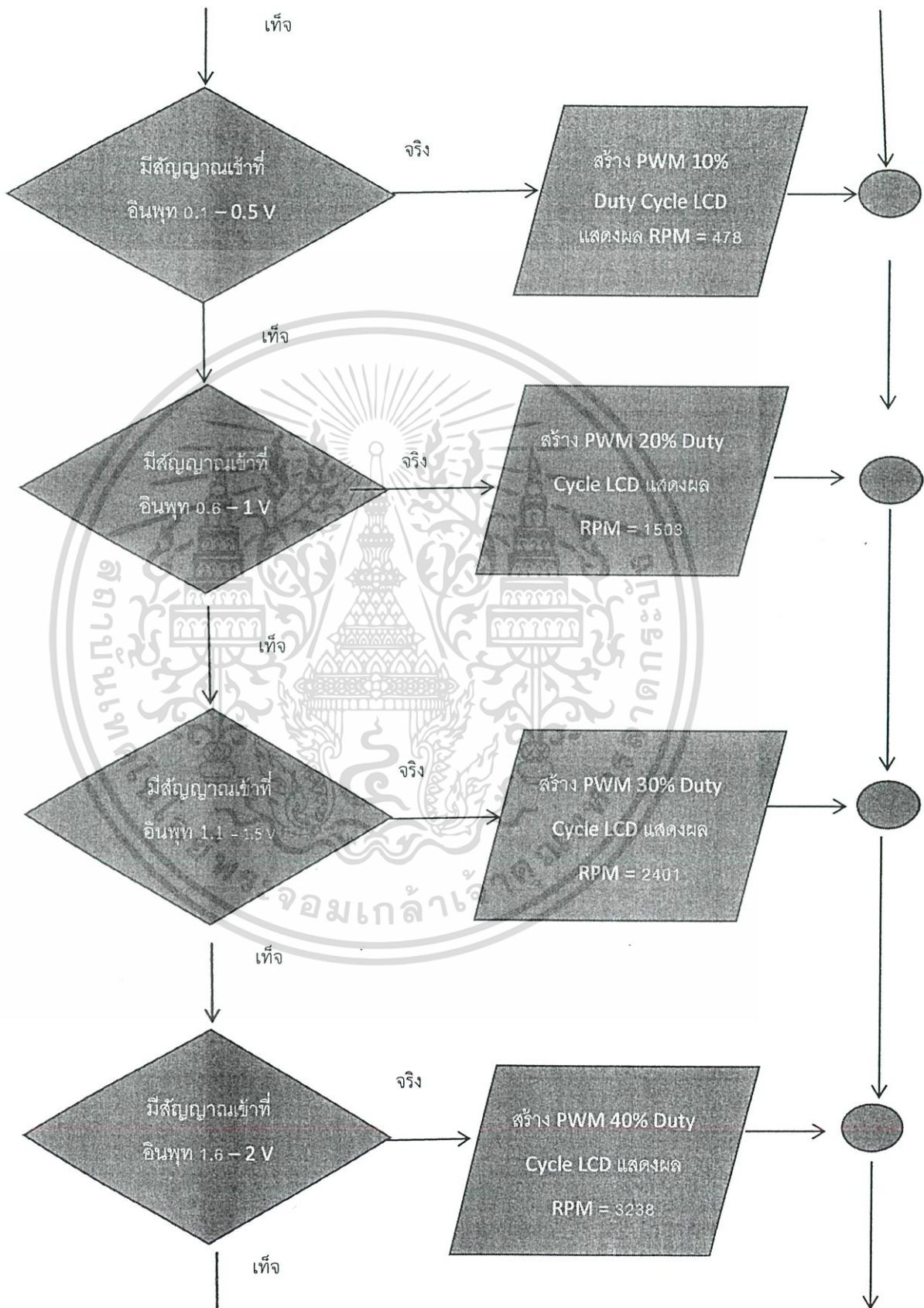
- พอร์ตอินพุต เอาท์พุต เพียงพอต่อการใช้งาน (14 พอร์ต)
- มีหน่วยความจำขนาดเพียงพอกับการป้อนโค้ดคำสั่งการทำงาน (32kb Flash Memory , 2kb Ram , 1kb Rom)
- เนื่องด้วยเป็นบอร์ดพื้นฐานจึงสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้อย่างรวดเร็ว
- มีฟังก์ชัน PWM (Pulse Width Modulator) ถึง 6 พอร์ต ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน
- มีโมดูล ADC (Analog to Digital Converter) อยู่ภายใน ทำให้สามารถรับค่าสัญญาณอนาล็อกได้

ในการเขียนโปรแกรมนั้น ผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งทาง Arduino ได้สร้างซอฟต์แวร์ตัวนี้ขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งภายในโปรแกรมจะมี Library พื้นฐานอยู่แล้ว ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ไปใช้งานอย่างไร

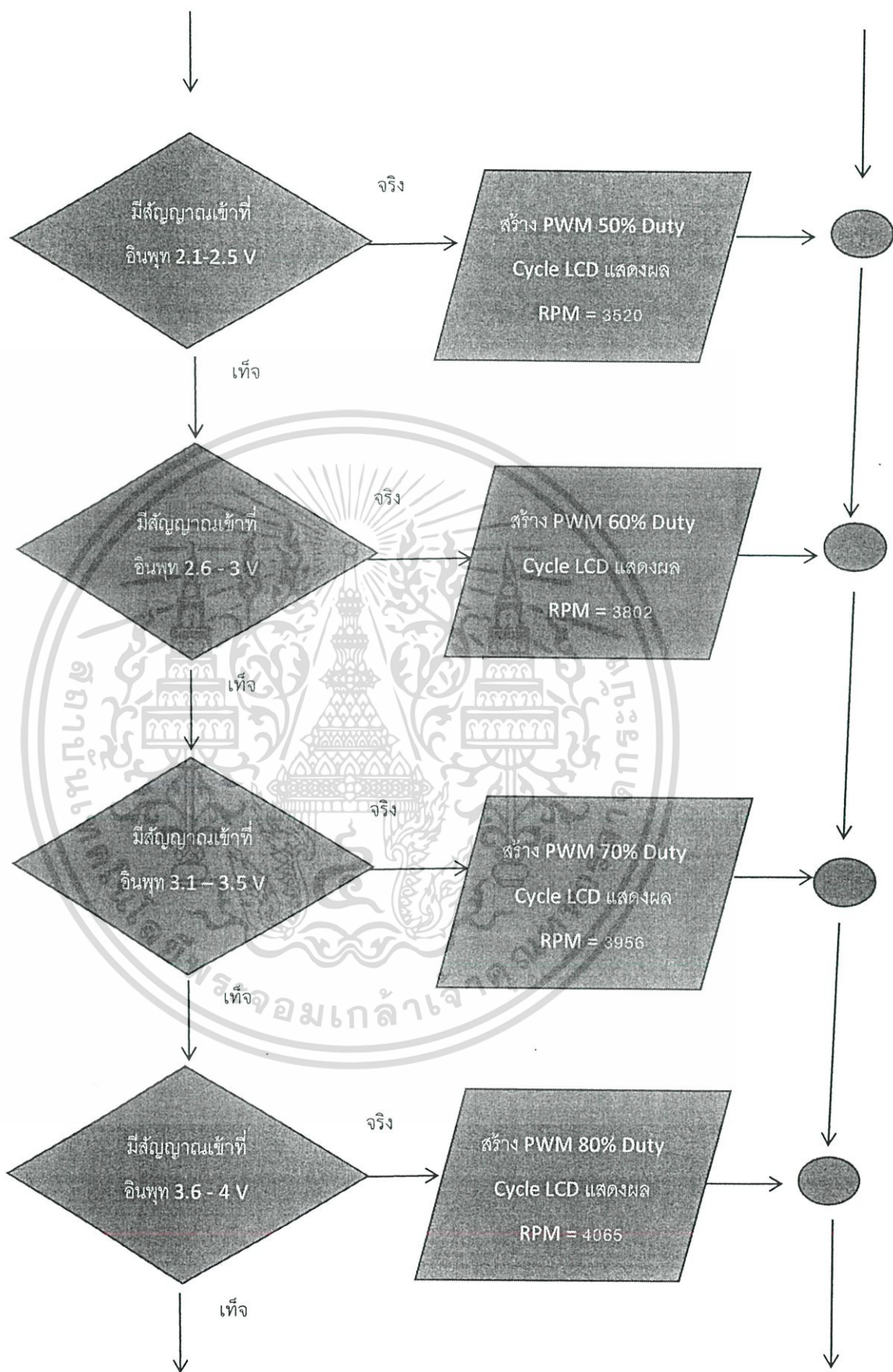
รายละเอียดของโปรแกรมนั้นมีดังต่อไปนี้



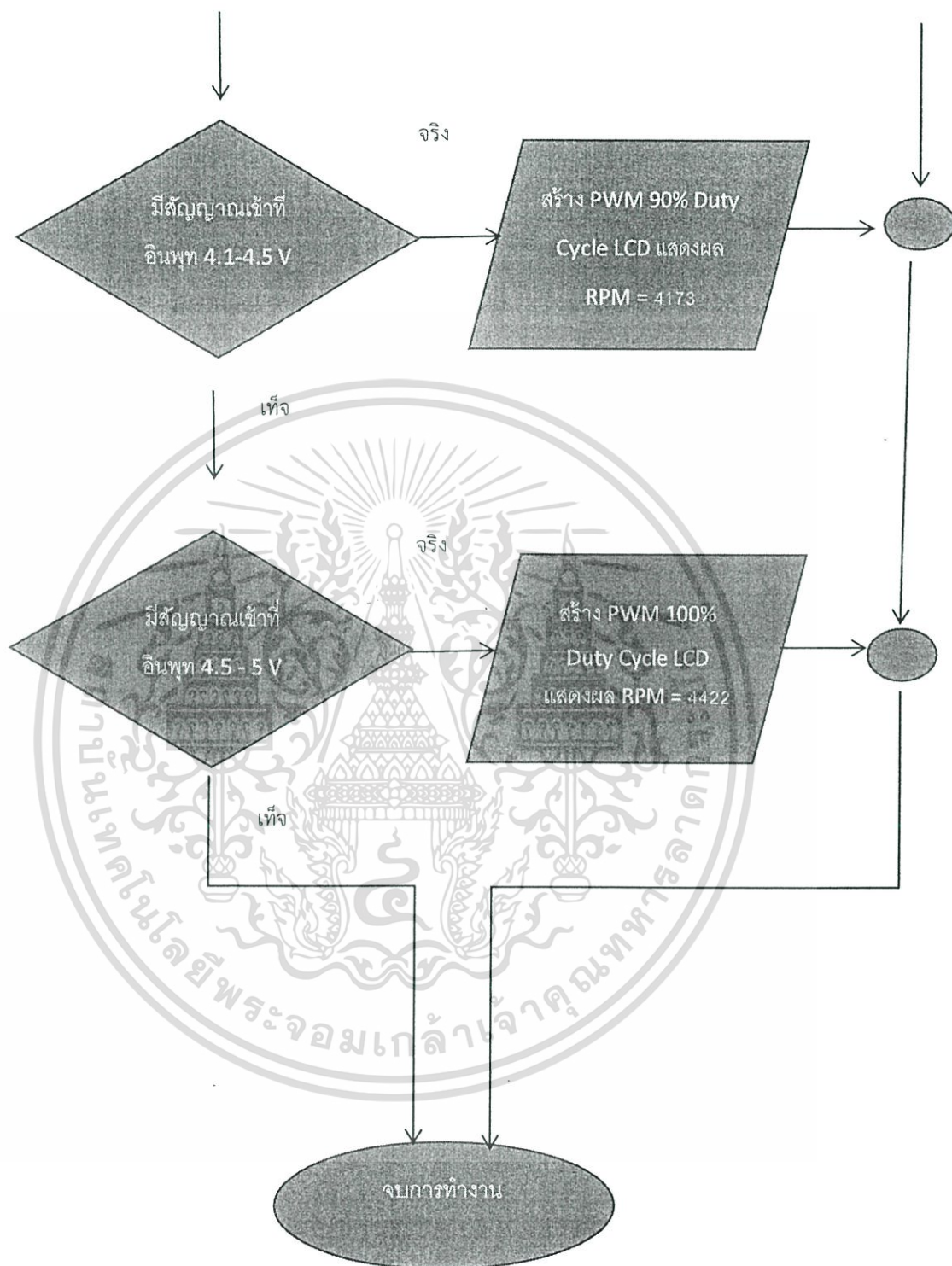
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำ Flowchart ด้านบนมาเขียนโปรแกรม ตามภาษาของ Arduino IDE จะสามารถเขียนออกมาได้ดังต่อไปนี้

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int outputPin = 11;

int LogicPin = 8;

int sensorPin = A0;

int val;

void setup()
{
  pinMode(outputPin,OUTPUT);
}

void loop()
{
  val = analogRead(sensorPin);

  if (val == 0)
  {
    lcd.begin();

    lcd.print("Stage 0");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 0");

}

if (val > 0 && val < 99)

{

analogWrite(outputPin,26);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 1");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 478");

}

if (val > 100 && val < 199)

{

analogWrite(outputPin,51);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 2");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 1503");

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (val > 200 && val < 299 )

{

analogWrite(outputPin,77);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 3");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 2401");
}

if (val > 300 && val < 399 )

{

analogWrite(outputPin,102);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 4");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 3238");

}

if (val > 400 && val < 499)

{

analogWrite(outputPin,128);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 5");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("RPM : 3520");

}

if (val > 500 && val < 599 )

{

analogWrite(outputPin,153);
digitalWrite(LogicPin,HIGH);
lcd.begin();

    lcd.print("Stage 6");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("RPM : 3802");

}

if (val > 600 && val < 699 )

{

analogWrite(outputPin,179);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 7");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 3956");

}

if (val > 700 && val < 799)

{

analogWrite(outputPin,204);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 8");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 4065");

}

if (val > 800 && val < 899)

{

analogWrite(outputPin,230);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

    lcd.print("Stage 9");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("RPM : 4173");

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (val > 900 && val < 999 )

{

analogWrite(outputPin,250);

digitalWrite(LogicPin,HIGH);

lcd.begin();

lcd.print("Stage 10");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("RPM : 4422");

}

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

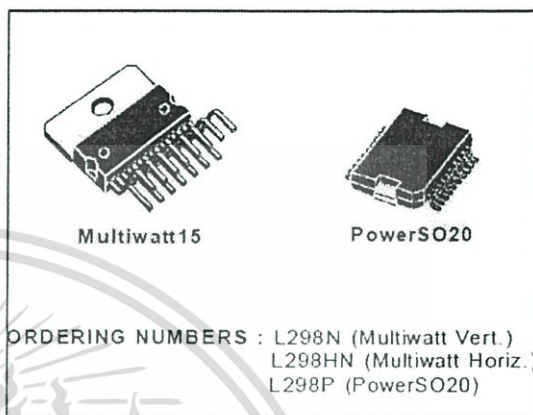
3.2.2 วงจรขับมอเตอร์

สำหรับวงจรขับมอเตอร์นั้น เลือกใช้ L298N Dual Full-Bridge Driver

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

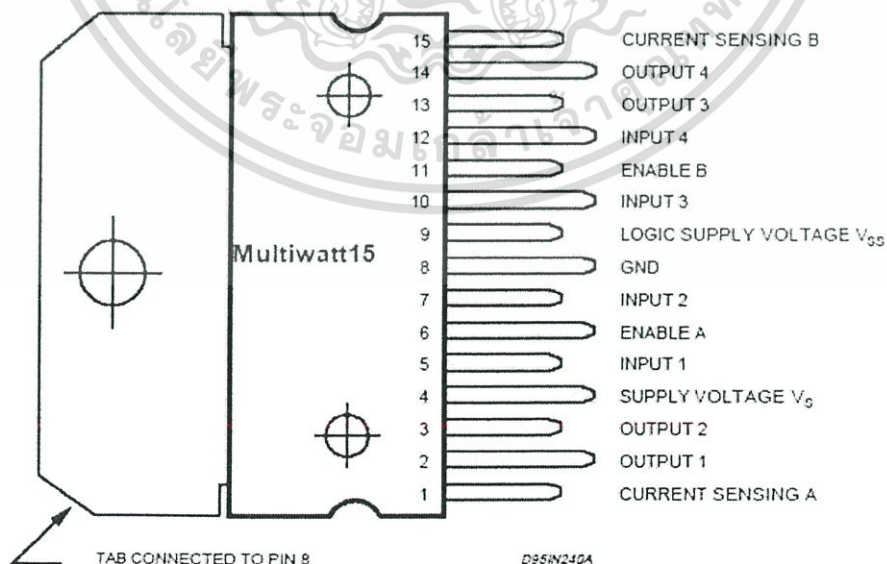
The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

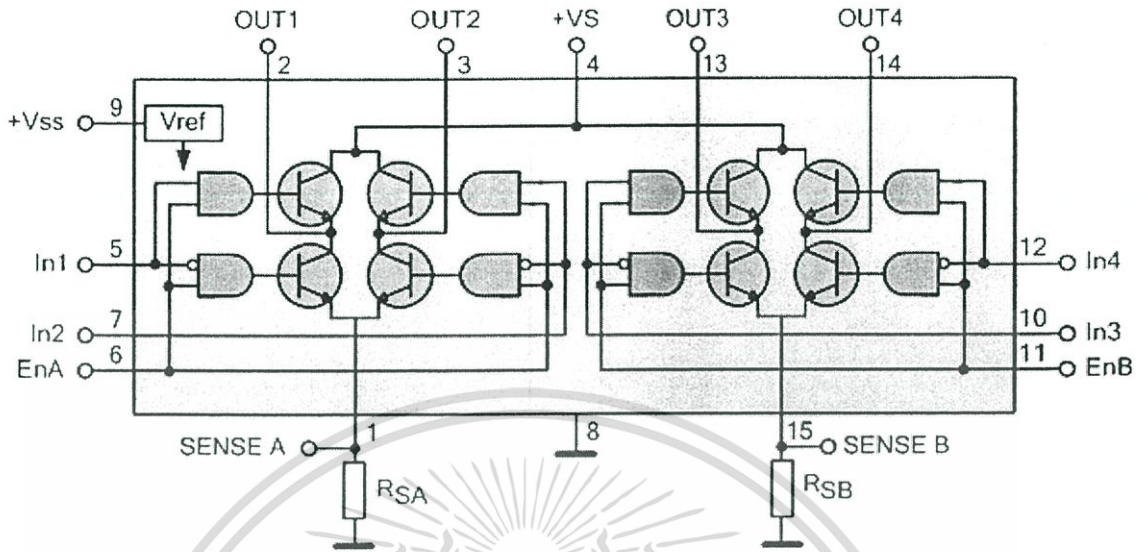
รูปที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของ L298

L298 มีแพ็คเกจทั้งสี่สามแพ็คเกจ ในที่นี้ เราจะใช้แพ็คเกจที่ N ซึ่งเป็นแพ็คเกจ Multiwatt 15 ขา ซึ่งแต่ละขาจะทำหน้าที่ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงขาต่างๆของ L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรภายใน L298

วงจรภายใน IC 298N นั้นสามารถจากวงจรด้านบนเราจะเห็นว่า มีวงจร H-Bridge 2 วงจร นั้นหมายถึงว่า IC 298N ตัวนี้ สามารถขับมอเตอร์ได้ถึงสองตัว จากการศึกษาตัวไอซี พบว่า สามารถรับแรงดันไฟเลี้ยงได้สูงสุดถึง 50 V รับแรงดันของสัญญาณอินพุตได้ตั้งแต่ 0 – 7 V และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 3 A ซึ่งเพียงพอต่อการขับมอเตอร์ของโรงงานซึ่งมีขนาด 12 V ได้อย่างไม่มีปัญหา

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซี L298 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งาน IC 298N เพื่อขับมอเตอร์มีดังต่อไปนี้

- ต่อมอเตอร์เข้ากับขา 2 (Out 1) และขา 3 (Out 2) ของตัว IC 298N หากใช้มอเตอร์กระแสตรงสองตัว ก็ให้ต่อเพิ่มที่ขา 13 (Out 3) และขา 14 (Out 4) เข้าไป
- ต่อ PWM จากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้าสู่ขา Enable ซึ่งมี Enable A และ Enable B จากตาราง Pin Mapping ด้านบนก็คือขา 6 และ ขา 11 นั่นเอง โดยต้องต่อให้ถูกขั้วขจร H – Bridge ภายในสามารถดูได้จากรูปวงจรภายในด้านบน
- ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์ เราต้องป้อนสัญญาณลอจิกเข้าสู่ขา In1 (ขา 5) และขา In2 (ขา 7) เพื่อไบแอสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานตามหลักการของขจร H – Bridge ภายในซึ่งสามารถสร้างได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

จากโครงสร้างวงจรภายใน เราสามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ได้ดังตารางด้านล่าง

Enabled	In1	In2	สถานะของมอเตอร์
0	0 หรือ 1	0 หรือ 1	มอเตอร์ไม่ทำงาน
1	0	0	มอเตอร์หยุดการทำงาน (เบรก)
1	0	1	มอเตอร์หมุนกลับหลัง
1	1	0	มอเตอร์หมุนไปด้านหน้า
1	1	1	มอเตอร์หยุดการทำงาน (เบรก)

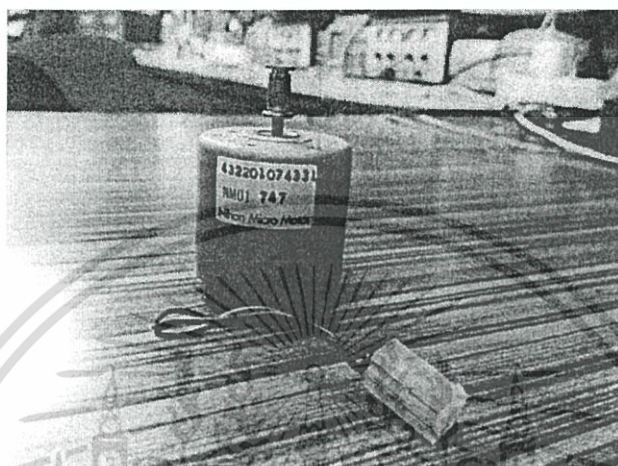
เช่นเดียวกัน หากเราใช้มอเตอร์กระแสตรงถึงสองตัว ก็ต้องไบแอสขา 10 In3 และ 12 In4 ในลักษณะเดียวกัน

- จ่ายไฟเลี้ยงขนาด 5 – 16 V ให้กับตัวไอซี ห้ามใช้ไฟเลี้ยงจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะจะทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ตัวมอเตอร์

ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง NM01 747 Nihon Micro Motor ซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 V



รูปที่ 3.5 มอเตอร์กระแสตรง NM01 747 Nihon Micro Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

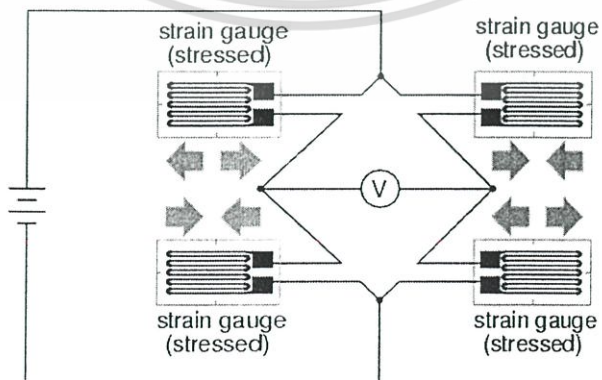
3.2.4 เซ็นเซอร์

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ เซ็นเซอร์วัดแรง Load Cell แบบ Strain Gauge ขนาด 5 kg



โหลดเซลล์ ประกอบด้วย Strain Gauge 4 ตัว โดยโหลดเซลล์ใช้หลักการทำงานของ Strain Gauge คือเมื่อมีแรงมากระทำ จะทำให้ความต้านทานของ Strain Gauge เปลี่ยนแปลงไป เราจึงใช้หลักการนี้ร่วมกับวงจร Wheatstone Bridge ทำให้เราสามารถเปลี่ยนแรงกระทำ เป็นแรงดันทางไฟฟ้าได้

Full-bridge strain gauge circuit



รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายในของ Load Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

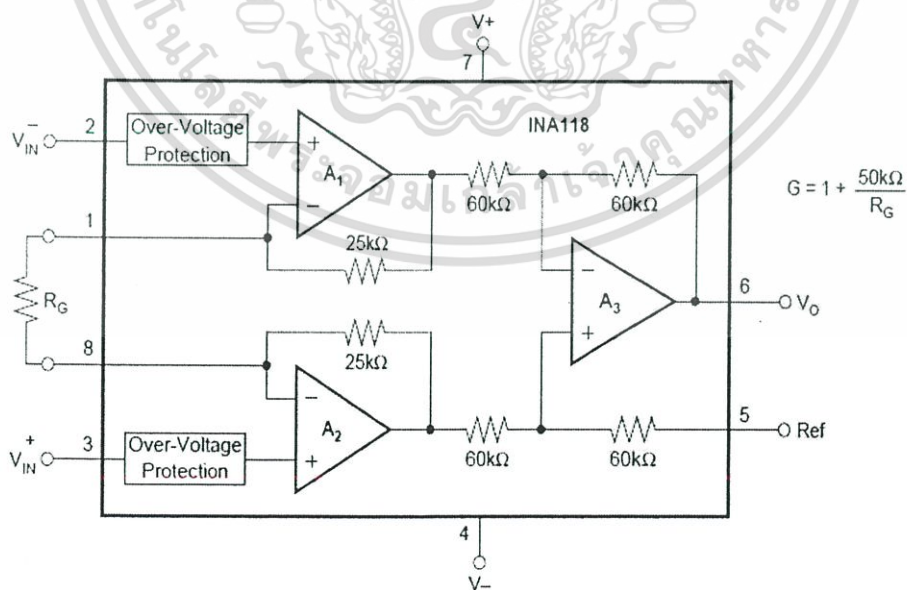
อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าเราจะเปลี่ยนแรงกระทำมาเป็นแรงดันทางไฟฟ้าได้ แรงดันทางไฟฟ้าของ Load Cell ก็ยังมีค่าน้อยมาก เราจึงจำเป็นต้องใช้วงจรขยาย เพื่อขยายสัญญาณ Output เป็น 0 - 5 V เพื่อที่จะนำสัญญาณดังกล่าวไปป้อนเป็นสัญญาณ Input ให้กับ Microcontroller Arduino

ซึ่งเราได้เลือกใช้ IC เบอร์ INA 118 เพื่อสร้างวงจรขยาย



รูปที่ 3.8 IC INA 118

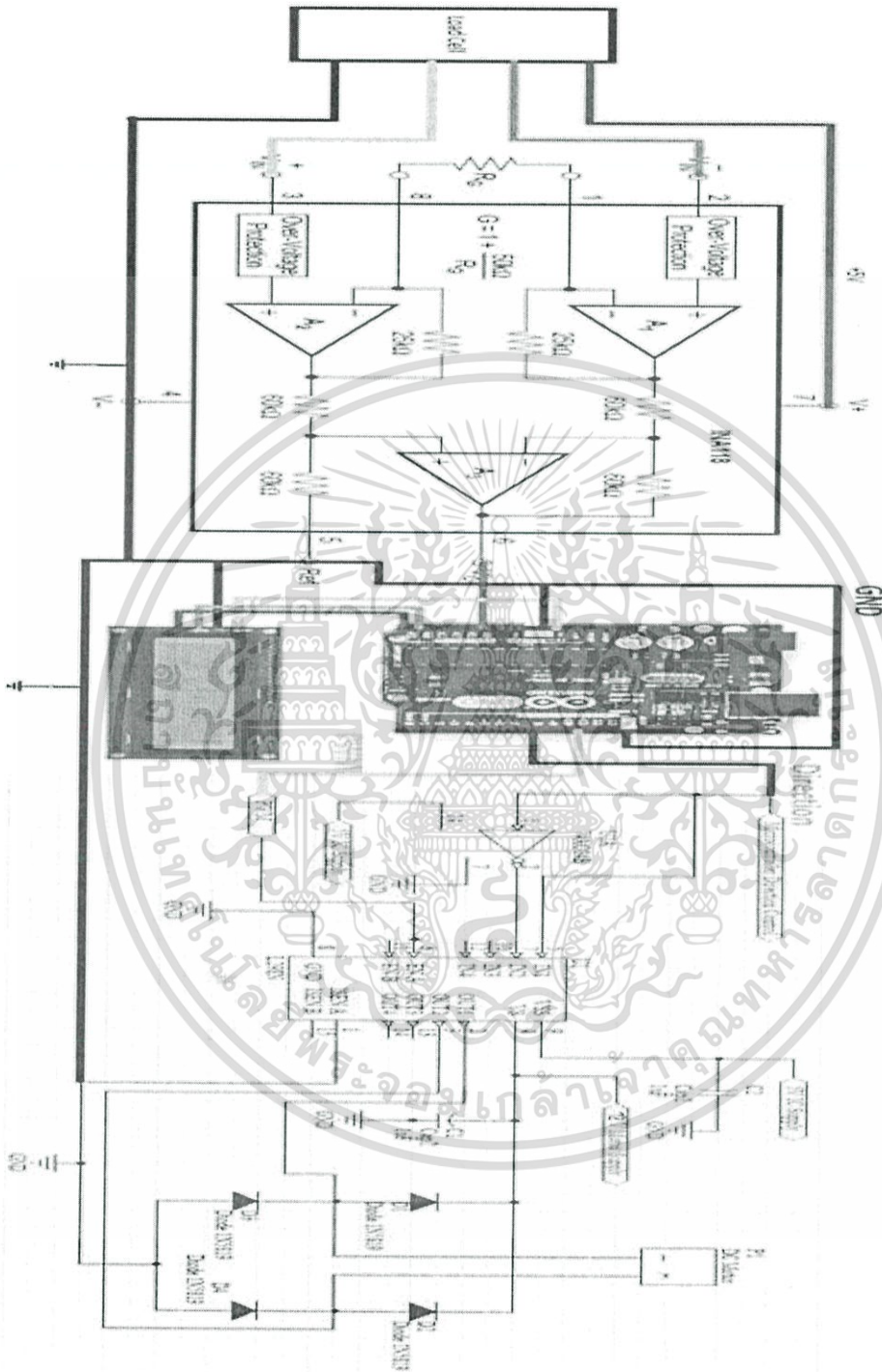
โดย IC เบอร์ INA 118 เป็น IC Instrument Amplifier สำหรับขยายสัญญาณเครื่องมือวัด หรือสัญญาณเซ็นเซอร์ต่างๆ โดยมีโครงสร้างและวงจรรภายในดังรูป



รูปที่ 3.9 วงจรขยายภายใน INA 118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Full Schematic of this Project



รูปที่ 3.10 Schematic ของ โปรเจค

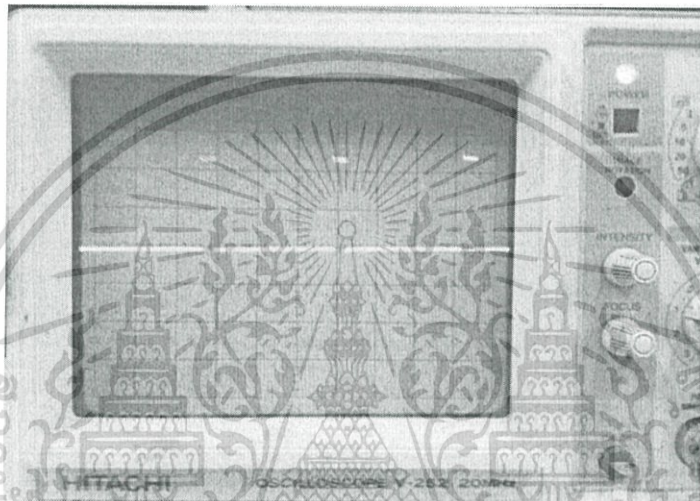
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

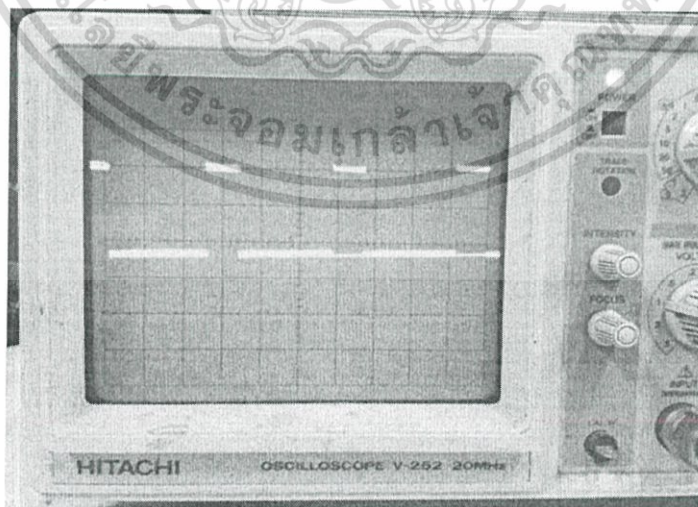
4.1 ผลการวัดค่า PWM (Pulse Width Modulator) ที่ขา Output ของ Arduino UnoR3

4.1.1 PWM Duty Cycle 10 %



รูปที่ 4.1 Duty Cycle 10 %

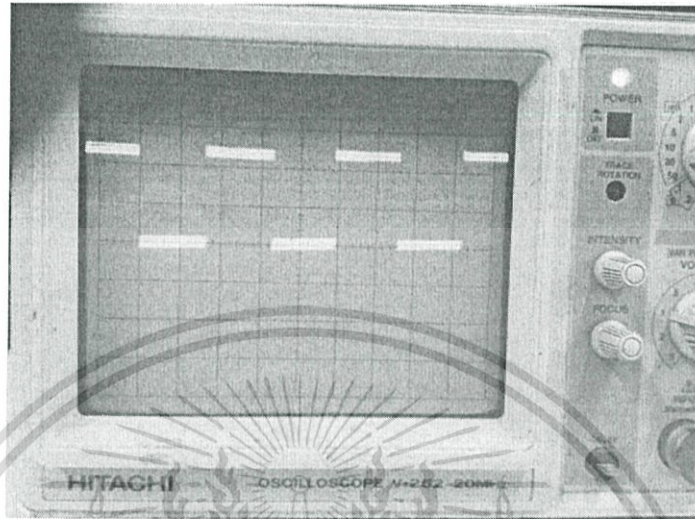
4.1.2 PWM Duty Cycle 25 %



รูปที่ 4.2 Duty Cycle 25 %

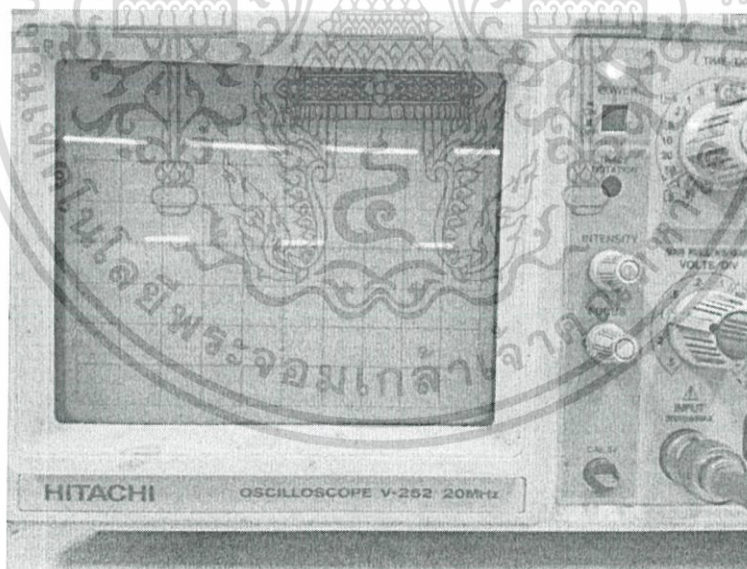
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 PWM Duty Cycle 50 %



รูปที่ 4.3 Duty Cycle 50 %

4.1.4 PWM Duty Cycle 75 %



รูปที่ 4.4 Duty Cycle 75 %

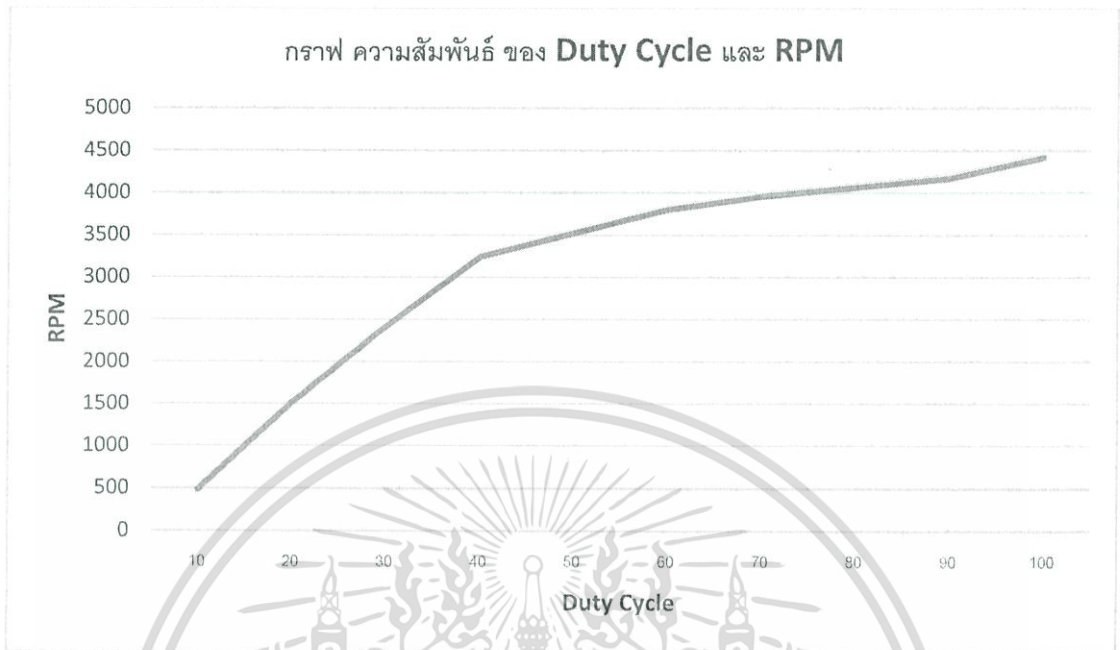
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของ Duty Cycle กับ RPM ของมอเตอร์

Duty Cycle	RPM
10%	478
20%	1503
30%	2410
40%	3238
50%	3520
60%	3802
70%	3956
80%	4065
90%	4173
100%	4422

ตารางที่ 4.1 ผลของ Duty Cycle ต่อ RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟ ความสัมพันธ์ของ Duty Cycle และ RPM

วัดค่า RPM โดย TM-300 Digital Tachometer Yokogawa



รูปที่ 4.6 TM-300 Digital Tachometer Yokogawa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง Load Cell และ วงจร Instrument Amp

น้ำหนัก	Load Cell	Instrument Amp. Gain = 5000
0.0 Kg	0.22 mV	1.16 V
2.5 Kg	0.39 mV	1.73 V
5.0 Kg	0.55 mV	2.86 V

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง Load Cell และ วงจร Instrument Amp



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงเป็นการศึกษาการทำงานของมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ การควบคุมเพิ่มหรือลดความเร็ว การควบคุมทิศทางการหมุน ด้วยการควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulator) โดยการเปลี่ยนค่า Duty Cycle ซึ่งทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับมอเตอร์เปลี่ยนแปลง และทำให้ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง

การควบคุม PWM จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นการรับค่าอินพุต Load Cell โดยทำการเขียนโปรแกรมและสร้าง PWM จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตามสถานะของอินพุตที่รับเข้ามา แบ่งออกเป็น 10 Stage ตามลักษณะของ Duty Cycle 10% 20% 30% ไปจนถึง 100%

สัญญาณ Duty Cycle ได้นำไปควบคุมมอเตอร์กระแสตรงโดยผ่านทางวงจร DC Drive ซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงได้ด้วยวงจร H – Bridge ซึ่งในโครงงานนี้ เราได้ใช้วงจรรวม IC 298N ในการสร้างวงจร DC Drive ขึ้นมา

ท้ายที่สุดนี้ เราได้เก็บผลการทดลองด้วย TM-300 Digital Tachometer Yokogawa และแสดงผลการทดลองผ่านจอ LCD เป็นความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง (RPM) ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 Stage ดังกล่าวมาข้างต้น

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง ปัญหาในการทดลองที่พบคือการเขียนโปรแกรมที่ผู้จัดทำยังไม่มีความรู้ความเข้าใจมากพอ ทำให้เสียเวลาในการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม อีกทั้งการทดลองบนบอร์ด ทำให้เกิดปัญหาความไม่แน่นอนของข้อมูลเนื่องจากการเชื่อมต่อของสายไฟฟ้าในบอร์ด อีกทั้งยังพบปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนบนแผ่น PCB ซึ่งไม่เกิดขึ้นกับวงจรบนบอร์ด และยังมีปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์บางชนิดที่หาได้ยาก จึงได้ทำการแก้ไขในคราวต่อไป อย่างไรก็ตามแม้ว่าการควบคุมรอบของมอเตอร์กระแสตรง จะสามารถควบคุมได้ด้วย Duty Cycle แต่ทว่า ผลการทดลองยังไม่มีความเป็นเชิงเส้นมากพอที่จะนำไปใช้งานได้จริง จึงต้องศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมในการวิจัยและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

<http://archive.wunjun.com/boon/5/1227.html>

<http://www.arduino.cc/>

<http://www.ti.com/product/ina118>

www.alldatasheet.com

www.datasheetcatalog.com

www.arduitronics.com

awyungsource.ecrater.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



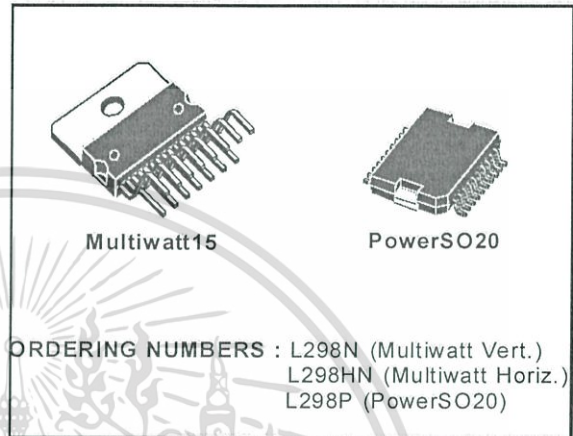
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

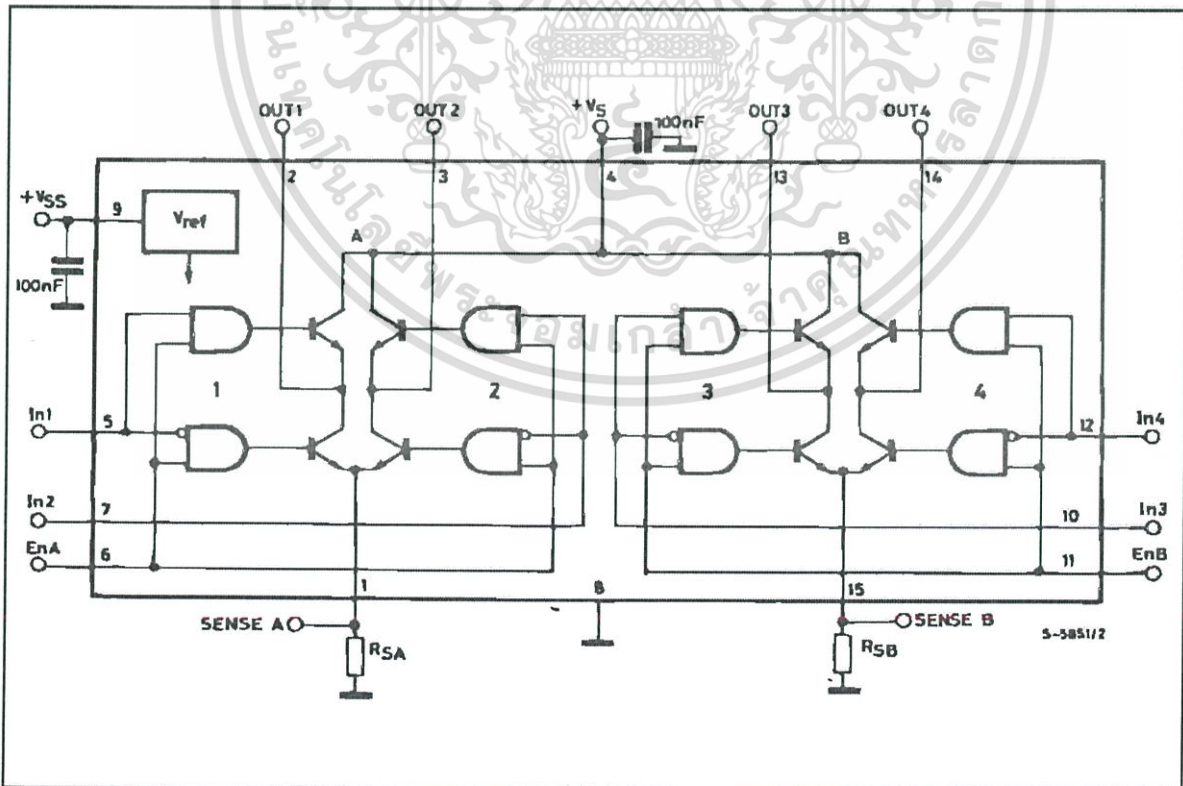
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

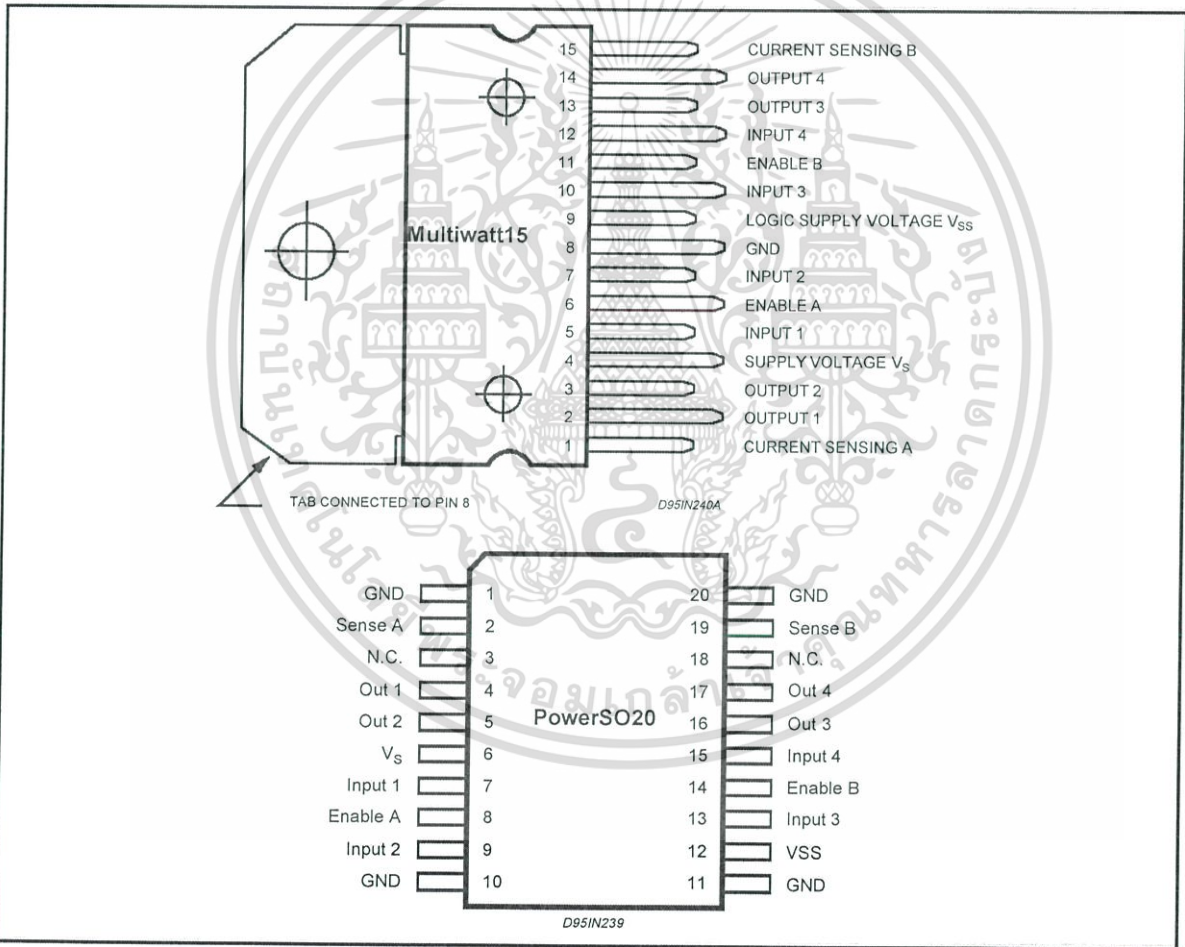
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Power Supply	50	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V _I , V _{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I _O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive (t = 100μs)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; t _{on} = 10ms)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V _{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P _{tot}	Total Power Dissipation (T _{case} = 75°C)	25	W
T _{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
T _{stg} , T _j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
R _{thj-case}	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	°C/W
R _{thj-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate



PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} + 2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0	V _i = L V _i = H	13 50	22 70	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = L; I _L = 0	V _i = L V _i = H	24 7	36 12	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			-10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

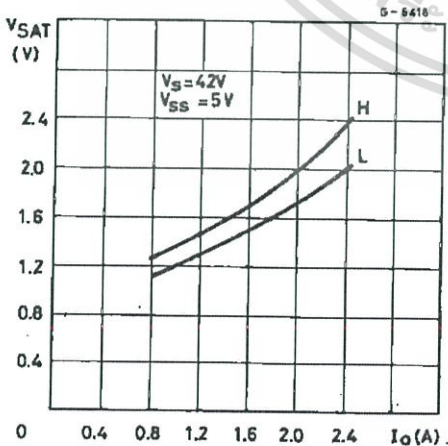
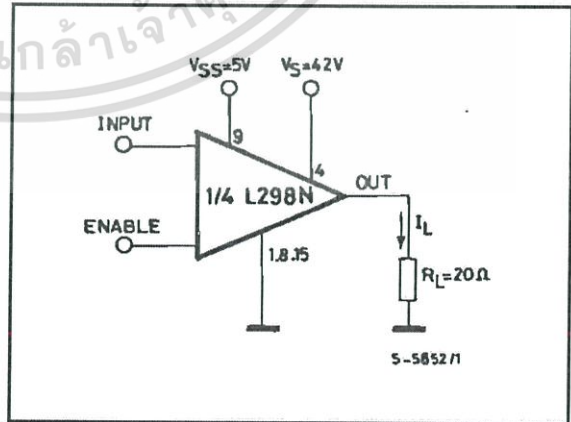


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H



Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

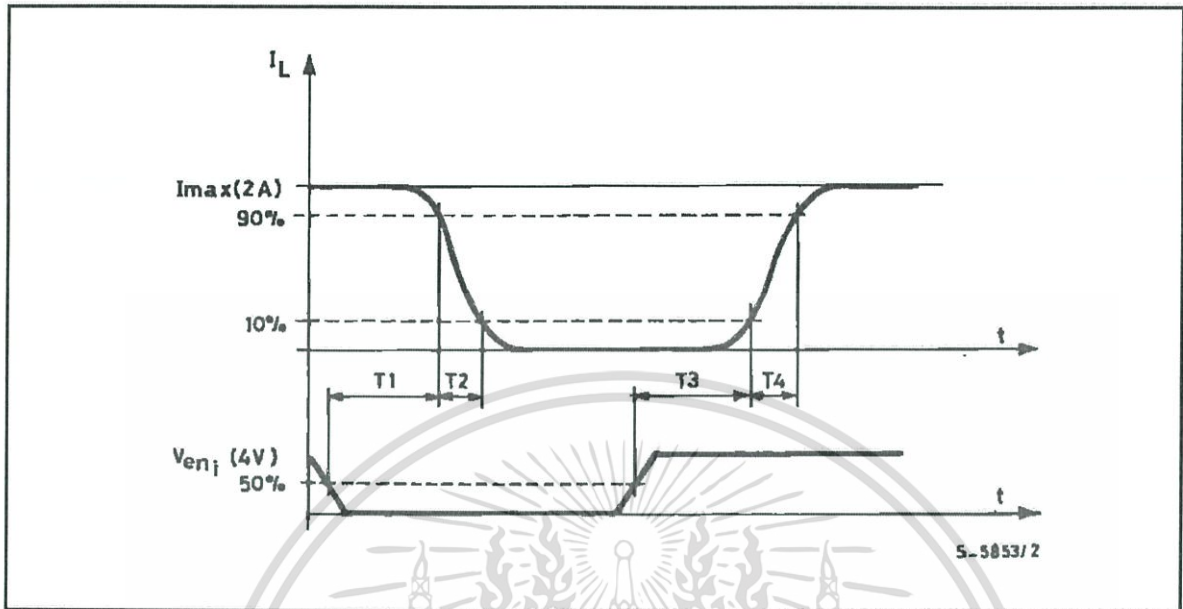
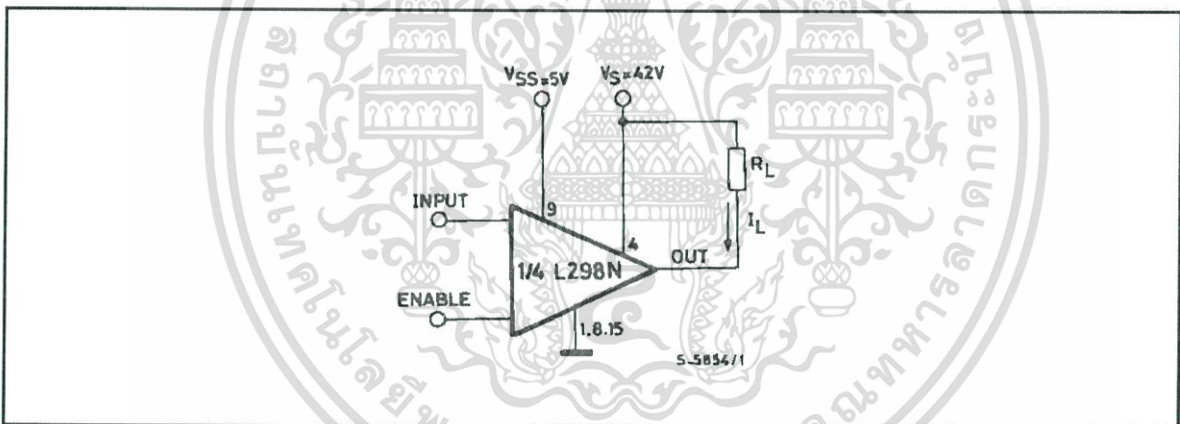


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

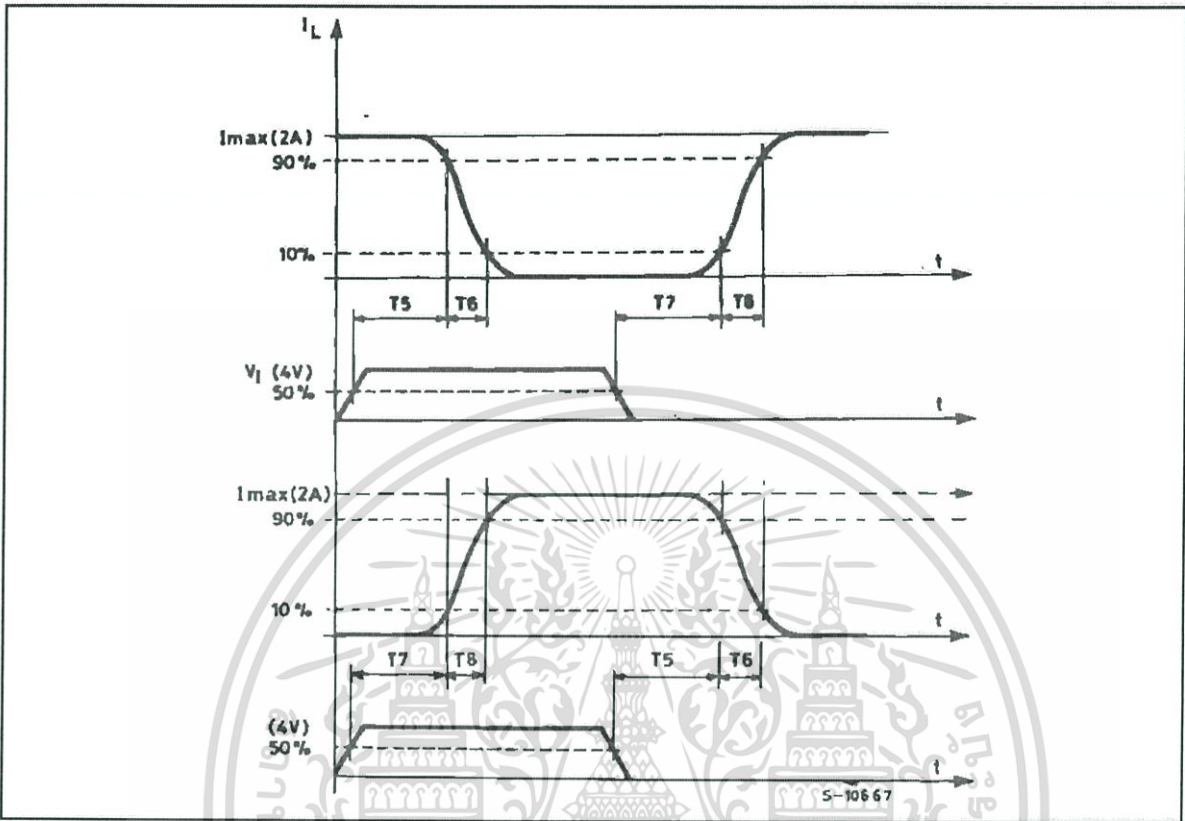


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

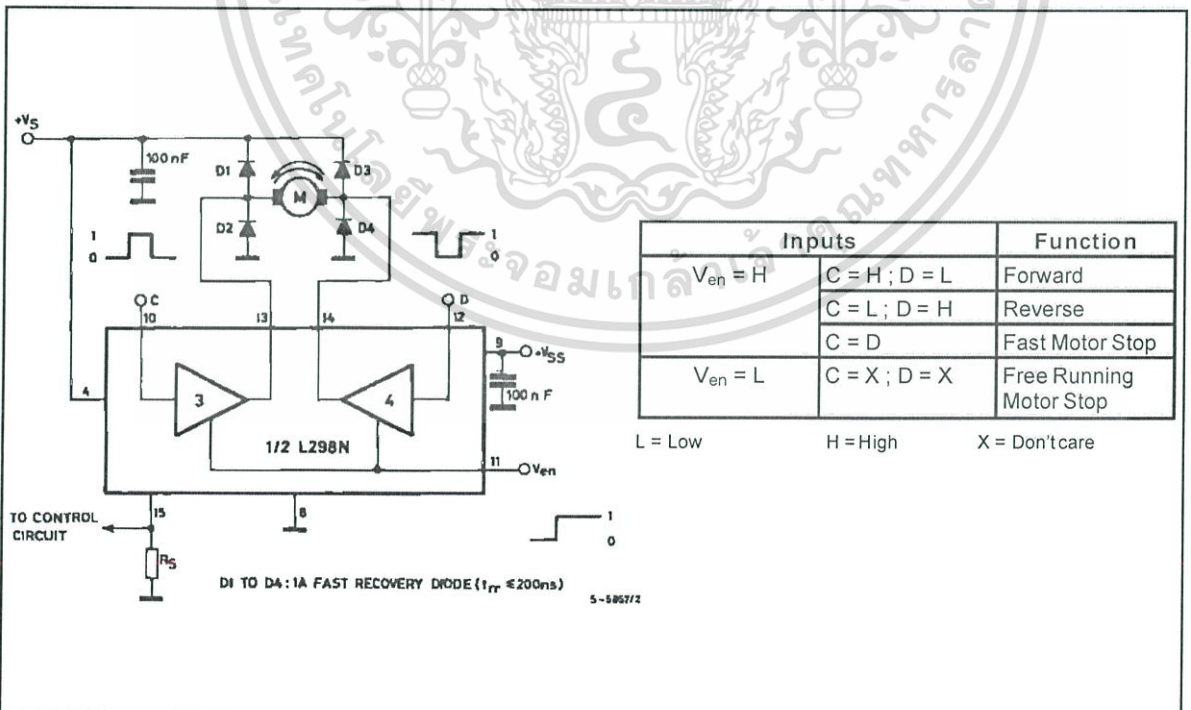
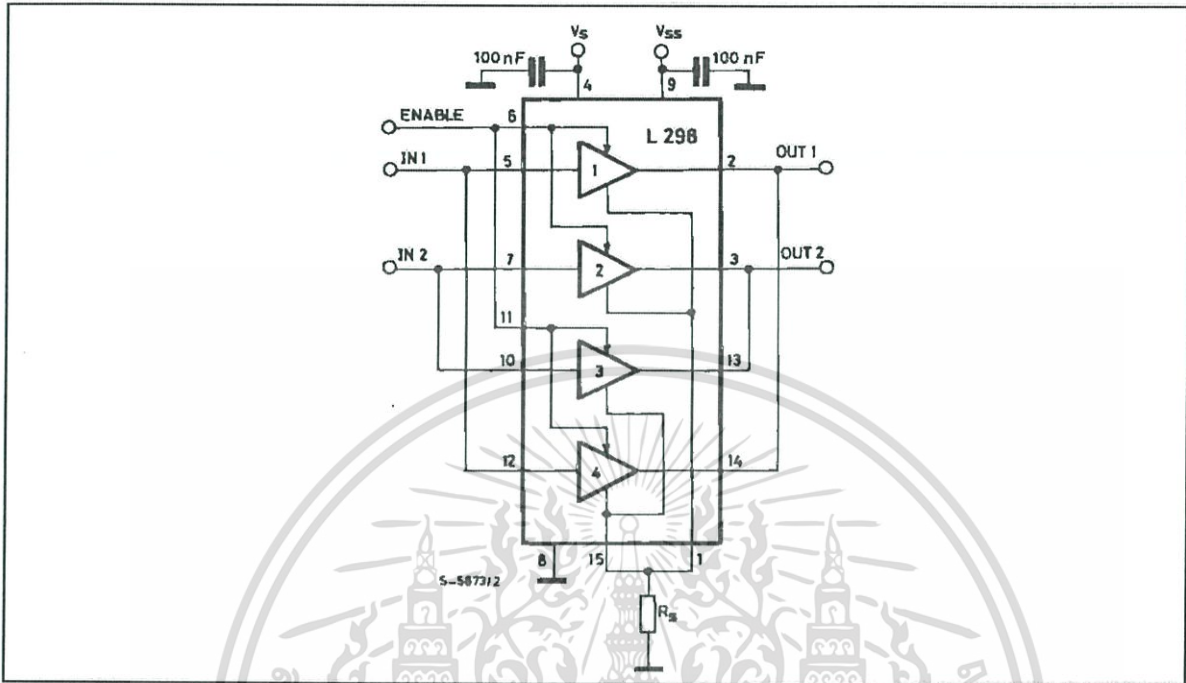


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB} .) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $In1$; $In2$; EnA and $In3$; $In4$; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes $D1$ to $D4$ is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig. 7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a twophase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

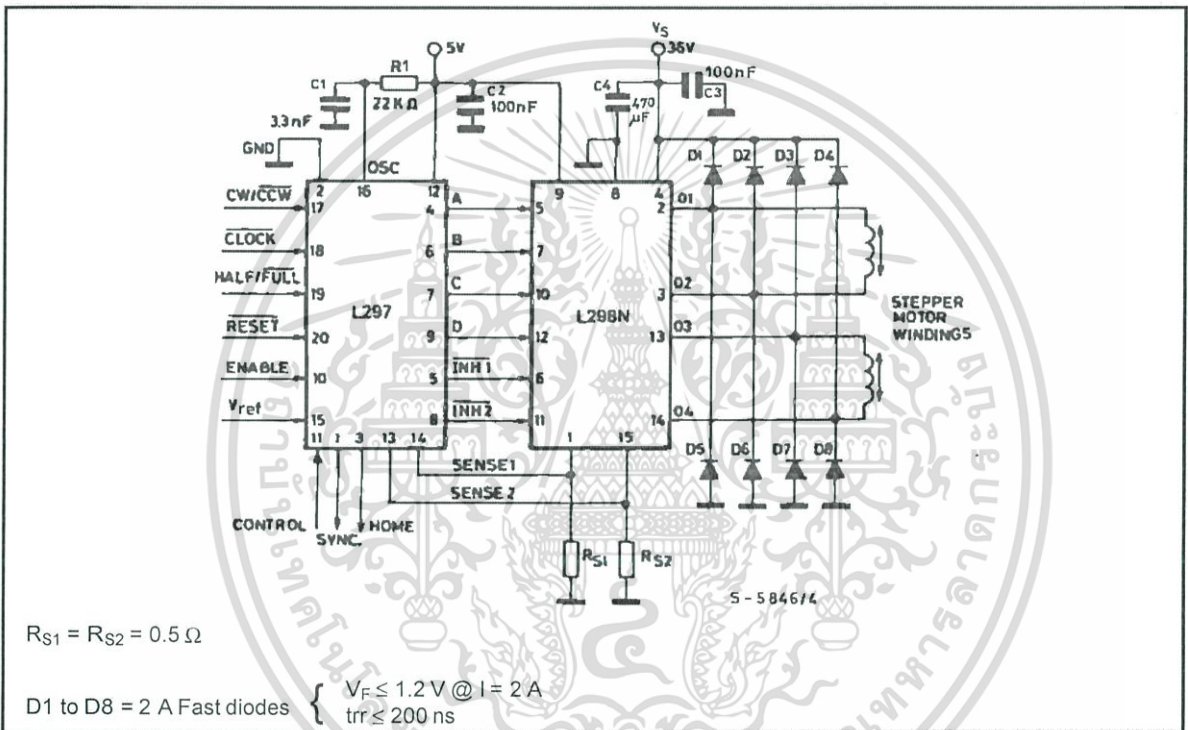


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

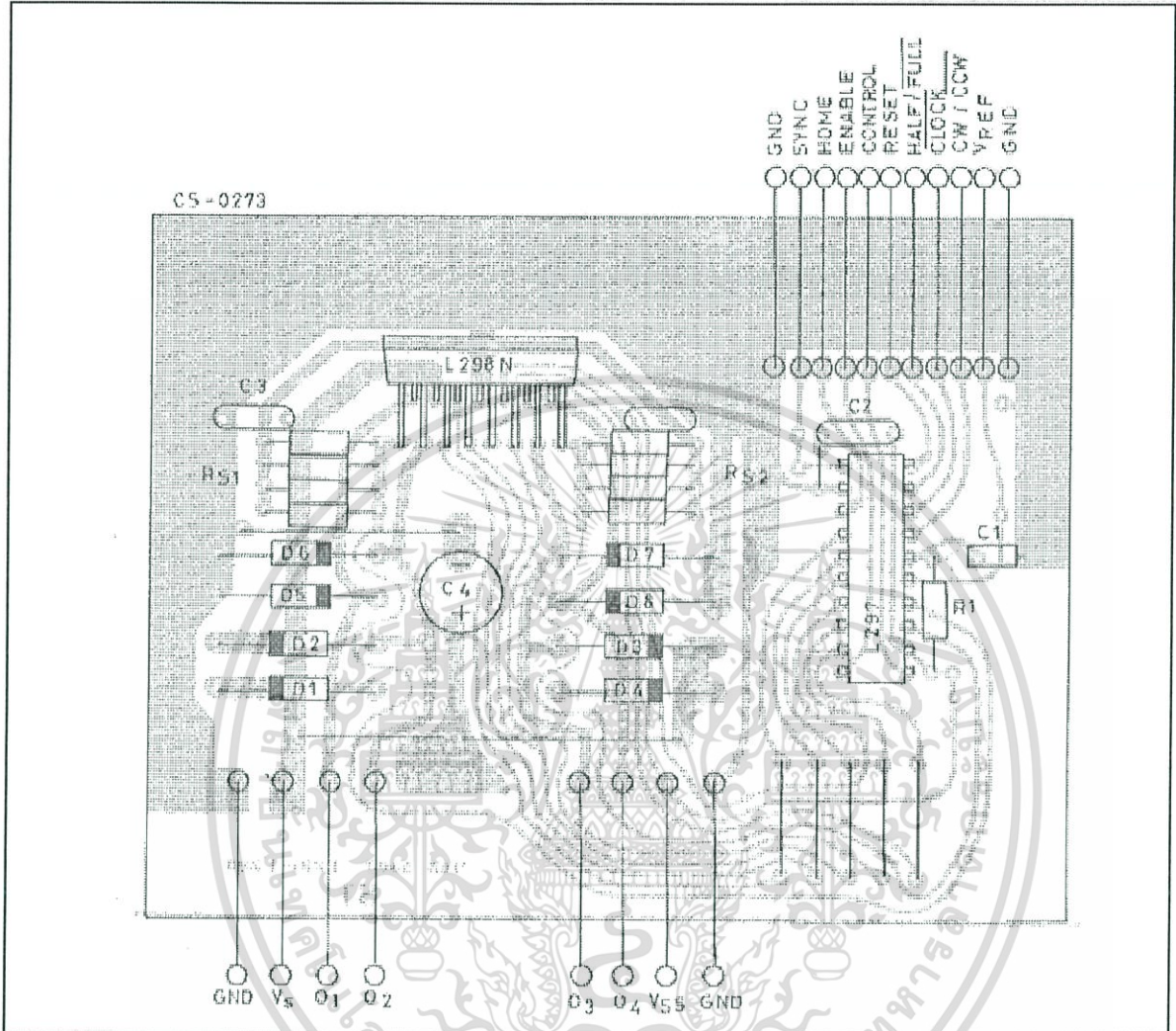
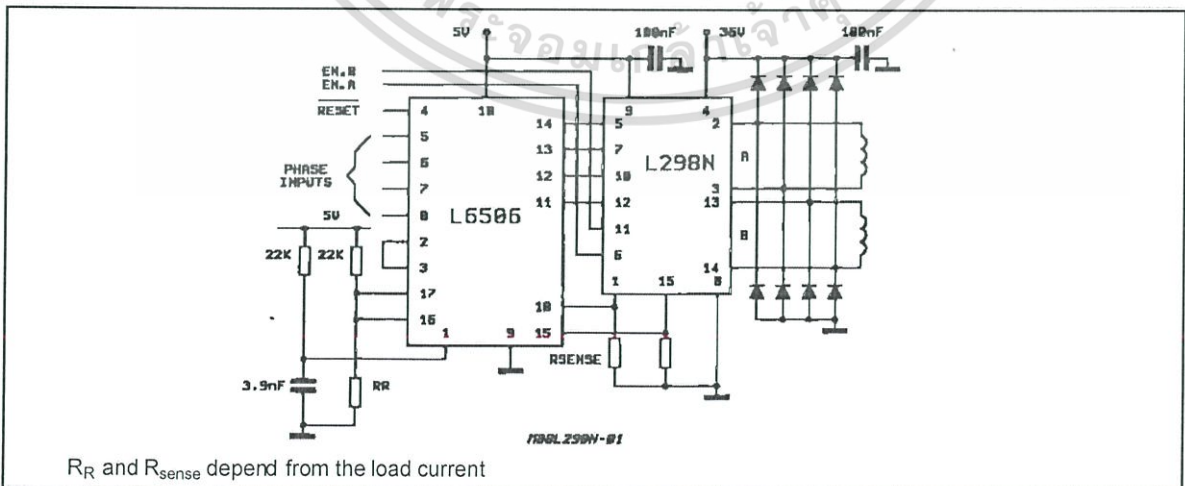
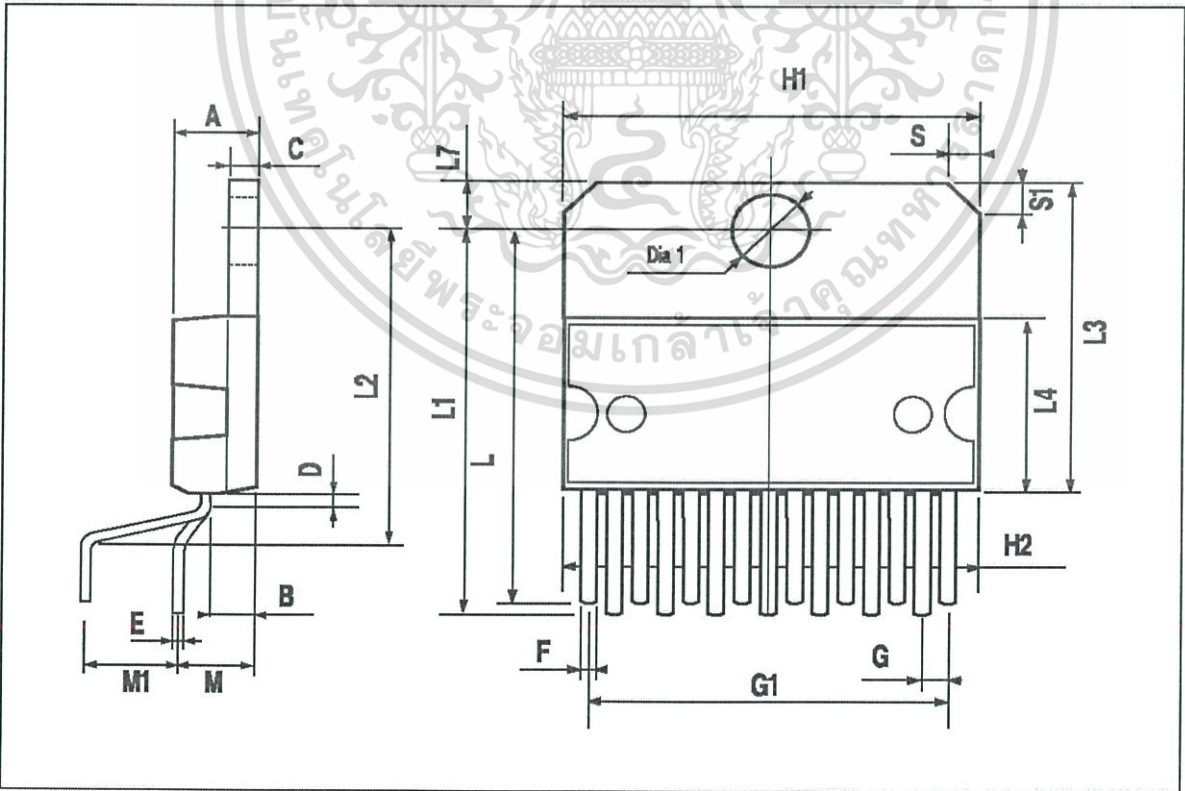
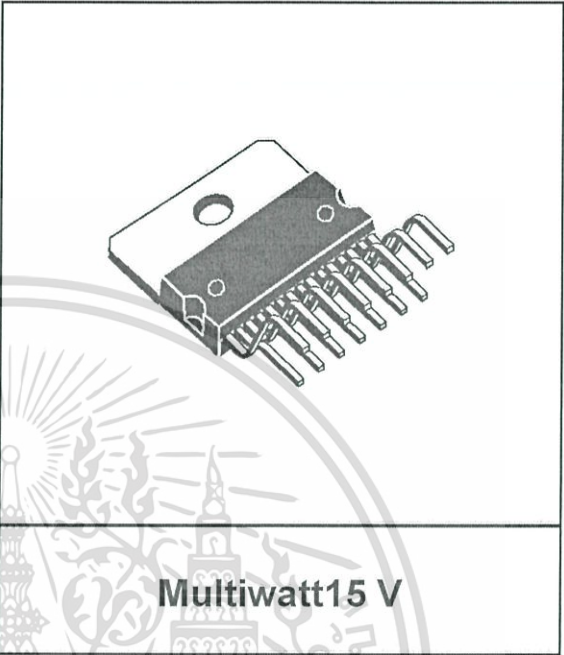


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

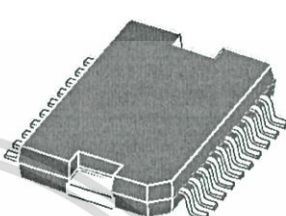
OUTLINE AND MECHANICAL DATA



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N			10° (max.)			
S			8° (max.)			
T		10				0.394

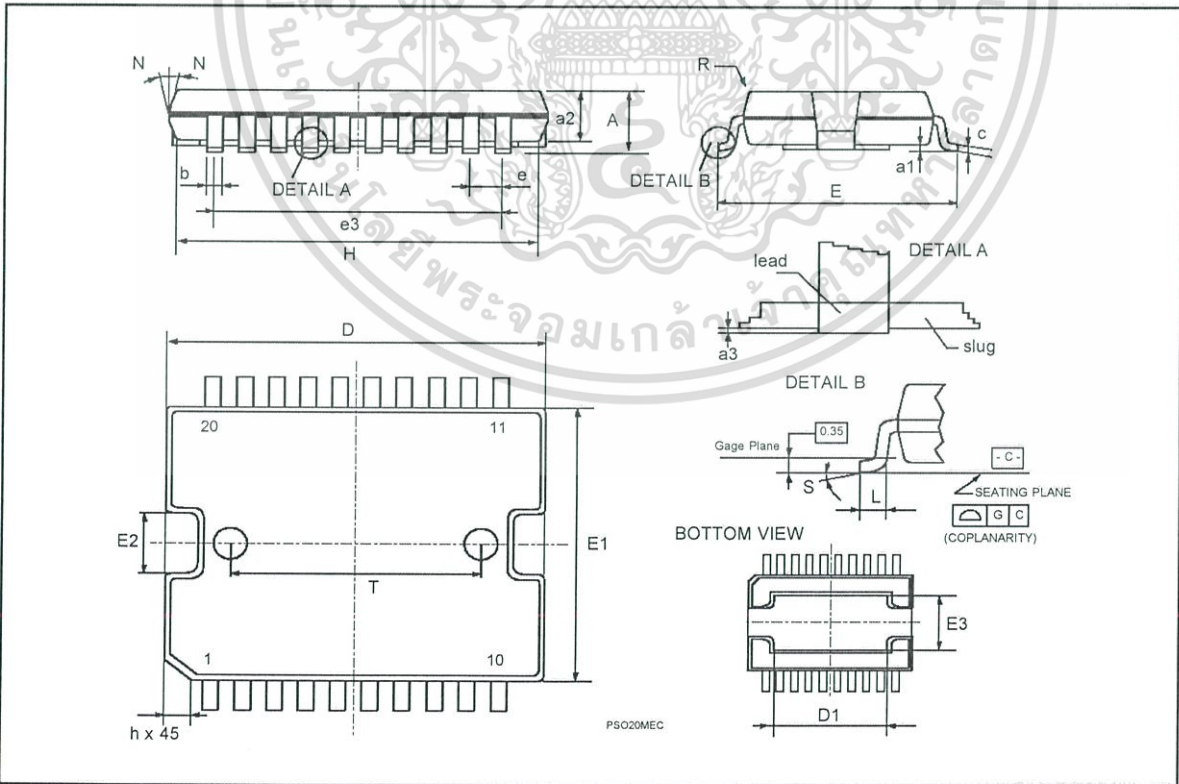
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



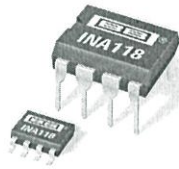


Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
 © 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>



INA118

Precision, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50µV max
- LOW DRIFT: 0.5µV/°C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 5nA max
- HIGH CMR: 110dB min
- INPUTS PROTECTED TO ±40V
- WIDE SUPPLY RANGE: ±1.35 to ±18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 350µA
- 8-PIN PLASTIC DIP, SO-8

APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

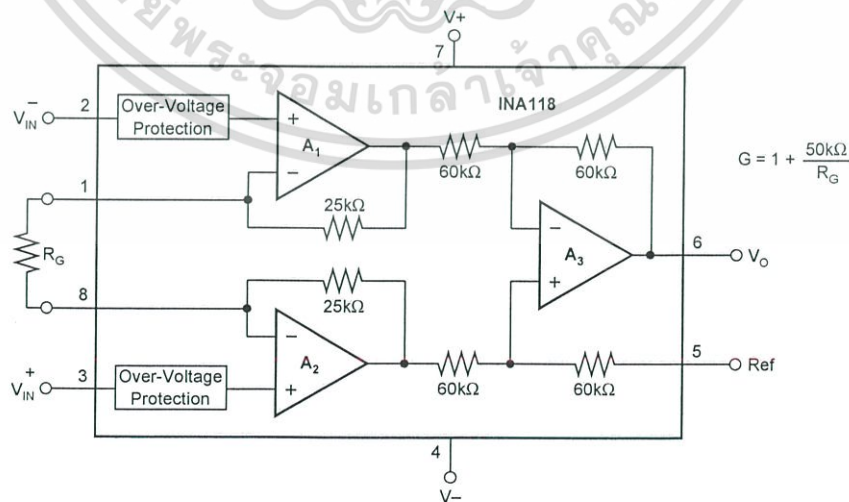
DESCRIPTION

The INA118 is a low power, general purpose instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile 3-op amp design and small size make it ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth even at high gain (70kHz at G = 100).

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. Internal input protection can withstand up to ±40V without damage.

The INA118 is laser trimmed for very low offset voltage (50µV), drift (0.5µV/°C) and high common-mode rejection (110dB at G = 1000). It operates with power supplies as low as ±1.35V, and quiescent current is only 350µA—ideal for battery operated systems.

The INA118 is available in 8-pin plastic DIP, and SO-8 surface-mount packages, specified for the -40°C to +85°C temperature range.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111
 Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

©1994 Burr-Brown Corporation

PDS-1199D

Printed in U.S.A. April, 1998

SBOS027 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$ unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA118PB, UB			INA118P, U			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
INPUT Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability Impedance, Differential Common-Mode Linear Input Voltage Range	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MIN}}$ to T_{MAX} $V_S = \pm 1.35\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$		$\pm 10 \pm 50/\text{G}$	$\pm 50 \pm 500/\text{G}$		$\pm 25 \pm 100/\text{G}$	$\pm 125 \pm 1000/\text{G}$	μV	
			$\pm 0.2 \pm 2/\text{G}$	$\pm 0.5 \pm 20/\text{G}$		$\pm 0.2 \pm 5/\text{G}$	$\pm 1 \pm 20/\text{G}$	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
			$\pm 1 \pm 10/\text{G}$	$\pm 5 \pm 100/\text{G}$		*	$\pm 10 \pm 100/\text{G}$	$\mu\text{V}/\text{V}$	
			$\pm 0.4 \pm 5/\text{G}$			*		$\mu\text{V}/\text{mo}$	
			$10^{10} \parallel 1$			*		$\Omega \parallel \text{pF}$	
Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$, $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$		$(V+) - 1$ $(V-) + 1.1$		*	*		V	
				± 40	*	*	*	V	
BIAS CURRENT vs Temperature			± 1	± 5		*	± 10	nA	
			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
			± 1	± 5		*	± 10	nA	
			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
OFFSET CURRENT vs Temperature			± 1	± 5		*	± 10	nA	
			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
			± 1	± 5		*	± 10	nA	
			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
			± 1	± 5		*	± 10	nA	
NOISE VOLTAGE, RTI $f = 10\text{Hz}$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_B = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz Noise Current $f = 10\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_B = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz	$G = 1000$, $R_S = 0\Omega$		11			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			10			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			10			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			0.28			*		$\mu\text{Vp-p}$	
			2.0			*		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$	
GAIN Gain Equation Range of Gain Gain Error	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		$1 + (50\text{k}\Omega/R_G)$	10000	*	*		V/V	
			± 0.01	± 0.024		*	*	± 0.1	%
			± 0.02	± 0.4		*	*	± 0.5	%
			± 0.05	± 0.5		*	*	± 0.7	%
			± 0.5	± 1		*	*	± 2	%
Gain vs Temperature 50k Ω Resistance ⁽¹⁾ Nonlinearity	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		± 1	± 10		*	± 10	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$	
			± 25	± 100		*	*	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$	
			± 0.0003	± 0.001		*	*	± 0.002	% of FSR
			± 0.0005	± 0.002		*	*	± 0.004	% of FSR
			± 0.0005	± 0.002		*	*	± 0.004	% of FSR
OUTPUT Voltage: Positive Negative Single Supply High Single Supply Low Load Capacitance Stability Short Circuit Current	$R_L = 10\text{k}\Omega$ $R_L = 10\text{k}\Omega$ $V_S = +2.7\text{V}/0\text{V}^{(2)}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$ $V_S = +2.7\text{V}/0\text{V}^{(2)}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$		$(V+) - 1$	$(V+) - 0.8$		*	*	V	
			$(V-) + 0.35$	$(V-) + 0.2$		*	*	V	
			1.8	2.0		*	*	V	
			60	35		*	*	mV	
				1000		*	*	pF	
FREQUENCY RESPONSE Bandwidth, -3dB	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		800			*		kHz	
			500			*		kHz	
			70			*		kHz	
			7			*		kHz	
			0.9			*		$\text{V}/\mu\text{s}$	
Slew Rate Settling Time, 0.01%	$V_O = \pm 10\text{V}$, $G = 10$		15			*		μs	
			15			*		μs	
			21			*		μs	
			210			*		μs	
			20			*		μs	
POWER SUPPLY Voltage Range Current	$V_{\text{IN}} = 0\text{V}$		± 1.35	± 15		*	*	V	
				± 350	± 18		*	± 385	μA
TEMPERATURE RANGE Specification Operating θ_{JA}			-40	85		*	*	$^\circ\text{C}$	
			-40	125		*	*	$^\circ\text{C}$	
			80			*	$^\circ\text{C}/\text{W}$		

* Specification same as INA118PB, UB.

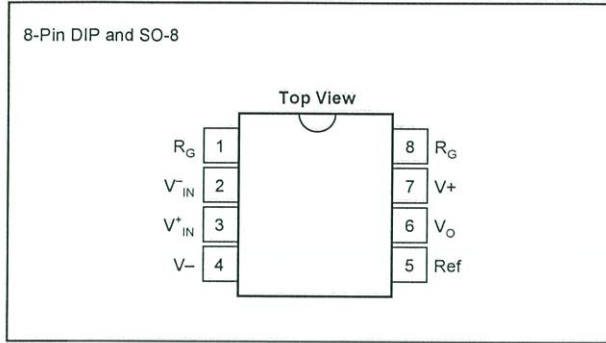
NOTE: (1) Temperature coefficient of the "50k Ω " term in the gain equation. (2) Common-mode input voltage range is limited. See text for discussion of low power supply and single power supply operation.



นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATION



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	±18V
Analog Input Voltage Range	±40V
Output Short-Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature	-40°C to +125°C
Storage Temperature	-40°C to +125°C
Junction Temperature	+150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

ORDERING INFORMATION

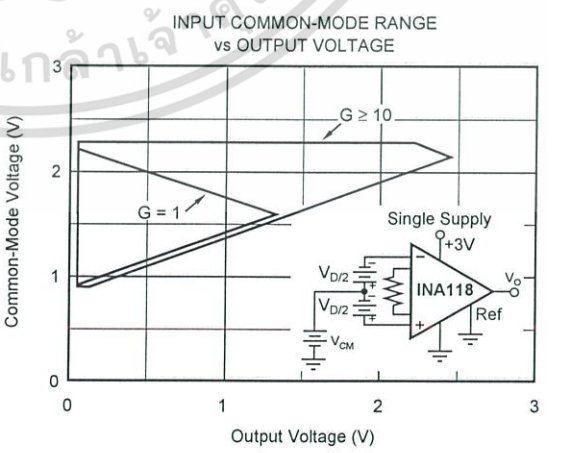
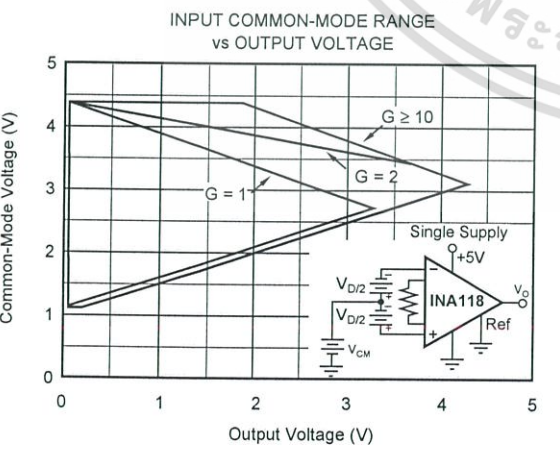
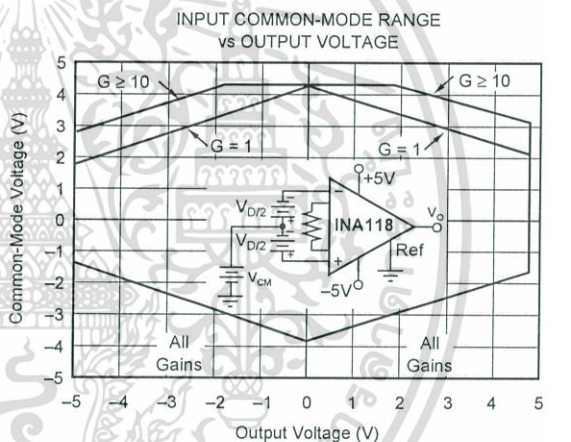
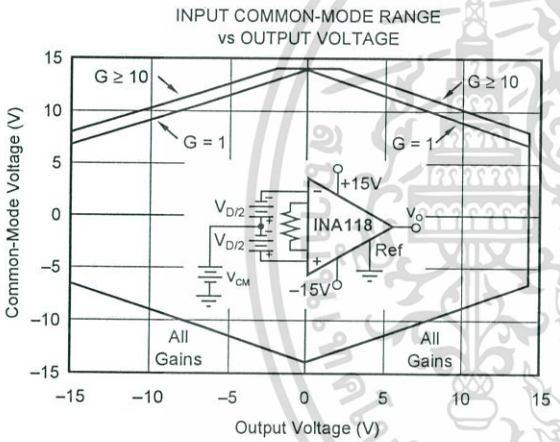
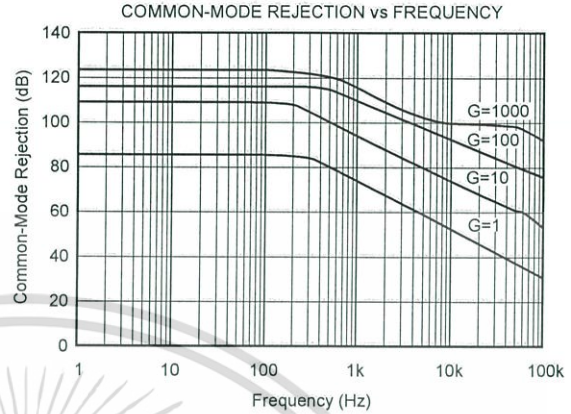
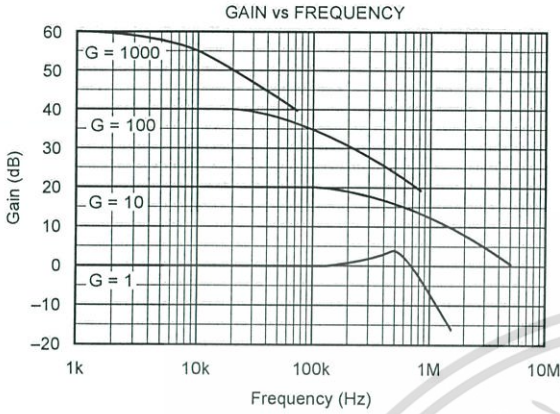
PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾	TEMPERATURE RANGE
INA118P	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C
INA118PB	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C
INA118U	SO-8 Surface-Mount	182	-40°C to +85°C
INA118UB	SO-8 Surface-Mount	182	-40°C to +85°C

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

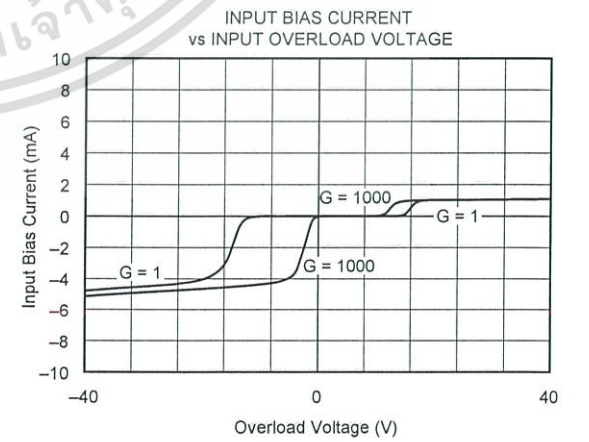
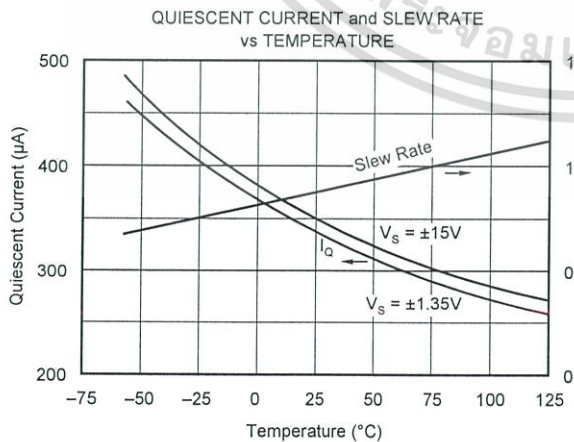
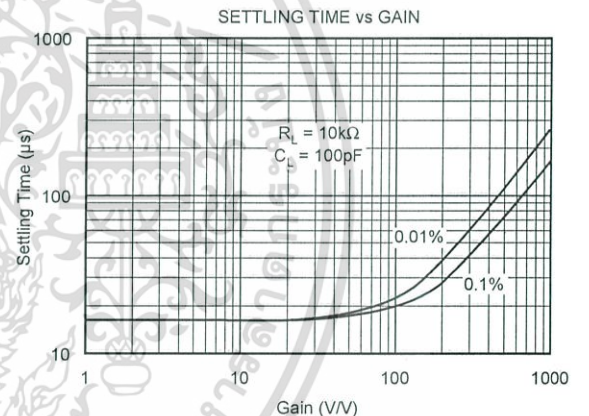
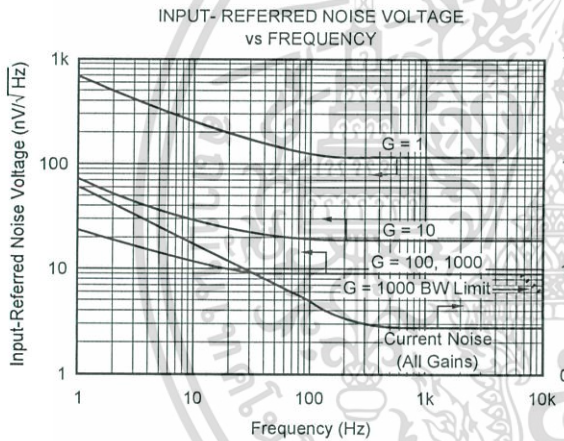
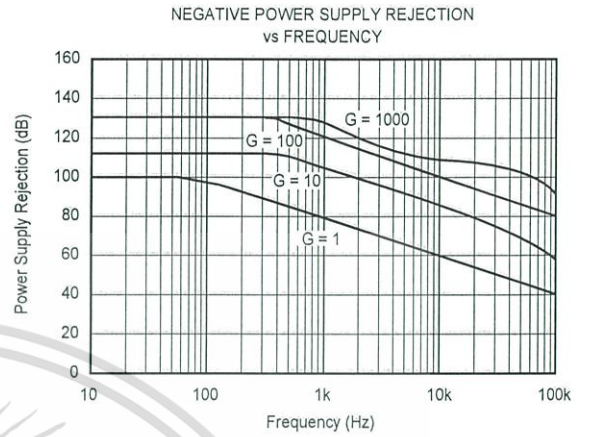
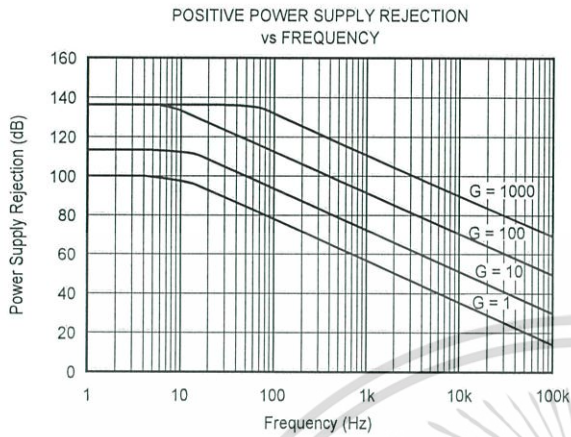
TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



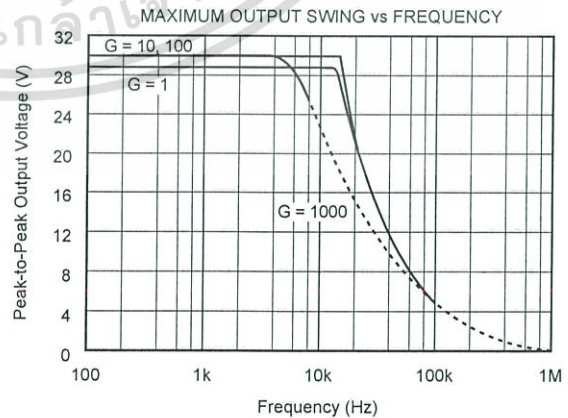
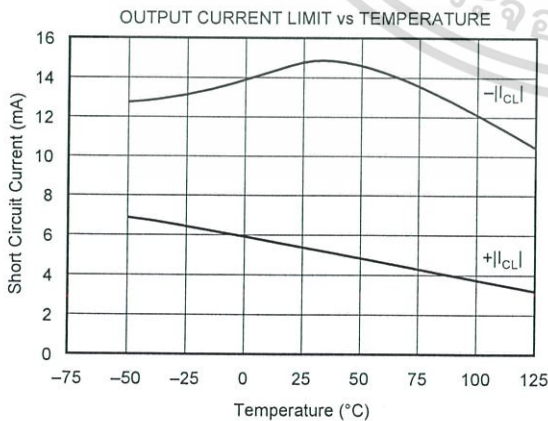
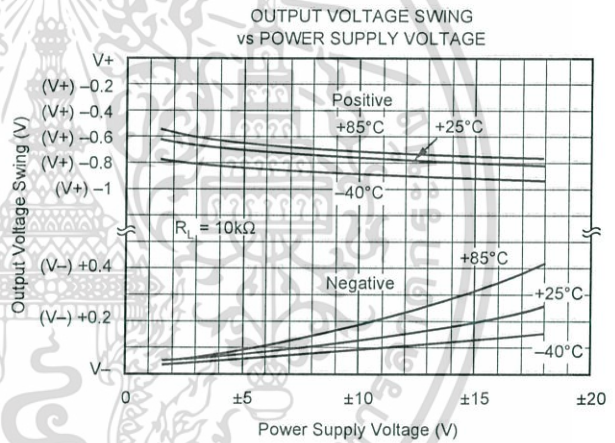
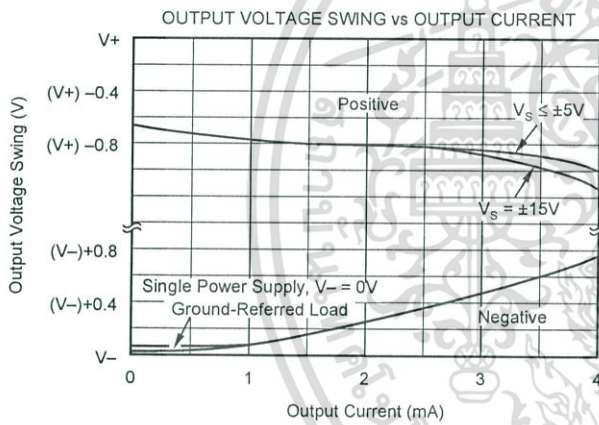
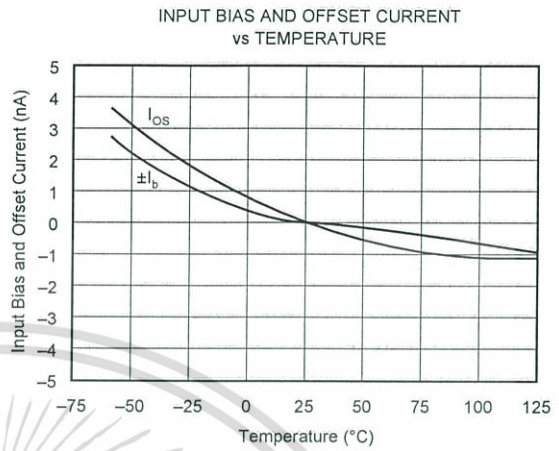
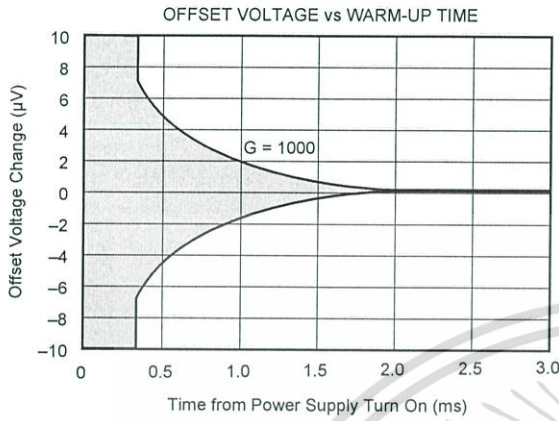
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



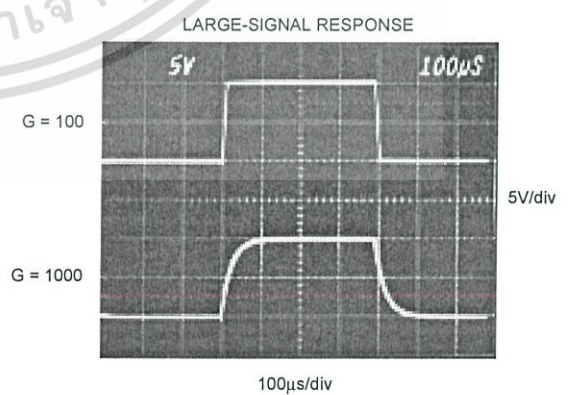
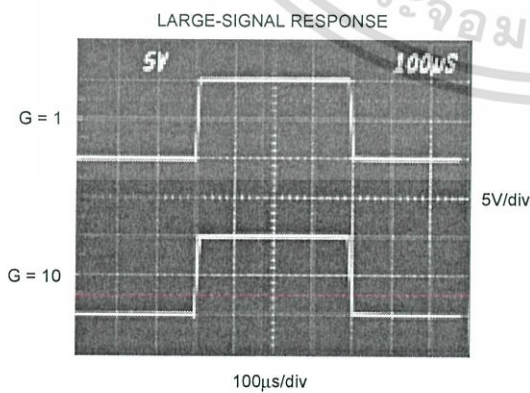
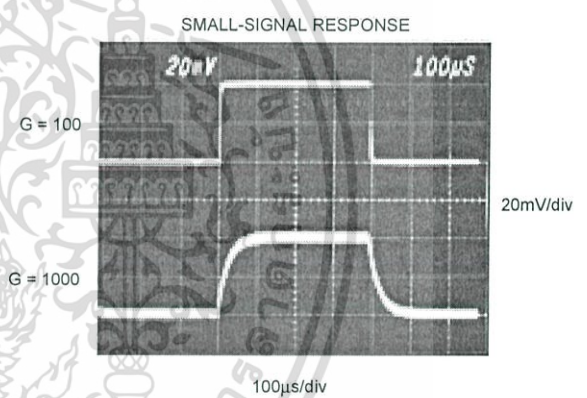
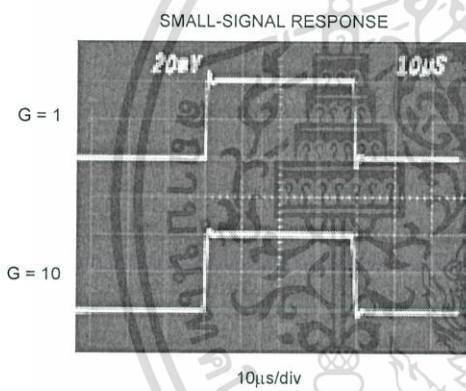
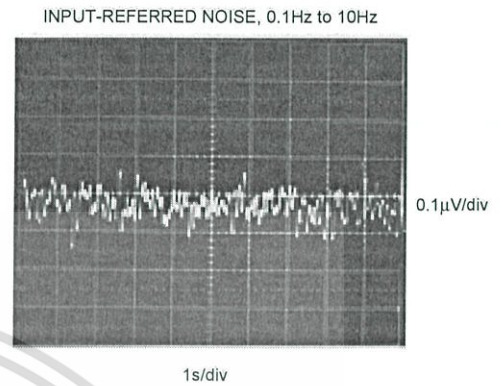
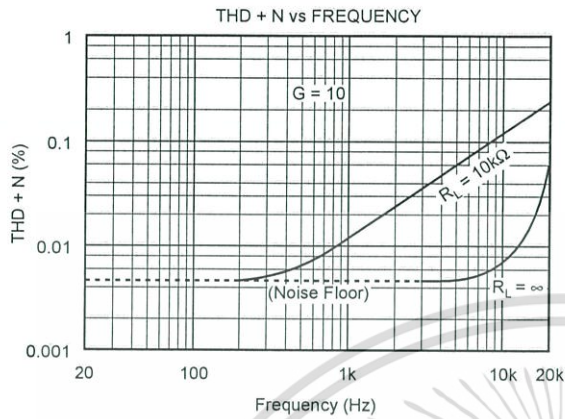
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.



APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA118. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 12Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR (G = 1).

SETTING THE GAIN

Gain of the INA118 is set by connecting a single external resistor, R_G, connected between pins 1 and 8:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The 50kΩ term in Equation 1 comes from the sum of the two internal feedback resistors of A₁ and A₂. These on-chip metal film resistors are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA118.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R_G, also affects gain. R_G's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

DYNAMIC PERFORMANCE

The typical performance curve "Gain vs Frequency" shows that, despite its low quiescent current, the INA118 achieves wide bandwidth, even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the INA118. Settling time also remains excellent at high gain.

The INA118 exhibits approximately 3dB peaking at 500kHz in unity gain. This is a result of its current-feedback topology and is not an indication of instability. Unlike an op amp with poor phase margin, the rise in response is a predictable +6dB/octave due to a response zero. A simple pole at 300kHz or lower will produce a flat passband unity gain response.

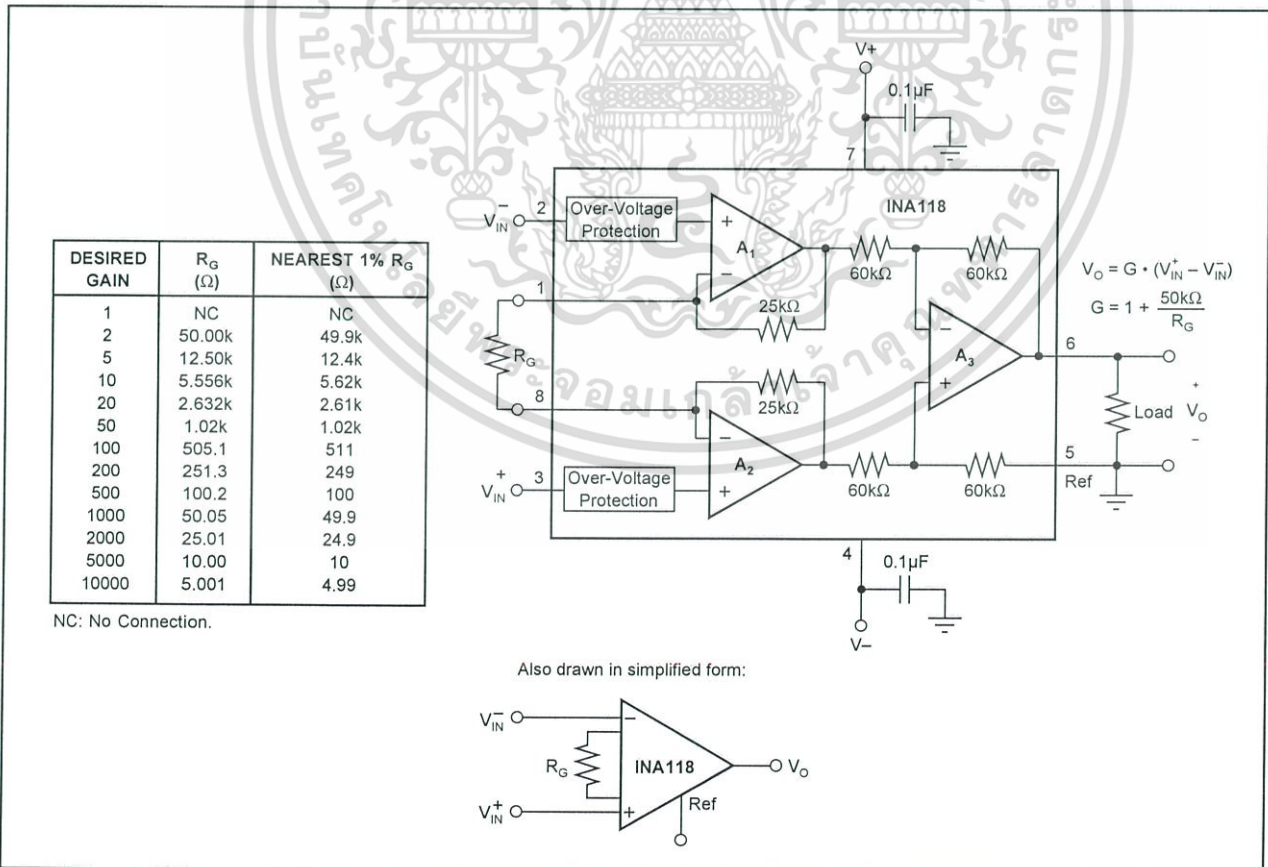


FIGURE 1. Basic Connections.

NOISE PERFORMANCE

The INA118 provides very low noise in most applications. For differential source impedances less than $1\text{k}\Omega$, the INA103 may provide lower noise. For source impedances greater than $50\text{k}\Omega$, the INA111 FET-Input Instrumentation Amplifier may provide lower noise.

Low frequency noise of the INA118 is approximately $0.28\mu\text{Vp-p}$ measured from 0.1 to 10Hz ($G \geq 100$). This provides dramatically improved noise when compared to state-of-the-art chopper-stabilized amplifiers.

OFFSET TRIMMING

The INA118 is laser trimmed for low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed at the output. The op amp buffer provides low impedance at the Ref terminal to preserve good common-mode rejection.

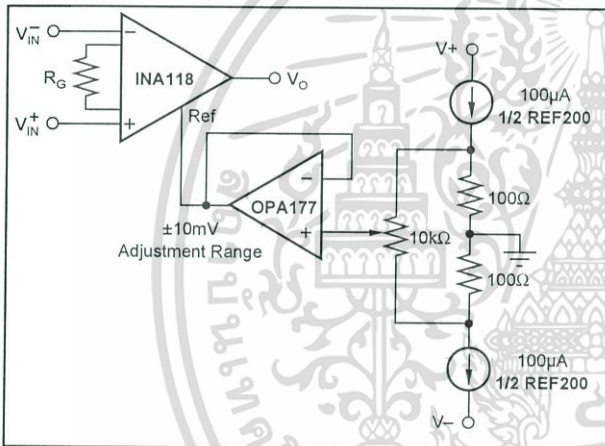


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH

The input impedance of the INA118 is extremely high—approximately $10^{10}\Omega$. However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is approximately $\pm 5\text{nA}$. High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current for proper operation. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range of the INA118 and the input amplifiers will saturate.

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two equal resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high-frequency common-mode rejection.

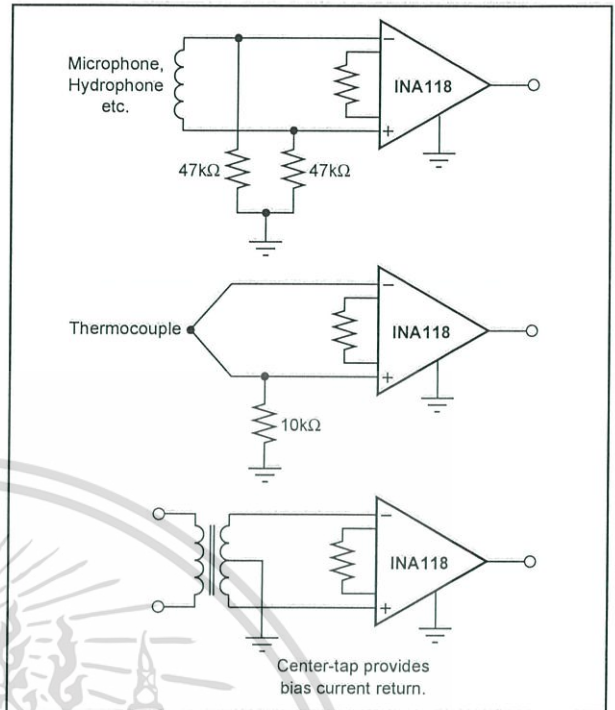


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

INPUT COMMON-MODE RANGE

The linear input voltage range of the input circuitry of the INA118 is from approximately 0.6V below the positive supply voltage to 1V above the negative supply. As a differential input voltage causes the output voltage to increase, however, the linear input range will be limited by the output voltage swing of amplifiers A_1 and A_2 . Thus, the linear common-mode input range is related to the output voltage of the complete amplifier. This behavior also depends on supply voltage—see performance curves “Input Common-Mode Range vs Output Voltage”.

Input-overload can produce an output voltage that appears normal. For example, if an input overload condition drives both input amplifiers to their positive output swing limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of the INA118 will be near 0V even though both inputs are overloaded.

LOW VOLTAGE OPERATION

The INA118 can be operated on power supplies as low as $\pm 1.35\text{V}$. Performance of the INA118 remains excellent with power supplies ranging from $\pm 1.35\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$. Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see typical performance curves. Operation at very low supply voltage requires careful attention to assure that the input voltages remain within their linear range. Voltage swing requirements of internal nodes limit the input common-mode range with low power supply voltage. Typical performance curves, “Input Common-Mode Range vs Output Voltage” show the range of linear operation for a various supply voltages and gains.

SINGLE SUPPLY OPERATION

The INA118 can be used on single power supplies of +2.7V to +36V. Figure 5 shows a basic single supply circuit. The output Ref terminal is connected to ground. Zero differential input voltage will demand an output voltage of 0V (ground). Actual output voltage swing is limited to approximately 35mV above ground, when the load is referred to ground as shown. The typical performance curve “Output Voltage vs Output Current” shows how the output voltage swing varies with output current.

With single supply operation, V_{IN}^+ and V_{IN}^- must both be 0.98V above ground for linear operation. You cannot, for instance, connect the inverting input to ground and measure a voltage connected to the non-inverting input.

To illustrate the issues affecting low voltage operation, consider the circuit in Figure 5. It shows the INA118, operating from a single 3V supply. A resistor in series with the low side of the bridge assures that the bridge output

voltage is within the common-mode range of the amplifier’s inputs. Refer to the typical performance curve “Input Common-Mode Range vs Output Voltage” for 3V single supply operation.

INPUT PROTECTION

The inputs of the INA118 are individually protected for voltages up to $\pm 40V$. For example, a condition of $-40V$ on one input and $+40V$ on the other input will not cause damage. Internal circuitry on each input provides low series impedance under normal signal conditions. To provide equivalent protection, series input resistors would contribute excessive noise. If the input is overloaded, the protection circuitry limits the input current to a safe value of approximately 1.5 to 5mA. The typical performance curve “Input Bias Current vs Input Overload Voltage” shows this input current limit behavior. The inputs are protected even if the power supplies are disconnected or turned off.

INSIDE THE INA118

Figure 1 shows a simplified representation of the INA118. The more detailed diagram shown here provides additional insight into its operation.

Each input is protected by two FET transistors that provide a low series resistance under normal signal conditions, preserving excellent noise performance. When excessive voltage is applied, these transistors limit input current to approximately 1.5 to 5mA.

The differential input voltage is buffered by Q_1 and Q_2 and impressed across R_G , causing a signal current to flow through R_G , R_1 and R_2 . The output difference amp, A_3 , removes the common-mode component of the input signal and refers the output signal to the Ref terminal.

Equations in the figure describe the output voltages of A_1 and A_2 . The V_{BE} and IR drop across R_1 and R_2 produce output voltages on A_1 and A_2 that are approximately 1V lower than the input voltages.

$$A_1 \text{ Out} = V_{CM} - V_{BE} - (10\mu A \cdot 25k\Omega) - V_D/2$$

$$A_2 \text{ Out} = V_{CM} - V_{BE} - (10\mu A \cdot 25k\Omega) + V_D/2$$

Output Swing Range A_1, A_2 : $(V^+) - 0.65V$ to $(V^-) + 0.06V$
 Amplifier Linear Input Range: $(V^+) - 0.65V$ to $(V^-) + 0.98V$

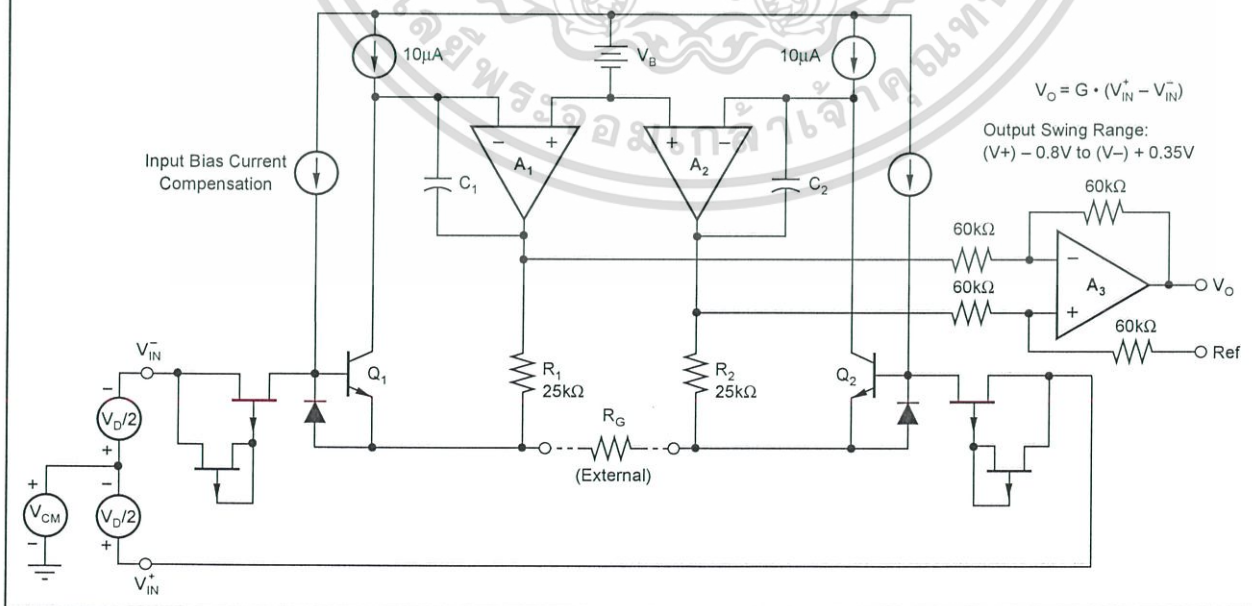


FIGURE 4. INA118 Simplified Circuit Diagram.



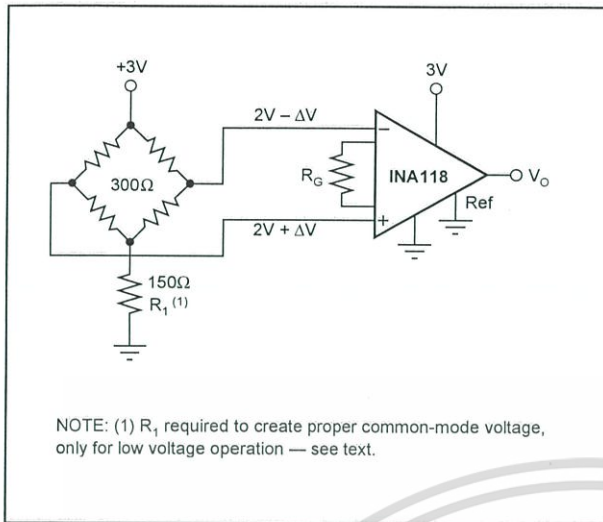


FIGURE 5. Single-Supply Bridge Amplifier.

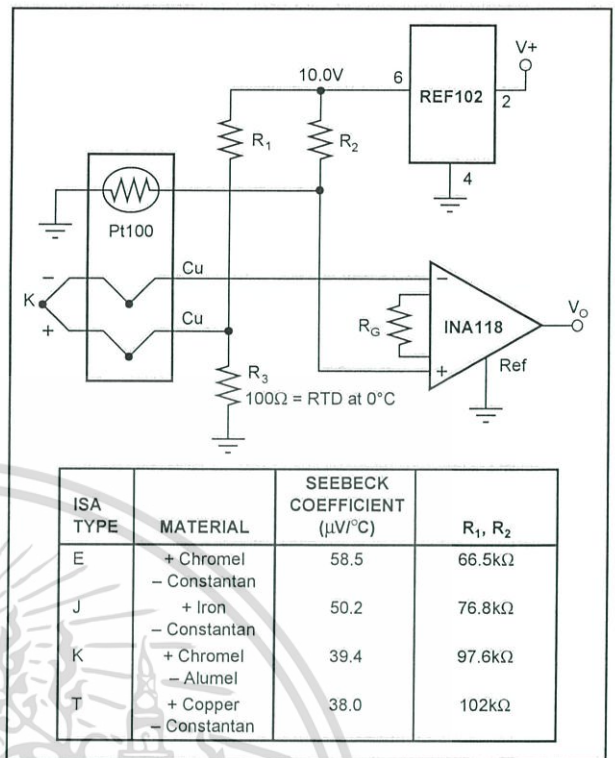


FIGURE 7. Thermocouple Amplifier With Cold Junction Compensation.

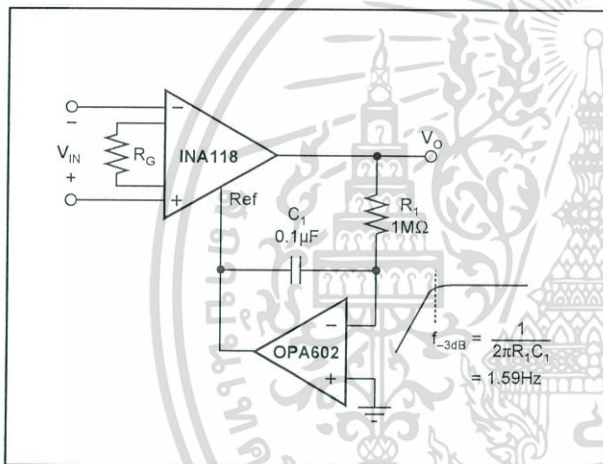


FIGURE 6. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

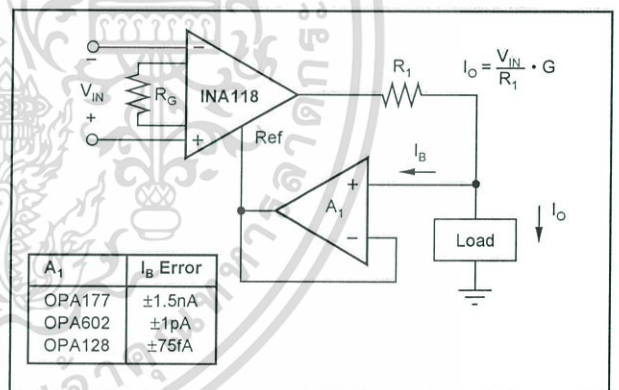


FIGURE 8. Differential Voltage to Current Converter.

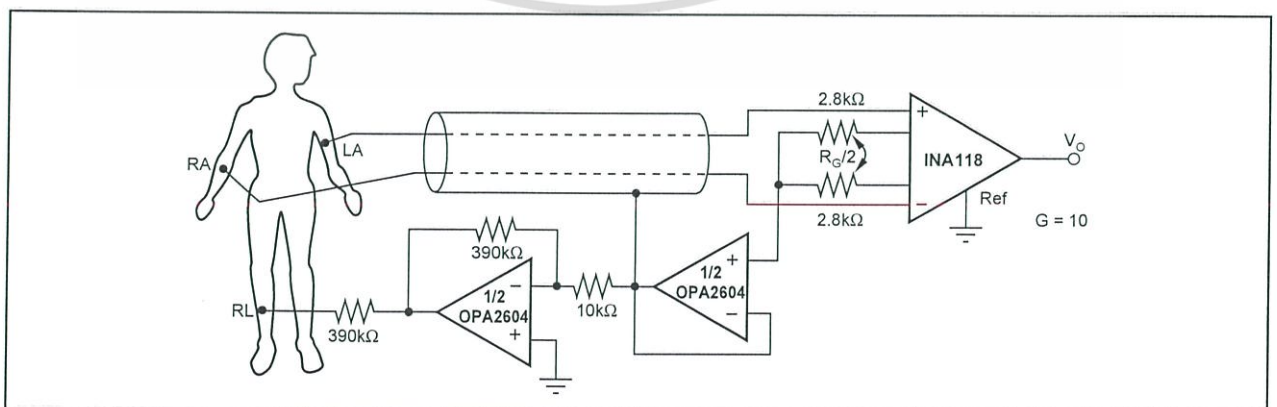


FIGURE 9. ECG Amplifier With Right-Leg Drive.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
INA118P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA118PB	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA118PBG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA118PG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA118U	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118U/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118UB	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118UB/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118UB/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118UBG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA118UG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

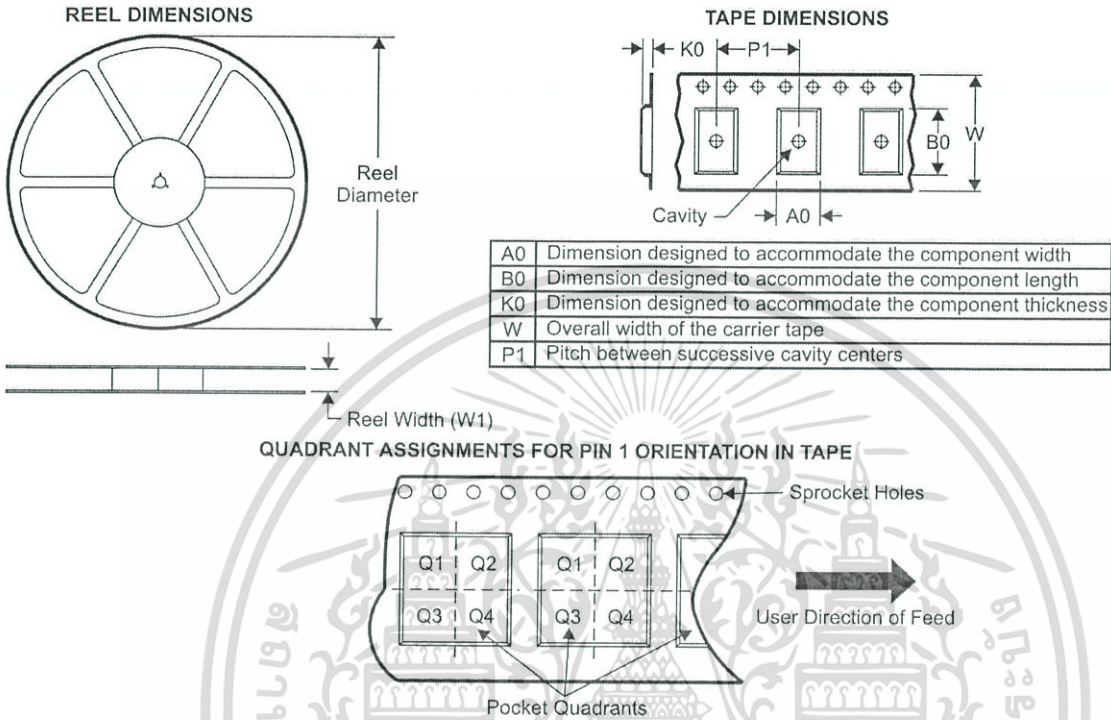
⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



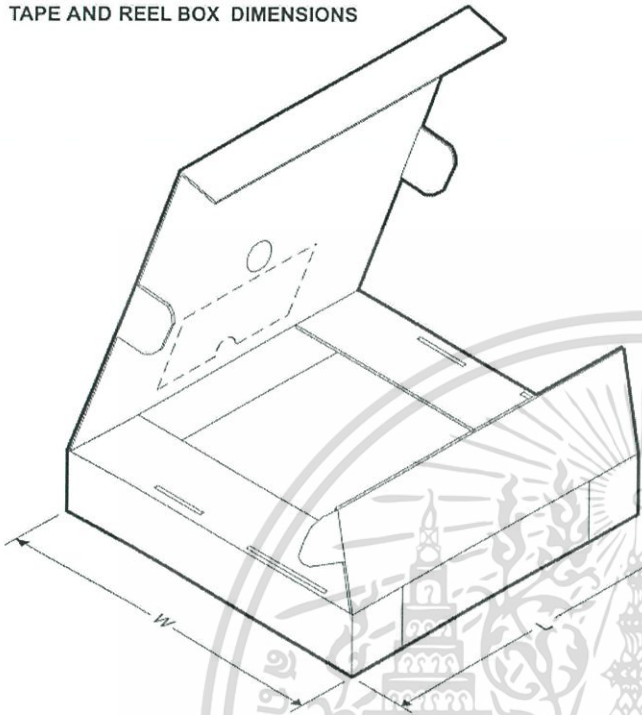
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA118U/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
INA118UB/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA118U/2K5	SOIC	D	8	2500	346.0	346.0	29.0
INA118UB/2K5	SOIC	D	8	2500	346.0	346.0	29.0

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Amplifiers amplifier.ti.com
Data Converters dataconverter.ti.com
DLP® Products www.dlp.com
DSP dsp.ti.com
Clocks and Timers www.ti.com/clocks
Interface interface.ti.com
Logic logic.ti.com
Power Mgmt power.ti.com
Microcontrollers microcontroller.ti.com
RFID www.ti-rfid.com
RF/IF and ZigBee® Solutions www.ti.com/lprf

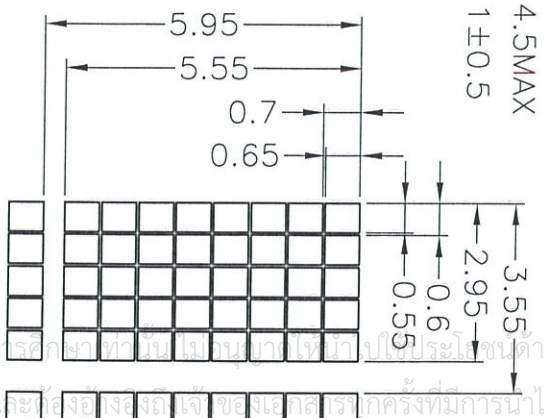
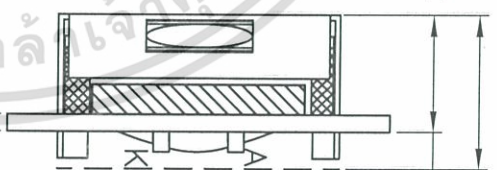
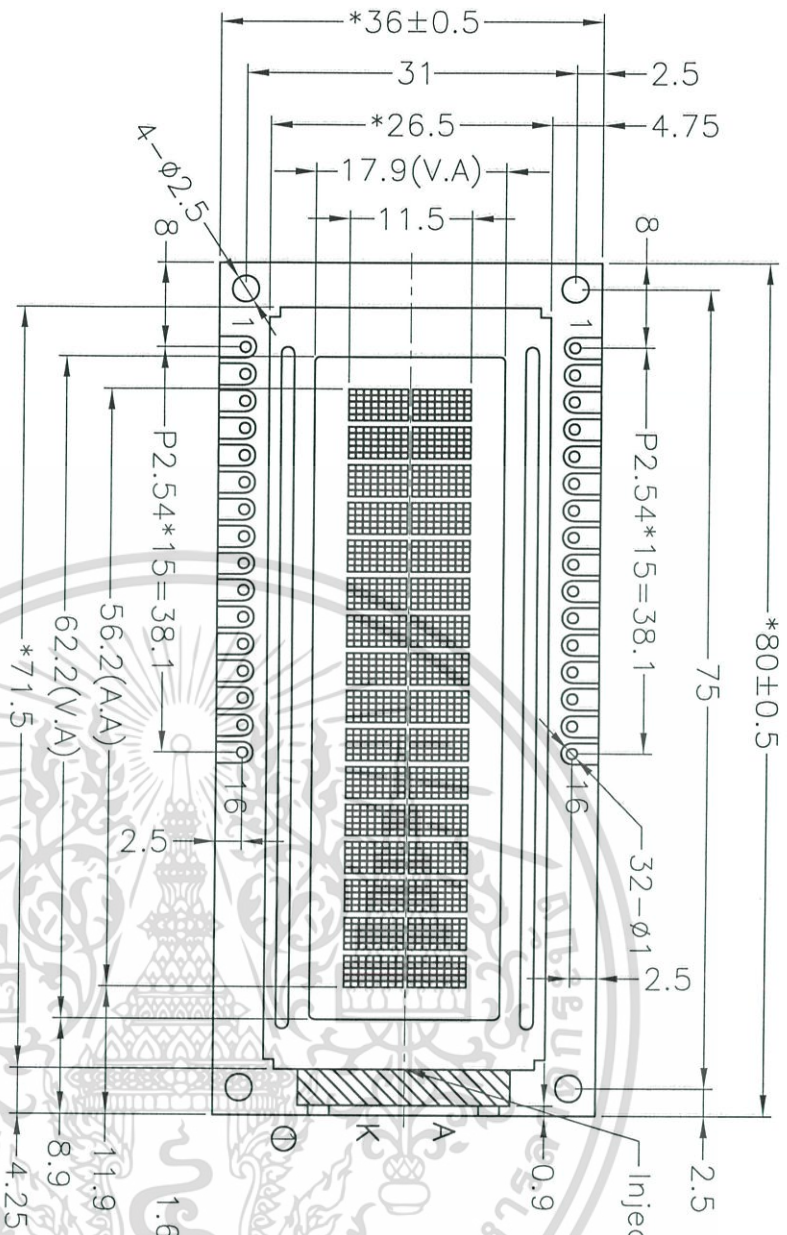
Applications

Audio www.ti.com/audio
Automotive www.ti.com/automotive
Broadband www.ti.com/broadband
Digital Control www.ti.com/digitalcontrol
Medical www.ti.com/medical
Military www.ti.com/military
Optical Networking www.ti.com/opticalnetwork
Security www.ti.com/security
Telephony www.ti.com/telephony
Video & Imaging www.ti.com/video
Wireless www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV 版本	DESCRIPTION 描述	DATE 日期
A00	First Issue	Nov-10-2006
A01	Change LED $\text{\textcircled{D}}$	Nov-25-2006
C	Update	Nov-28-2007



VIEWING DIRECTION

- Specification:
- 1). Driving: Duty:1/16, Bias:1/5, VLCD:4.2V, VDD:5.0V
 - 2). Viewing direction: 6 O'clock
 - 3). Display mode: STN/Positive/Transflective/Grey
 - 4). Operating temp.: -20°C~+70°C
Storage temp.: -30°C~+80°C
 - 5). IC: SPLC780D-001B-C(or compatible)
 - 6). Backlight: Edge White(2PCS SMD 4.0V 30mA) $\text{\textcircled{D}}$
 - 7). Dimensions with mark "*" are important, with mark "()" are referenced
 - 8). All the raw materials are RoHS compliant

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8
CONNECTOR	VSS	VDD	VO	RS	R/W	E	DO	D1
PIN	9	10	11	12	13	14	15	16
CONNECTOR	D2	D3	D4	D5	D6	D7	LEDA	LEDK

DOTS SIZE
SCALE:5/4

深圳秋田电子有限公司
SHENZHEN AV-DISPLAY CO.,LTD.

SCALE: FIT 适应图面
SHEET: 1 OF 1
GENERAL TOL: ±0.3
UNIT 单位: mm

PART NO: 零件编码	C/D 结构图	PROJECTION 三角法	MODEL NUMBER 模组型号	APPROVALS 签字	DATE 日期
ABC016002A10-GHW-R			ABC016002A10-GHW-R	APP: _____	_____
DO NOT SCALE THIS DRAWING.				CHK: _____	_____
				DWN: _____	_____