

อภินันทนาการ



เครื่องให้อาหารสุนัขอัตโนมัติ

AUTOMATIC DOG FEEDING MACHINE



นายพนพล ตั้งศรีวงศ์ รหัส 51361605

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยวิศวกรรม
วันลงทะเบียน 12.4 ส.ค. 2554
เลขทะเบียน 17291058
เลขเรียกหนังสือ 1/5

21/7/54  
2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวิศวกรรม  
 ปีการศึกษา 2554



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องให้อาหารสุนัขอัตโนมัติ  
ผู้ดำเนินโครงการ นายพนพล ตั้งศรีวงศ์ รหัส 51361605  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ  
(อาจารย์เศรษฐา ตั้งคำวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องให้อาหารสุนัขอัตโนมัติ
ผู้ดำเนินโครงการ	นายนพพล ตั้งศรีวงศ์ รหัส 51361605
ที่ปรึกษาโครงการ	รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องให้อาหารสุนัขอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการให้อาหารสุนัข เมื่อเจ้าของสุนัขนั้นไม่ได้อยู่บ้านหรือติดงานจนไม่สามารถกลับให้อาหารได้ทันโดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอซีระบบฐานเวลา และโพลคเซลล์ เครื่องให้อาหารสุนัขที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ใช้โพลคเซลล์ในการชั่งมวลของอาหารในถาดอาหาร นำสัญญาณแรงดันที่วัดได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ 18F452 เพื่อประมวลผลตรวจสอบปริมาณอาหารในถาด เหลือมากน้อยเพียงใด และไอซีระบบฐานเวลา DS1307 จะส่งฐานเวลาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I<sup>2</sup>C เพื่อให้เทียบอ้างอิงเวลาจ่ายอาหาร เมื่อถึงเวลาจ่ายอาหารและปริมาณอาหารในถาดไม่เหลือเลย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณแรงดันไปยังมอเตอร์เพื่อเปิดและปิดฝาถาดใส่อาหาร โดยผ่าน ไอซี L298N ซึ่งสามารถบังคับทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง เครื่องให้อาหารสุนัขนี้สามารถให้ปริมาณอาหารได้สูงสุดถึง 500 กรัมต่อครั้ง และให้อาหารได้มากที่สุด 2 ครั้ง/วัน

**Project title** Automatic Dog Feeding Machine  
**Name** Mr. Nopphon Thungsriwong ID. 51361605  
**Project advisor** Associate Professor Yongyut Chonbodeechalermroong, Ph.D.  
**Major** Electrical Engineering  
**Department** Electrical and Computer Engineering  
**Academic year** 2011

---

### Abstract

This project presents the development of an automatic dog feeding machine for feeding dogs when owners don't have time to feed their dogs, by using a microcontroller, a load cell and a real time clock IC. The developed machine consists of the load cell used for weighing the mass of the dog's feed on a bowl. The voltage signal of mass is sent to the microcontroller 18F452 for processing in order to check the amount of feed on the bowl and the real time clock IC DS1307 then sends signals to the microcontroller via I<sup>2</sup>C bus for the reference time. When the setting time has come and no dog food left on a bowl, the microcontroller sends the output voltage to drive the motor for controlling a lid of the feeding box via L298N ICs while the L298N ICs is used for controlling the direction of dc motor. This dog feeding machine can feed up to 500 grams per each feeding time and up to 2 times per day.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความช่วยเหลือในโครงการนี้ ทำให้สามารถดำเนินไปได้ด้วยดี โดยให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการตลอดและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาบัตร ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห และ อาจารย์ เศรษฐา ตั้งคำวานิช ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการออกมาสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้คำแนะนำ ในการจัดพิมพ์รูปเล่มปริญญาบัตร รวมถึงแก้ไขและปรับปรุงให้รูปเล่มถูกต้องตามหลักการทำรูปเล่มปริญญาบัตร

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่มีได้กล่าวไว้ ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และผู้ดำเนินโครงการทำได้นำความรู้ที่ได้มาดำเนินการโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ได้ช่วยเหลืออุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ออกเหนือสิ่งใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา พร้อมรับปรึกษาปัญหาในทุกๆเรื่อง รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จอย่างทุกวันนี้และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของผู้ดำเนินโครงการที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายพนพล ตั้งศรีวงศ์

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 Microcontroller.....	4
2.2 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
2.3 การเกิดสัญญาณฮิสเทรีซิส.....	9
2.4 สเตรนเกจ (Strain Gauge).....	16
2.5 Operational Amplifier (Op-amp).....	22
2.6 มอเตอร์.....	28
2.7 จอLCD.....	33
2.8 วงจรกรองความถี่ (Filter).....	36

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter).....	42
2.10 ระบบการสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C และ ไอซีเวลา DS1307.....	45
<b>บทที่ 3 วิธีการออกแบบและสร้างเครื่องให้อาหารสุนัข.....</b>	<b>52</b>
3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง.....	53
3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง.....	55
3.3 การออกแบบและสร้างวงจรพร้อม โปรแกรมควบคุมใช้งาน.....	57
3.4 ส่วนประกอบของกล่องให้อาหารสุนัขแห่ง.....	71
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>73</b>
4.1 ผลการทดสอบ โหลดเซลล์ที่ติดกับอาหารตัวอย่าง.....	73
4.2 ผลการทดสอบปริมาณของอาหารที่จ่ายออกมา.....	75
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพควบคุมการจ่ายอาหาร.....	76
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>82</b>
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการ.....	82
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	83
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ.....	84
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในงาน.....	86
ภาคผนวก ข แบบร่าง โครงสร้างของกล่องให้อาหาร.....	148
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ.....	152

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคริสตอลกับค่า C.....	11
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าRCและความถี่สัญญาณนาฬิกา.....	11
2.3 แสดงบิตข้อมูลที่ควบคุมความถี่.....	51
3.1 แสดงทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	66
4.1 การวัดค่ามวลของอาหารออกเป็นค่าแรงดันและค่าตัวเลขแปลงสัญญาณA/D.....	74
4.2 ผลการจ่ายปริมาณอาหารของเครื่องให้อาหาร.....	75
4.3 ผลการทดลองควบคุมการจ่ายอาหารของเครื่องกรณีอาหารเหลือในถาดเท่ากับ0กรัม .....	80
4.4 ผลการทดลองควบคุมการจ่ายอาหารของเครื่องกรณีอาหารเหลือในมากกว่าหรือเท่ากับ100กรัม .....	81





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงถึงโครงสร้างการทำงานภายในของPIC18F452.....	5
2.2 แสดงถึงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F452.....	6
2.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากคริสตอล.....	10
2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากRและC.....	12
2.5 ลักษณะของไอซี 555.....	13
2.6 ลักษณะการต่อวงจรให้กำเนิดสัญญาณเวลาของไอซีเบอร์555.....	14
2.7 สัญญาณเวลาที่ได้จากวงจร.....	15
2.8 หลักการของเปียโซรีซิสทีฟ.....	17
2.9 สเตรนเกจแบบขดลวด.....	19
2.10 ลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน.....	20
2.11 ลักษณะวงจรวิทส โคนบรีดจ์.....	21
2.12 ลักษณะวงจรวิทส โคนบรีดจ์เมื่อนำใหม่เพื่อเข้าใจง่ายขึ้น.....	21
2.13 สัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	22
2.14 วงจรเทียบเท่าของออปแอมป์.....	23
2.15 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	24
2.16 วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier).....	25
2.17 วงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนต์.....	26
2.18 ลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	28
2.19 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วตั้ง.....	28
2.20 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม.....	29
2.21 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม.....	29
2.22 แสดงการทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก.....	30
2.23 กราฟแสดงเส้นแรงแม่เหล็ก.....	30
2.24 โครงสร้างพื้นฐานของในการขับจอ LCD.....	33
2.25 หน้าจอของLCD แบบ 16X 4.....	34

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงเลขระบุตำแหน่งการแสดงผลบนจอLCD 16X4.....	34
2.27 หน้าจอของLCD แบบ 20X 4.....	34
2.28 แสดงเลขระบุตำแหน่งการแสดงผลบนจอLCD 20X4.....	35
2.29 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลักษณะแบบPassive.....	36
2.30 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter).....	37
2.31 กราฟแสดงลักษณะอัตราขยายที่ 3dB ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	38
2.32 วงจรกรองความถี่ผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท(Low Pass Butterworth Filter).....	39
2.33 กราฟแสดงลักษณะอัตราขยายที่ 3dB ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบบัตเตอร์เวิร์ท.....	41
2.34 กระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	42
2.35 การต่อตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อ Scaling.....	43
2.36 ลักษณะของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการ Sample & Hold.....	43
2.37 ลักษณะการเชื่อมต่อสารของอุปกรณ์แบบI <sup>2</sup> C.....	45
2.38 ลักษณะสัญญาณข้อมูลในระบบบัสI <sup>2</sup> C.....	46
2.39 ลักษณะข้อมูลในการอ้างแอดเดรส.....	47
2.40 รูปแบบข้อมูลในการอ้างถึงแบบ 7 บิต.....	47
2.41 รูปแบบข้อมูลในการอ้างถึงแบบ 10 บิต.....	48
2.42 ลักษณะของไอซีDS1307.....	48
2.43 ลักษณะการส่งข้อมูลไปยังDS1307.....	49
2.44 ลักษณะการเก็บข้อมูลของDS1307.....	50
3.1 System Overview Diagram.....	52
3.2 แผนภาพแสดงการทำงานทั้งหมด.....	55
3.3 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนตรวจปริมาณอาหาร.....	56
3.4 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผล.....	57
3.5 แผนภาพแสดงลักษณะโปรแกรมที่ใช้ป้อนค่า.....	58
3.6 แผนภาพแสดงลักษณะโปรแกรมของการทำงานเครื่อง.....	59
3.7 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์.....	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์.....	60
3.9 แผนภาพวงจรแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงปรับแรงดัน 5 ถึง 25 โวลต์.....	61
3.10 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายปรับแรงดัน 5 ถึง 25 โวลต์ .....	61
3.11 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด +5 โวลต์+15 โวลต์ -15 โวลต์.....	62
3.12 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แหล่งจ่ายขนาด +5 โวลต์+15 โวลต์ -15 โวลต์ .....	63
3.13 แผนภาพวงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์แบบใช้กระแส 4 แอมแปร์.....	64
3.14 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์แบบใช้กระแส 4 แอมแปร์ .....	65
3.15 แผนภาพวงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล.....	67
3.16 การประกอบวงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล.....	68
3.17 แผนภาพวงจรรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจาก โพลดเซลล์.....	69
3.18 การประกอบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจาก โพลดเซลล์.....	70
3.19 ลักษณะของกล่องใส่อาหารเม็ดสุนัขแห้ง.....	71
3.20 ลักษณะภายในของกล่องใส่อาหาร.....	72
3.21 ลักษณะกล่องใส่อาหารที่มีการติดตั้งฝาปิดแล้ว.....	72
4.1 ลักษณะของอาหารเม็ดสุนัขที่ใช้ในการทดสอบ.....	73
4.2 หน้าจอแอลซีดีแสดงค่าแรงดันและตัวเลขแปลง A/D.....	74
4.3 เครื่องให้อาหารสุนัขที่ทำการประกอบแล้ว.....	76
4.4 เมนูจอแอลซีดีสถานะพร้อมใช้งาน.....	76
4.5 แสดงฟังก์ชันการตั้งเวลาบนจอแอลซีดี.....	77
4.6 แสดงการตั้งเวลาที่ผัดเงื่อนไข.....	77
4.7 แสดงฟังก์ชันการตั้งปริมาณอาหารบนจอแอลซีดี.....	77
4.8 แสดงการตั้งค่าปริมาณอาหารผัดเงื่อนไข.....	78
4.9 แสดงฟังก์ชันการตั้งเวลาให้อาหารบนจอแอลซีดี.....	78

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงลักษณะการตรวจสอบปริมาณอาหารในถาด.....	78
4.11 แสดงลักษณะกรณีที่เครื่องได้ทำการจ่ายอาหาร.....	79
4.12 แสดงลักษณะกรณีที่ไมใส่ถาดอาหาร.....	79
4.13 แสดงลักษณะกรณีที่อาหารยังไม่หมด.....	79



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้การเลี้ยงสุนัขในประเทศไทยนั้นเป็นที่นิยมกันแพร่หลายมาก ทั้งนี้เลี้ยงเพื่อเฝ้าบ้าน เลี้ยงไว้เพื่อเป็นเพื่อนแก้เหงา รวมไปถึงเลี้ยงเพื่อประกวดความสวยงาม ซึ่งบางครั้งที่ผู้เลี้ยงอาจจะไม่มีเวลาที่จะให้อาหารสุนัขของตน เช่น ไปทำธุระข้างนอกแล้วไม่สามารถกลับให้อาหารได้ทันเวลา ทำให้ส่งผลเสียต่อสภาพจิตใจของสุนัขเป็นอย่างมาก แน่แน่นอนว่าบางท่านคิดว่า ให้อาหารในถาดอาหารสุนัขทิ้งไว้เยอะ แต่นั่นไม่ใช่ความคิดที่ดีเลย เพราะสุนัขบางสายพันธุ์จะมีนิสัยการกินอาหารที่ว่ กินไม่รู้จักพอ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของสุนัขได้ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการเห็นปัญหาและความสำคัญ จึงได้คิดค้นหาวิธีให้อาหาร โดยสร้างเครื่องให้อาหารสุนัขโดยอัตโนมัติขึ้น ซึ่งตัวเครื่องนี้สามารถตั้งเวลาให้อาหาร กำหนดปริมาณของอาหาร รวมไปถึงสามารถควบคุมการให้อาหารได้เป็นการประหยัดค่าอาหารได้อีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินโครงการ

สร้างเครื่องให้อาหารสุนัขแบบเม็ดแห้งที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมกับกลไกที่ใช้ควบคุมปริมาณอาหารที่จะปล่อยออกมาจากกล่องบรรจุอาหารได้

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้เครื่องให้อาหารสุนัขโดยอัตโนมัติที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
- 1.3.2 สามารถนำความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์ในโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นได้
- 1.3.3 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้ในด้านอื่นได้
- 1.3.4 สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเครื่องให้อาหารสุนัขโดยอัตโนมัติให้ดีขึ้นไปได้

#### 1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการให้อาหารสุนัขแบบอาหารเม็ดแห้ง สามารถกำหนดปริมาณของอาหารได้ระหว่าง 100กรัม จนถึง500กรัมและสามารถกำหนดเวลาที่จะให้อาหารได้ถึง 2 ครั้ง/วัน โดยใช้ PIC18F452 เพื่อประมวลผลสัญญาณที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดน้ำหนัก ทำให้ควบคุมปริมาณอาหารได้

#### 1.5 ขั้นตอนของการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 ศึกษาหลักการการทำงานและทำการทดสอบเซนเซอร์วัดแรงทางกล
- 1.5.2 ศึกษาหลักการการทำงานและทำการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.5.3 ศึกษาหลักการการทำงานและทำการทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโครงการ
- 1.5.4 ดำเนินการสร้างชิ้นงานและหาข้อผิดพลาดร่วมไปถึงแก้ไขชิ้นงาน
- 1.5.5 จัดทำรูปเล่มและคู่มือการทำงานของอุปกรณ์

#### 1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

การดำเนินงาน	ปี2554							ปี2555		
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.เขียนโครงการรูปแบบการทำงาน	←→									
2.รวบรวมข้อมูลและเอกสาร		←→								

การดำเนินงาน	ปี2554							ปี2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
3.วิเคราะห์ และ ออกแบบ ชิ้นงาน			←————→							
4.สร้าง, ทดสอบ และหา ข้อผิดพลาด ของชิ้นงาน							←————→			
5.ปรับปรุง และแก้ไข ชิ้นงาน								←————→		
6.จัดทำ คู่มือและ เอกสารการ ใช้งาน									←————→	

### 1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1.7.1 ค่าวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ	500 บาท
1.7.2 ค่าจัดทำรูปเล่ม	400 บาท
1.7.3 ค่าเบ็ดเตล็ด	100 บาท
รวมทั้งหมด	1,000 บาท

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 Microcontroller

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ไอซี(IC: Integrated Circuit) ที่สามารถเขียนโปรแกรมทำงานได้ซับซ้อน โดยรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งเอาต์พุตข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งที่มีเหมือนกับหน่วยประมวลผลกลาง(CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แตกต่างกันได้มีการพัฒนาวงจรที่จำเป็น เช่นหน่วยความจำ ส่วนอินพุต และเอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน รวมไปถึงการเพิ่มวงจรบางอย่างที่ทำให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น

แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC นั้นมีด้วยกันอยู่หลายเบอร์และมีโครงสร้างภายในนั้นแตกต่างกัน เช่นขาของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีตั้งแต่ขาจนไปถึง 80 ขาหรือมากกว่า เป็นต้น รวมไปถึงหน่วยความจำที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมมีทั้งแบบ EPROM, แบบ OTP, แบบ EEPROM ซึ่งความแตกต่างกัน ดังนี้

1. OTP (One-Time Programmable) เป็นชิปประเภทที่มีราคาถูกที่สุด แต่สามารถทำโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งชิปประเภทนี้จะใช้ในกรณีที่พัฒนาโปรแกรมจนไม่พบจุดบกพร่องของโปรแกรมอีกแล้ว

2. EPROM (Erasable Programmable ROM) เป็นชิปประเภทที่เขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถลบโปรแกรมเดิมได้ด้วยแสง UV (Ultra Violet) ดังนั้นที่ด้านบนของชิปจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในชิปได้

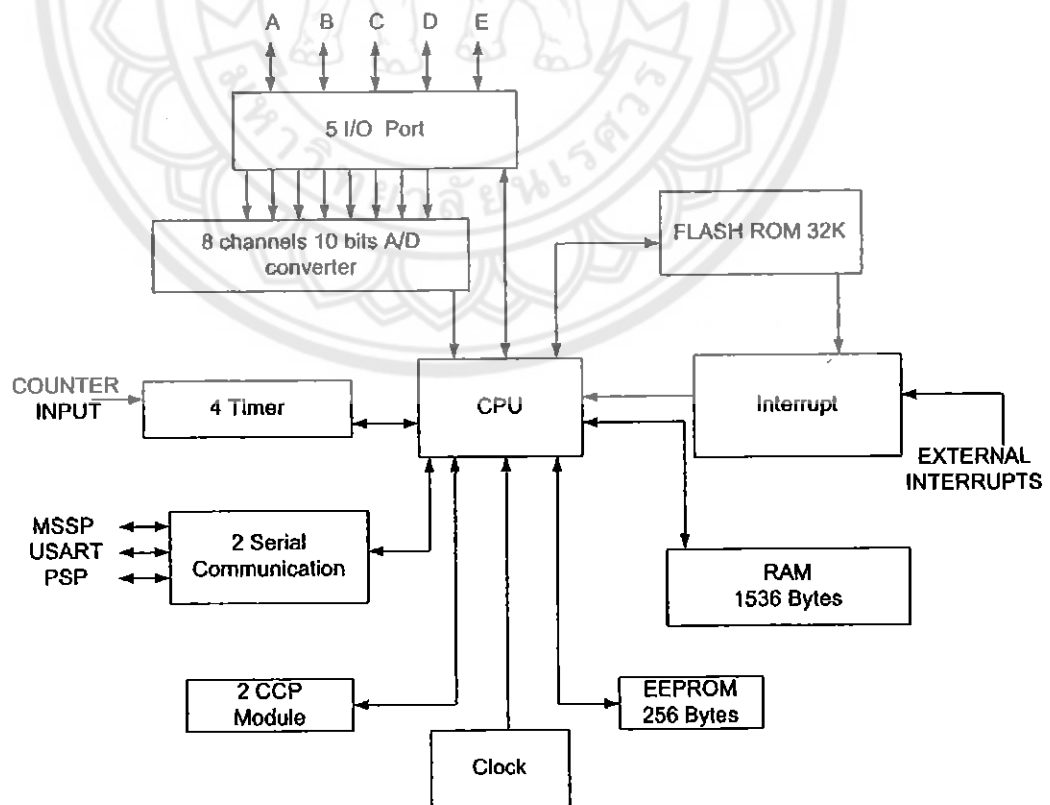
3. EEPROM (electronically erasable programmable ROM) หรือที่เรียกทั่วไปแบบแฟลช (Flash) เป็นชิปประเภทที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยไฟฟ้า และสามารถลบและเขียนได้ใหม่ได้หลายพันครั้ง



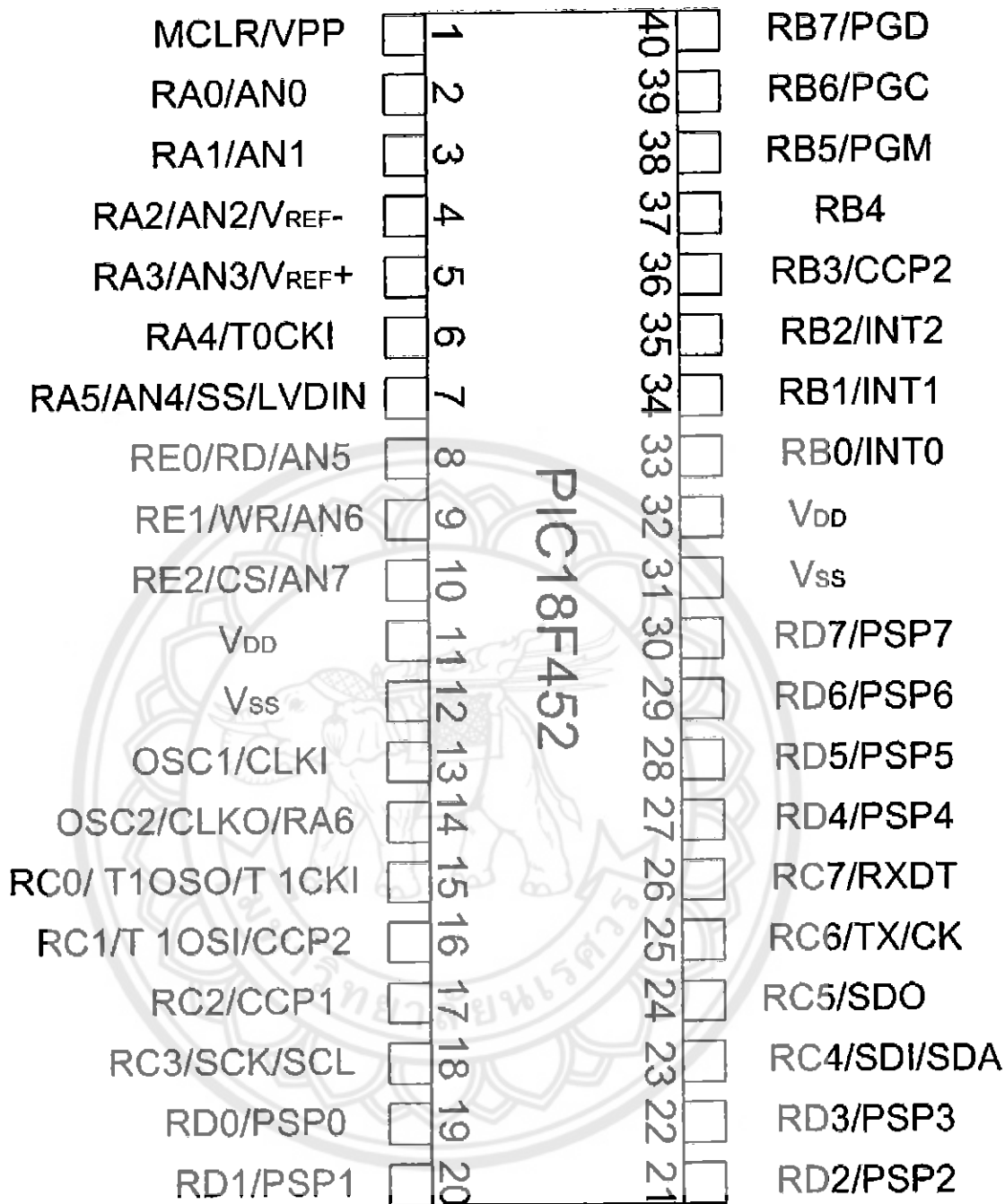
### 2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC รุ่นPIC18F452

ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช(Flash ROM) ขนาด 32K
- หน่วยความจำข้อมูล (RAM) ขนาด 1536 Bytes
- EEPROM ภายในขนาด 256 Bytes
- Timerทั้งหมด 4 ตัว คือ Timer 0, Timer1, Timer 2และTimer3
- ช่องการรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด18 แห่ง
- โมดูล Capture/Compare/PWM (CCP) ทั้งหมด 2 ตัว
- โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล(A/D converter) ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- โมดูลพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรมทั้งหมด 2 ตัว
- พอร์ตอินพุต-เอาต์พุตทั้งหมด 5 พอร์ต คือ พอร์ตA , พอร์ตB , พอร์ตC, พอร์ตD และพอร์ต E



รูปที่ 2.1 แสดงถึงโครงสร้างการทำงานภายในของPIC18F452



รูปที่ 2.2 แสดงถึง โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F452

## 2.2 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาษาที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นจะแตกต่างกันตาม ไมโครคอนโทรลเลอร์ของแต่ละตระกูล ซึ่งประเภทของภาษาที่ใช้สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ภาษา Assembly คือรูปแบบภาษาเครื่องที่มนุษย์สามารถอ่านออกได้ ภาษา assembly เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการแปลงจากคำสั่งที่มนุษย์อ่านไปได้เป็นภาษาเครื่อง โปรแกรมที่เขียนโดยภาษา assembly จะทำงานเร็วและมีขนาดเล็ก เนื่องจาก เข้าถึงตัว Hardware ได้โดยตรง
2. ภาษา Basic คือภาษาที่มีระดับสูงกว่าภาษาแอสเซมบลี เนื่องจากการเขียน โปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีนั้นผู้เขียนจำเป็นต้องมีความรู้การทำงานภายในของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่บ้าง ทำให้ผู้จะพัฒนาโปรแกรมต้องศึกษาการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนซึ่งต้องอาศัยเวลา และพื้นฐานความรู้ ดังนั้นภาษาเบสิกจึงเป็นทางเลือกเพื่ออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมเนื่องจากเป็นภาษาที่ง่ายมากสำหรับผู้เริ่มต้นเขียน โปรแกรม แต่ความเร็วในการทำงานของโปรแกรมค่อนข้างช้าและไม่ยืดหยุ่นในการทำงาน
3. ภาษา C คือ ภาษาที่มีระดับสูงคล้ายกับภาษาเบสิกแต่ภาษาซีจะเป็นภาษาที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรมมากกว่าภาษาเบสิก อีกทั้งยังสามารถใช้ภาษาซีในการเข้าถึงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลยทำให้โปรแกรมภาษาซีสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว

### 2.2.1 Compiler ที่ใช้ในการเขียน PIC

ในปัจจุบันได้มีหลายบริษัทพัฒนา Compiler เช่น บริษัทไมโครชิพ (microchip) ได้มีการพัฒนา MPLAB C , บริษัทซีซีเอส (Custom Computer Services) ได้มีการพัฒนา Compiler Features , บริษัทไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (MikroElektronika) ได้มีการพัฒนา mikroPascal PRO , mikroC PRO และ mikroBasic PRO ทั้งนี้การพัฒนาทั้งหมดนี้เพื่อต้องการให้มีการใช้งานที่ง่ายขึ้น

### 1) พื้นฐานภาษา C ใน PIC

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ใน PIC จะมีรูปแบบเดียวกันกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C มาตรฐาน แต่จะมีส่วนเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ชนิดข้อมูลสำหรับงานใช้ใน CCS C
2. ตัวแปรแบบโครงสร้าง
3. ฟังก์ชันอินเทอร์รัปต์ใน PIC
4. เซคเตอร์ไฟล์ เพื่อการใช้งาน โมดูลต่างๆ ใน PIC

### 2) ภาษาซีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สนับสนุนการเขียนโปรแกรมควบคุมได้ทั้งภาษาแอสเซมบลีและภาษาซี โดยเฉพาะเครื่องมือที่ใช้พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซีอย่าง CCS C ซึ่งมีไลบรารีที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก พร้อมทั้งจะควบคุมการใช้งาน โมดูลต่างๆ ที่มาเชื่อมต่อกับ PIC ทั้งนี้ยังรวมถึงไลบรารีเกี่ยวกับการใช้งานด้านประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและไลบรารีมาตรฐานภาษาซีพร้อมฟังก์ชันคำนวณทางคณิตศาสตร์ การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะเกี่ยวข้องกับการใช้งานไลบรารีที่ได้กล่าวมา

### 3) คุณสมบัติของ CCS C Compiler

ในการใช้ CCS C Compiler ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีมาตรฐาน ANSI C ที่ประกอบด้วยไลบรารีมาตรฐาน เช่น ไลบรารีคณิตศาสตร์, หน่วยความจำ, การแปลงข้อมูล เป็นต้น
2. สนับสนุนการเขียนโค้ดโปรแกรมแบบ In-line assembly ซึ่งสามารถแทรกคำสั่งในรูปภาษาแอสเซมบลีลงไป ในโค้ดภาษาซีได้ ตามรูปแบบที่คอมไพเลอร์กำหนดไว้ เมื่อต้องการควบคุมคำสั่งด้วยภาษาแอสเซมบลีโดยตรง
3. รองรับการสร้างโค้ดในรูปแบบไลบรารี เพื่อที่สามารถนำโค้ดกลับมาใช้ใหม่ได้

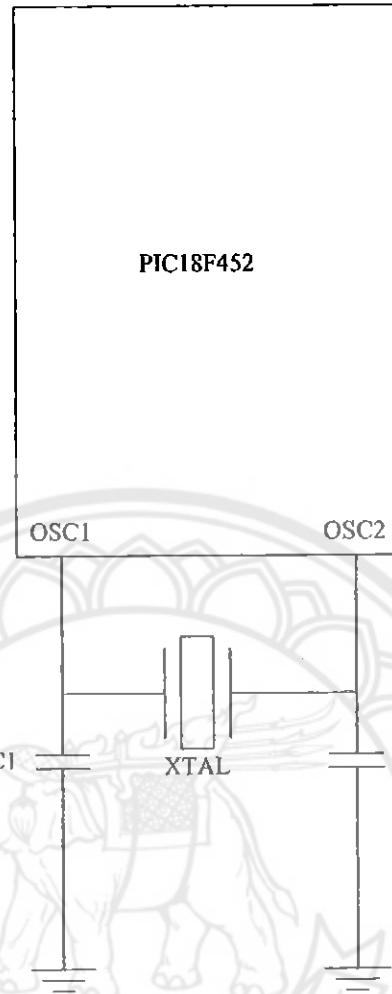
4. สามารถแปลงโค้ดโปรแกรมเพื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม MPLAB C ในการดีบั๊กโปรแกรมและ Simulator ภายใน MPLAB C ได้
5. สามารถแยกหน่วยความจำโค้ดและข้อมูลออกจากกันในตำแหน่งเฉพาะเจาะจงในหน่วยความจำหลัก

## 2.3 การเกิดสัญญาณนาฬิกา

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F452 นั้น จะไม่มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเหมือนบางรุ่นที่มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ในตัวเอง ดังนั้นเราจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดนาฬิกาจากที่อื่นแทน โดยสามารถจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้กับ PIC18F452 ได้โดยจ่ายเข้าไปที่ขา OSC1 และ OSC2 ของ PIC ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกานั้นมีหลายรูปแบบ ดังนี้

### 2.3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากคริสตัลหรือเซรามิกรีโซเนเตอร์

โดยสามารถแบ่งออกการใช้งานได้เป็น 3 โหมด ซึ่งเรียงลำดับจากคริสตัลความถี่ต่ำไปจนถึงคริสตัลความถี่สูง คือ LP (low-power), XT, HS (High-speed) การใช้งานนั้น จำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุร่วมกับคริสตัลกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอีก 2 ตัวคั้งรูป



รูปที่ 2.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากคริสตอล

โดยจ่ายสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขาOSC1และOSC2ของPIC ซึ่งค่าCจะสัมพันธ์ตามค่าความถี่ของคริสตอลนั้นๆตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคริสตอลกับค่า C

โหมด	ความถี่คริสตอล	ค่าความจุของ C
LP	32KHz	33pF
	200KHz	15pF
XT	200MHz	22-68pF
	1.0MHz	15pF
	4.0MHz	15pF
HS	4.0 MHz	15 pF
	8.0 MHz	15-33 pF
	20.0 MHz	15-33 pF
	25.0 MHz	15-33 pF

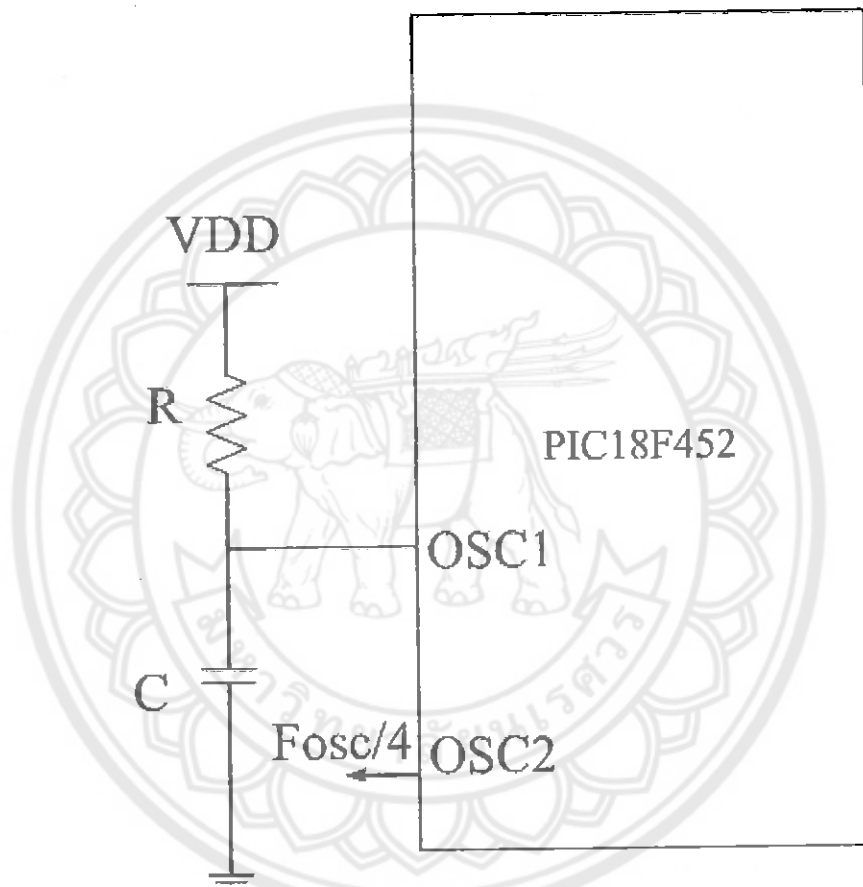
### 2.3.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจาก R และ C

โดยไม่ต้องการความเที่ยงตรงแม่นยำของสัญญาณมากนัก ซึ่งใช้ R และ C เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยเลือกใช้ค่า R ในช่วง  $3K\Omega$  จนถึง  $100K\Omega$  และเลือกใช้ค่า C ที่มีค่ามากกว่า  $20pF$  ขึ้นไป ซึ่งค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ได้จาก RC โดยจะประมาณมีค่าเท่ากับ  $1/(4.2RC)$  ดังตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RC และความถี่สัญญาณนาฬิกา

C(pF)	R(K $\Omega$ )	ความถี่(MHz)
22	3.3	3.3
	4.7	2.3
	10	1.08
30	3.3	2.4
	4.7	1.7
	10	0.793

ลักษณะการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจาก R และ C ก็มีอยู่ 2 โหมด คือ โหมด RC จ่ายสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC1 ของ PIC แล้วที่ขา OSC2 จะมีสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณนาฬิกาหาร 4 ( $F_{osc}/4$ ) ออกมา อีกโหมดหนึ่งคือ โหมด RCIO จ่ายสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC1 ของ PIC แล้วที่ขา OSC2 จะทำหน้าที่เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตของสัญญาณดิจิทัลแทน การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจาก RC ดังรูป



รูปที่ 2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจาก R และ C



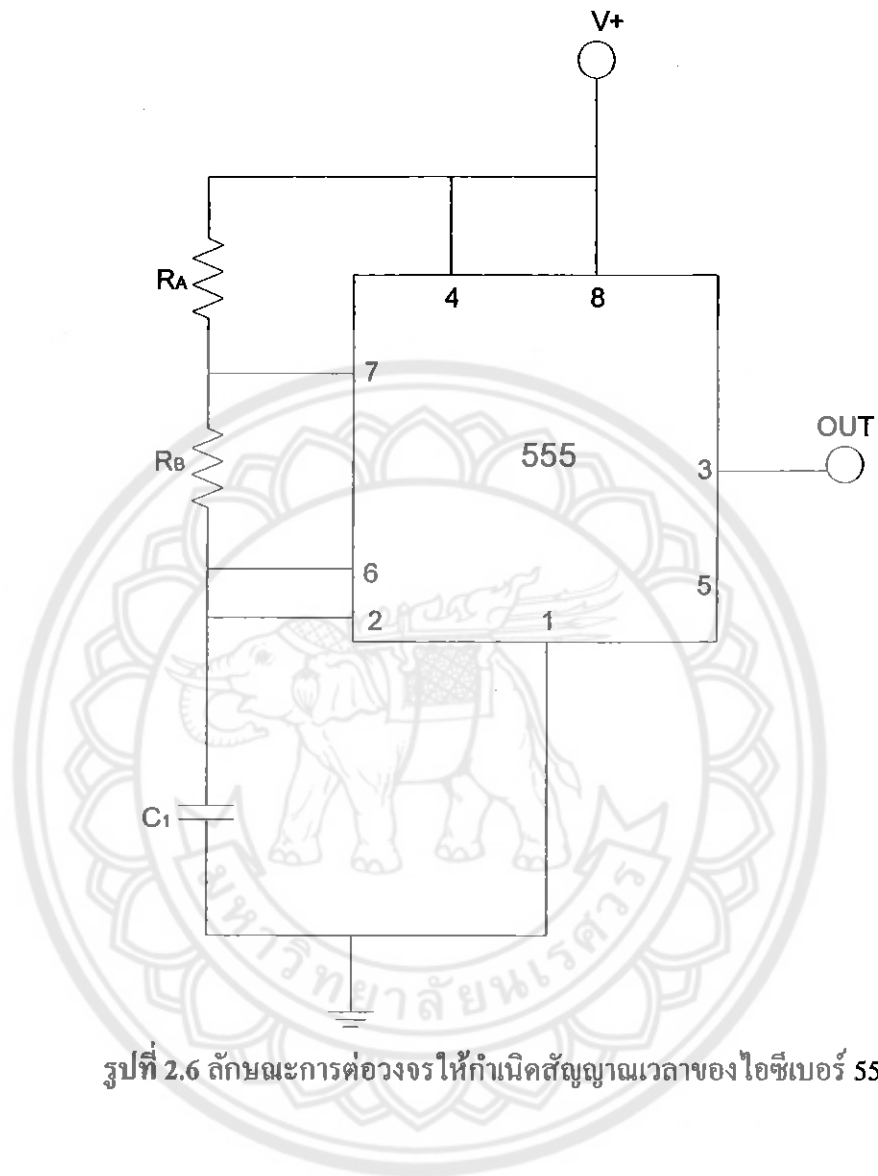
### 2.3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพิก้า

อุปกรณ์ที่ใช้ให้กำเนิดสัญญาณพิก้า ที่จะนำไปป้อนให้กับPIC นั้น ส่วนมากมีรูปแบบเป็นไอซีด้านเวลา ซึ่งจะทำงานเกี่ยวกับคาบเวลาต่างๆ และไอซีที่นิยมกันใช้งานประเภทนี้ อย่างแพร่หลายนั้นในปัจจุบัน นั้นคือ ไอซี เบอร์ 555 โดยเป็นไอซีไทเมอร์ ที่ภายในบรรจุวงจรตั้งเวลาไว้เพียงชุดเดียว ออกแบบมาเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็นวงจรหน่วงเวลาหรือวงจรกำเนิดความถี่ ที่มีเสถียรภาพในการทำงานสูง ต้องการอุปกรณ์ต่อรั่วมน้อยชิ้น สามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ไมโครวินาที ไปจนถึงหลายชั่วโมง เอาต์พุตทำงานได้ดีทั้งการจ่ายกระแสออก (Source) และรับกระแสเข้า (Sink) ใช้กับไฟเลี้ยงวงจรได้กว้างตั้งแต่เวลา 5V ถึง 15V

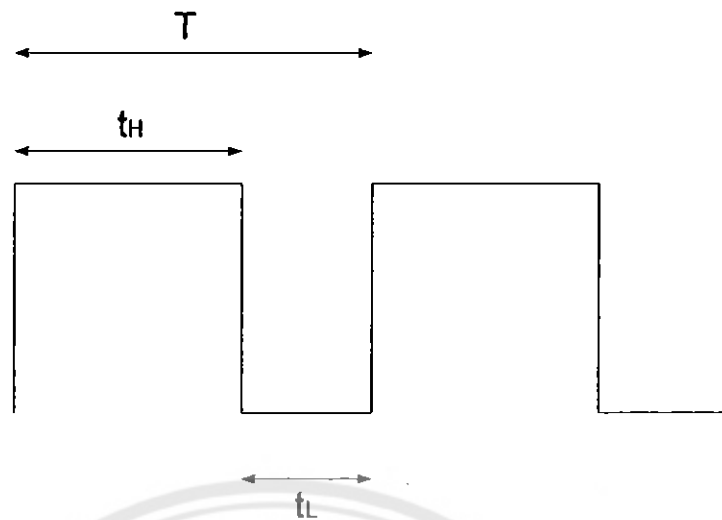


รูปที่ 2.5 ลักษณะของไอซี 555

การต่อไอซีเบอร์ 555 เพื่อเป็นวงจรให้กำเนิดสัญญาณสามารถต่อได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะการต่อวงจรให้กำเนิดสัญญาณเวลาของไอซีเบอร์ 555



รูปที่ 2.7 สัญญาณเวลาที่ได้จากวงจร

การคำนวณหาค่าตัวอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาต่อกับ ไอซีเบอร์ 555 เพื่อให้ได้สัญญาณเวลาที่เร  
ต้องการมีดังนี้

$$t_H = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (2.1)$$

$$t_L = 0.693 R_B C_1 \quad (2.2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $t_H$  คือ เวลาที่เอาต์พุตสูงในหนึ่งคาบเวลา

$t_L$  คือ เวลาที่เอาต์พุตต่ำในหนึ่งคาบเวลา

$f$  คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่กำเนิดออกมา

$R_A$  และ  $R_B$  คือ ตัวต้านทานที่กำหนดความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หน่วย  $\Omega$

$C_1$  คือ ตัวเก็บประจุที่กำหนดความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หน่วย F

## 2.4 สเตรนเกจ(Strain Gauge)

สเตรนเกจเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเพียโซเรซิสทีฟ ใช้ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดแรงกระทำทางกล โครงสร้างพื้นฐานจะประกอบด้วยฟิลาเมนต์ (Filament) ที่ทำไปนิยมนำมาจากวัสดุจำพวก ลวดตัวนำ แผ่นโลหะตัวนำบาง (metal foil) สารกึ่งตัวนำหรือโลหะผสม เช่น ทองแดง-นิกเกิล หรือ นิกเกิล-โครเมียม ซึ่งจะมีค่าความต้านทานสูงและทนทานต่อแรงกระทำทางกลสูง เมื่อนำสเตรนเกจไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปทรงของวัตถุ นั่นคือ กำลังที่จะทำการวัดความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นบนวัตถุนั้น โดยความเครียดนั้นจะมี 2 ลักษณะ คือ ความเครียดทางกล (mechanical strain,  $\epsilon$ ) กับ ความเครียดทางไฟฟ้า (electrical strain,  $G\epsilon$ ) ทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กัน โดย

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.4)$$

และ

$$G\epsilon = \frac{\Delta R}{R} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\epsilon$  คือ ความเครียดทางกล

$\Delta L$  คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป

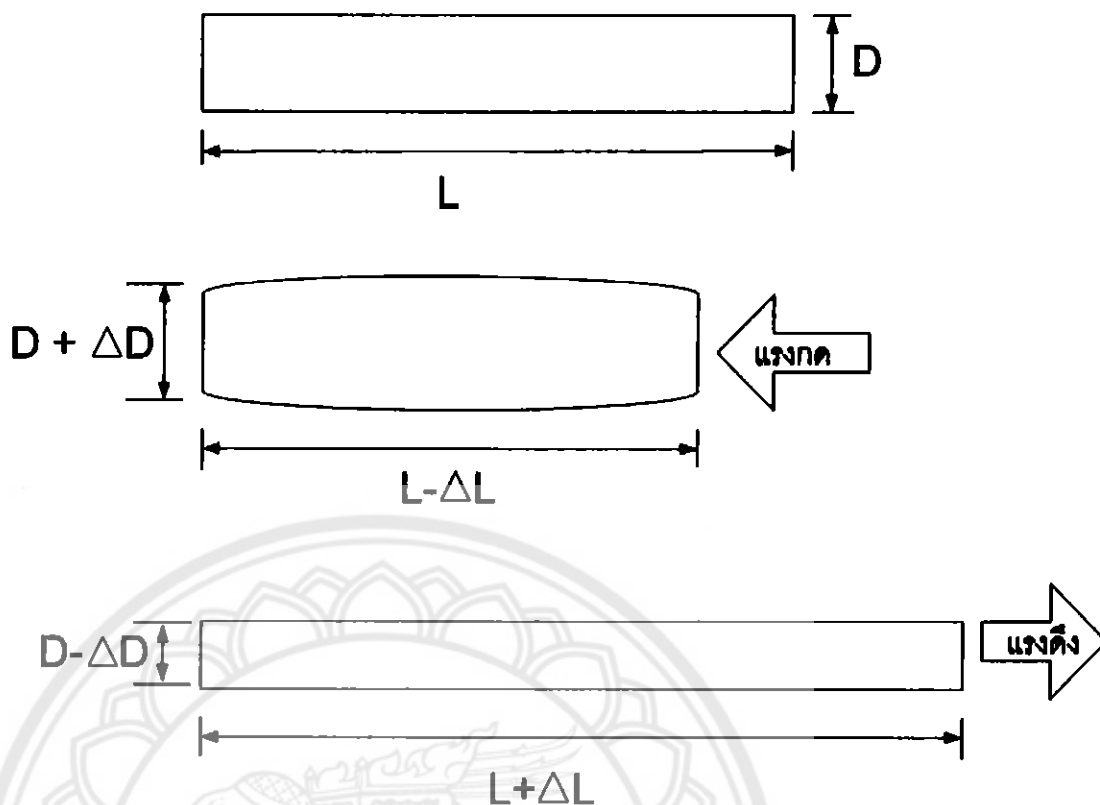
$L$  คือ ความยาวเดิมในสภาวะปกติ

$G\epsilon$  คือ ความเครียดทางไฟฟ้า

$\Delta R$  คือ ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป

$R$  คือ ความต้านทานเดิมในสภาวะปกติ

จากหลักการของเพียโซเรซิสทีฟ (Piezo Resistivity) เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้โลหะเปลี่ยนรูปตามทิศทางของแรงดังกล่าว



รูปที่ 2.8 หลักการของเปียโซรีซิสทีฟ

จากสมการพื้นฐานความต้านทานของตัวนำ

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $R$  คือความต้านทานของตัวนำ

$\rho$  คือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำนั้นๆ

$L$  คือความยาวของตัวนำ

$A$  คือพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

และเมื่อ  $A=CD^2$

$$R = \rho \frac{L}{CD^2} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $C$  คือ ค่าคงที่ของตัวนำลักษณะต่างๆ

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

จากสมการที่ (2.6) และ สมการที่ (2.7) จะทราบได้ว่าความต้านทานของสเตรนเกจนั้นจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงมากระทำเป็นแรงกด ก็จะทำให้ความยาวของขดลวดน้อยลง ก็ส่งผลให้ความต้านทานน้อยลงตาม

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ (2.4) กับสมการที่ (2.5) จะทำให้ทราบค่าเกจแฟกเตอร์ (gauge factor,  $G$ ) ซึ่งจะเป็นค่าที่แสดงถึงความไว (sensitivity) ในการใช้สเตรนเกจ

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (2.8)$$

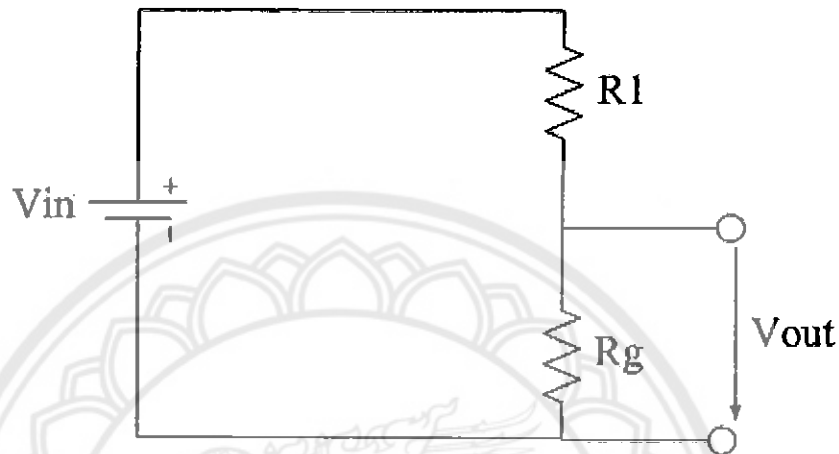
#### 2.4.1 สเตรนเกจแบบขดลวด

โครงสร้างทำมาจากขดลวดขนาดเล็กพันหลายๆรอบเพื่อให้มีความเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงแรงที่มากระทำ ส่วนปลายทั้ง 2 ด้าน เป็นจุดเชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้า และเป็นสเตรนเกจส่วนใหญ่ที่นิยมใช้งาน ณ ปัจจุบัน โดยความต้านทานเริ่มแรกที่ใช้กันจะมีตั้งแต่ 60, 120, 240, 350, 500, 1000 แต่แบบที่นิยมกันมากที่สุดคือ  $120\Omega$



การนำสเตรนเกจไปใช้งานในวงจรไฟฟ้า จะต้องจ่ายแรงดันและมีการจัดการวงจรให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าสัญญาณที่ต้องการ โดยมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.4.2 วงจรแบ่งแรงดัน(Voltage Divider) เป็นวงจรที่ง่ายต่อความเข้าใจแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน

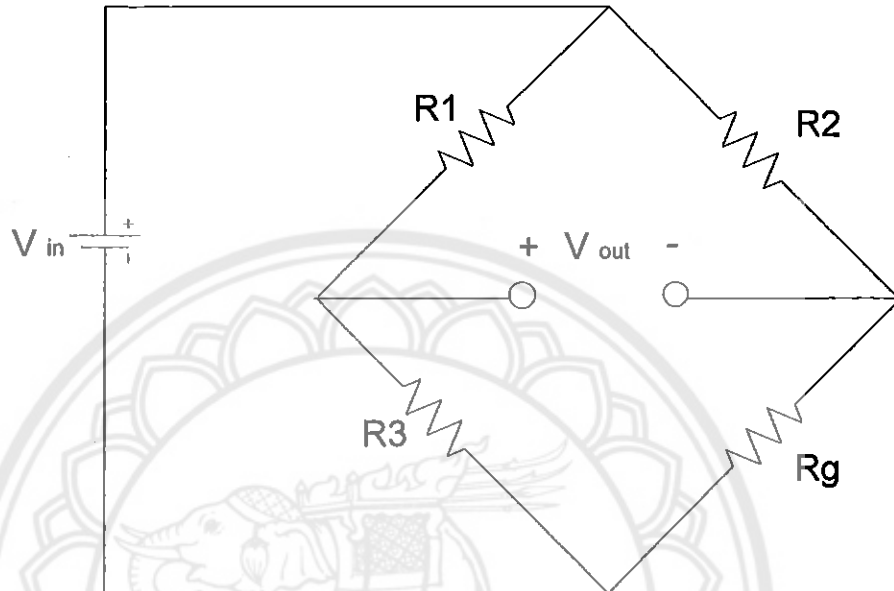
จะเป็นวงจรแบ่งแรงดัน โดยใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน  $R_1$  เป็นตัวต้านทานค่าคงที่ ส่วน  $R_g$  คือ ความต้านทานของสเตรนเกจที่นำมาใช้งาน ส่วนแบ่งจ่ายสามารถใช้ได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ แรงดันเอาต์พุตสามารถหาได้จาก

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_g}{R_1 + R_g} \quad (2.9)$$

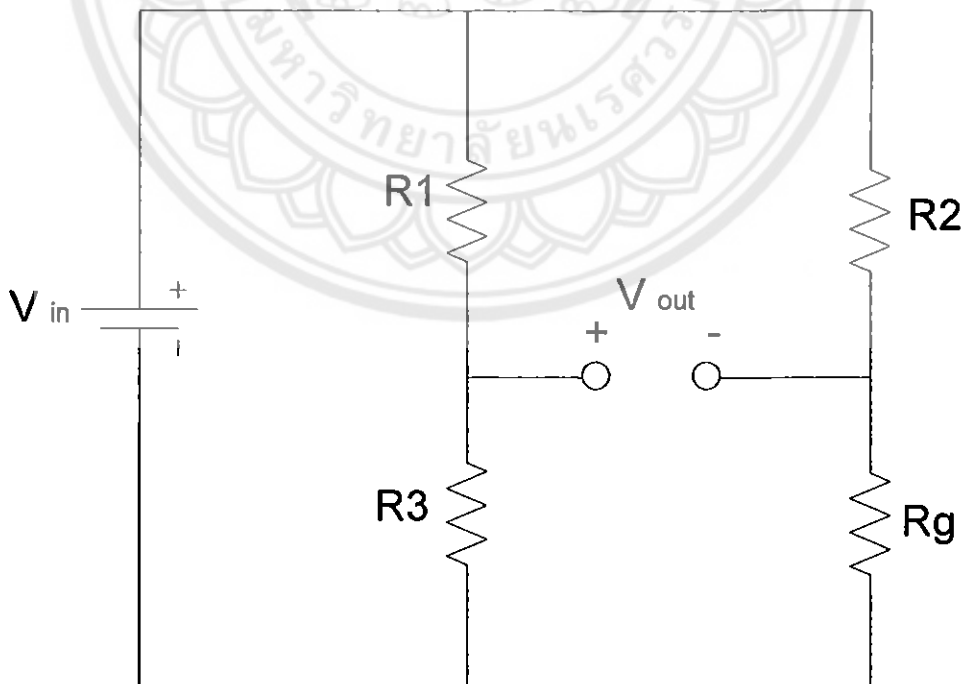
ข้อเสียของวงจรนี้ คือ ในสถานะที่ไม่มีแรงมากระทำหรือแรงเป็นศูนย์ แต่แรงดันทางคันทางเอาต์พุตจะมีแรงดันไฟอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะไม่สัมพันธ์กับแรง



2.4.3 วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เป็นการต่อวงจรโดยใช้ตัวต้านทาน 4 ตัวเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบ่งแรงดันกันเกิดขึ้น หลักการทำงานเหมือนกับวงจรโพเทนทิออมิเตอร์ มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 2.11 ลักษณะวงจรวีทสโตนบริดจ์



รูปที่ 2.12 ลักษณะวงจรวีทสโตนบริดจ์เมื่อนำใหม่เพื่อเข้าใจง่ายขึ้น

ตัวต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  โดย  $R_1=R_2$  เป็นตัวต้านทานคงที่ ส่วน  $R_g$  นั้นจะเป็นค่าความต้านทานของสเตรนเกจในสภาวะไม่มีแรงมากกระทำต่อสเตรนเกจ  $R_3 = R_g$  ค่าแรงคั้นเอาต์พุตหาได้จาก

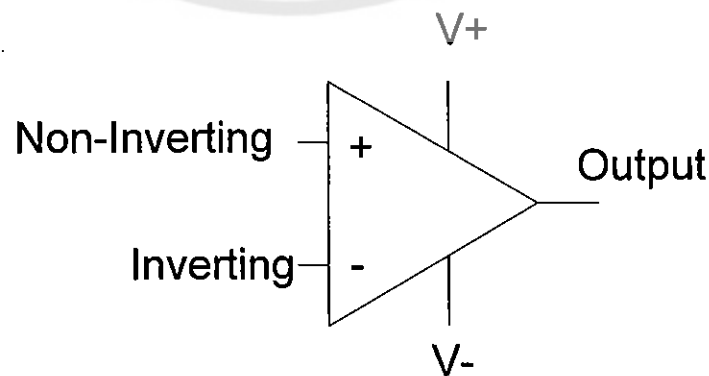
$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R_3}{R_1+R_3} - \frac{R_g}{R_2+R_g} \right) \quad (2.10)$$

ในสภาวะไม่มีแรงมากกระทำต่อสเตรนเกจค่าความต้านทาน  $R_3 = R_g$  ดังนั้นค่าแรงคั้นเอาต์พุตจึงเท่ากับ 0 V เมื่อมีแรงมากที่สเตรนเกจค่าความต้านทานของสเตรนเกจลดลง ค่าแรงคั้นเอาต์พุตจึงมากขึ้นตามแรงที่กระทำ

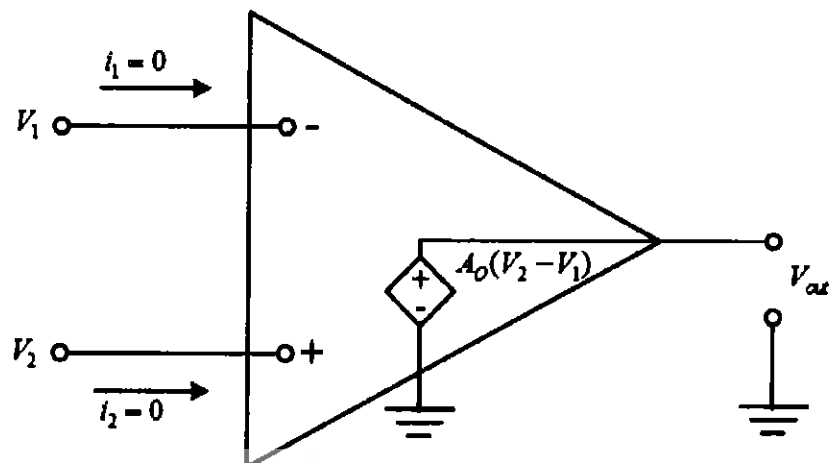
เมื่อได้วงจรที่ใช้วัดแรงทางกลแล้ว แต่สัญญาณที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นอนาล็อก และอาจจะมีขนาดของสัญญาณเล็กมากจนไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถนำค่าที่ได้นั้นมาใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ใช้ขยายสัญญาณให้ใหญ่ขึ้น

## 2.5 Operational Amplifier (Op-amp)

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง โครงสร้างภายในอุปกรณ์ต่างๆ รวมกันอยู่ในรูปของวงจรรวม(Integrated Circuit) หรือ IC โดยอุปกรณ์นี้สามารถนำมาต่อกันเป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ได้ง่าย เช่น บวก ลบ คูณ ลอการิทึม ฯลฯ ปัจจุบันมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง สามารถนำออปแอมป์ไปใช้งาน ได้มากกว่าเป็นแค่เพียงตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ เช่น วงจรขยายสัญญาณ, วงจรกำเนิดสัญญาณ, วงจรรักษาระดับแรงคั้น ฯลฯ



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของออปแอมป์



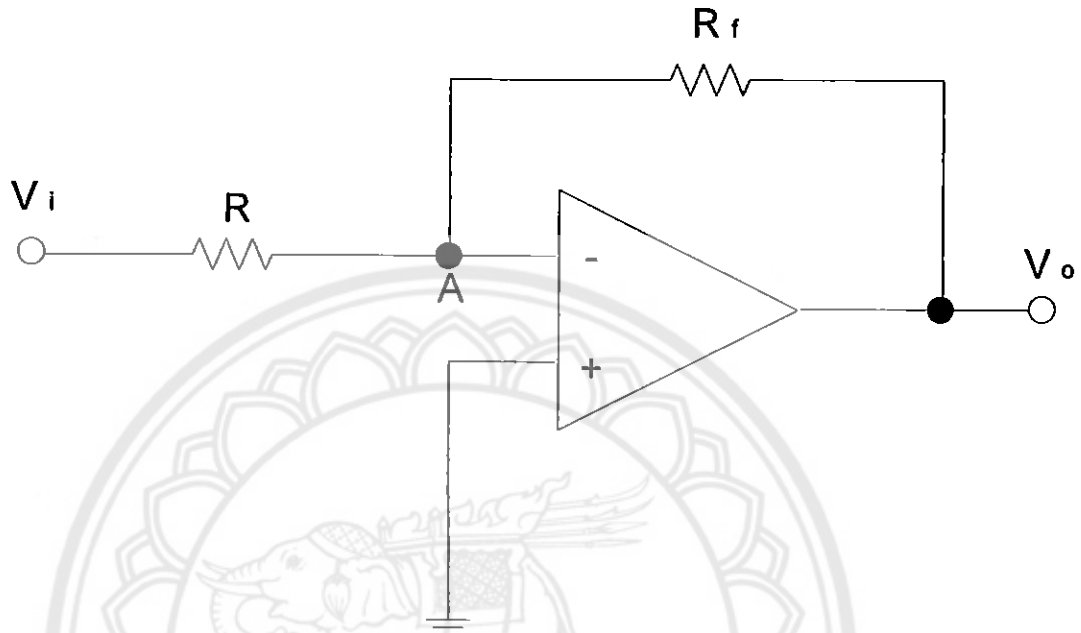
รูปที่ 2.14 วงจรเทียบเท่าของออปแอมป์

คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติมีดังนี้

1. อัตราขยาย (Gain) สูงมากเป็นอนันต์
2. ความต้านทานทางค่านอินพุตสูงมากเป็นอนันต์ จึงทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้าที่ค่านอินพุตของออปแอมป์
3. ความต้านทานทางค่านเอาต์พุตเป็นศูนย์
4. สามารถเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตจากค่าหนึ่งไปเป็นค่าหนึ่งทันทีโดยไม่มีกรหน่วงเวลา
5. ออปแอมป์สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้เป็นอนันต์
6. ค่าออฟเซตเป็นศูนย์ เมื่ออินพุตเป็นศูนย์เอาต์พุตก็จะเป็นศูนย์ด้วย

### 2.5.1 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

#### 1. วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.15 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

จากรูป จะมีแรงดันอินพุต  $V_i$  ถูกป้อนเข้าทางขาอินพุตกลับเฟส ผ่านตัวต้านทาน  $R$  และแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ของวงจรที่ได้จะมีเฟสของสัญญาณตรงกันข้ามกับเฟสของแรงดันอินพุต หรือมีมุมต่างเฟสเท่ากับ  $180^\circ$  โดยสามารถกำลังขยายของวงจรได้จาก

พิจารณาที่จุด A ด้วย KCL โดยให้แรงดันที่จุด A มีค่า 0

$$\frac{V_i - 0}{R} - \frac{0 - V_o}{R_f} = 0$$

$$\frac{V_i}{R} + \frac{V_o}{R_f} = 0$$

จะได้อัตราขยายของวงจรเป็น

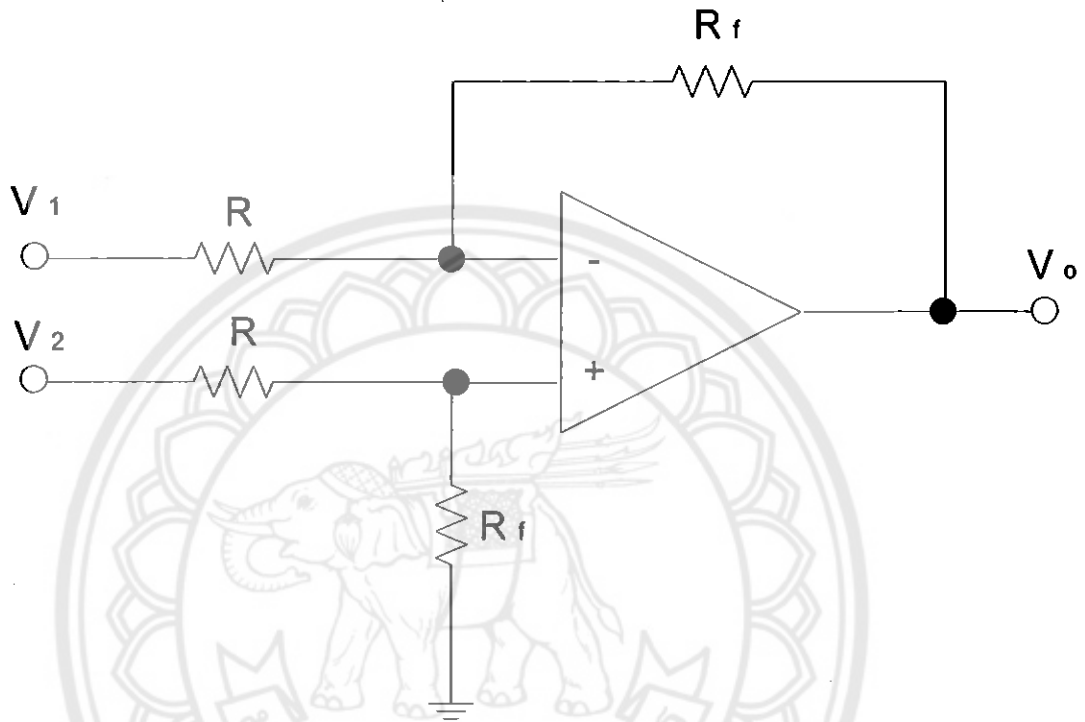
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R} \quad (2.11)$$



## 2. วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)

เป็นวงจรขยายสัญญาณชนิดหนึ่งที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าผลต่างของแรงดันอินพุตสองชุดที่ป้อนให้กับวงจร

24 ส.ค. 2561



รูปที่ 2.16 วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)

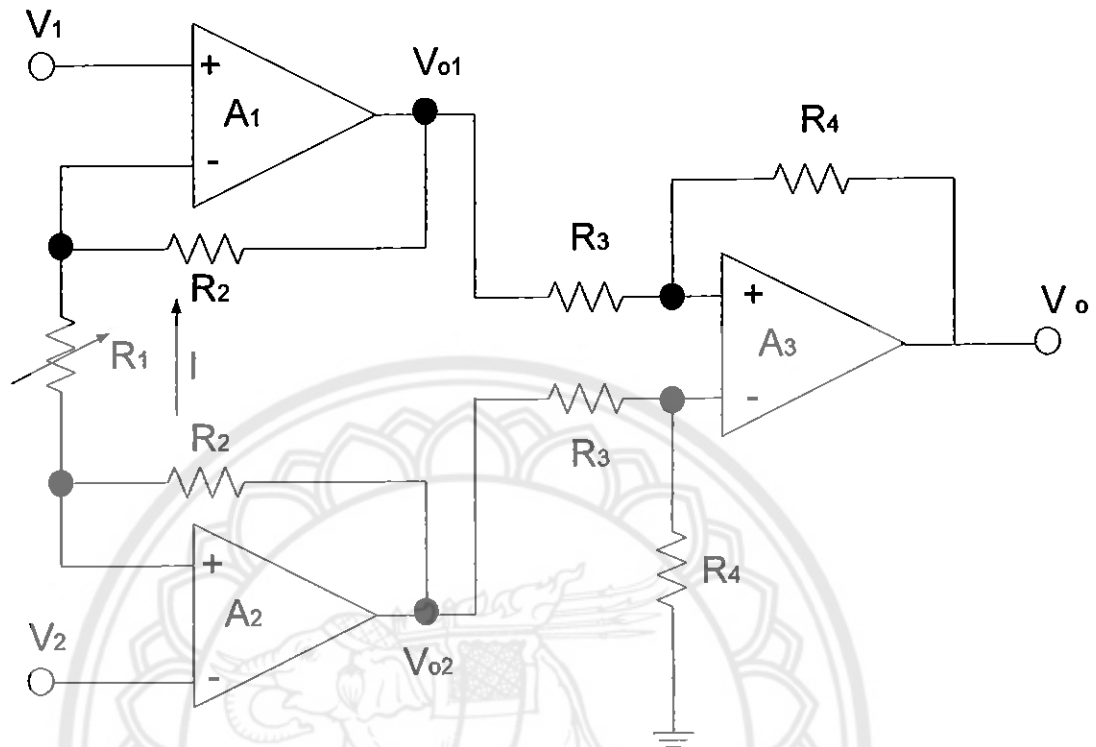
จากวงจรขยายความแตกต่าง จะสามารถคำนวณหาแรงดันได้จากทางค่านเอาต์พุตของวงจรได้จาก

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_f}{R} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $V_2$  และ  $V_1$  คือ แรงดันอินพุต

$\frac{R_f}{R}$  คือ อัตราขยายของวงจร

### 3. วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier)



รูปที่ 2.17 วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์

จากรูปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_o$  กับ  $(V_{o2}-V_{o1})$  ที่วงจรขยายสัญญาณผลต่าง  $A_3$  โดยจากพื้นฐานของสมการที่ (2.12) จะได้

$$V_o = (V_{o2}-V_{o1}) \frac{R_4}{R_3} \quad (2.13)$$

โดยที่

$$(V_{o2}-V_{o1}) = I (R_1+2R_2) \quad (2.14)$$

และ

$$I = \frac{V_2-V_1}{R_1} \quad (2.15)$$

ดังนั้น

$$(V_{o2}-V_{o1}) = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (V_2-V_1) \quad (2.16)$$

แทนค่า  $(V_{o2}-V_{o1})$  จากสมการที่ (2.13) ลงในสมการ (2.16) จะได้

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3} (V_2 - V_1) \quad (2.17)$$

นั่นคือ

$$A_v = \frac{V_o}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3} \quad (2.18)$$

ในทางปฏิบัติการปรับแต่งอัตราขยายแรงดัน  $A_v$  ของวงจรนี้สามารถกระทำได้โดยเลือก  $R_2, R_3, R_4$  ให้คงที่ หรือมีค่าเท่ากันจากนั้นทำการแปรค่า  $R_1$  เพื่อให้ได้  $A_v$  ตามที่ต้องการ



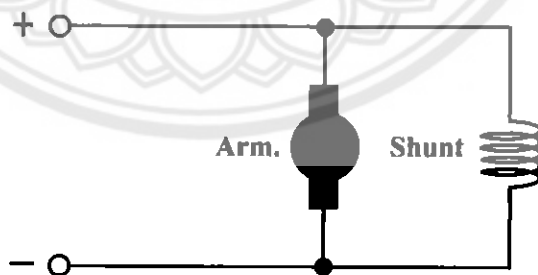
## 2.6 มอเตอร์



รูปที่ 2.18 ลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์(Motor) คือ เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลนั้นมีอยู่สองประเภท ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่ด้วยที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีข้อดี คือ สามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้ง่ายกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จึงได้นำคุณสมบัติข้อนี้มาใช้ในโครงการนี้ โดยมอเตอร์กระแสตรงนั้น สามารถแบ่งลักษณะออกเป็ดย่อยได้อีกขึ้นกับการวางตำแหน่งของขดลวดและแกนแม่เหล็ก ได้ดังนี้

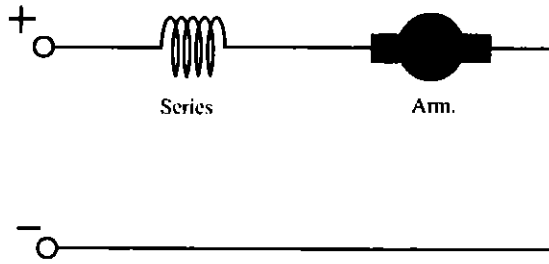
1) มอเตอร์กระแสตรงแบบชัณฑ์ ( DC Shunt motor) เป็นแบบมีการวางตำแหน่งขดลวดในลักษณะที่ขนานกับแกนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแบบที่มีความสามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระ นิยมใช้ในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่ต้องใช้แรงบิดสูง



รูปที่ 2.19 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบชัณฑ์

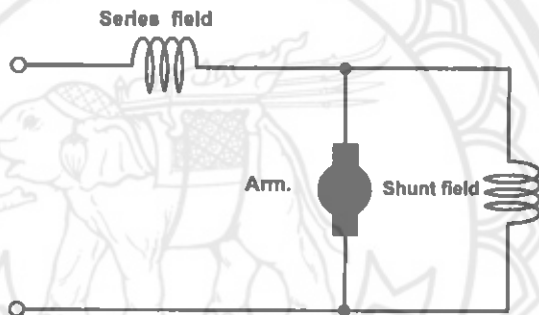
2) มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series motor) เป็นแบบมีการวางตำแหน่งของขดลวดในลักษณะอนุกรมกับแกนแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแบบที่เส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสภาวะ เมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ เช่น ใช้ยกหรือลากของหนัก





รูปที่ 2.20 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

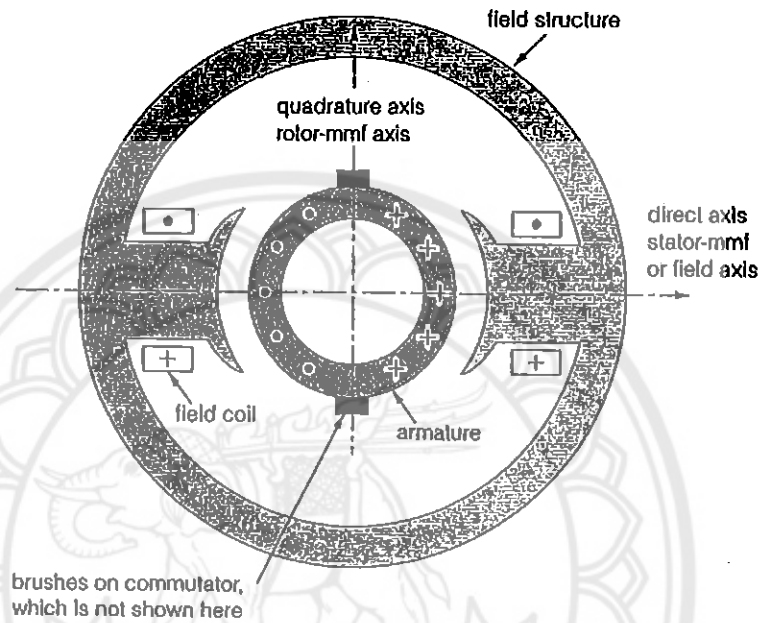
3)มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม(DC Compound motor) เป็นแบบที่มีการวางตำแหน่งของขดลวดไว้สองตำแหน่ง โดยจะมีขดลวดหนึ่งจะอยู่ในลักษณะที่อนุกรมกับแกนแม่เหล็ก และจะมีอีกขดลวดหนึ่งที่จะอยู่ในลักษณะที่ขนานกับแกนแม่เหล็ก คุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้สามารถที่จะหมุนด้วยความเร็วสูง พร้อมกับแรงบิดที่มาก



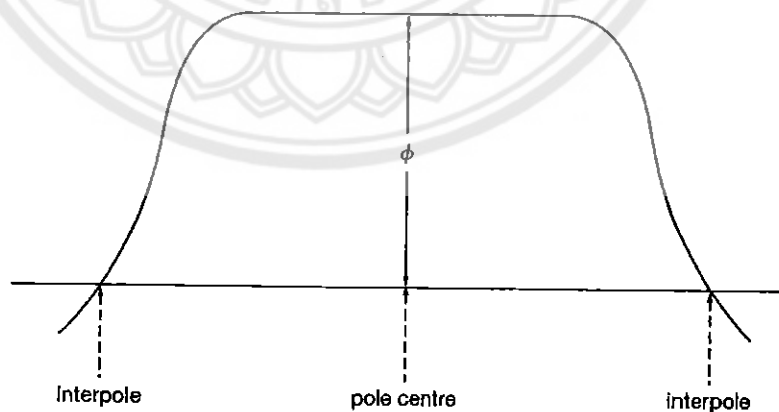
รูปที่ 2.21 ลักษณะของวงจรในมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

2.6.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง โดยพิจารณาที่ขดลวดสนามแม่เหล็กและขดลวดอาร์มาเจอร์ บริเวณของสเตเตอร์(Stator)และ โรเตอร์ เมื่อขดลวดสนามแม่เหล็กและขดลวดอาร์มาเจอร์ทำมุมเปลี่ยนไปจากเดิม 90°กับแนวระนาบ ในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงการทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.23 กราฟแสดงเส้นแรงแม่เหล็ก

กระแสในขดลวดทั้งสองจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนขั้วของแม่เหล็ก โดยจะให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น  $\Phi$  ทั้งนี้ สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า, ความเร็วรอบของมอเตอร์, แรงบิดของมอเตอร์ ได้จาก กำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดขดลวดตัวนำเส้นหนึ่งในการรอบหนึ่งมีค่าเป็น  $P\Phi$  และความเร็วรอบ มีค่าเป็น  $n$  จะได้ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดตัวนำหนึ่งเส้นตามสมการที่ (2.19)

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{P\Phi}{60} \frac{P\Phi n}{60} \quad (2.19)$$

โดยที่  $P$  คือจำนวนขั้วแม่เหล็กที่ขดลวดเคลื่อนผ่าน

$n$  คือ ความเร็วรอบ หน่วยเป็น rpm

แต่สมมติให้ขดลวดอาร์มาเจอร์นั้นมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเป็น  $Z$  และต่อขนานกันอยู่  $\alpha$  ขด จะได้สมการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าใหม่ในขดลวดอาร์มาเจอร์ ดังนี้

$$E_a = \frac{P\Phi n}{60} \times \frac{Z}{\alpha} \quad (2.20)$$

แต่ความเร็วเชิงมุม  $\omega_m$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{2\pi n}{60}$  ดังนั้นสามารถเขียนใหม่เป็น

$$E_a = \frac{P\Phi n}{2\pi\alpha} \times \Phi\omega_m \quad (2.21)$$

$$E_a = K_a \Phi \omega_m \quad (2.22)$$

โดยที่  $E_a$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หน่วยเป็น โวลต์

$K_a$  คือ ค่าคงที่ของมอเตอร์จากการออกแบบ ซึ่งเท่ากับ  $\frac{P\Phi n}{2\pi\alpha}$

$\Phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็น เวเบอร์

$\omega_m$  คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

จากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้น สามารถนำมาหาแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงได้ โดย

$$E_a I_a = T_e \omega_m \quad (2.23)$$

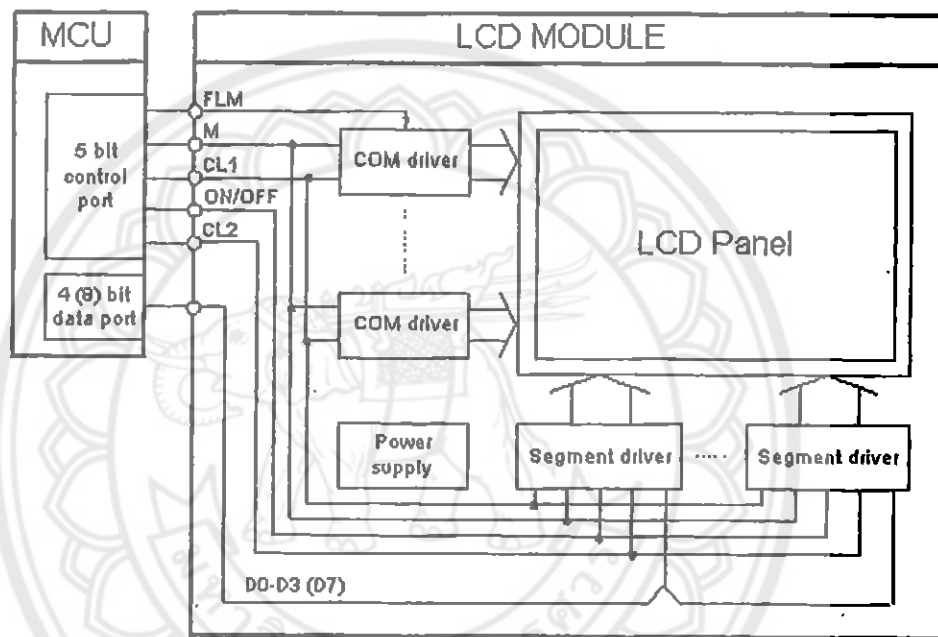
โดยที่  $T_e$  คือ แรงบิดของมอเตอร์ที่เกิดจากสนามไฟฟ้า  
จากสมการที่ สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$T_e = K_a \Phi I_a \quad (2.24)$$



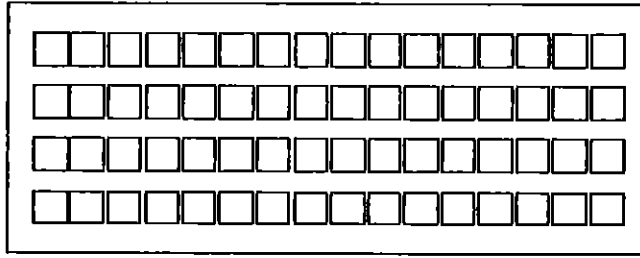
## 2.7 จอLCD

LCD คือ เทคโนโลยีมอนิเตอร์ และคำว่า LCD นั้นย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งคิดค้นขึ้นโดยนายออตโต้ เลห์มันน์ (Otto Lehmann) ในปีพ.ศ.2447 การแสดงผลของจอ นั้น ภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาตลอดไฟด้านหลังของจอภาพ(Black Light) ผ่านชั้นกรองแสง(Polarized Filter) แล้ววิ่งไปยัง คริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วย ออกมาเป็นพิกเซล(Pixel) มองเห็นเป็นภาพหรือตัวอักษร



รูปที่ 2.24 โครงสร้างพื้นฐานของในการขับจอ LCD

เมื่อต้องการทำให้เกิดภาพ จำเป็นต้องมีชุดขับเพื่อสร้างเป็นรูปแบบของตัวอักษรหรือกราฟิก การขับจอ LCD ให้ง่ายขึ้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียุโรปกรณ์ขับจอเฉพาะ ซึ่งเป็นชิพสำเร็จรูปที่เรียกว่า LCD Display Device ซึ่งมีแต่ละบริษัทนั้นผลิตออกมา อย่างเช่น บริษัท ฮิตาชิ ก็ผลิตชิพ HD44780 ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก การควบคุมแสดงผลออกมาเป็นตัวอักษรของชิพ HD44780 นั้นจะมีการเขียนข้อมูลที่รับมานั้น ลงบน DDRAM (Display Data RAM) ของชิพ HD44780 ในจอ LCD ซึ่งเป็นตำแหน่งชี้จุดที่จะทำให้เกิดภาพบนจอ LCD โดยที่แต่ละขนาดไม่ว่า 16X2 หรือ 20X4 นั้น จะมีตำแหน่ง DDRAM ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจอ LCD มีจำนวนที่แสดงภาพหรือตัวอักษร มากหรือน้อยเพียงใด

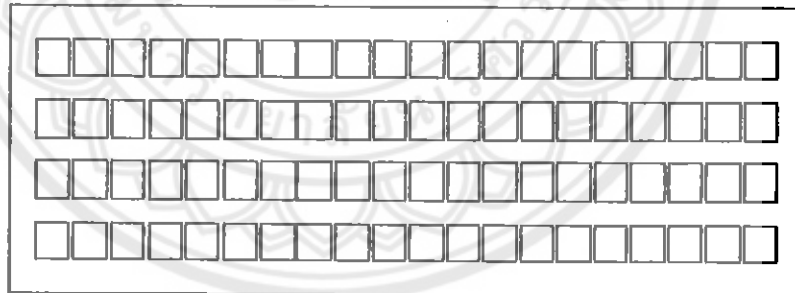


รูปที่ 2.25 หน้าจอของLCD แบบ 16X 4

จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ นั้น คือตำแหน่งจะเกิดภาพขึ้นบนจอ LCD ซึ่งเป็นหน่วยความจำของชิพที่ใช้ควบคุมหรือ DDRAM โดยที่แต่ละDDRAM นั้น จะมีเลขระบุตำแหน่ง(addresses)ดังนี้

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

รูปที่ 2.26 แสดงเลขระบุตำแหน่งการแสดงผลบนจอLCD 16X4



รูปที่ 2.27 หน้าจอของLCD แบบ 20X 4

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

รูปที่ 2.28 แสดงเลขระบุตำแหน่งการแสดงผลบนจอLCD 20X4

จากรูปที่ 2.26 และรูปที่ 2.28 จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งที่จะเกิดภาพนั้น มีเลขระบุตำแหน่งเพื่อ  
 ชี้ให้เกิดภาพ ถ้าเรารู้เลขตำแหน่งของDDRAM ของจอLCD ก็สามารถสร้างตัวอักษรพิเศษขึ้นได้ ซึ่ง  
 นำประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆได้



## 2.8 วงจรกรองความถี่ (Filter)

วงจรกรองความถี่นั้นสามารถแบ่งออกไปเป็น 4 แบบ คือ

1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter: LPF) คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จึงไปถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่เกินกว่านั้นจะถูกลดทอนลงไปตามลำดับ

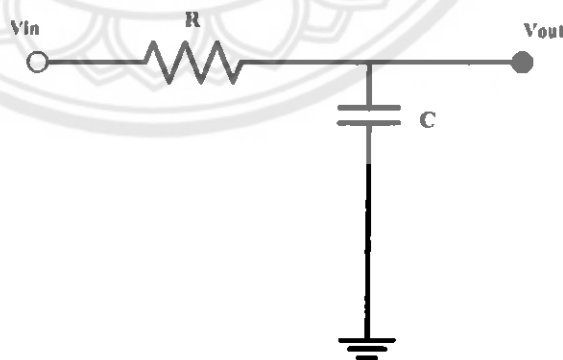
2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter: HPF) คือ วงจรที่ตอบสนองต่อสัญญาณที่มีความถี่สูงและยอมให้ผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าก็จะถูกลดทอนสัญญาณลง

3. วงจรกรองช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF) คือ วงจรที่มีลักษณะเป็นการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองความถี่สูงผ่านมารวมกัน ดังนั้นวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัด โดยการลดทอนให้หมดไป

4. วงจรลดทอนช่วงความถี่ คือ วงจรที่กำจัดความถี่บางช่วงออกไป บางครั้งเราเรียกว่า นอตช์ฟิลเตอร์ (notch filter) แต่จะยอมให้ความถี่ช่วงอื่นผ่านไปได้สะดวก สำหรับความถี่เป้าหมายจะถูกกำจัดออกไป

การทำงานของวงจรกรองความถี่แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. **Passive Filter** ลักษณะแบบ Passive นั้นหมายถึง วงจร Filter ที่ไม่ต้องการไฟฟ้า ไม่มี การขยายสัญญาณ ซึ่งไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงาน แต่จะมีการลดทอนสัญญาณลง เรียกว่า Insertion Loss



รูปที่ 2.29 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลักษณะแบบ Passive

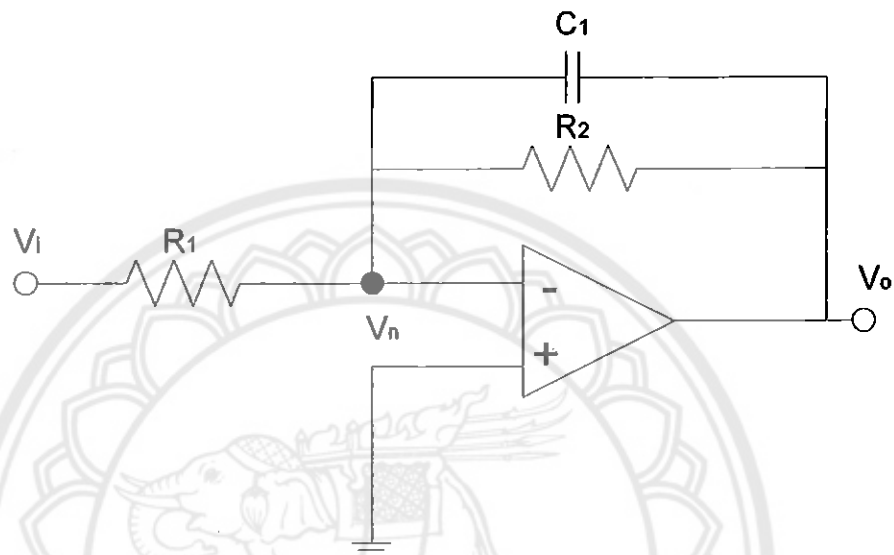
หาความถี่ตัด (cutoff frequency) ที่ทำให้สัญญาณลดลง 3 dB ได้

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.25)$$



2. Active Filter ลักษณะแบบ Active นั้นจะมีวงจรขยายสัญญาณอยู่ภายใน จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน มักจะใช้กันที่ความถี่ต่ำๆ

### 2.8.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter)



รูปที่ 2.30 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter)

สามารถหาอัตราขยายของวงจรนี้ ได้จากการพิจารณาด้วยKCLที่จุด  $V_n$  จะได้

$$\frac{V_i - V_n}{R_1} - \left( \frac{V_n - V_o}{R_2} \right) = 0 \quad (2.26)$$

แต่  $V_n$  มีค่าเท่ากับ 0 ตามคุณสมบัติโอปแอมป์จะได้เป็น

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = 0 \quad (2.27)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_2/R_1}{1 + j\omega R_2 C_1} \quad (2.28)$$

แต่ค่าอัตราขยายที่ได้นั้นเป็นจำนวนเชิงซ้อน จึงต้องใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ  $A_v$  จะได้เป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C_1)^2}} \quad (2.29)$$

เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่ำมากๆ จะได้ค่า  $\omega R_2 C_1 \ll 1$  ดังนั้นสมการจะกลายเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.30)$$

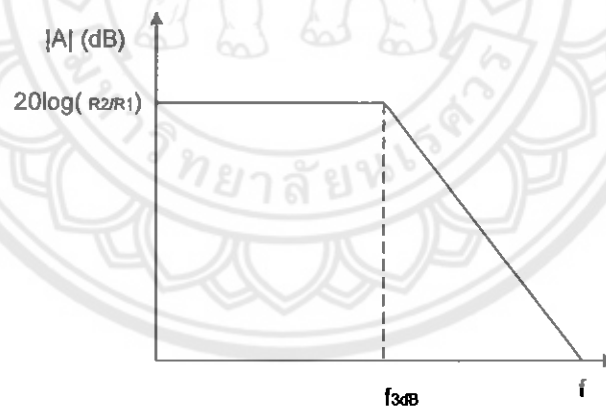
หาความถี่ตัด(cutoff frequency)ที่ทำให้สัญญาณลดลง 3 dB ได้ เมื่อ  $|A_v| = \frac{1}{\sqrt{2}}$  หรือ  
เมื่อ  $(\omega R_2 C_1)^2 = 1$  ได้จาก

$$(\omega_{3dB} R_2 C_1)^2 = 1 \quad (2.31)$$

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{R_2 C_1} \quad (2.32)$$

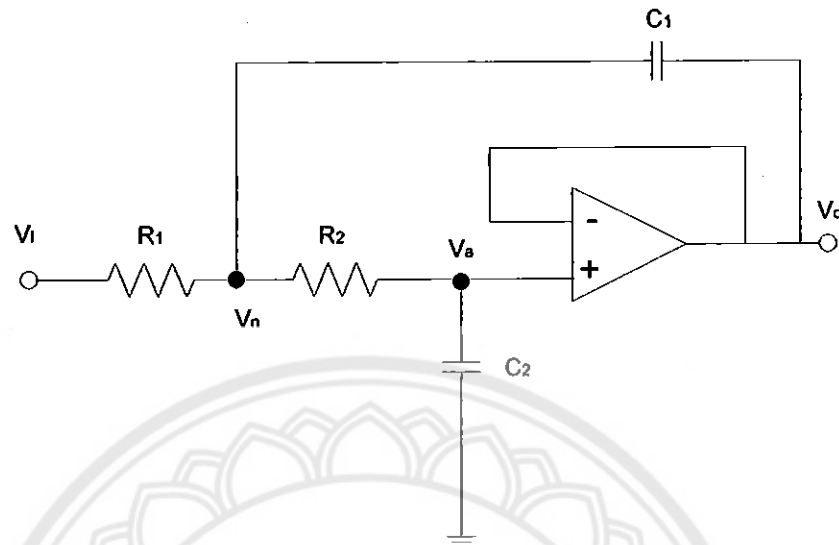
$$f_{3dB} = 2\pi R_2 C_1 \quad (2.33)$$

เมื่อนำมาเขียนกราฟ โดยความถี่ต่ำจะได้กราฟที่มีความชันเป็น 0 ส่วนช่วงที่มีความถี่สูง  
กราฟจะมีความชันเป็น -20dB/decade นั้นหมายความว่า อัตราขยายจะลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่  
เพิ่มขึ้น 10 เท่า และเส้นกราฟจะมาตัดกันที่จุด  $f_{3dB} = 2\pi R_2 C_1$  ซึ่งกราฟเป็นไปดังรูป



รูปที่ 2.31 กราฟแสดงลักษณะอัตราขยายที่ 3dB ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

### 2.8.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท(Low Pass Butterworth Filter)



รูปที่ 2.32 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ท(Low Pass Butterworth Filter)

สามารถหาอัตราขยายของวงจรได้โดยพิจารณา KCL ที่จุด  $V_n$  จะได้

$$\frac{V_1 - V_n}{R_1} = \frac{V_n - V_a}{R_2} + j\omega C_1 (V_n - V_o) \quad (2.34)$$

และพิจารณา KCL ที่จุด  $V_a$  จะได้

$$\frac{V_n - V_a}{R_2} = j\omega C_1 (V_a) \quad (2.35)$$

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้  $V_a$  มีค่าเท่ากับ  $V_o$  สมการ(2.35)จึงกลายเป็น

$$V_n = V_o \left( \frac{1/R_2 + j\omega C_1}{1/R_2} \right) \quad (2.36)$$

แทนค่าสมการ(2.36) ในสมการ(2.34) จะได้เป็น

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1/R_1 R_2}{1/R_1 R_2 + j\omega C_1 (1/R_1 + 1/R_2 + j\omega C_2)} \quad (2.37)$$

แต่วงจรแบบบัตเตอร์เวิร์ทเป็นวงจรที่ขนาดของอัตรายายเท่ากับ 1 เมื่อคิดที่ความถี่ต่ำ  
ดังนั้น จึงให้  $R_1 = R_2 = R$  จากสมการ(2.37) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$A_v(j\omega) = \frac{\frac{1}{R^2}}{\frac{1}{R^2} + j\omega C_1 \left(\frac{2}{R} + j\omega C_2\right)} \quad (2.38)$$

เพื่อให้รูปสมการดูใหม่จึงกำหนดให้  $\tau_1 = RC_1$  และ  $\tau_2 = RC_2$  จากสมการ(2.38)เขียนใหม่เป็น

$$A_v(j\omega) = \frac{1}{(1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2) + j(2\omega \tau_2)} \quad (2.39)$$

หาขนาดของอัตรายายโดยการใส่ค่าสัมบูรณ์ที่สมการ(2.39)จะได้

$$|A_v(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2 + (2\omega \tau_2)^2}} \quad (2.40)$$

จากที่วงจรแบบบัตเตอร์เวิร์ทเป็นอัตรายายคงที่ตลอดช่วงความถี่ผ่านเพื่อหาความสัมพันธ์  
ระหว่าง  $\tau_1$  กับ  $\tau_2$  จึงให้

$$\left. \frac{d|A|}{d\omega} \right|_{\omega=0} = 0 \quad (2.41)$$

อนุพันธ์สมการ(2.40)จะได้

$$\frac{d|A|}{d\omega} = -\frac{1}{2} [(1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2 + (2\omega \tau_2)^2]^{-3/2} [-4\omega \tau_1 \tau_2 (1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2) + 8\omega \tau_2^2] \quad (2.42)$$

จากสมการ(2.42) เมื่ออนุพันธ์ที่  $\omega = 0$  จะได้

$$\left. \frac{d|A|}{d\omega} \right|_{\omega=0} = -\frac{1}{2} [(1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2 + (2\omega \tau_2)^2]^{-3/2} [-4\omega \tau_1 \tau_2 (1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2) + 8\omega \tau_2^2] \quad (2.43)$$

ผลลัพธ์ที่ได้ คือ  $\tau_1 = 2\tau_2$  หรือ  $C_1 = 2C_2$

ดังนั้นสมการ(2.43) เขียนใหม่ได้เป็น

$$|A_v(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+4(\omega\tau_2)^4}} \quad (2.44)$$

หาความถี่ตัด(cutoff frequency)ที่ทำให้สัญญาณลดลง 3 dB ได้ เมื่อ  $|A_v| = \frac{1}{\sqrt{2}}$  หรือเมื่อ  $4(\omega\tau_2)^4 = 1$  ได้จาก

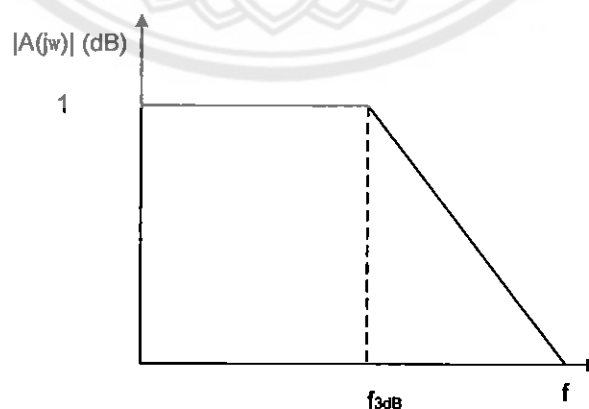
$$4(\omega_{3dB}\tau_2)^4 = 1 \quad (2.45)$$

$$\omega_{3dB}\tau_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.46)$$

แต่  $\omega_{3dB} = 2\pi f_{3dB}$  และ  $\tau_2 = RC_2$

$$f_{3dB} = \frac{1}{\sqrt{2}RC_2} \quad (2.47)$$

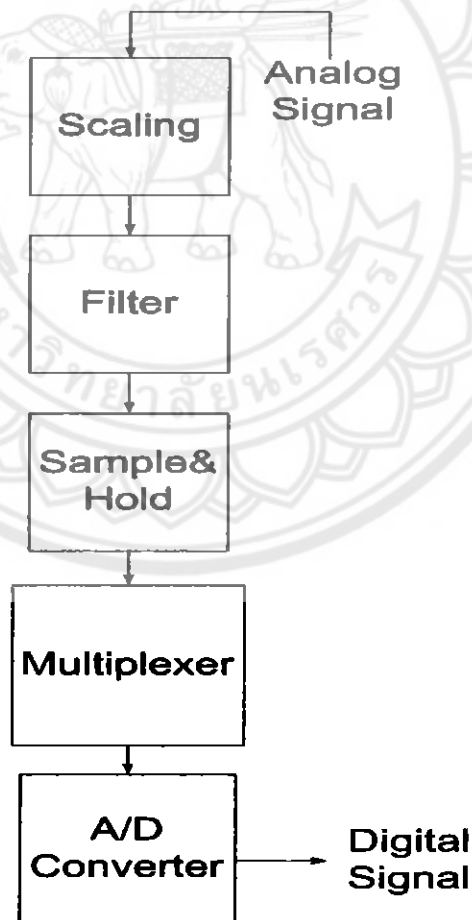
เมื่อนำมาเขียนกราฟ โดยความถี่ต่ำจะได้กราฟที่มีความชันเป็น 0 และขนาดของอัตราจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ในส่วนความถี่ต่ำ ส่วนช่วงที่มีความถี่สูงกราฟจะมีความชันเป็น -40dB/decade นั้นหมายความว่า อัตราขยายจะลดลง 40 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า และเส้นกราฟจะมาตัดกันที่จุด  $f_{3dB} = \frac{1}{\sqrt{2}RC_2}$  ซึ่งกราฟเป็นไปดังรูป



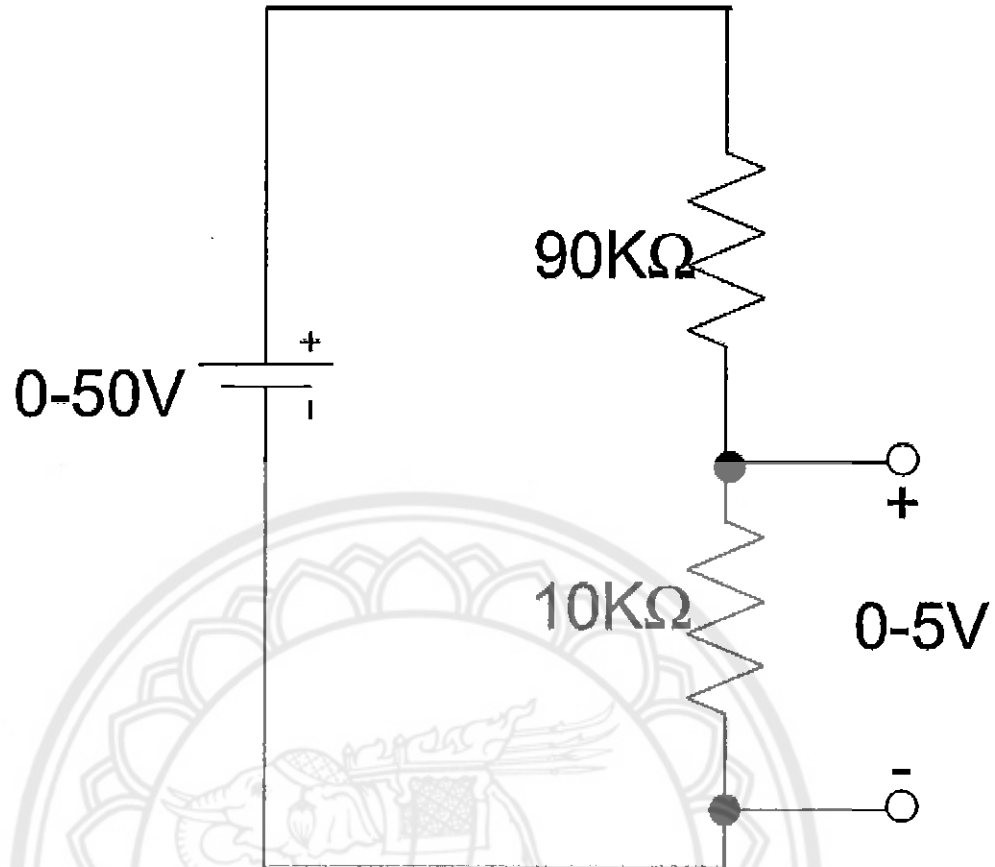
รูปที่ 2.33 กราฟแสดงลักษณะอัตราขยายที่ 3dB ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบบัตเตอร์เวิร์ท

## 2.9 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter)

A/D converter หรือ Analog to Digital converter เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อก อินพุตจากภายนอก PIC แล้วนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้ มาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ PIC สามารถนำสัญญาณที่รับเข้ามาไปใช้ในการประมวลผลได้ เพราะสัญญาณที่ใช้ในการคำนวณ ภายในPICจะต้องเป็นสัญญาณดิจิทัล เท่านั้น ประโยชน์จากการที่มี A/D converter อยู่ภายในPIC คือ สามารถรับสัญญาณอนาล็อกอินพุตจากเซนเซอร์ต่างๆเข้าสู่ภายในPICได้โดยตรงไม่ต้องต่อ ไอซี A/D converter เพิ่มเติม โดยกระบวนการนั้นจะเริ่มจาก จะผ่านScaling ก่อน เพื่อให้ สัญญาณอนาล็อกอินพุตมีค่าต่ำสุด-สูงสุด อยู่ในย่านที่สามารถทำการแปลงสัญญาณได้ เช่น เมื่อ สัญญาณที่รับมาได้เป็นแรงดันมีค่าเป็น 0-50V แต่ PIC สามารถอ่านแรงดันได้ 0-5V เท่านั้น ดังนั้น จึงต้องทำให้แรงดันที่เข้ามามีค่าต่ำลงก่อน โดยใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันคั้งรูปที่ 2.35

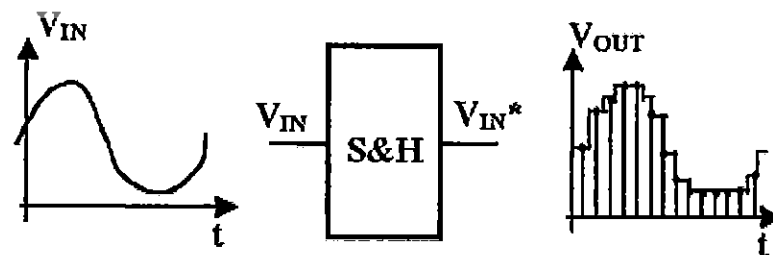


รูปที่ 2.34 กระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.35 การต่อตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อ Scaling

จากนั้น นำไปผ่าน Filter เพื่อลดทอนสัญญาณในแถบความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป จึงนำสัญญาณมาผ่านที่ Sample & Hold เพื่อทำการ sampling สัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต ให้เป็นสัญญาณแบบ Discrete รวมทั้งทำการ Hold ด้วยเพื่อทำให้ค่าของสัญญาณในช่วงระหว่างแต่ละ Sample มีค่าคงที่ตลอดการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.36 ลักษณะของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการ Sample & Hold

ขั้นตอนสุดท้ายก่อนเข้าสู่ A/D converter ก็คือการ Multiplex เพราะบางครั้งเราอาจจะไม่ได้รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเพียงแค่ช่องสัญญาณเดียว ทำให้ต้องทำการ Multiplex เพื่อเลือกช่องสัญญาณของสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการป้อนเข้าสู่ A/D converter จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วนำค่านั้นไปใช้งานต่อไป



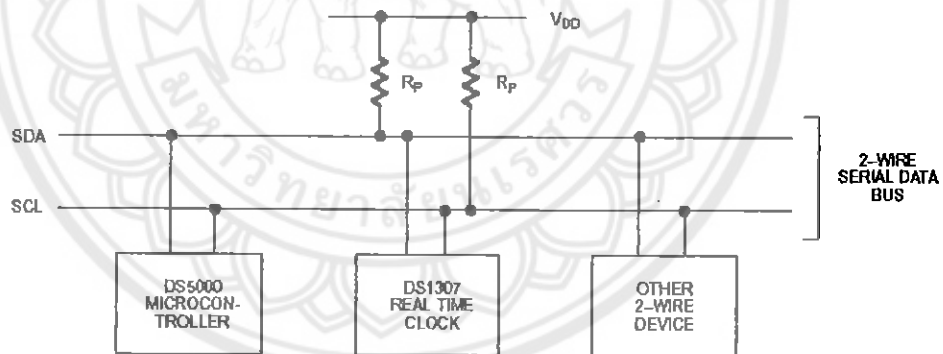


## 2.10 ระบบการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C และไอซีเวลา DS1307

### 2.10.1 ระบบการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C

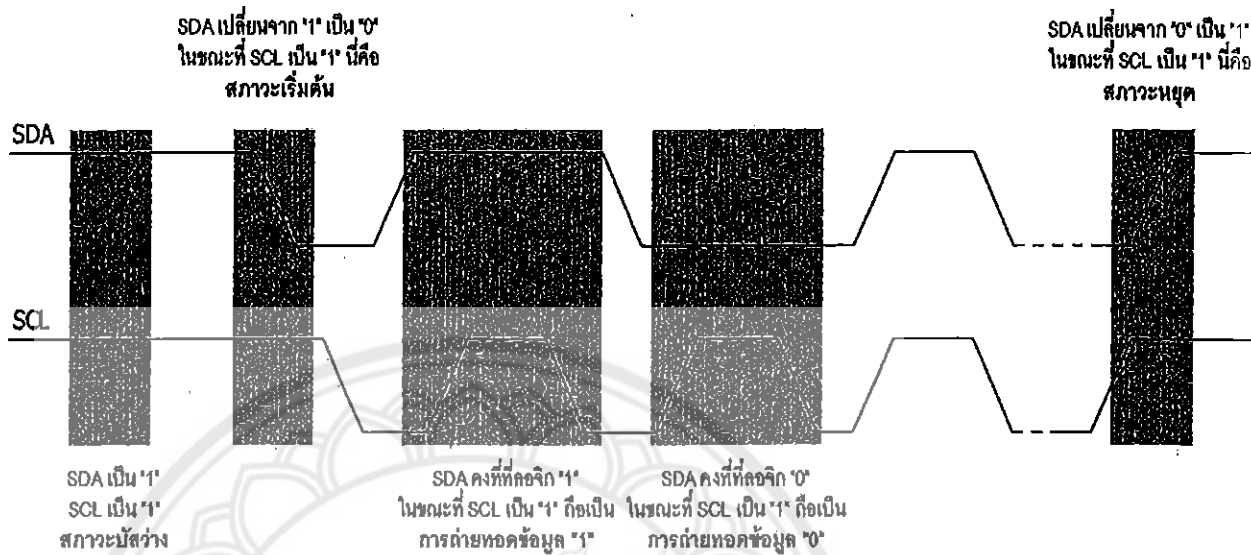
ระบบบัส I<sup>2</sup>C นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่างไอซีด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ซึ่งจะประกอบด้วยสายอนุกรมข้อมูล (Serial Data Line) หรือ SDA และสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม (Serial Clock Line) หรือ SCL อุปกรณ์ที่ควบคุมการส่งรับข้อมูล จะเรียกว่า มาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางจะเรียกว่า สเลฟ (Slave) ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ สเลฟหลายตัวกับอุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์ได้ ข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารนั้นจะเป็น ขนาด 1 ไบต์หรือ 8 บิต แบบสองทิศทางด้วยความเร็ว 100 Kbit/s แต่ในโหมคมาตรฐานสามารถใช้ความเร็วได้ถึง 400 Kbit/s

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างมาสเตอร์กับ สเลฟ ทำได้โดยการต่อตัวต้านทานแบบพลู๊ฟไว้ที่สายสัญญาณข้อมูลทั้งสองข้างในรูป โดยที่ตัวต้านทานพลู๊ฟนั้นจะต้องมีค่า ไม่ต่ำกว่า 1k $\Omega$  หรือตามที่อุปกรณ์ สเลฟ ต้องการ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นในสาย



รูปที่ 2.37 ลักษณะการเชื่อมต่อสื่อสารของอุปกรณ์แบบ I<sup>2</sup>C

รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารข้อมูลระบบบัส<sup>2</sup>C จะมีลักษณะดังนี้



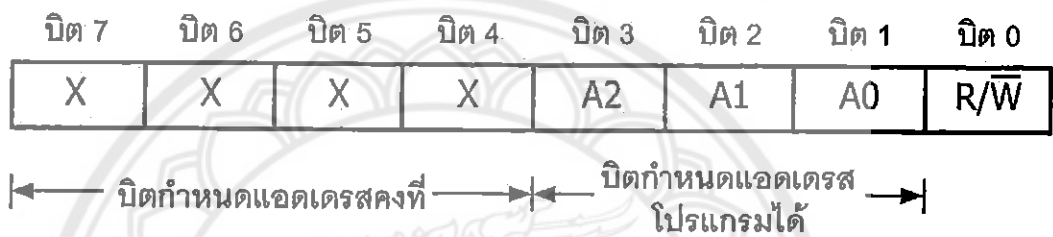
รูปที่ 2.38 ลักษณะสัญญาณข้อมูลบนระบบบัส<sup>2</sup>C

จากรูปสามารถอธิบายได้ตามนี้

- 1.สภาวะเริ่มต้น(S) สายสัญญาณSDAเปลี่ยนจาก High เป็น Low ขณะที่สายสัญญาณSCL ยังคงค้างสถานะHigh เมื่อสายสัญญาณSDAเป็นLowแล้ว สายสัญญาณSCL จึงเปลี่ยนสถานะจากHigh เป็น Low
- 2.สภาวะคงอยู่ของข้อมูล(D) สายสัญญาณ SDA จะต้องคงสถานะเดิมไว้ว่าเป็น High หรือเป็น Low เมื่อสายสัญญาณSCL เปลี่ยนสถานะจากLow เป็น High
- 3.สภาวะรับรู้ข้อมูลการส่งข้อมูล 1 ไบต์จะต้องมีสัญญาณตอบรับ(ACK)หรือ ไม่มีสัญญาณตอบรับ (NACK)จากตัวรับโดยตัวรับจะต้องควบคุมสัญญาณSDA หากตัวรับทำให้สายสัญญาณSDA เป็น Low แสดงว่ามีการตอบรับและหากเป็นHighแสดงว่าไม่มีการตอบรับ โดยสัญญาณตอบรับจะแทน ค่ายกเวลา 1 บิตใช้สัญญาณ SCL 1สัญญาณนาฬิกา
- 4.สภาวะหยุด(P) สายสัญญาณSDA เปลี่ยนสถานะจากLow เป็นHigh ขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น High

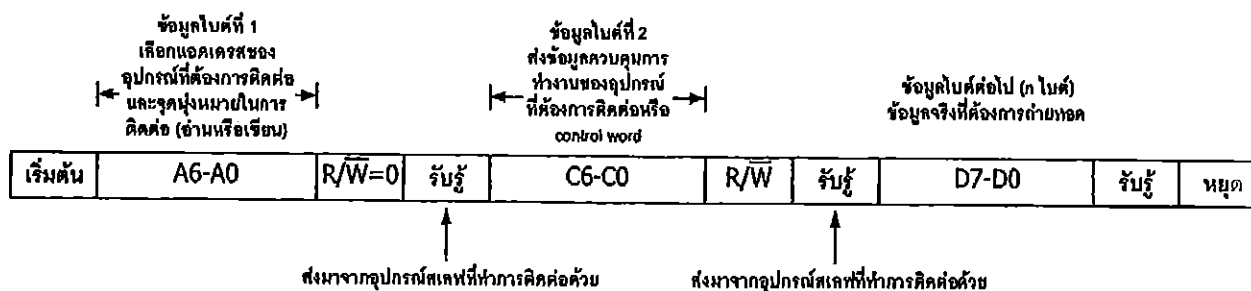
5.สถานะบัสว่าง(I) สายสัญญาณ SCLและSDA มีสถานะHighทั้งคู่ หลังจากสถานะหยุดและก่อนสถานะเริ่มต้น

ในส่วนการสื่อสารเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แบบระบบI<sup>2</sup>C สามารถต่ออุปกรณ์ที่เป็น สเตฟ หลายๆตัวกับอุปกรณ์ที่เป็น มาสเตอร์ ได้ แต่เวลาที่จะต้องการติดต่อกับ อุปกรณ์ที่เป็น สเตฟ นั้น จะต้องทำการอ้างอิงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์นั้นๆด้วย ซึ่งการอ้างอิงแอดเดรสนั้น จะมีทั้งแบบ 7 บิตและ10บิต การอ้างอิงแบบ 7 บิตจะมีรูปแบบดังรูป



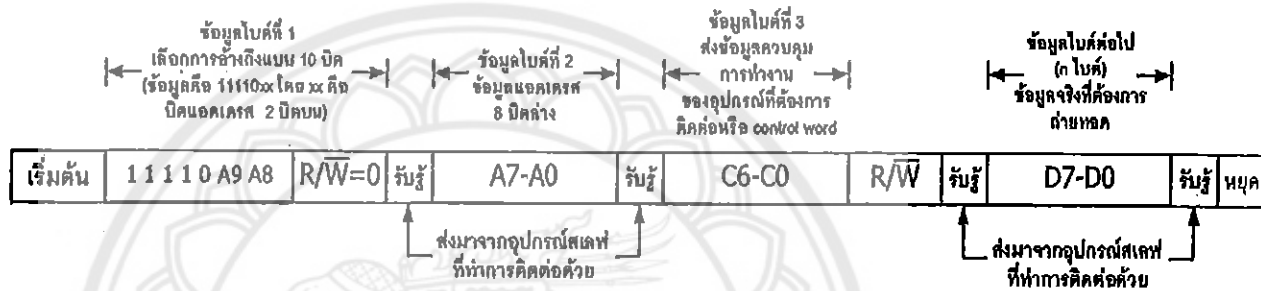
รูปที่ 2.39 ลักษณะข้อมูลในการอ้างอิงแอดเดรส

โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่(Fixed Address bit) จำนวน 4บิต ซึ่งเป็นบิตที่กำหนดจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้น ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ อีก 3บิต จะเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้(Programmable address bit) ซึ่งต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัสI<sup>2</sup>C ส่วนบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเตฟตัวนั้นๆ ถ้าบิต LSB เป็น "0" หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น และถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเตฟ รูปแบบข้อมูลในการอ้างอิงแบบ 7 บิต แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.40 รูปแบบข้อมูลในการอ้างอิงแบบ 7 บิต

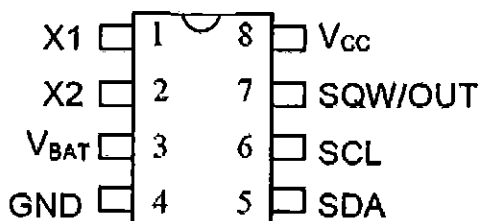
ส่วนการอ้างอิงแอดเดรสแบบ 10 บิต โดยในไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการ อ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปเป็นข้อมูลชุดควบคุม และข้อมูลหลังจากนั้นจึงเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อด้วย ซึ่งสามารถแสดงในเห็นได้ดังรูป



รูปที่ 2.41 รูปแบบข้อมูลในการอ้างอิงแบบ 10 บิต

2.10.2 ไอซีเวลา DS1307

DS1307 เป็น IC ฐานเวลาของคัลลัสเซมิคอนดักเตอร์ (Dallas Semiconductor) มีบัสรับส่งข้อมูลแบบ I2C ซึ่งเป็นแบบ 2 wire สามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง (bi-direction bus) ฐานเวลาของ DS1307 นั้นสามารถเก็บข้อมูล วินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, วันที่, เดือน และปี ได้ ระบบเวลาสามารถทำงานโหมดรูปแบบ 24 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่วโมง AM/PM ก็ได้ ภายมีระบบตรวจจับแหล่งจ่ายไฟ โดยถ้าแหล่งจ่ายไฟหลักถูกตัดไป DS1307 สามารถสวิตช์ไปใช้ไฟจากแบตเตอรี่ และทำงานต่อไป โดยที่ยังสามารถรักษาข้อมูลไว้ได้ โครงสร้างมีขาทั้งหมด 8 ขาดังแสดงในรูปที่ และมีรายละเอียดการทำงานของขาต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.42 ลักษณะของไอซี DS1307

VCC: ใช้ต่อไฟเลี้ยง +5V

GND: ใช้ต่อกราวด์

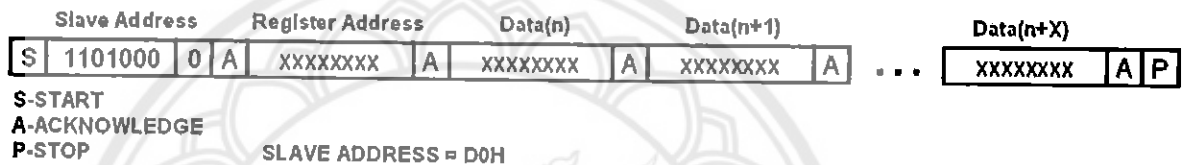
VBAT: ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 3V เพื่อรักษาการทำงาน ในกรณีที่ไม่มีไฟเลี้ยงจ่าย

SDA: ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SCL: ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SQW/OUT: ขาเอาต์พุตสัญญาณ Square Wave สามารถเลือกความถี่ได้

X1, X2: ใช้ต่อกับคริสตัลความถี่มาตรฐาน 32.768 kHz เพื่อสร้างฐานเวลาจริงให้กับ IC



รูป 2.43 ลักษณะการส่งข้อมูลไปยัง DS1307

การส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ DS1307 ดังแสดงในรูปที่ 2.43 ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสร้างสถานะ Start ก่อน จากนั้นต้องส่ง Address ของ DS1307 ขนาด 7 บิตซึ่งมีค่าเป็น 1101000 และตามด้วยบิตระบุทิศทางของข้อมูล ในกรณีที่เป็นการเขียนข้อมูลลง DS1307 จะต้องเป็น "0" จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งตำแหน่ง Address ภายในรีจิสเตอร์ของ DS1307 ที่ต้องการเขียนข้อมูลลง แล้วจึงค่อยเขียนข้อมูลลง โดยในการส่งข้อมูลแต่ละไบต์จะต้องรอบิต Ack จาก DS1307 ทุกไบต์ เมื่อส่งจนครบแล้ว ถึงจะสร้างสถานะ Stop เพื่อกลับสู่สถานะว่าง

	BIT7						BIT0		
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
	0	10 MINUTES			MINUTES				00-59
	0	12 / 24	10 HR / A/P	10 HR	HOURS				01-12 00-23
	0	0	0	0	0	DAY			1-7
	0	0	10 DATE		DATE				
	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12
		10 YEAR			YEAR				00-99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	

รูปที่ 2.44 ลักษณะการเก็บข้อมูลของDS1307

ภายใน DS1307 มีรีจิสเตอร์ภายในใช้เก็บข้อมูลเวลาขนาด 7 ไบต์ 00H-06H ดังแสดงในรูปที่ ข้อมูลค่าเวลา และวันที่จะถูกเก็บอยู่ในรูปของเลขฐาน 10 สามารถเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบ 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง โดยกำหนดที่บิตที่ 6 ที่แอดเดรส 02H โดยถ้าเป็น "1" จะเป็นการทำงานในโหมด 12 ชั่วโมง และเมื่อเลือกแบบ 12 ชั่วโมง ที่บิต 5 ในแอดเดรส 02H นั้นจะใช้แสดงค่า AM/PM โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็น PM ในกรณีที่แสดงแบบ 24 ชั่วโมง บิตนี้จะใช้ในการแสดงค่าของหลักสิบในของหน่วยชั่วโมงด้วย

ที่แอดเดรส 07H เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของ SQW/OUT โดยมีรายละเอียดดังนี้  
OUT (Out control): ใช้ควบคุมเอาต์พุต

SQWE (Square Wave Enable): ใช้ควบคุมออสซิลเลเตอร์ภายใน DS1307 โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นการเปิดออสซิลเลเตอร์

RS (Rate Select): ใช้ควบคุมความถี่ของ Square Wave เมื่อเปิดการทำงานของออสซิลเลเตอร์ โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ 4 ความถี่ด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงบิตข้อมูลที่ควบคุมความถี่

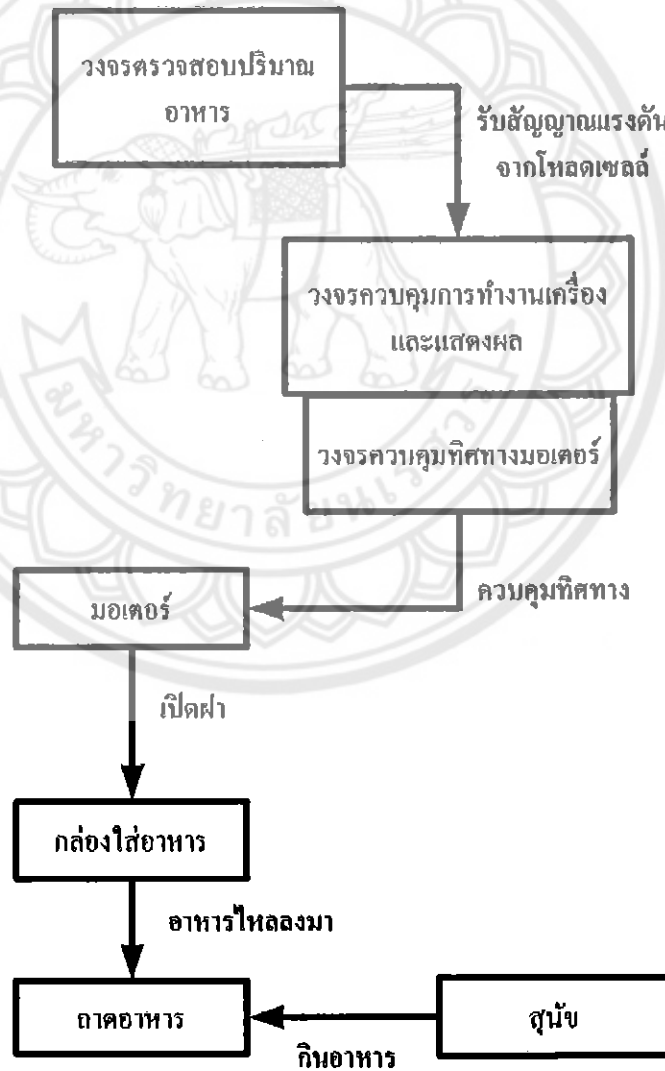
RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1 Hz
0	1	4.096 kHz
1	0	8.192 kHz
1	1	32.768 kHz



### บทที่ 3

#### วิธีการออกแบบและสร้างเครื่องให้อาหารสุนัข

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการแล้วนำมาประยุกต์ใช้ใน โครงการงานนี้ สามารถออกแบบระบบของเครื่องให้อาหารสุนัขได้จริง โดยตัวเครื่องนั้นจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ซึ่งจะมี ส่วนควบคุมการทำงานพร้อมแสดงผล ส่วนภาคจ่ายไฟ ควบคุมทิศทางมอเตอร์และส่วนเซนเซอร์ใช้วัดปริมาณอาหาร ทั้ง 3 ส่วนจะมีวัสดุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์เหล่านี้



รูปที่ 3.1 System Overview Diagram



### 3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง

#### 3.1.1 วงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F452 1ตัว
2. ไอซี Real-Time-Clock เบอร์ ds1307 1ตัว
3. คริสตัลความถี่ 10 MHz 1ตัว
4. ตัวต้านทานขนาด 10K $\Omega$  1/4 W 1ตัว
5. ไมโครสวิตช์ 1 ตัว
6. คริสตัลความถี่ 32.732 kHz 1ตัว
7. ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกขนาด 22 พิโกฟาร์ด 2ตัว
8. สวิตช์แบบ DIP 2 ช่อง 1ตัว
9. สวิตช์แบบ DIP 4 ช่อง 2ตัว
10. ซ็อกเก็ตเบตเตอรี่แบบเม็คกระดุม 1ตัว
11. เบตเตอรี่แบบเม็คกระดุมขนาด 3 V 1ตัว
12. ตัวต้านทานขนาด 1K $\Omega$  1/4 W 1ตัว
13. ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10K $\Omega$  1ตัว
14. สวิตช์เปิดปิดแบบ โยก 1ตัว
15. จอ LCD ขนาด 20x4 1ตัว

#### 3.1.2 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

1. ไอซีเบอร์ L298N 1ตัว
2. ไดโอดเบอร์ 1N4001 1ตัว
3. ไอซีเบอร์ LM7805 1ตัว
4. ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกขนาด 0.1 ไมโครฟาร์ด 3ตัว
5. Schottky diode เบอร์ 31DQ06 4ตัว
6. ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A 2ตัว
7. ตัวต้านทานขนาด 20 $\Omega$  1/4 W 2ตัว
8. Terminal Box แบบขั้วน๊อต 2 ทาง 3ตัว
9. ตัวต้านทานขนาด 27  $\Omega$  1 W 1 ตัว
10. ตัวต้านทานขนาด 1  $\Omega$  3W 1 ตัว

11.ตัวต้านทานขนาด 330  $\Omega$  1/4 W 1ตัว

12.หลอด LED ขนาด 3 mm 1ตัว

### 3.1.3 วงจรจ่ายไฟแรงดัน 5 V

1.ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 3ตัว

2.ไอซีเบอร์ LM7805 1ตัว

3.ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 100 ไมโครฟารัด 1ตัว

4.ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 470 ไมโครฟารัด 1ตัว

5.ตัวต้านทานขนาด 560  $\Omega$  1/4 W 1ตัว

6.หลอด LED ขนาด 3mm 1 หลอด

7. Terminal Box แบบขันน็อต 2 ทาง 4 ตัว

8.หม้อแปลงแรงดัน 15 V 500-800 mA 1ตัว

9.ไดโอดแบบบริดจ์ เบอร์ W04M 1ตัว

### 3.1.4 วงจรจ่ายไฟแบบปรับแรงดันได้

1.ไอซีเบอร์ LM338 1ตัว

2.ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 4700 ไมโครฟารัด 1ตัว

3.ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 1 ไมโครฟารัด 1ตัว

4.ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 1ตัว

5.ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5K $\Omega$  1 ตัว

6.ตัวต้านทานขนาด 120 $\Omega$  1/2 W 1ตัว

7.หม้อแปลงแรงดัน 15 V 3 A 1ตัว

8.ไดโอดแบบบริดจ์ เบอร์ KBL408 1ตัว

### 3.1.5 วงจรจ่ายไฟแรงดัน $\pm 15V$ และ 5V

1.หม้อแปลงแรงดัน 15-0-15 V 1 A 1ตัว

2.ไอซีเบอร์ L7915 1ตัว

3.ไอซีเบอร์ L7815 1ตัว

4.ไอซีเบอร์ L7805 1ตัว

5.หลอด LED ขนาด 3 mm 2 ตัว

6.ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 5ตัว

7. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 2200 ไมโครฟารัด 2 ตัว
8. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 470 ไมโครฟารัด 3 ตัว
9. Terminal แบบใช้เสียบ 3 pin 4 ตัว
10. ไดโอดแบบบริด เบอร์ W04M 1 ตัว

### 3.1.6 วงจรตรวจสอบปริมาณอาหาร

1. ไอซีเบอร์ INA 114 1 ตัว
2. Load Cell 0 - 500 g 1 ตัว
3. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด 100 ไมโครฟารัด 1 ตัว
4. Terminal แบบใช้เสียบ 3 pin 3 ตัว
5. ตัวต้านทานขนาด 10kΩ 1/4 W 1 ตัว
6. Terminal Box แบบขันน็อต 2 ทาง 1 ตัว

### 3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

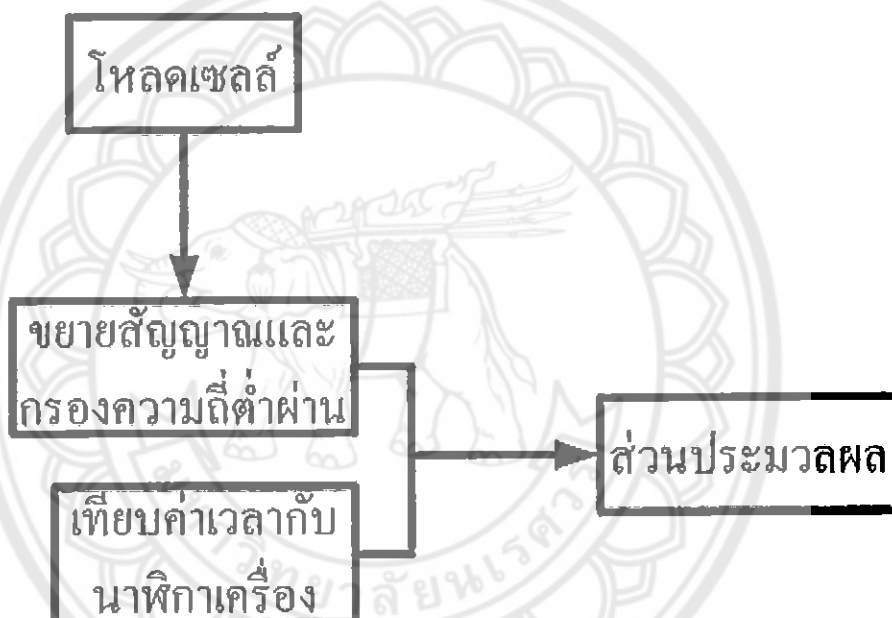
โครงการเครื่องให้อาหารสุนัขด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มจากตั้งเวลาที่ต้องการให้อาหารก่อน โดยเครื่องนี้สามารถตั้งเวลาได้สูงสุด คือ 2 ครั้งต่อวัน และปริมาณอาหารที่ให้นั้น สูงสุดได้ถึง 500 กรัม ต่อการให้อาหาร 1 ครั้ง ซึ่งตั้งค่าได้โดยการป้อนค่าผ่านคีย์แพด แล้วแสดงผลเป็นตัวเลขออกมาที่จอ LCD และกรณีที่อาหารเหลือในถาดเกินกว่าที่กำหนดได้ในโปรแกรม เครื่องก็จะไม่จ่ายอาหารออกมา ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานทั้งหมด

### 3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของส่วนตรวจสอบปริมาณอาหาร

การทำงานของส่วนตรวจสอบปริมาณอาหาร โดยจะเริ่มที่โพลคเซลล์ได้รับค่าน้ำหนักจากปริมาณอาหารที่อยู่ในถาดและกล่องใส่อาหาร ซึ่งน้ำหนักของอาหารทำให้ความต้านทานของโพลคเซลล์ไม่สมดุลกัน เป็นผลให้เกิดค่าแรงดันที่แตกต่างกันออกไป จากนั้นนำค่าสัญญาณขยายในพิคคช่วง 0-5 โวลต์ มากรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อเอาสัญญาณรบกวนออก จากนั้นเทียบค่าเวลาที่ให้อาหารกับนาฬิกาเครื่อง ถ้ามีค่าตรงกันก็จะทำการประมวลผลและไปส่งส่วนควบคุมมอเตอร์ทำงานต่อไป



รูปที่ 3.3 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนตรวจสอบปริมาณอาหาร

### 3.1.2 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผลสามารถอธิบายตามผังรูปที่ 3.4 โดยเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุตสัญญาณจะถูกกรองเอาสัญญาณรบกวนออกเพื่อให้ได้สัญญาณที่เรียบและไม่แกว่ง จากนั้นหน่วยประมวลผลจะนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล เพื่อที่จะส่งไปยังส่วนควบคุมมอเตอร์ซึ่งเป็นเอาต์พุตต่อไป

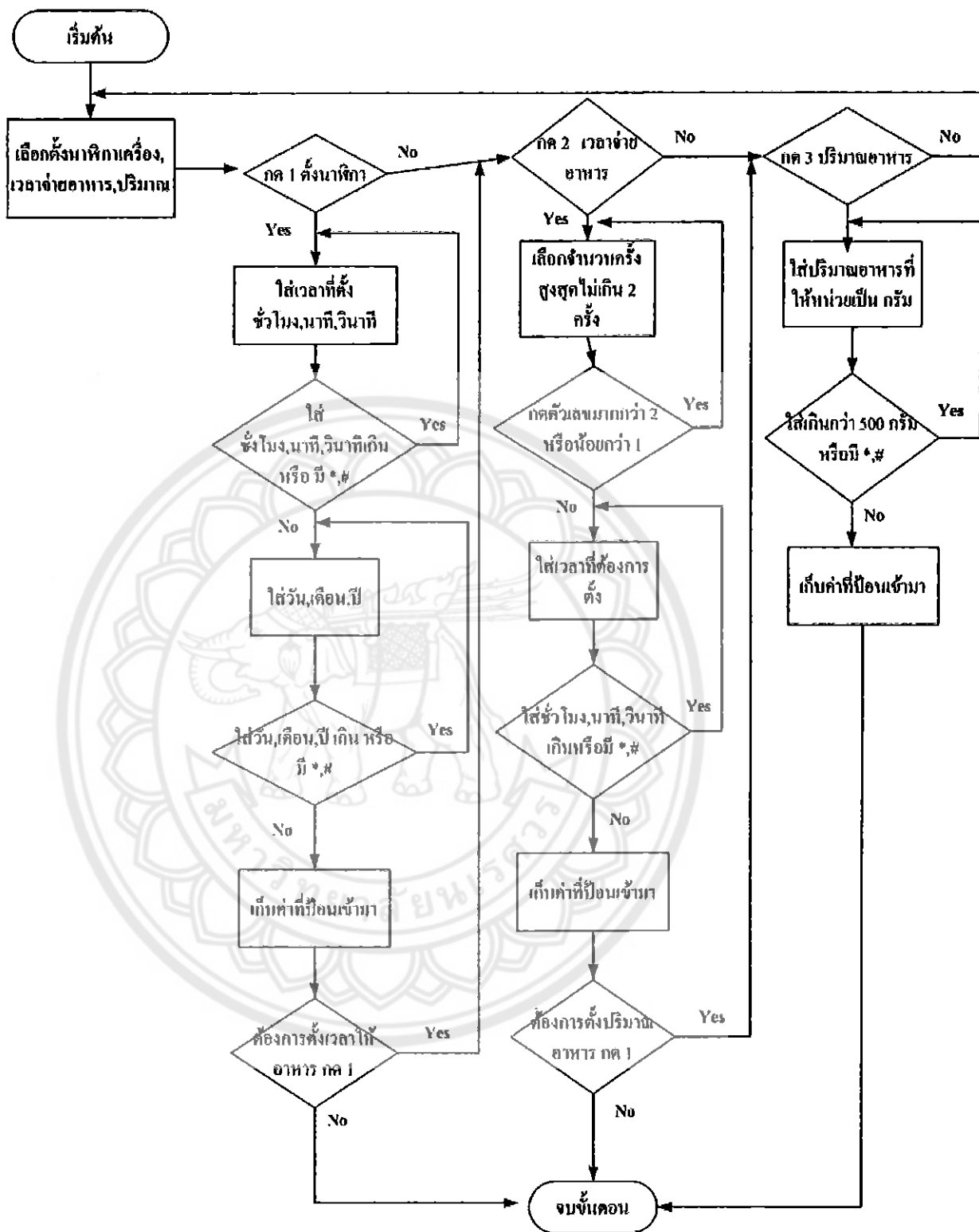


รูปที่ 3.4 แผนภาพกรอบแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนประมวลผล

### 3.3 การออกแบบและสร้างวงจรพร้อมโปรแกรมควบคุมใช้งาน

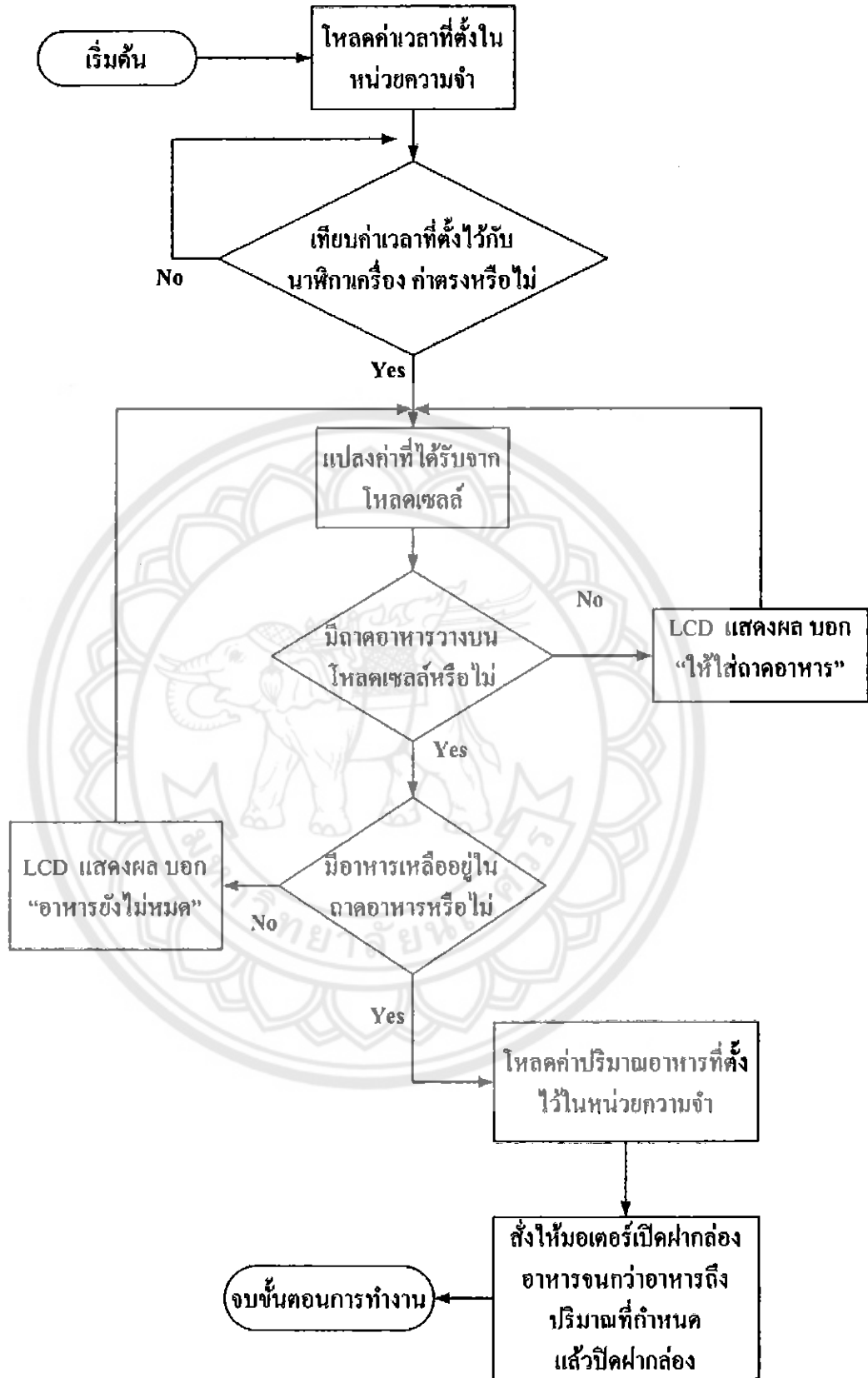
#### 3.3.1 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่อง

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องให้อาหารสุนัขนั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนป้อนค่าเข้าเพื่อใช้ควบคุมเวลาและปริมาณอาหาร และส่วนสั่งการทำงาน โดยลักษณะของโปรแกรมที่เป็นส่วนการป้อนค่าเข้าเพื่อใช้ควบคุมเวลาและปริมาณอาหาร สามารถแสดงในเห็นเป็นแผนภาพดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงลักษณะ โปรแกรมที่ใช้ป้อนค่า

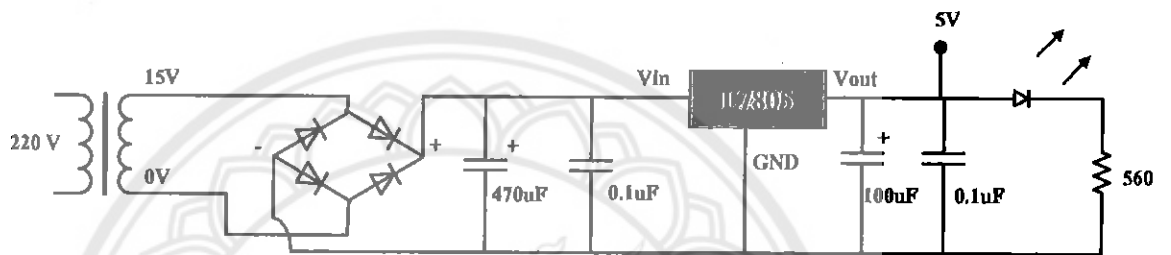
ส่วน โปรแกรมการสั่งการทำงานเครื่อง สามารถอธิบายรายละเอียดของการทำงานเป็น ขั้นตอนได้ ดังรูปที่ 3.6



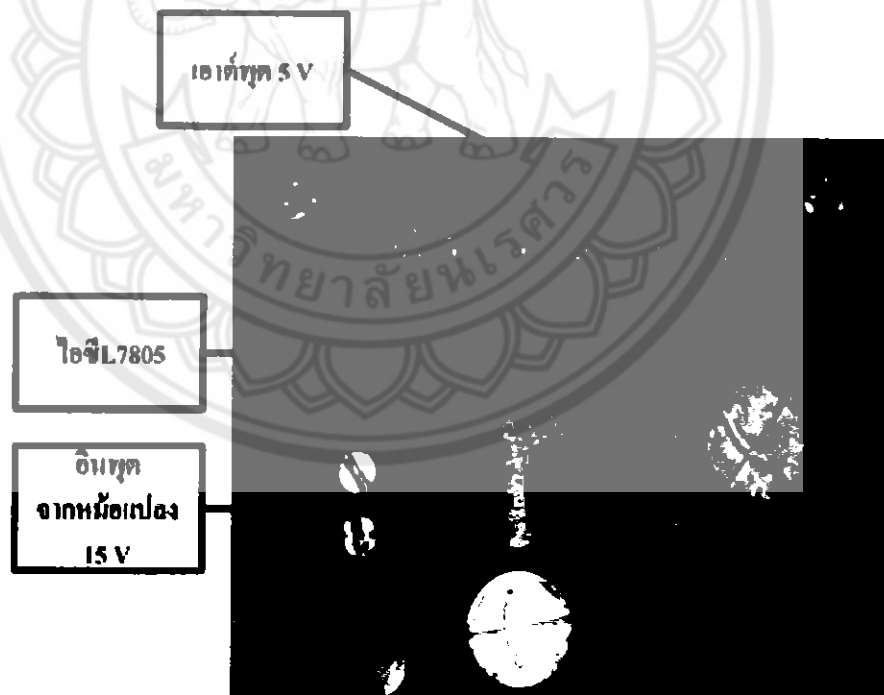
รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงลักษณะ โปรแกรมของการทำงานเครื่อง

### 3.3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง + 5 +15 -15 และปรับแรงดัน 5-25V

วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง มีหน้าที่ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรต่างๆ ในระบบของเครื่อง ซึ่งแหล่งจ่ายไฟในระบบจะมีทั้งหมด 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ ใช้หม้อแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์ เหลือ 15 โวลต์ ต่อวงจรเรียงกระแสแบบบริด ไปยังไอซี L7805 รักษาแรงดัน 5 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องและแสดงผล ลักษณะวงจรเป็นดังรูป



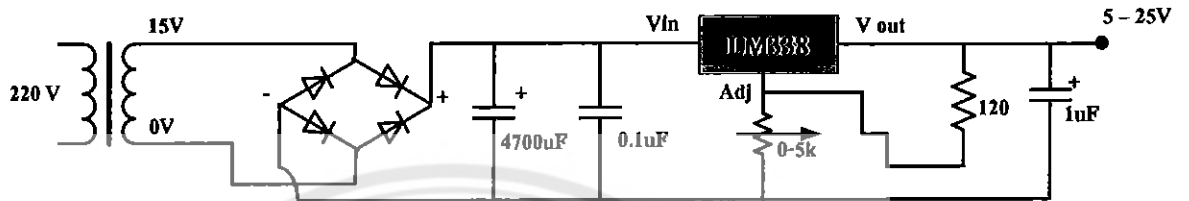
รูปที่ 3.7 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์



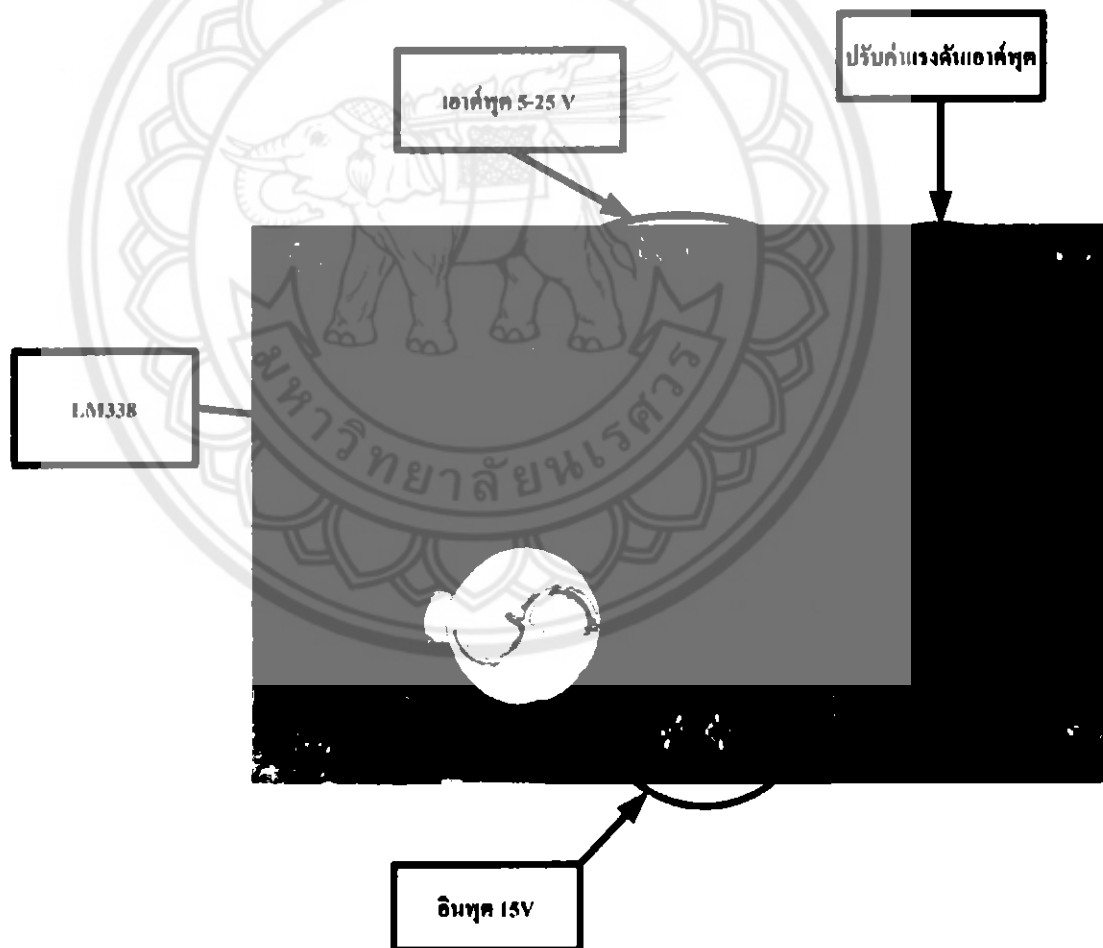
รูปที่ 3.8 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์



ส่วนที่สอง แหล่งจ่ายไฟกระแสสูงแบบปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 5 โวลต์ ถึง 25 โวลต์ ใช้หม้อแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์ เหลือ 15 โวลต์ ขนาด 3แอมแปร์ ต่อวงจรเรียงกระแสแบบบริด ไปยังไอซี LM338 ซึ่งไอซีตัวนี้สามารถจ่ายกระแสสูงได้ถึง 5 แอมแปร์ วงจรนี้ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์ ลักษณะวงจรเป็นดังรูป

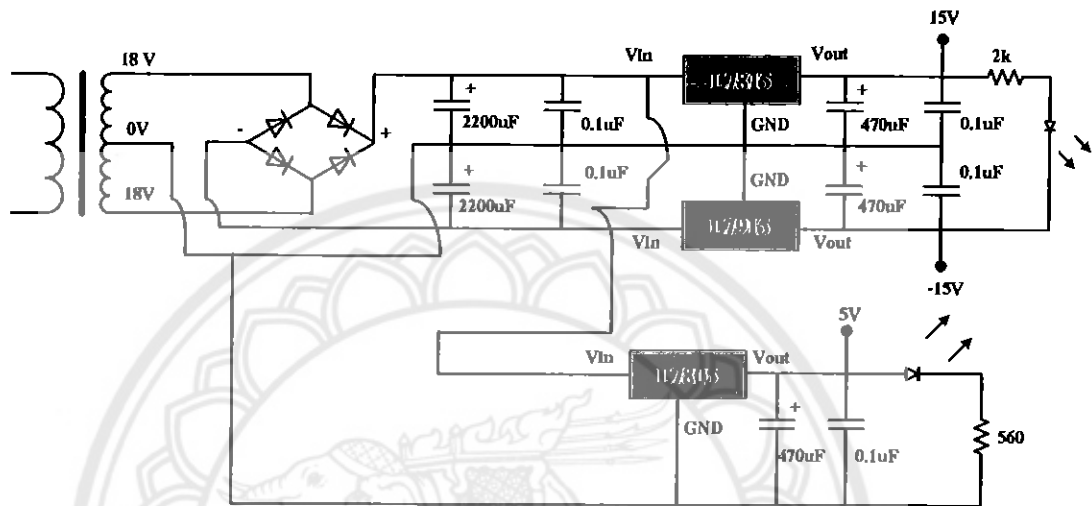


รูปที่ 3.9 แผนภาพวงจรแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงปรับแรงดัน 5 ถึง 25 โวลต์

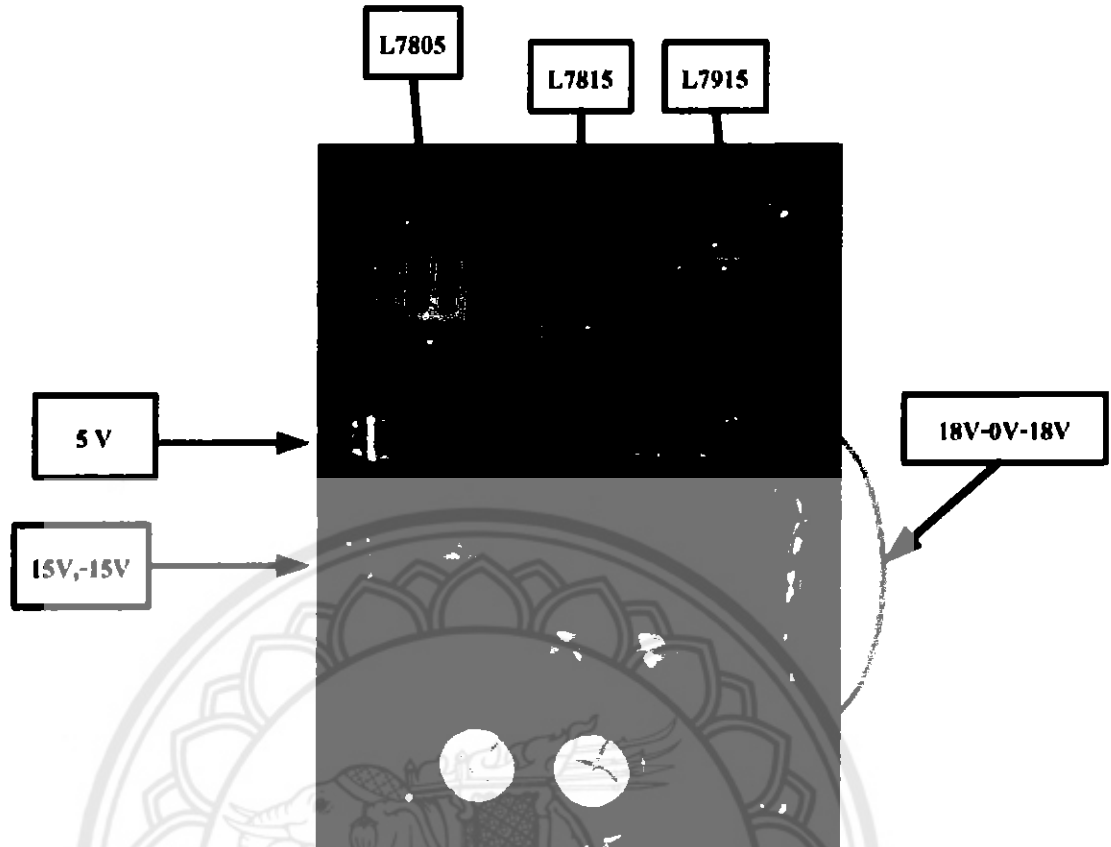


รูปที่ 3.10 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายปรับแรงดัน 5 ถึง 25 โวลต์

ส่วนที่สาม แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ขนาด +5 โวลต์+15 โวลต์ -15 โวลต์ ใช้หม้อแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์ ออกมา 15 - 0 - 15 โวลต์ มาเข้าวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ออกไปยัง ไอซี L7805 , L7815, L7915 เพื่อจ่ายแรงดัน 5,+15 และ -15 โวลต์ ตามลำดับ ให้กับวงจรตรวจสอบปริมาณอาหาร ลักษณะวงจรเป็นดังรูป



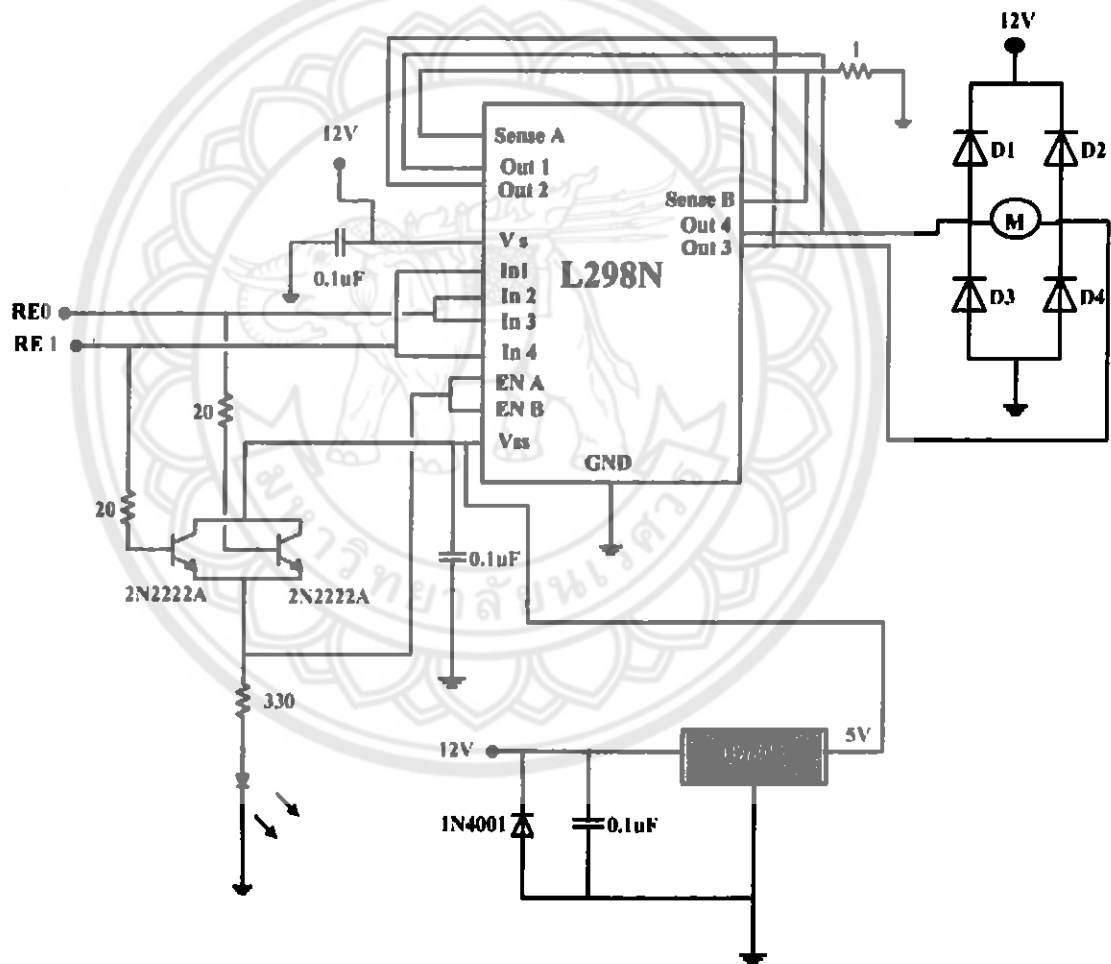
รูปที่ 3.11 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด +5 โวลต์+15 โวลต์ -15 โวลต์



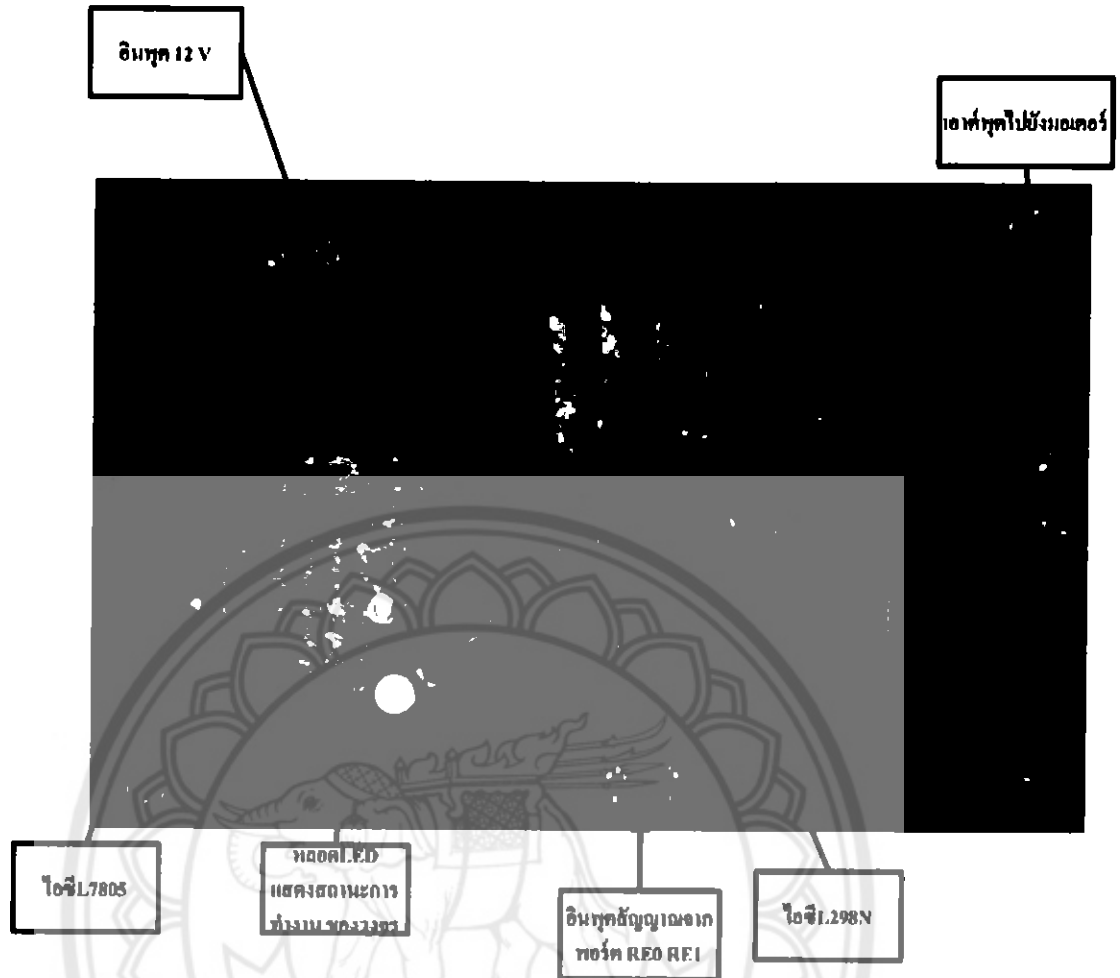
รูปที่ 3.12 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แหล่งจ่ายขนาด +5 โวลต์+15 โวลต์ -15 โวลต์

### 3.3.3 การออกแบบวงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์ของเครื่องให้อาหารนั้น ทำหน้าที่ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้เปิดปิดประตู เพื่อควบคุมปริมาณอาหารที่จะให้ในแต่ละครั้ง โดยการควบคุมมอเตอร์ในวงจรนี้ จะใช้ไอซี เบอร์ L298N ซึ่ง ไอซีตัวนี้สามารถควบคุมมอเตอร์ได้ 2 ตัว และจ่ายกระแสสูง 2 แอมแปร์ต่อมอเตอร์ 1 ตัว แต่สามารถจ่ายกระแสได้สูงถึง 4 แอมแปร์ต่อมอเตอร์ 1 ตัว โดยการนำช่องต่อมอเตอร์ทั้ง 2 ช่องมารวมกันแบบต่อขนานกัน ในการเชื่อมมอเตอร์เข้ากับไอซีนี้ จะต้องวงจร แบบ H - bridge ซึ่งต้องใช้ไดโอด 4 ต่อเข้าด้วยกัน ลักษณะวงจรควบคุมมอเตอร์เป็นดังรูป



รูปที่ 3.13 แผนภาพวงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์แบบใช้กระแส 4 แอมแปร์



รูปที่ 3.14 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรควบคุมทิศทางการมอดูเลเตอร์แบบใช้กระแส  
4 แอมแปร์

การทำงานของวงจรนี้ จะเริ่มจากการรับสัญญาณจากพอร์ต RE 0 และ RE 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งเข้าไปยัง ไอซี L298N และที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อไบแอสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานเหมือนสวิตช์ เปิดปิด วงจร H - bridge ของมอดูเลเตอร์ รายละเอียดทิศทางการหมุนของมอดูเลเตอร์ เมื่อรับสัญญาณจาก พอร์ต RE 0 และ RE 1 มีดังนี้

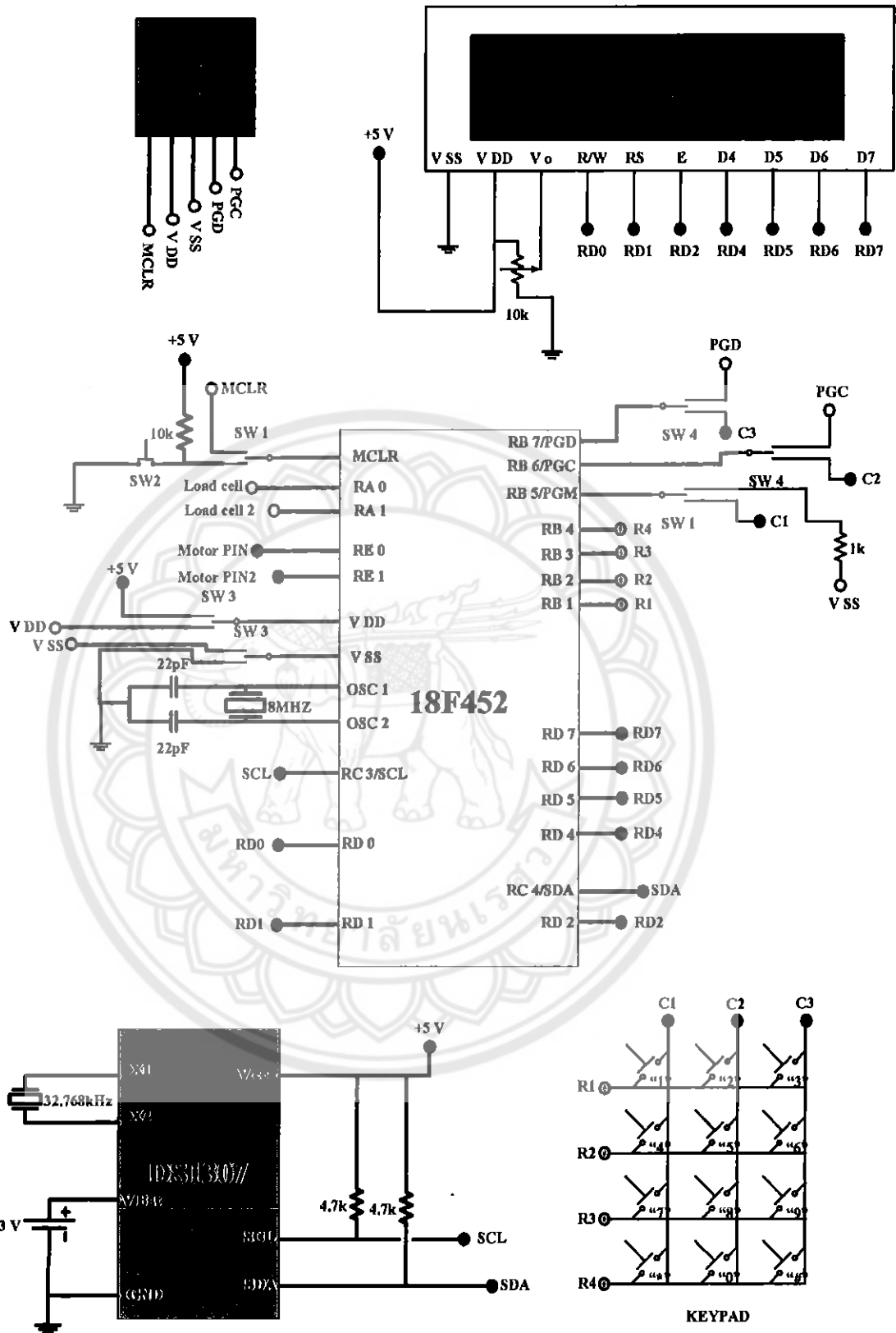
ตารางที่ 3.1 แสดงทิศทางการหมุนของมอเตอร์

สัญญาณที่พอร์ต RE 0	สัญญาณที่พอร์ต RE 1	ทิศทางการหมุนของมอเตอร์
0	0	มอเตอร์หยุด
1	0	มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา
0	1	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
1	1	มอเตอร์เบรก

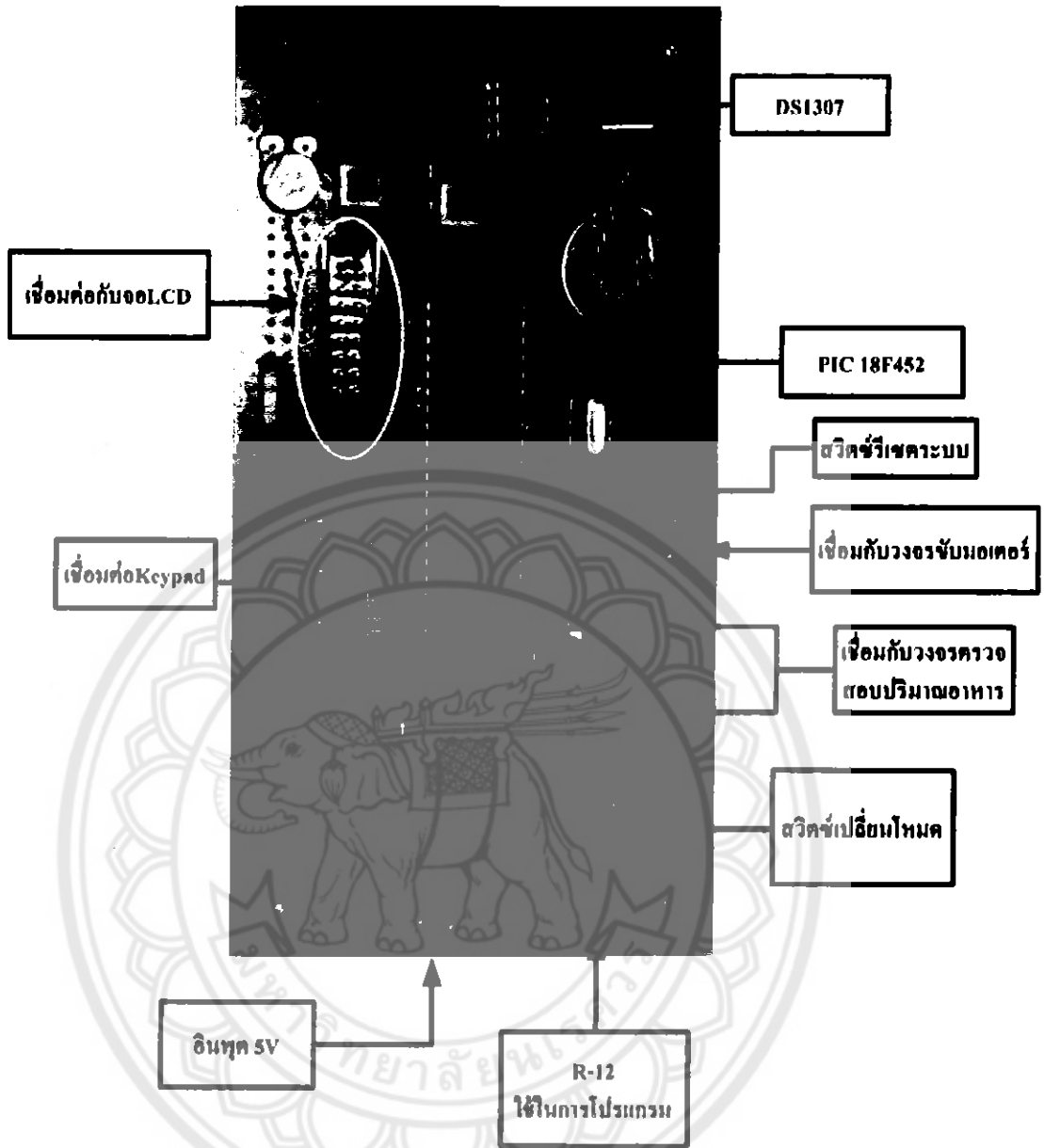
### 3.3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล

วงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล จะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F452 เป็นหัวใจของการทำงาน โดยมีหน้าที่ดังนี้

- 1) รับสัญญาณแอนะล็อกจากวงจรตรวจสอบปริมาณอาหาร ซึ่งสัญญาณมาจากโวลต์เซลล์ ที่ผ่านการขยายสัญญาณและกรองผ่านความถี่ต่ำแล้ว เพื่อประมวลผลและควบคุมการให้อาหาร
  - 2) รับสัญญาณจาก ไอซี DS1307 ซึ่งเป็น ไอซี Real Time Clock ส่งสัญญาณแบบ I<sup>2</sup>C เพื่อใช้ประมวลผลเวลาที่เครื่องจะทำงาน
  - 3) รับสัญญาณจากสวิตช์คีย์แพค เพื่อใช้งานเมนูต่างๆของโปรแกรม
  - 4) ส่งสัญญาณไปยังจอแอลซีดีเพื่อแสดงผล การทำงานของเมนูต่างๆที่ ป้อนค่าผ่านสวิตช์คีย์แพค
  - 5) ส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุมทิศทางของมอเตอร์ เพื่อควบคุมทิศทางมอเตอร์ในการเปิดปิดประตูกล ที่ใช้ควบคุมปริมาณอาหาร
  - 6) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูล โปรแกรมและหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F452 ผ่านตัวเชื่อมต่อ RJ-12 เพื่อทำการเชื่อมตัวกับคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านเครื่อง โปรแกรม PICKIT 2 หรือ ET-PGMPIC USB
- ลักษณะของวงจรการใช้งานแสดงดังรูป



รูปที่ 3.15 แผนภาพวงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล

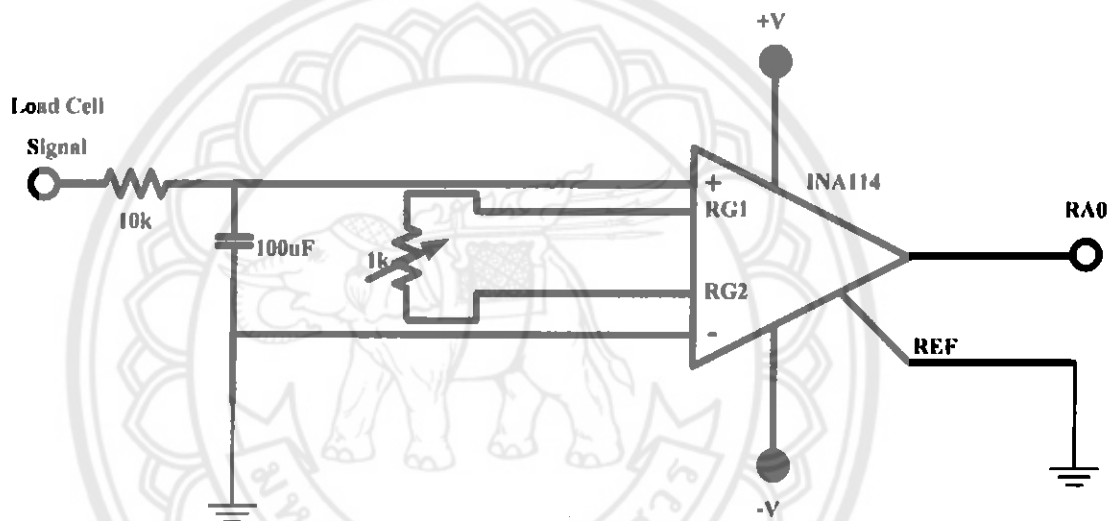


รูปที่ 3.16 การประกอบวงจรควบคุมการทำงานเครื่องและแสดงผล

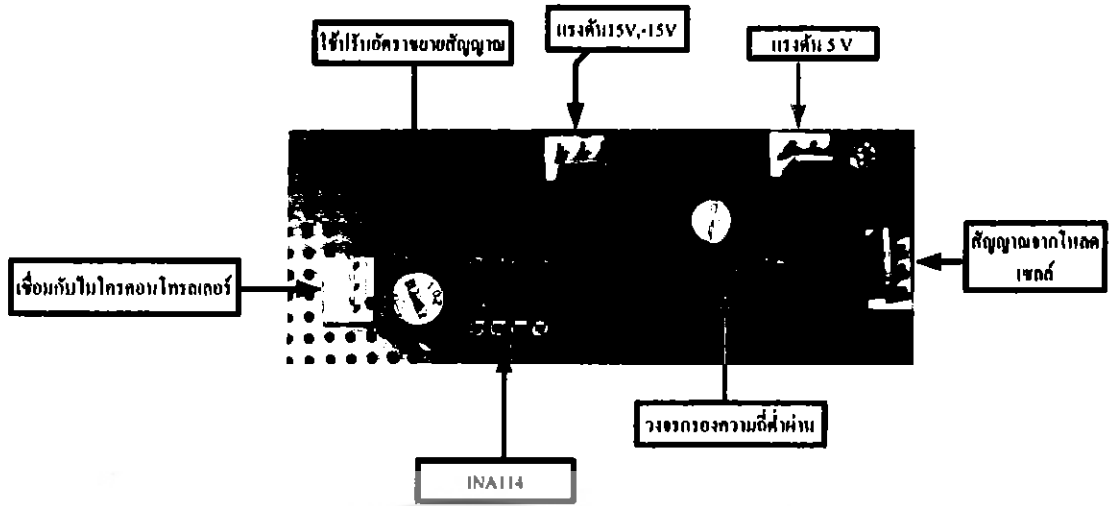


### 3.3.5 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจากโหลดเซลล์

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจากโหลดเซลล์ จะมีส่วนที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ Passive เพื่อเอาความถี่รบกวนออกจากสัญญาณของโหลดเซลล์ จากนั้นนำสัญญาณที่ผ่านการกรองความถี่รบกวนแล้ว ไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้ไอซี INA114 มีลักษณะเป็นวงจขยายแบบอินสทรูเมนต์สำเร็จรูป โดยสามารถขยายสัญญาณแรงดันต่ำมากๆ ที่มาจากโหลดเซลล์ได้ดี แล้วนำสัญญาณที่ได้จากการขยายไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อประมวลผลในการควบคุมการให้อาหารต่อไป



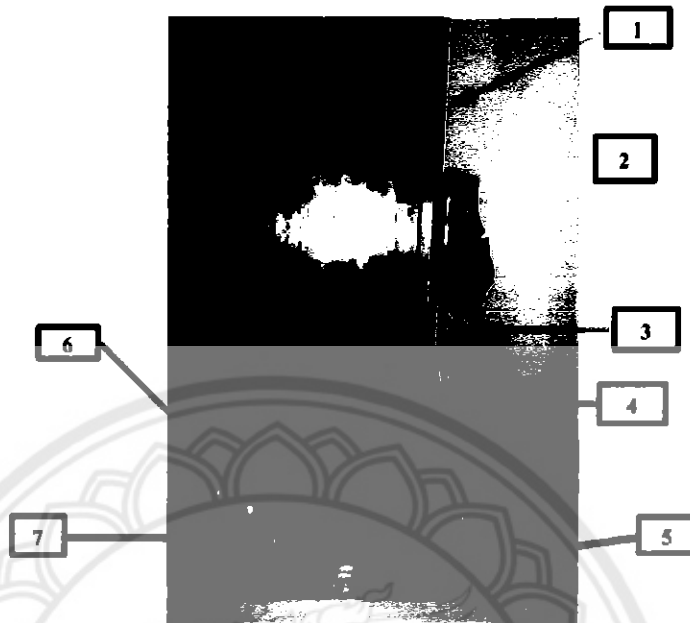
รูปที่ 3.17 แผนภาพวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจากโหลดเซลล์



รูปที่ 3.18 การประกอบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านพร้อมขยายสัญญาณจาก โพลคเซลล์



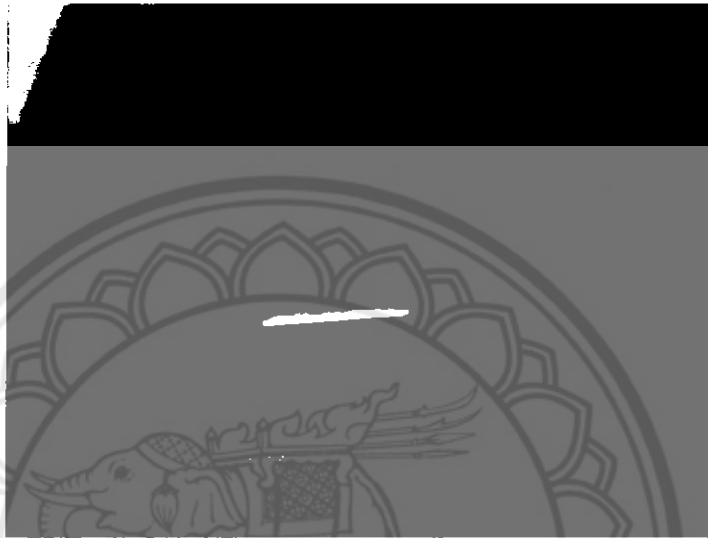
### 3.4 ส่วนประกอบของกล่องใส่อาหารเม็ดสุนัขแห้ง



รูปที่ 3.19 ลักษณะของกล่องใส่อาหารเม็ดสุนัขแห้ง

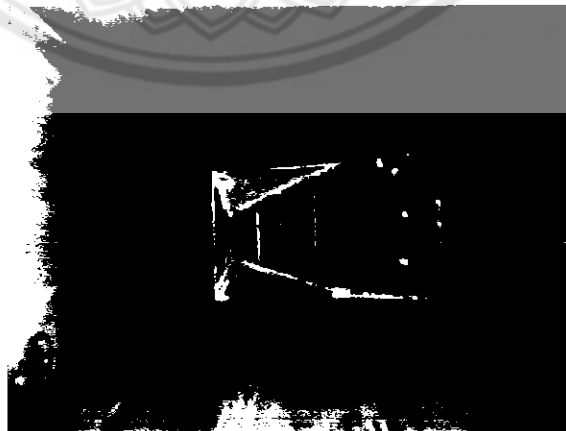
จากรูปที่ 3.19 องค์ประกอบของเครื่องตัว (หมายเลข 1) เป็นกล่องใส่อาหารแห้งที่จะให้สุนัข โดยตัวกล่องนั้นทำมาจากไม้ยางพาราพร้อมทาสีเคลือบกันเชื้อราขึ้น (หมายเลข 2) เป็นมอเตอร์ขนาด 12V ซึ่งมีลักษณะเป็นมอเตอร์ที่มีแรงทอร์กสูง พร้อมทั้งเก็บสายไฟฟ้าเรียบร้อย จะเชื่อมกับ (หมายเลข 4) ซึ่งเป็นฝาเปิดปิดกล่องใส่อาหาร โดยจะส่งแรงโยกผ่านมายัง (หมายเลข 3) จะเป็นเพลาคู๊ดเปิดปิดฝากล่อง (หมายเลข 5) จะเป็นฐานของกล่องใส่อาหาร ซึ่งทำจากไม้ยางพาราเหมือนกับกล่องใส่อาหาร (หมายเลข 6) เป็นกล่องใช้สำหรับใส่ถาดอาหาร เพื่อประคองไม่ให้ถาดอาหารเคลื่อนที่ไป ส่วนสุดท้าย (หมายเลข 7) เป็นโพลีเอทิลีนพลาสติกที่หนักอาหารที่อยู่ในถาด ซึ่งจะมีฐานที่ใช้วางถาดอาหารติดตั้งกับโพลีเอทิลีนพลาสติก โดยจะนำที่วัดได้ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป

ส่วนวิธีการจ่ายอาหารของเครื่องให้อาหารนั้น จะใช้หลักการทางกลศาสตร์เข้ามาช่วย อาหารที่อยู่ภายในกล่องจะสามารถไหลลงมาโดยใช้แรงโน้มถ่วงเป็นตัวช่วย ซึ่งภายในกล่องใส่อาหารได้มีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นพื้นเอียงและขังๆ ใก้รู้ที่อาหารจะไหล ก็จะกันซองในอาหารไหลลงรูได้เกือบหมดดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลักษณะภายในของกล่องใส่อาหาร

จากรูปที่ 3.21 เวลาที่เครื่องทำการจ่ายอาหารออกไป ฝาปิดกล่องใส่อาหาร(สีดำ) จะทำการเปิดออกแล้วอาหารก็ไหลลงรู ไปยังถาดอาหารข้างล่างกล่อง เมื่อเครื่องหยุดจ่ายอาหาร ฝาปิดกล่องก็จะกลับมาดันปิดรูไว้เพื่อไม่ให้อาหารไหลออกมาได้



รูปที่ 3.21 ลักษณะกล่องใส่อาหารที่มีการติดตั้งฝาปิดแล้ว

## บทที่ 4

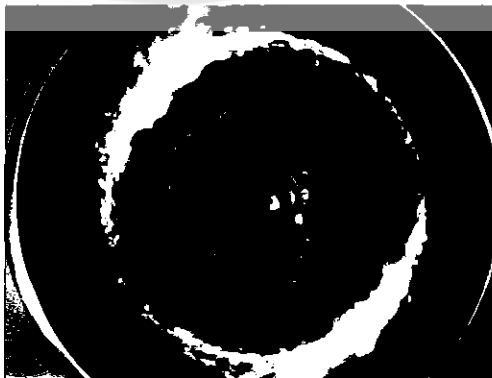
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื้อหาในบทที่ 4 ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องให้อาหารเม็ดสุนัขแห้ง ที่ พัฒนาด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องให้อาหารเม็ดสุนัขแห้งนั้น ๆ ได้มีการแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดลองโหลดเซลล์กับที่ถาดอาหารกับอาหารตัวอย่าง ผลการทดลองปริมาณอาหารที่จ่ายออกมา ผลการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องให้อาหาร

#### 4.1 ผลการทดสอบโหลดเซลล์ที่ถาดกับอาหารตัวอย่าง

ในการทดสอบวัดค่ามวลของอาหารตัวอย่างด้วยโหลดเซลล์นั้น โดยอาหารตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองนั้น ขนาดเม็ดของอาหารจะมีลักษณะ ไม่เท่ากันทุกเม็ดและมีขนาดดังนี้ เม็ดสีแดงจะมีลักษณะเป็นวงรีและมีความกว้างประมาณเท่ากับ 8.5 mm ยาวประมาณ 10 mm หนาประมาณ 7 mm เม็ดสีน้ำตาลจะมีลักษณะเป็นวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณเท่ากับ 11.5 mm หนาประมาณ 5 mm และเม็ดสีเขียวจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยด้านทั้งสามจะมีขนาดประมาณเท่ากับ 9.5 mm หนาประมาณ 3.2 mm

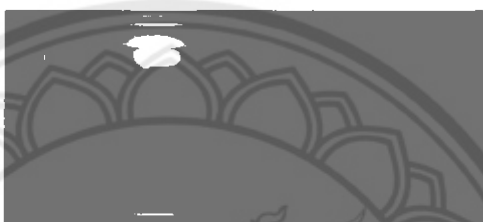


รูปที่ 4.1 ลักษณะของอาหารเม็ดสุนัขที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนขั้นตอนในการทดสอบวัดค่ามวลของอาหารตัวอย่าง จะสามารถทำได้โดย

1. นำอาหารใส่ถาดอาหารที่จะใช้วางบนฐานที่ติดตั้ง โหลดเซลล์ โดยตัวของถาดอาหารแบบที่ไม่ได้ใส่อาหารจะมีน้ำหนักอยู่ 80 กรัม ฉะนั้นค่าน้ำหนักที่นำมาใช้บนโหลดเซลล์จะเป็นค่าที่ได้จาก น้ำหนักของอาหารรวมกับน้ำหนักของถาดอาหารไปแล้ว จากตารางที่ 4.1 ซึ่งได้มีการวัดค่าตอนที่โหลดเซลล์ไม่มีน้ำหนักมาก เพื่อป้องกันความสับสนในการนำค่าที่ได้จากการวัดไปใช้งาน

2. จากนั้นนำถาดอาหารที่มีอาหารอยู่ ไปวางบนแท่นที่มีโหลดเซลล์ติดตั้งอยู่



รูปที่ 4.2 หน้าจอแอลซีดีแสดงค่าแรงดันและตัวเลขแปลง A/D

3. ให้สังเกตที่หน้าจอแอลซีดีที่เชื่อมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบันทึกค่าแรงดันที่วัดได้ พร้อมกับค่าตัวเลขที่แปลงสัญญาณ A/D ลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวัดค่ามวลของอาหารออกเป็นค่าแรงดันและค่าตัวเลขแปลงสัญญาณ A/D

มวลของอาหารที่ใช้ทดลอง (กรัม)	ค่าแรงดันที่ออกจากโหลดเซลล์ (โวลต์)	ค่าตัวเลขจากการแปลง สัญญาณ A/D
ไม่มีถาดอาหาร	0.26	55
0	0.35	73
100	0.47	96
200	0.58	119
300	0.69	143
400	0.81	166
500	0.91	188

หมายเหตุ: ตารางที่ 4.1 ช่อง มวลของอาหารที่ใช้ทดลอง ค่าตั้งแต่ 0 กรัมจนถึง 500 นั้น ได้มีการใส่ถาดอาหารแล้ว

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ทำให้สามารถทราบถึง การทำงานของโพลดเซลล์และน้ำ สัญญาณที่ได้เมื่อ โพลดเซลล์ไม่มีน้ำหนักกดหรือมีน้ำหนักรวมมาก ไปประมวลผลด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเห็นได้ว่า จากตารางที่ 4.1 น้ำหนักที่กระทำบนโพลดเซลล์ ให้ค่าแรงดัน และค่าตัวเลขที่ผ่านการแปลงสัญญาณ A/D มีลักษณะที่ซิกแซกข้างมาก โดยค่าที่ได้นั้นสามารถ นำไปใช้ออกแบบ โปรแกรมควบคุมปริมาณอาหารของเครื่องให้อาหารสุนัขแห่งต่อไป

#### 4.2 ผลการทดสอบปริมาณของอาหารที่จ่ายออกมา

จากหัวข้อผลการทดลองที่ 4.1 ได้มีการกล่าวถึงลักษณะของอาหารสุนัขเม็ดแห้งที่ใช้ใน การทดสอบเครื่องให้อาหารสุนัขเม็ดแห้ง หลักที่ใช้ในการจ่ายอาหารเม็ดออกมานั้นก็ได้อธิบายใน บทที่ 3 คือ ใช้แรงโน้มถ่วงเป็นตัวขับเคลื่อนให้อาหาร ไหลออกจากกล่องใส่อาหาร ในหัวข้อการ ทดลองนี้จะทดสอบการจ่ายอาหาร ได้ผลดังในตารางที่ 4.2 ส่วนมอเตอร์หมุน 1 รอบหมายถึงเปิด และปิดฝากล่องอาหาร

ตารางที่ 4.2 ผลการจ่ายปริมาณอาหารของเครื่องให้อาหาร

จำนวน รอบที่ มอเตอร์ หมุน	ปริมาณ อาหารที่ คัดคะเน ได้ (กรัม)	ปริมาณอาหารที่ออกมาจากกล่อง อาหารจริง(กรัม)			ค่าเฉลี่ยปริมาณ อาหารที่ออกมา จากกล่องอาหาร จริงในการทดลอง ครั้งที่ 1-3 (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความคาด เคลื่อนของ น้ำหนัก อาหารที่ ปล่อยจาก กล่องอาหาร
		การ ทดลอง ครั้งที่ 1	การ ทดลอง ครั้งที่ 2	การ ทดลอง ครั้งที่ 3		
1	100	115	100	110	108.33	8.33%
2	200	190	210	215	205	2.5%
3	300	265	313	310	296	1.33%
4	400	390	430	410	410	2.5%
5	500	520	515	520	518.33	3.67%

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ทำให้ทราบว่า ปริมาณอาหารที่ปล่อยออกมาจากกล่องอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณอาหารที่คาดคะเนไว้ในตาราง เมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนแล้ว แต่ละค่านำหน้าห้จะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกอื่นๆด้วย

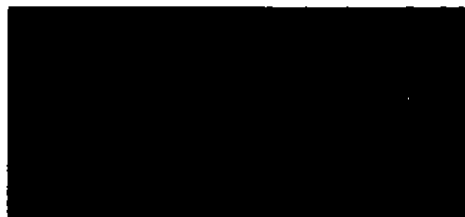
#### 4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพควบคุมการจ่ายอาหาร



รูปที่ 4.3 เครื่องให้อาหารสุนัขที่ทำการประกอบแล้ว

ในการทดสอบประสิทธิภาพควบคุมการจ่ายอาหาร ได้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เมื่อทำการเปิดสวิทช์เครื่องแล้ว งานการกระทั่งเครื่องอยู่ในสถานะที่พร้อมจะทำงาน โดยจะมีเมนูแสดงบนจอแอลซีดีดังรูปที่ 4.4 ซึ่งในเมนูจะมี กด 1 บนคีย์แพด จะเป็นการตั้งนาฬิกาให้กับเครื่อง กด 2 จะเป็นการตั้งเวลาที่จะให้อาหาร กด 3 จะเป็นการกำหนดปริมาณอาหารที่จะให้ในแต่ละครั้ง



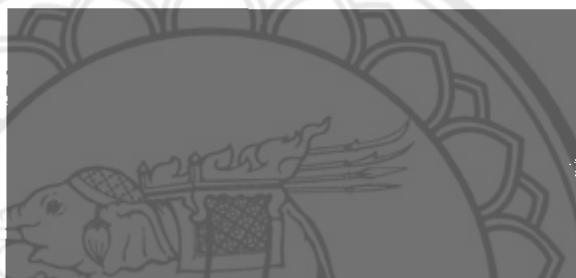
รูปที่ 4.4 เมนูจอแอลซีดีสถานะพร้อมใช้งาน



2. ตั้งเวลาให้กับเครื่องก่อน โดยการ กด 1 บนคีย์แพด เครื่องก็จะเข้าสู่ฟังก์ชันตั้งเวลาดังรูปที่ 4.5 โดยการตั้งเวลาจะเป็นแบบ 24 ชั่วโมง เมื่อตั้งเวลาโดยไม่ใส่ค่าผิดจากเงื่อนไข ที่หน้าจอแอลซีดีจะแสดงดังรูปที่ 4.6

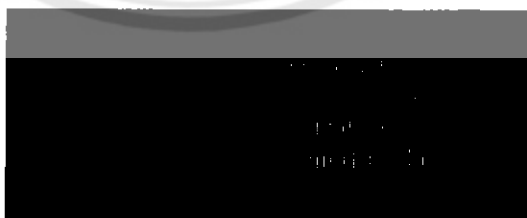


รูปที่ 4.5 แสดงฟังก์ชันการตั้งเวลาบนจอแอลซีดี



รูปที่ 4.6 แสดงการตั้งเวลาที่ผิดเงื่อนไข

3. เมื่อตั้งเวลาแล้ว ให้กดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อกลับไปยังเมนูอีกครั้ง และกด 3 ตั้งค่าปริมาณน้ำหนักรอาหารที่จะให้ในแต่ละครั้ง โดยเครื่องจะเข้าสู่ฟังก์ชันตั้งค่าปริมาณน้ำหนักรอาหารดังรูปที่ 4.7 ในการตั้งค่านั้น ให้ใส่ค่าได้ตั้งแต่ 1-5 โดย 1 หมายถึง ปริมาณอาหารที่จะให้เท่ากับ 100 กรัม เมื่อใส่ค่าผิดจะเป็นเหมือน ที่หน้าจอแอลซีดีจะแสดงดังรูปที่ 4.8

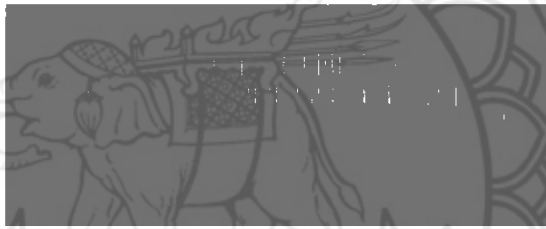


รูปที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันการตั้งปริมาณอาหารบนจอแอลซีดี



รูปที่ 4.8 แสดงการตั้งค่าปริมาณอาหารผัดเงือนไข

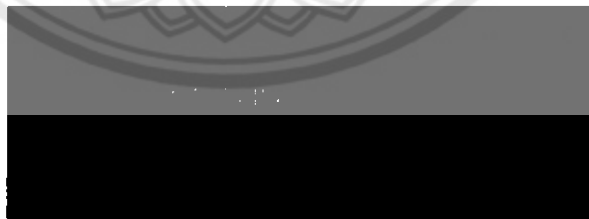
4. ให้กดปุ่ม Reset อีกครั้ง จากนั้นให้กด 2 เพื่อตั้งเวลาที่จะให้อาหาร เมื่อกดแล้ว เครื่องจะเข้าสู่ฟังก์ชันตั้งเวลาให้อาหารดังรูปที่ 4.9 ในฟังก์ชันของการตั้งเวลาให้อาหารจะมีให้เลือก 2 แบบ โดยเครื่องให้อาหารสามารถเลือกให้อาหาร 1 ครั้งต่อวัน หรือ 2 ครั้งต่อวันได้ หลังจากที่ได้เลือกจำนวนครั้งที่ให้อาหารได้แล้ว ก็จะเข้าสู่ฟังก์ชันให้ใส่เวลาที่ให้อาหาร เมื่อใช้ครบแล้ว เครื่องจะเข้าสู่โหมดสแตนด์บายพร้อมที่จะทำงาน



รูปที่ 4.9 แสดงฟังก์ชันการตั้งเวลาให้อาหารบนจอแอลซีดี

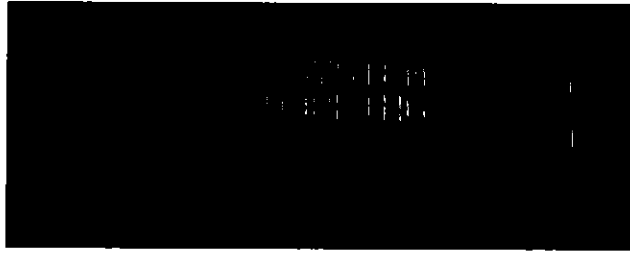
5. เมื่อถึงเวลาที่ให้อาหาร เครื่องจะทำการตรวจสอบปริมาณอาหารในถาด มีลักษณะดังรูป

4.10



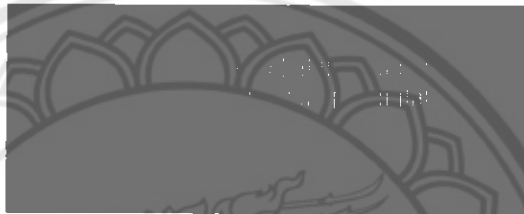
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการตรวจสอบปริมาณอาหารในถาด

เมื่อเครื่องตรวจสอบแล้วว่า ถาดอาหารนั้น ไม่ได้มีอาหารเหลืออยู่เลย เครื่องก็จะทำการจ่ายอาหารออกมา โดยหน้าจอแสดงผลจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะกรณีที่เครื่องได้ทำการจ่ายอาหาร

กรณีที่เรไม่ได้ทำการใส่ถาดอาหาร ลงในแท่นวางถาดอาหาร เครื่องจะไม่ทำการจ่ายอาหารออกมา โดยที่หน้าจอแสดงผลจะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะกรณีที่ไม่มีใส่ถาดอาหาร

กรณีที่อาหารในถาดอาหารยังมีเหลืออยู่นั้น เครื่องจะไม่ทำการจ่ายอาหารออกมา โดยที่หน้าจอแสดงผลจะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะกรณีที่อาหารยังไม่หมด

ในการทดสอบนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กรณีแรก ปริมาณอาหารเหลือในถาดเท่ากับ 0 กรัม กรณีที่สอง อาหารในถาดเหลือมากกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม โดยผลการทดสอบมีดังนี้

กรณีแรก ปริมาณอาหารเหลือในถาดเท่ากับ 0 กรัม โดยการทดสอบในกรณีนี้ เครื่องต้องทำงานทุกครั้งไม่ว่า จะตั้งปริมาณอาหารที่จะให้จำนวนเท่าใดก็ตาม แต่ในกรณีนี้จะให้ผลผิดพลาดในการทำงานเป็น เมื่อเครื่องจ่ายอาหารแต่อาหารไม่ไหลออกมา ดังตารางที่ 4.3

สัญลักษณ์ในการแสดงลักษณะการทำงานของเครื่อง

ทำงาน =  $\checkmark$  , ทำงานแต่อาหารไม่ไหล =  $\otimes$

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองควบคุมการจ่ายอาหารของเครื่องกรณีอาหารเหลือในถาดเท่ากับ 0 กรัม

กรณีตั้ง ปริมาณอาหาร ที่จะปล่อย ออกจากถาด อาหาร(กรัม)	กรณีที่อาหาร เหลืออยู่ใน ถาดเท่ากับ (กรัม)	ลักษณะการทำงานของเครื่องให้อาหาร			เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด ของการ ทำงานจาก เครื่องให้ อาหาร
		การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	
100	0	$\checkmark$	$\checkmark$	$\otimes$	33.33%
200		$\checkmark$	$\otimes$	$\checkmark$	33.33%
300		$\otimes$	$\checkmark$	$\checkmark$	33.33%
400		$\checkmark$	$\otimes$	$\checkmark$	33.33%
500		$\checkmark$	$\checkmark$	$\otimes$	33.33%

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเครื่องทำงาน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสั่งงานได้ตามปกติ แต่อาหารจะไหลออกจากถาดใส่อาหารหรือไม่ โดยในการทดลองนั้นจะ ทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อช่วงน้ำหนักที่อาหารสั่งปล่อยออกมา ซึ่งพบว่า ผลการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละช่วงน้ำหนักอาหารที่สั่งปล่อย จะมี 1 ครั้งที่อาหารไม่ไหลออกจากถาด เมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทำงานจากเครื่องให้อาหาร จะได้ 33.33%

กรณีที่สอง ปริมาณอาหารเหลือในถาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม โดยในกรณีนี้เมื่อยังมีอาหารเหลืออยู่เครื่องจะต้องไม่ทำการส่งจ่ายอาหารไม่ว่า จะตั้งปริมาณอาหารที่จะให้จำนวนเท่าใดก็ตาม แต่ในกรณีนี้จะให้ความผิดพลาดในการทำงานเป็น เมื่อเครื่องมีการส่งจ่ายอาหารขึ้นมา สัญลักษณ์ในการแสดงลักษณะการทำงานของเครื่อง ดังตารางที่ 4.4

$$\text{ทำงาน} = \sqrt{\quad}, \quad \text{ไม่ทำงาน} = \emptyset$$

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองควบคุมการจ่ายอาหารของเครื่องกรณีอาหารเหลือในมากกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม

กรณีตั้งปริมาณอาหารที่จะปล่อยออกจากถาดอาหาร(กรัม)	กรณีที่อาหารเหลืออยู่ในถาดมากกว่าหรือเท่ากับ(กรัม)	ลักษณะการทำงานของเครื่องให้อาหาร			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทำงานจากเครื่องให้อาหาร
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
100	100	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	0%
200		$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	0%
300		$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	0%
400		$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	0%
500		$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	0%

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีอาหารเหลืออยู่ในถาดอาหาร ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่สั่งให้ปล่อยอาหารออกจากถาดอาหาร โดยในการทดลอง จะทดลอง 3 ครั้งต่อช่วงน้ำหนักที่อาหารสั่งปล่อยออกมา ซึ่งพบว่า ผลการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง เครื่องไม่มีการจ่ายอาหารออกจากถาดใส่อาหารเลย ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทำงานจากเครื่องให้อาหาร จึงมีค่าเป็นศูนย์

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล ซึ่งแจ้งปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ปัญหา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไป

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการชั้นนี้ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์และโพลีเมอร์มาใช้ในการสร้างเครื่องให้อาหารสุนัขเม็ดแห้ง โดยเครื่องให้อาหารสุนัขนี้สามารถควบคุมปริมาณอาหารที่ให้ได้ และเมื่อเหลืออาหารอยู่ในถาด เครื่องก็จะไม่ทำการจ่ายอาหาร ซึ่งจะมีโพลีเมอร์วัดค่าน้ำหนักแล้วส่งออกมาในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสัญญาณตัดสินใจที่จะสั่งจ่ายอาหารหรือไม่สั่งจ่ายอาหาร

จากผลการทดสอบเทียบโพลีเมอร์ที่ติดกับอาหารตัวอย่างในตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าสัญญาณแรงดันที่ออกจากโพลีเมอร์ หลังจากผ่านวงจรขยายพร้อมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแล้ว ตั้งแต่ไม่มีน้ำหนักกระทำกับโพลีเมอร์ (ไม่มีถาดอาหาร) จนถึง มีถาดอาหารพร้อมกับอาหารเม็ดน้ำหนัก 500 g ในแต่ละช่วงจะมีค่าต่างกันประมาณ 0.09 โวลต์ ถึง 0.10 โวลต์ เมื่อนำค่าสัญญาณแรงดันไปประมวลผลแปลงออกมาเป็น A/D แล้ว ค่าที่ได้ออกมาโดยผ่านจอ LCD ในแต่ละช่วงน้ำหนัก จะมีค่าต่างกัน ประมาณ 18 จนถึง 23 ซึ่งสามารถนำค่า A/D ไปสร้างโปรแกรมสร้างเงื่อนไขในการสั่งจ่ายอาหารได้

จากผลการทดสอบเทียบปริมาณอาหารที่จ่ายออกมา ในตารางที่ 4.2 พบว่า ในแต่ละช่วงอาหารที่จ่ายออกมานั้น มีค่าประมาณใกล้เคียงประมาณที่ได้ทำการคาดคะเนไว้ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบ เป็นจำนวน 3 ครั้งต่อช่วงปริมาณน้ำหนักอาหารที่จ่ายออกมา โดย ผลการทดสอบปริมาณน้ำหนักอาหาร มีความคลาดเคลื่อนจากอาหารที่ได้ปล่อยออกมา เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วได้ตั้งแต่ 1.33 % ไปถึง 8.33% ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักที่ปล่อยด้วย

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพควบคุมการจ่ายอาหาร การทดสอบนี้ได้แบ่งออกเป็นสองกรณี โดยกรณีแรกอาหารในถาดจะมีปริมาณเท่ากับ 0 กรัม ในตารางที่ 4.3 จะทดสอบเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อช่วงปริมาณน้ำหนักรอาหารที่จ่ายออกมา ซึ่งพบว่า ในการทดสอบ 3 ครั้ง จะมี 1 ครั้ง ที่อาหารไม่ไหลออกจากถาด เมื่อนำไปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทำงานจากเครื่องให้อาหารเท่ากับ 33.33% ในกรณีที่สอง อาหารในถาดมีมากกว่าหรือเท่ากับ 100 กรัม จากตารางที่ 4.4 ได้ทำการทดสอบ เป็นจำนวน 3 ครั้งต่อช่วงปริมาณน้ำหนักรอาหารที่จ่ายออกมา ซึ่งพบว่า เครื่องไม่ได้มีการส่งจ่ายอาหารออกมา แสดงว่า เครื่องไม่มีการทำงานที่ผิดพลาด ฉะนั้น เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทำงานจากเครื่องให้อาหาร จึงเท่ากับ 0

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องให้อาหารสุนัขเม็คแท่งที่ได้สร้างขึ้น จากการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับโพลีเซลล์ ผู้ดำเนินโครงการได้สังเกตและพบปัญหาดังต่อไปนี้

1. สัญญาณแรงดันที่ออกจากโพลีเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ทั้งที่ยังไม่มีวัตถุวางอยู่บนโพลีเซลล์ โดยการเพิ่มและลดของสัญญาณแรงดันที่กล่าวถึงนั้น ค่าสัญญาณแรงดันมีแกว่งจาก 0 โวลต์ไปถึงจนถึง 5 โวลต์ กลับไปกลับมา จนไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถแปลงค่าสัญญาณ A/D ได้อย่างถูกต้อง อันเป็นเหตุเนื่องจาก ตัวของโพลีเซลล์นั้น มีสายสัญญาณไฟเลี้ยงและสายสัญญาณที่ออกจากโพลีเซลล์ ที่มีขนาดเล็ก พร้อมทั้งสายทั้งสองเส้นนั้นอยู่ใกล้กัน เมื่อสัมผัสก็เกิดการรบกวนกันขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีฉนวนอยู่แล้วก็ตาม

แนวทางแก้ไขคือ เพิ่มฉนวนให้กับสายสัญญาณไฟเลี้ยงโพลีเซลล์และสายสัญญาณที่ออกจากโพลีเซลล์ ด้วยการเพิ่มท่อหุ้ม ซึ่งเป็นฉนวนเข้าไปอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการสัมผัสกันของสายสัญญาณทั้งสองเส้น

2. ไอซี DS1307 ซึ่งเป็นตัวเก็บค่าเวลาเครื่องที่ได้ป้อนไว้ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าเวลาที่เก็บในไอซีตัวนี้ มาใช้ในการประมวลผลที่จะส่งจ่ายอาหารก็ไม่สามารถทำได้ หรือบางครั้งนาฬิกาเครื่องที่แสดงบนหน้าจอ LCD แสดงผลไม่เป็นตัวเลขเวลา แต่กลับแสดงเป็นตัวอักษรปนตัวเลข เหตุนี้เกิดจาก สัญญาณรบกวนจากบัส I<sup>2</sup>C ของตัว DS1307

แนวทางแก้ไขคือ ใส่ตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้วขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ครอบระหว่างไฟเลี้ยงของDS1307 กับกราวด์ของ DS1307 เพื่อลดสัญญาณรบกวนลง

### 5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่องให้อาหารสุนัขเม็ดแห้งนั้น ตัวเครื่องยังต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปัญหาย่างรวมไปถึงทำให้ใช้งานได้อย่างสะดวกมากกว่านี้ ซึ่งสิ่งที่จะต้องพัฒนามีดังต่อไปนี้

1. จากผลการทดสอบในการส่งจ่ายอาหารของเครื่องให้อาหารสุนัขเม็ดแห้ง เมื่อใช้อาหารที่มีเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่เท่ากัน และรูปร่างแตกต่างกันในการทดสอบนั้น เมื่อส่งจ่ายอาหารแล้ว อาหารเกิดการค้างไม่ยอมไหลออกมา สาเหตุนี้ถ้าพัฒนากลไกการจ่ายอาหารใหม่ โดยการเพิ่มแกนกววนอาหารเม็ดที่มีลักษณะเหมือนกับเกลียวสว่านในกล่องใส่อาหาร จะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้

2. เครื่องให้อาหารสุนัขที่ได้สร้างขึ้นนี้ ยังมีจุดบอดในเรื่องปริมาณอาหารในกล่องใส่อาหาร เมื่ออาหารในกล่องใส่อาหารหมด เมื่อถึงเวลาที่ต้องจ่ายอาหารออกมา เครื่องก็ยังจ่ายอาหารอยู่ ฉะนั้นถ้าทำการเพิ่มเซนเซอร์วัดน้ำหนักอีกตัวในกล่องใส่อาหารหนึ่งตัว จะทำให้เครื่องให้อาหารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ประจัน พลังสันติกุล . (2551) . PIC C Programming กับ CCS C คอมไพเลอร์ All About CCS C. กรุงเทพฯ: บริษัท แอปซอพท์เทค จำกัด.
- [2] ประจัน พลังสันติกุล . (2537) . เรียนรู้การเขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุม PIC MCU PIC Works Examples and C Source Code . กรุงเทพฯ: บริษัท แอปซอพท์เทค จำกัด.
- [3] สุเมธ มามาตย์ . (2555) . Embedded Microcontroller . ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร .
- [4] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง . (2543). เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์และการใช้งาน .กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- [5] Mulukutla S. Sarma , Mukesh K. Pathak . (2010) . Electric Machines(2<sup>nd</sup> ed) . Singapore : Cengage Learning .
- [6] Donald A. Neamen .(2010). Microelectronics circuit analysis and design (4<sup>th</sup> ed). New York : McGraw -Hill .
- [7] Albert Malvino , David J. Bates . (2007) . Electronic Principles (7<sup>th</sup> ed) . New York : McGraw -Hill .



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้งานในโครงการ



# PIC18FXX2

## 28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

### High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
  - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
  - DC - 40 MHz osc./clock input
  - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

### Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
  - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz  
10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
  - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
  - I<sup>2</sup>C™ Master and Slave mode

### Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
  - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

### Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
  - Fast sampling rate
  - Conversion available during SLEEP
  - Linearity  $\leq 1$  LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
  - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
  - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
  - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

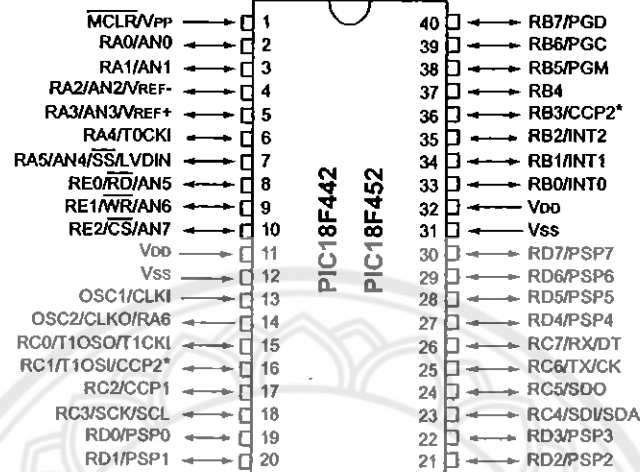
### CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
  - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 25  $\mu$ A typical @ 3V, 32 kHz
  - < 0.2  $\mu$ A typical standby current

# PIC18FXX2

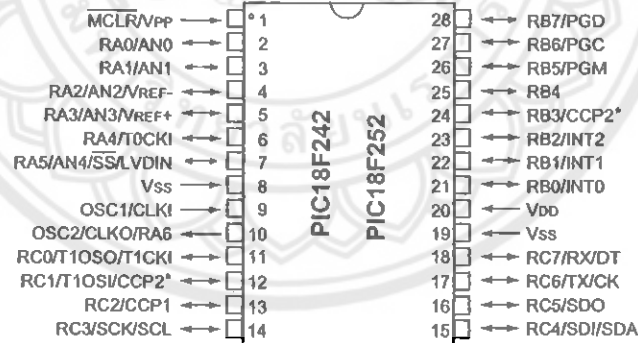
## Pin Diagrams (Cont.'d)

### DIP



Note: Pin compatible with 40-pin PIC16C7X devices.

### DIP, SOIC



\* RB3 is the alternate pin for the CCP2 pin multiplexing.

# PIC18FXX2

## 2.0 OSCILLATOR CONFIGURATIONS

### 2.1 Oscillator Types

The PIC18FXX2 can be operated in eight different Oscillator modes. The user can program three configuration bits (FOSC2, FOSC1, and FOSC0) to select one of these eight modes:

1. LP Low Power Crystal
2. XT Crystal/Resonator
3. HS High Speed Crystal/Resonator
4. HS + PLL High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
5. RC External Resistor/Capacitor
6. RCIO External Resistor/Capacitor with I/O pin enabled
7. EC External Clock
8. ECIO External Clock with I/O pin enabled

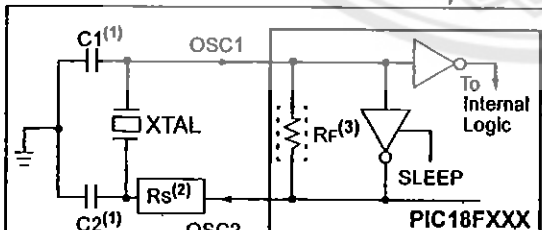
### 2.2 Crystal Oscillator/Ceramic Resonators

In XT, LP, HS or HS+PLL Oscillator modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1 and OSC2 pins to establish oscillation. Figure 2-1 shows the pin connections.

The PIC18FXX2 oscillator design requires the use of a parallel cut crystal.

**Note:** Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturers specifications.

**FIGURE 2-1: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (HS, XT OR LP CONFIGURATION)**



- Note 1:** See Table 2-1 and Table 2-2 for recommended values of C1 and C2.
- Note 2:** A series resistor (Rs) may be required for AT strip cut crystals.
- Note 3:** Rf varies with the Oscillator mode chosen.

**TABLE 2-1: CAPACITOR SELECTION FOR CERAMIC RESONATORS**

Ranges Tested:			
Mode	Freq	C1	C2
XT	455 kHz	68 - 100 pF	68 - 100 pF
	2.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
	4.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
HS	8.0 MHz	10 - 68 pF	10 - 68 pF
	16.0 MHz	10 - 22 pF	10 - 22 pF

**These values are for design guidance only. See notes following this table.**

Resonators Used:		
455 kHz	Panasonic EFO-A455K04B	± 0.3%
2.0 MHz	Murata Erie CSA2.00MG	± 0.5%
4.0 MHz	Murata Erie CSA4.00MG	± 0.5%
8.0 MHz	Murata Erie CSA8.00MT	± 0.5%
16.0 MHz	Murata Erie CSA16.00MX	± 0.5%

All resonators used did not have built-in capacitors.

- Note 1:** Higher capacitance increases the stability of the oscillator, but also increases the start-up time.
- Note 2:** When operating below 3V V<sub>DD</sub>, or when using certain ceramic resonators, at any voltage, it may be necessary to use high-gain HS mode, try a lower frequency resonator, or switch to a crystal oscillator.
- Note 3:** Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components, or verify oscillator performance.

# PIC18FXX2

**TABLE 2-2: CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR**

Ranges Tested:			
Mode	Freq	C1	C2
LP	32.0 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	22-68 pF	22-68 pF
	1.0 MHz	15 pF	15 pF
	4.0 MHz	15 pF	15 pF
HS	4.0 MHz	15 pF	15 pF
	8.0 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20.0 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	25.0 MHz	15-33 pF	15-33 pF

These values are for design guidance only. See notes following this table.

Crystals Used		
32.0 kHz	Epson C-001R32.768K-A	± 20 PPM
200 kHz	STD XTL 200.000KHz	± 20 PPM
1.0 MHz	ECS ECS-10-13-1	± 50 PPM
4.0 MHz	ECS ECS-40-20-1	± 50 PPM
8.0 MHz	Epson CA-301 8.000M-C	± 30 PPM
20.0 MHz	Epson CA-301 20.000M-C	± 30 PPM

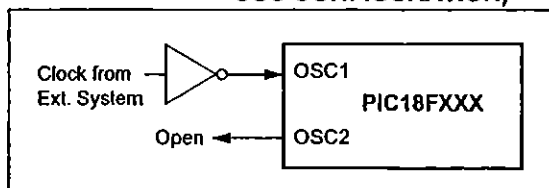
**Note 1:** Higher capacitance increases the stability of the oscillator, but also increases the start-up time.

**2:** Rs may be required in HS mode, as well as XT mode, to avoid overdriving crystals with low drive level specification.

**3:** Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components, or verify oscillator performance.

An external clock source may also be connected to the OSC1 pin in the HS, XT and LP modes, as shown in Figure 2-2.

**FIGURE 2-2: EXTERNAL CLOCK INPUT OPERATION (HS, XT OR LP OSC CONFIGURATION)**



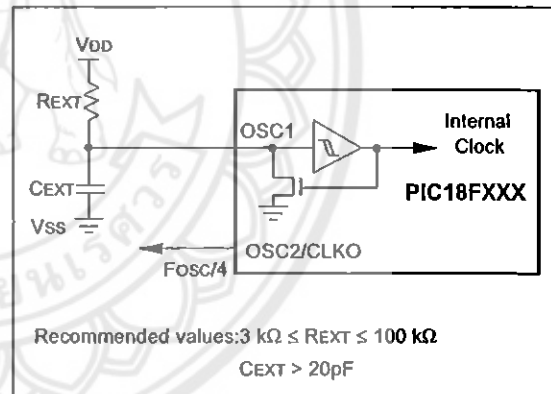
## 2.3 RC Oscillator

For timing-insensitive applications, the "RC" and "RCIO" device options offer additional cost savings. The RC oscillator frequency is a function of the supply voltage, the resistor (REXT) and capacitor (CEXT) values and the operating temperature. In addition to this, the oscillator frequency will vary from unit to unit due to normal process parameter variation. Furthermore, the difference in lead frame capacitance between package types will also affect the oscillation frequency, especially for low CEXT values. The user also needs to take into account variation due to tolerance of external R and C components used. Figure 2-3 shows how the R/C combination is connected.

In the RC Oscillator mode, the oscillator frequency divided by 4 is available on the OSC2 pin. This signal may be used for test purposes or to synchronize other logic.

**Note:** If the oscillator frequency divided by 4 signal is not required in the application, it is recommended to use RCIO mode to save current.

**FIGURE 2-3: RC OSCILLATOR MODE**



The RCIO Oscillator mode functions like the RC mode, except that the OSC2 pin becomes an additional general purpose I/O pin. The I/O pin becomes bit 6 of PORTA (RA6).

## Weight Sensor (Load Cell)0-500g

Applicable to electronic scale, price computing scale, electronic platform scale, digital scale; parcel post scale, electronic balance and all varieties of commercial scales by single load cell.

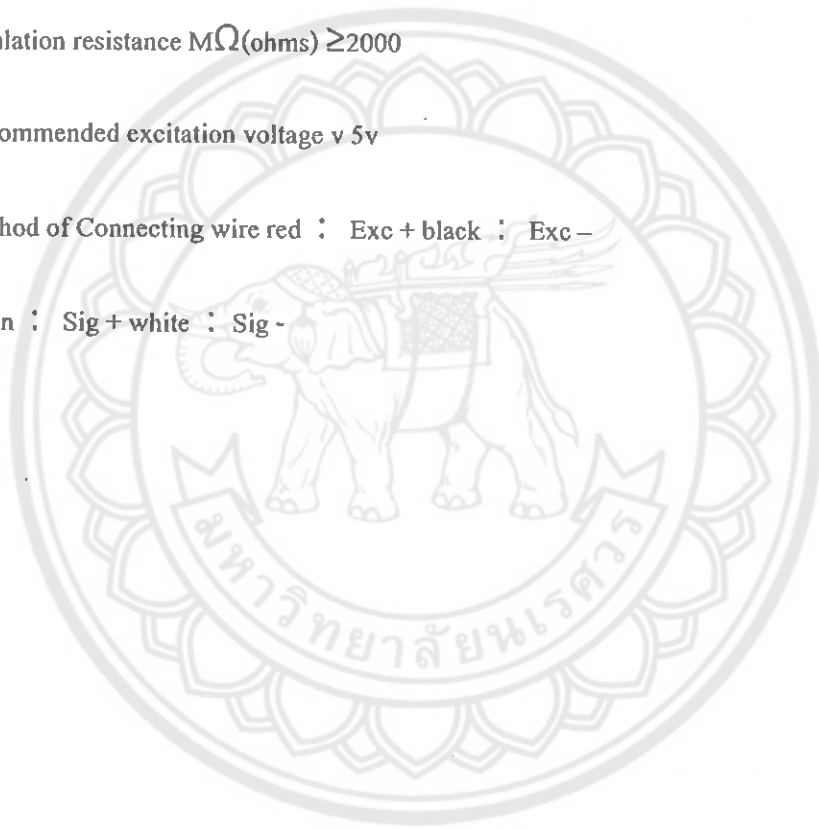
Model: SEN128A3B



### Specification

- capacity g 500g
- Output sensitivity mv/v  $0.5 \pm 0.1$
- Nonlinearty %F.S 0.05
- Hysteresis %F.S 0.05
- Repeatability %F.S 0.05
- Creep(30min) %F.S 0.05

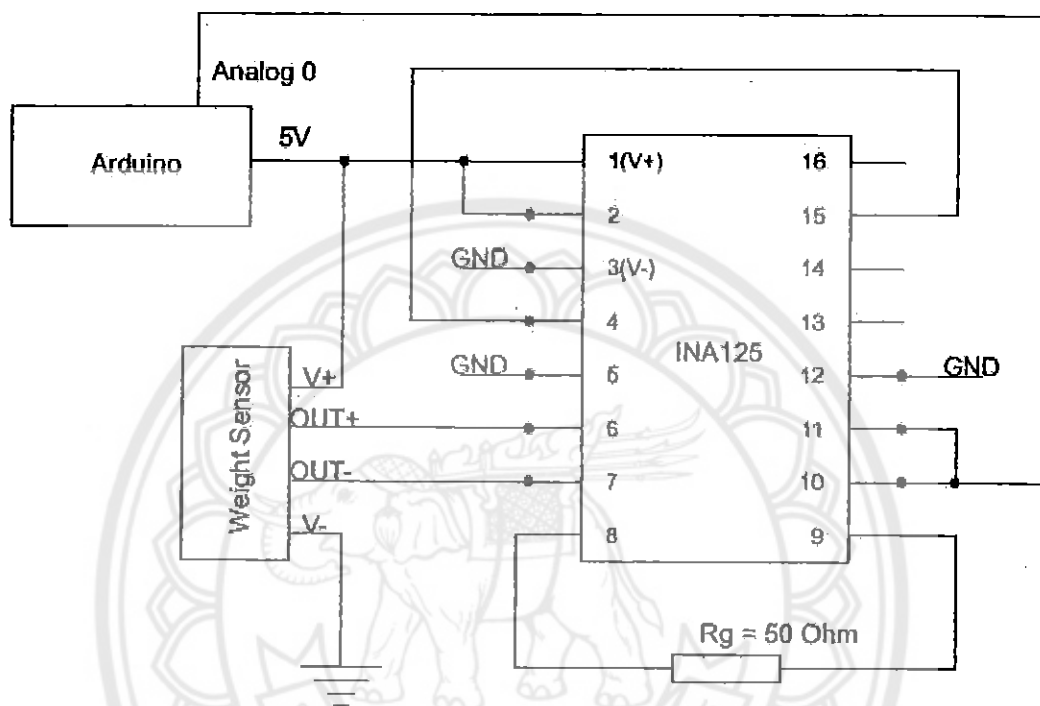
- Temperature effect on sensitivity %F.S./10°C 0.05
- Temperature effect on zero %F.S./10°C 0.05
- Zero Balance %F.S ±0.5
- Input resistance  $\Omega$ (ohms) 1120±10
- Output resistance  $\Omega$ (ohms) 1000±10
- Insulation resistance M $\Omega$ (ohms) ≥2000
- Recommended excitation voltage v 5v
- Method of Connecting wire red : Exc + black : Exc -
- green : Sig + white : Sig -



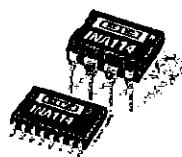


## Usage

## Hardware install



**Note:** Weight sensor output 0V when the load less than 150g,so we can not directly measure the load .My method is using a 200g local avoid measure blind spot.Read the analog data of 200g weight as no-load(0g),read the analog data of 700g weight as full load(500g).



# INA114

## Precision INSTRUMENTATION AMPLIFIER

### FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50 $\mu$ V max
- LOW DRIFT: 0.25 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 2nA max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: 115dB min
- INPUT OVER-VOLTAGE PROTECTION:  $\pm$ 40V
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm$ 2.25 to  $\pm$ 18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 3mA max
- 8-PIN PLASTIC AND SOL-16

### APPLICATIONS

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

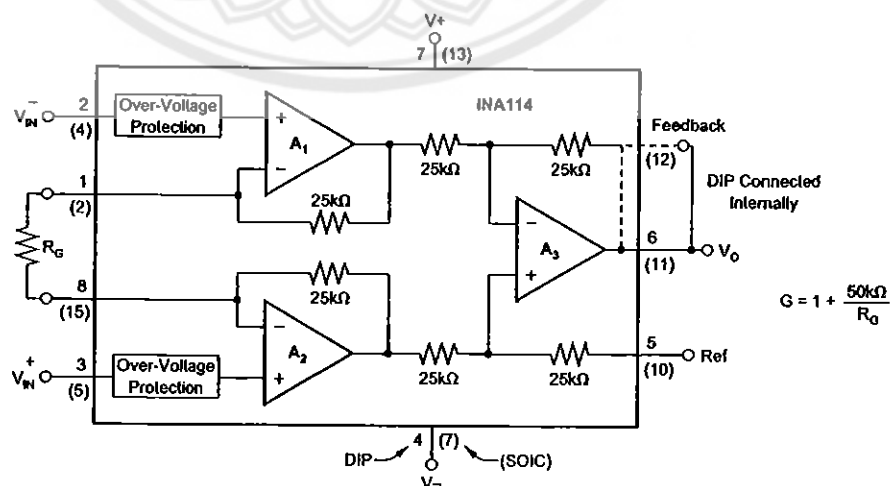
### DESCRIPTION

The INA114 is a low cost, 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.

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

The INA114 is laser trimmed for very low offset voltage (50 $\mu$ V), drift (0.25 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C) and high common-mode rejection (115dB at  $G = 1000$ ). It operates with power supplies as low as  $\pm$ 2.25V, allowing use in battery operated and single 5V supply systems. Quiescent current is 3mA maximum.

The INA114 is available in 8-pin plastic and SOL-16 surface-mount packages. Both are specified for the  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ 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 • Tlx: 810-952-1111  
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

# SPECIFICATIONS

## ELECTRICAL

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

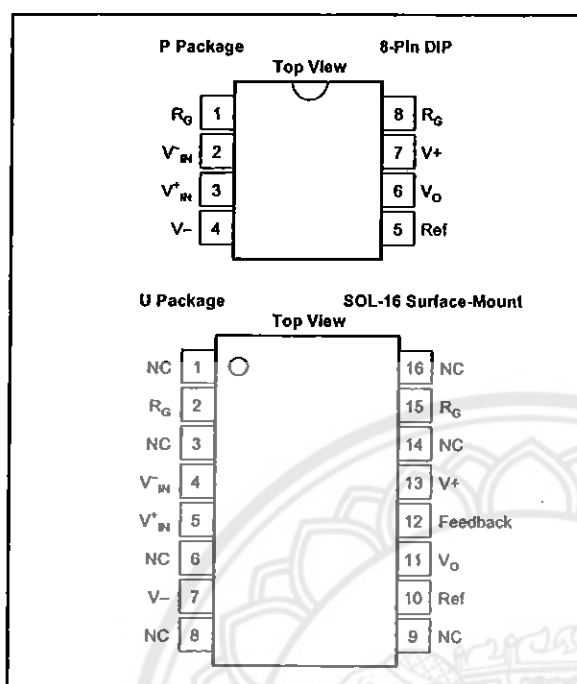
PARAMETER	CONDITIONS	INA114BP, BU			INA114AP, AU			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
INPUT Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability Impedance, Differential Common-Mode Input Common-Mode Range Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ $V_S = \pm 2.25\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$		$\pm 10 + 20/G$ $\pm 0.1 + 0.5/G$ $0.5 + 2/G$ $\pm 0.2 + 0.5/G$ $10^{10} \parallel 6$ $10^{10} \parallel 6$	$\pm 50 + 100/G$ $\pm 0.25 + 5/G$ $3 + 10/G$		$\pm 25 + 30/G$ $\pm 0.25 + 5/G$ * * * *	$\pm 125 + 500/G$ $\pm 1 + 10/G$ * * * *	$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ $\mu\text{V/V}$ $\mu\text{V/mo}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\text{V}$ $\text{V}$	
		$V_{CM} = \pm 10\text{V}$ , $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$	$\pm 11$	$\pm 13.5$	$\pm 40$	*	*	*	
		$G = 1$	80	96		75	90		dB
		$G = 10$	96	115		90	106		dB
	$G = 100$	110	120		106	110		dB	
	$G = 1000$	115	120		106	110		dB	
BIAS CURRENT vs Temperature			$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		*	$\pm 5$	nA pA/°C	
OFFSET CURRENT vs Temperature			$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		*	$\pm 5$	nA pA/°C	
NOISE VOLTAGE, RTI $f = 10\text{Hz}$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_b = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$ Noise Current $f = 10\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_b = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$	$G = 1000$ , $R_S = 0\Omega$		15 11 11 0.4			*	*	nV/√Hz nV/√Hz nV/√Hz μVp-p	
				0.4 0.2 18			*	*	pA/√Hz pA/√Hz pAp-p
								*	
								*	
GAIN Gain Equation Range of Gain Gain Error  Gain vs Temperature 50kΩ Resistance <sup>(1)</sup> Nonlinearity	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$ $G = 1$  $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$	1	$1 + (50\text{k}\Omega/R_G)$	10000	*	*	*	V/V V/V % % % % ppm/°C ppm/°C % of FSR % of FSR % of FSR	
			$\pm 0.01$ $\pm 0.02$ $\pm 0.05$ $\pm 0.5$	$\pm 0.05$ $\pm 0.4$ $\pm 0.5$ $\pm 1$			*	*	
			$\pm 2$ $\pm 25$ $\pm 0.0001$ $\pm 0.0005$ $\pm 0.0005$ $\pm 0.0005$	$\pm 10$ $\pm 100$ $\pm 0.001$ $\pm 0.002$ $\pm 0.002$ $\pm 0.002$			*	*	
			$\pm 0.002$	$\pm 0.01$			*	*	
OUTPUT Voltage  Load Capacitance Stability Short Circuit Current	$I_O = 5\text{mA}$ , $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ $V_S = \pm 11.4\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ $V_S = \pm 2.25\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$	$\pm 13.5$ $\pm 10$ $\pm 1$	$\pm 13.7$ $\pm 10.5$ $\pm 1.5$ 1000 $+20/-15$			*	*	V V V pF mA	
						*	*	*	
						*	*	*	
FREQUENCY RESPONSE Bandwidth, -3dB  Slew Rate Settling Time, 0.01%  Overload Recovery	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$ $V_O = \pm 10\text{V}$ , $G = 10$ $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$ 50% Overdrive		1 100 10 1 0.3 0.6 18 20 120 1100 20			*	*	MHz kHz kHz kHz V/μs μs μs μs μs μs	
						*	*	*	
						*	*	*	
POWER SUPPLY Voltage Range Current	$V_{IN} = 0\text{V}$	$\pm 2.25$	$\pm 15$ $\pm 2.2$	$\pm 18$ $\pm 3$	*	*	*	V mA	
					*	*	*		
TEMPERATURE RANGE Specification Operating $\theta_{JA}$		-40 -40	80	125	*	*	*	°C °C °C/W	
			80		*	*	*		

\* Specification same as INA114BP/BU.

NOTE: (1) Temperature coefficient of the "50kΩ" term in the gain equation.

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.

## PIN CONFIGURATIONS

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply Voltage .....	±18V
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

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.


**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.

## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>	TEMPERATURE RANGE
INA114AP	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C
INA114BP	8-Pin Plastic DIP	006	-40°C to +85°C
INA114AU	SOL-16 Surface-Mount	211	-40°C to +85°C
INA114BU	SOL-16 Surface-Mount	211	-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.

## APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA114. 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 5Ω 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 INA114 is set by connecting a single external resistor, R<sub>G</sub>:

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

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. These are on-chip metal film resistors which are laser trimmed to accurate absolute val-

ues. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA114.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R<sub>G</sub>, also affects gain. R<sub>G</sub>'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.

### NOISE PERFORMANCE

The INA114 provides very low noise in most applications. For differential source impedances less than 1kΩ, the INA103 may provide lower noise. For source impedances greater than 50kΩ, the INA111 FET-input instrumentation amplifier may provide lower noise.

Low frequency noise of the INA114 is approximately 0.4μVp-p measured from 0.1 to 10Hz. This is approximately one-tenth the noise of "low noise" chopper-stabilized amplifiers.

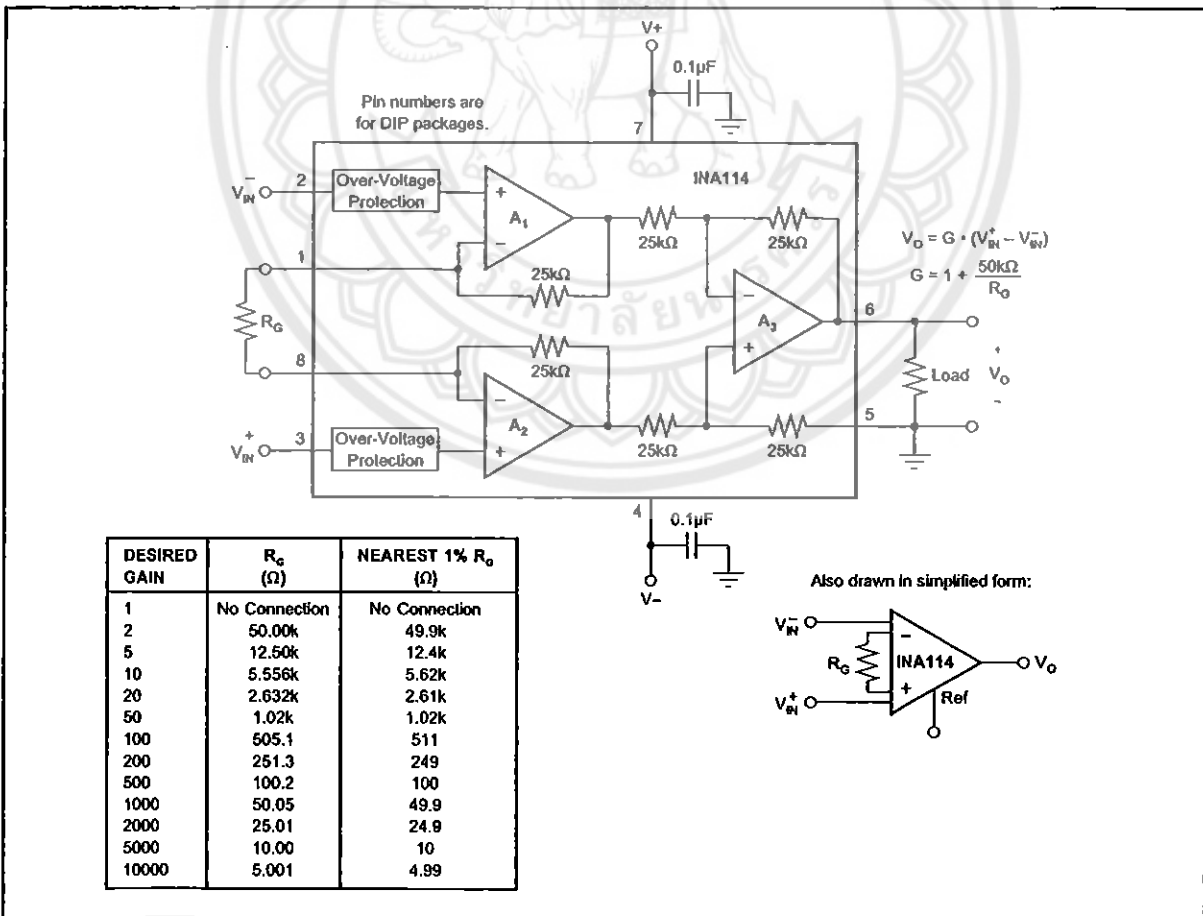


FIGURE 1. Basic Connections.



**Vishay Dale Electronics, Inc.  
Information Display Products  
LCD Product Data Sheet**

**SPECIFICATION**

**Module #:** LCD-020N004B-TMI-ET

**Vishay Global p/n:** L020N004BTMIET0000

<b>APPROVED BY:</b> ( FOR CUSTOMER USE ONLY )	<b>PCB VERSION:</b>	<b>DATA:</b>
--	---------------------	--------------

SALES BY	APPROVED BY	CHECKED BY	PREPARED BY

VERSION	DATE	REVISED PAGE NO.	SUMMARY
B	2008.11.06	22	Modify backlight information.

MODLE NO :

**RECORDS OF REVISION**

DOC. FIRST ISSUE

VERSION	DATE	REVISED PAGE NO.	SUMMARY
0	2007/9/22		First issue
A	2008/6/16	22	Modify backlight information.
B	2008.11.06	22	Modify backlight information.

# **Contents**

1. Module Classification Information
2. Precautions in use of LCD Modules
3. General Specification
4. Absolute Maximum Ratings
5. Electrical Characteristics
6. Optical Characteristics
7. Interface Pin Function
8. Contour Drawing & Block Diagram
9. Function Description
10. Character Generator ROM Pattern
11. Instruction Table
12. Timing Characteristics
13. Initializing of LCM
14. Quality Assurance
15. Reliability
16. Backlight Information
17. Inspection specification
18. Material List of Components for RoHS



# 1.Module Classification Information

**LCD -020 N 004 B -T M I -ET**

①                      ②                      ③                      ④                      ⑤                      ⑥                      ⑦                      ⑧                      ⑨

1. Brand: Vishay Intertechnology, Inc.
2. Horizontal Format: 20 characters
3. Display Type : N→Character Type (RoHS), H→Graphic Type (RoHS)
4. Vertical Format: 4 lines
5. Model serials no.: B
6. Backlight Type :
 

N→Without backlight	A→LED, Amber
B→EL, Blue green	R→LED, Red
D→EL, Green	O→LED, Orange
W→EL, White	G→LED, Green
F→CCFL, White	T→LED, White
Y→LED, Yellow Green	
7. LCD Mode :
 

B→TN Positive, Gray	T→FSTN Negative
N→TN Negative,	
G→STN Positive, Gray	
Y→STN Positive, Yellow Green	
M→STN Negative, Blue	
F→FSTN Positive	
8. LCD Polarizer Type/ Temperature range/ View direction
 

A→Reflective, N.T, 6:00	H→Transflective, W.T,6:00
D→Reflective, N.T, 12:00	K→Transflective, W.T,12:00
G→Reflective, W. T, 6:00	C→Transmissive, N.T,6:00
J→Reflective, W. T, 12:00	F→Transmissive, N.T,12:00
B→Transflective, N.T,6:00	I→Transmissive, W. T, 6:00
E→Transflective, N.T.12:00	L→Transmissive, W.T,12:00
9. Special Code ET : English and European standard font  
Fits in with the ROHS Directions and regulations

## **2. Precautions in use of LCD Modules**

- (1) Avoid applying excessive shocks to the module or making any alterations or modifications to it.
- (2) Don't make extra holes on the printed circuit board, modify its shape or change the components of LCD module.
- (3) Don't disassemble the LCM.
- (4) Don't operate it above the absolute maximum rating.
- (5) Don't drop, bend or twist LCM.
- (6) Soldering: only to the I/O terminals.
- (7) Storage: please storage in anti-static electricity container and clean environment.
- (8) Supplier has the right to change the passive components
- (9) Supplier has the right to change the PCB Rev.

## **3. General Specification**

Item	Dimension	Unit
Number of Characters	20 characters x 4Lines	—
Module dimension	98.0 x 60.0 x 13.6(MAX)	mm
View area	77.0 x 25.2	mm
Active area	70.4 x 20.8	mm
Dot size	0.55 x 0.55	mm
Dot pitch	0.60 x 0.60	mm
Character size	2.95 x 4.75	mm
Character pitch	3.55 x 5.35	mm
LCD type	STN Negative, Blue Transmissive,, (In LCD production, It will occur slightly color difference. We can only guarantee the same color in the same batch.)	
Duty	1/16	
View direction	6 o'clock	
Backlight Type	LED White	

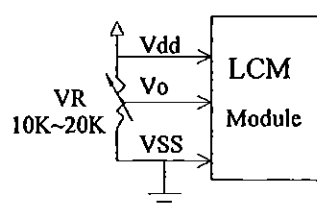
## 4. Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Temperature	$T_{OP}$	-20	—	+70	°C
Storage Temperature	$T_{ST}$	-30	—	+80	°C
Input Voltage	$V_I$	$V_{SS}$	—	$V_{DD}$	V
Supply Voltage For Logic	$V_{DD}-V_{SS}$	-0.3	—	7	V
Supply Voltage For LCD	$V_{DD}-V_0$	-0.3	—	5.5	V

## 5. Electrical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage For Logic	$V_{DD}-V_{SS}$	—	4.5	5.0	5.5	V
Supply Voltage For LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a=-20^{\circ}\text{C}$	—	—	5.7	V
*Note		$T_a=25^{\circ}\text{C}$	—	4.5	—	V
		$T_a=70^{\circ}\text{C}$	3.5	—	—	V
Input High Volt.	$V_{IH}$	—	$0.7 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V
Input Low Volt.	$V_{IL}$	—	$V_{SS}$	—	0.6	V
Output High Volt.	$V_{OH}$	—	3.9	—	—	V
Output Low Volt.	$V_{OL}$	—	—	—	0.4	V
Supply Current	$I_{DD}$	$V_{DD}=5V$	1.2	1.6	2.0	mA

\* Note: Please design the VOP adjustment circuit on customer's main board

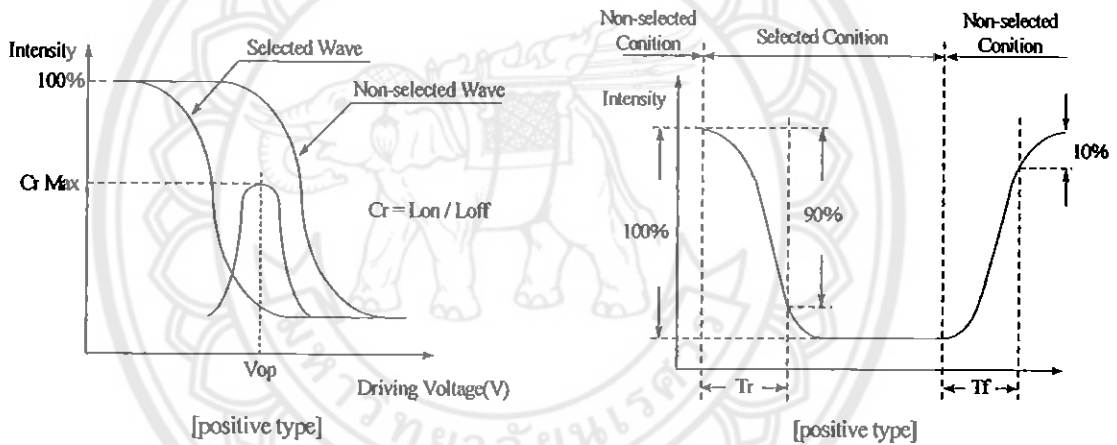


# 6. Optical Characteristics

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
View Angle	(V) $\theta$	$CR \geq 2$	20	—	40	deg
	(H) $\varphi$	$CR \geq 2$	-30	—	30	deg
Contrast Ratio	CR	—	—	3	—	—
Response Time	T rise	—	—	100	150	ms
	T fall	—	—	100	150	ms

### Definition of Operation Voltage (Vop)

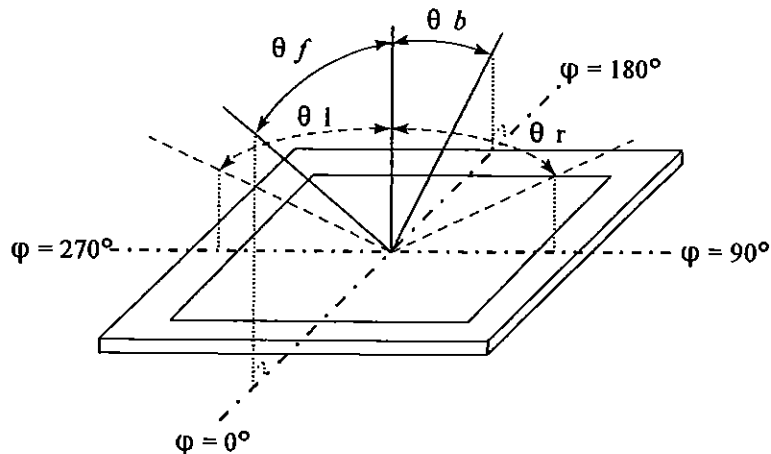
### Definition of Response Time (Tr, Tf)



### Conditions :

Operating Voltage :  $V_{op}$       Viewing Angle( $\theta, \varphi$ ) :  $0^\circ, 0^\circ$   
 Frame Frequency : 64 HZ      Driving Waveform : 1/N duty, 1/a bias

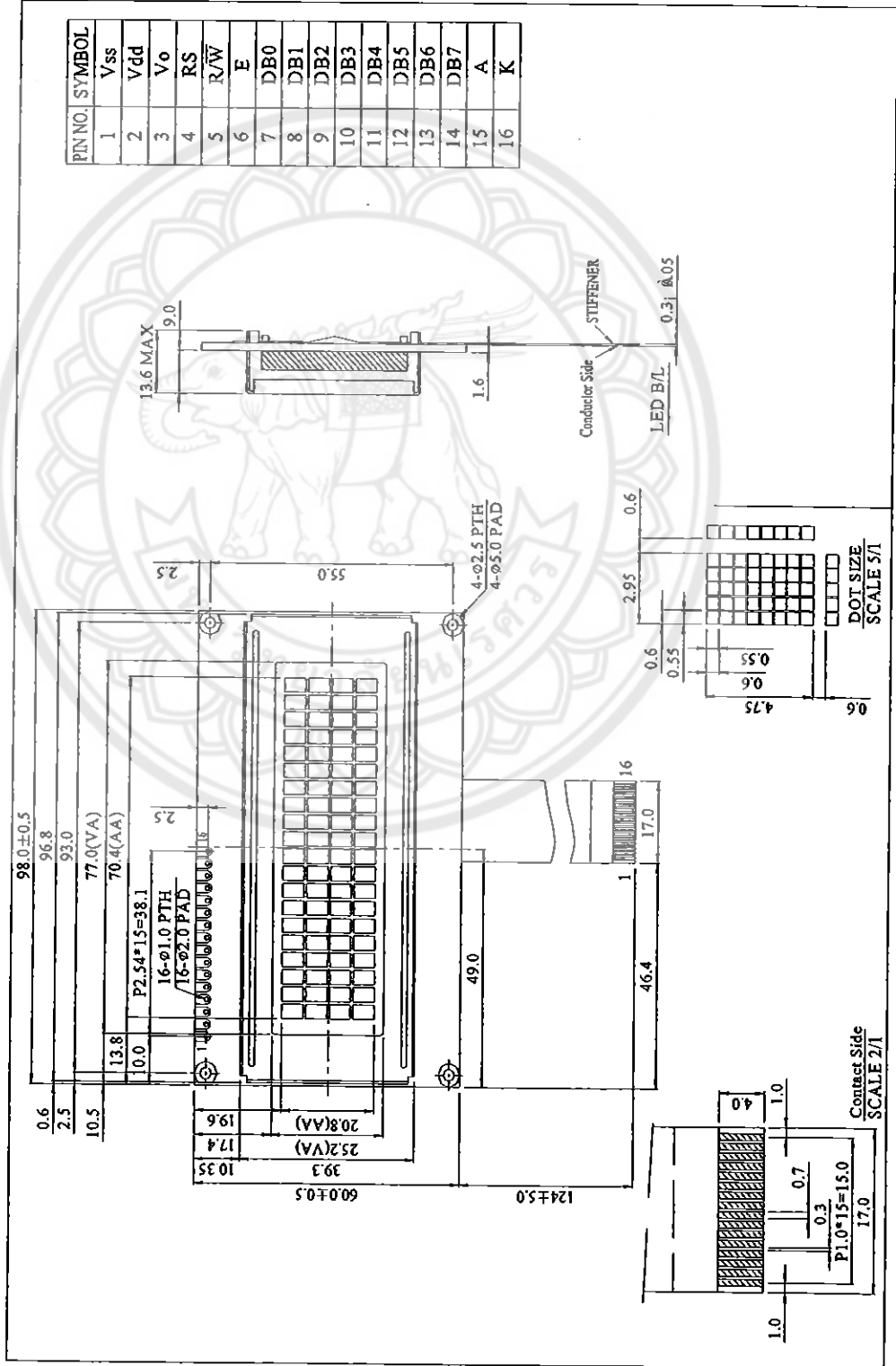
### Definition of viewing angle( $CR \geq 2$ )

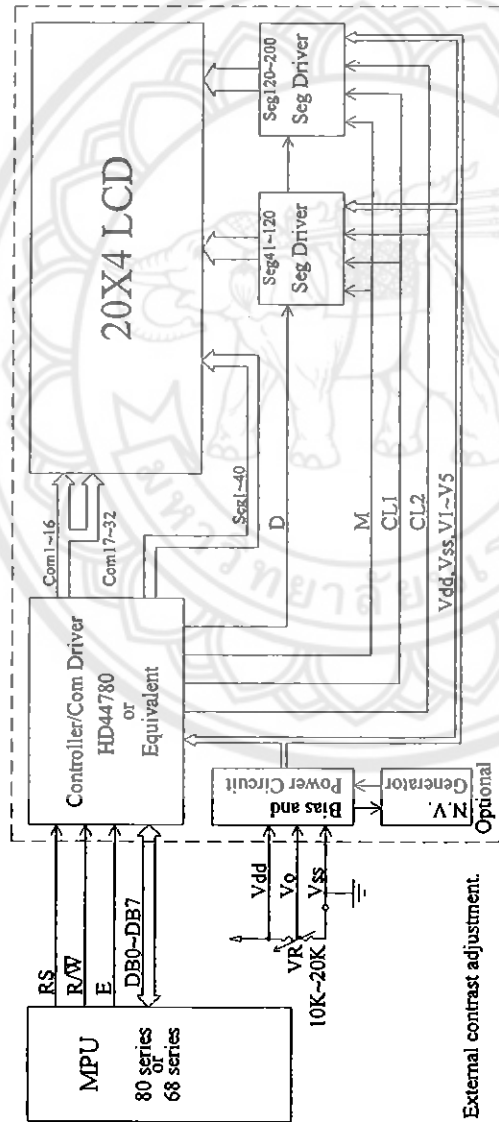


## 7.Interface Pin Function

Pin No.	Symbol	Level	Description
1	V <sub>SS</sub>	0V	GND
2	V <sub>DD</sub>	5.0V	Supply Voltage for logic
3	VO	(Variable)	Contrast Adjustment
4	RS	H/L	Register select signal
5	R/W	H/L	H: Read(MPU→Module) L: Write(MPU→Module)
6	E	H,H→L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bus line
8	DB1	H/L	Data bus line
9	DB2	H/L	Data bus line
10	DB3	H/L	Data bus line
11	DB4	H/L	Data bus line
12	DB5	H/L	Data bus line
13	DB6	H/L	Data bus line
14	DB7	H/L	Data bus line
15	A	—	LED+
16	K	—	LED-

# 8. Contour Drawing & Block Diagram





External contrast adjustment.

Character located	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
DDRAM address	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
DDRAM address	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

## 9. Function Description

The LCD display Module is built in a LSI controller, the controller has two 8-bit registers, an instruction register (IR) and a data register (DR).

The IR stores instruction codes, such as display clear and cursor shift, and address information for display data RAM (DDRAM) and character generator (CGRAM). The IR can only be written from the MPU. The DR temporarily stores data to be written or read from DDRAM or CGRAM. When address information is written into the IR, then data is stored into the DR from DDRAM or CGRAM. By the register selector (RS) signal, these two registers can be selected.

RS	R/W	Operation
0	0	IR write as an internal operation (display clear, etc.)
0	1	Read busy flag (DB7) and address counter (DB0 to DB7)
1	0	Write data to DDRAM or CGRAM (DR to DDRAM or CGRAM)
1	1	Read data from DDRAM or CGRAM (DDRAM or CGRAM to DR)

### Busy Flag (BF)

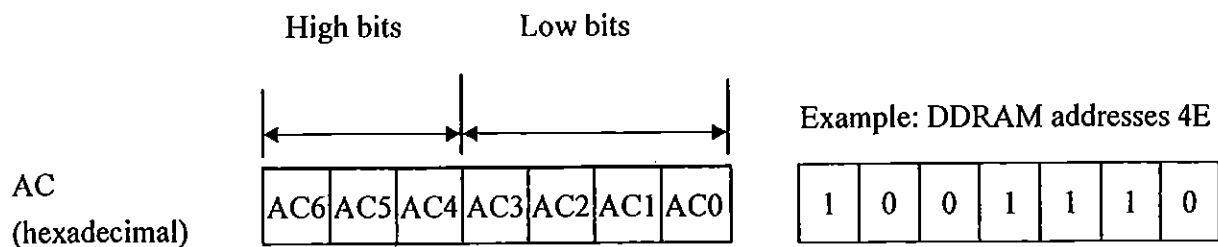
When the busy flag is 1, the controller LSI is in the internal operation mode, and the next instruction will not be accepted. When RS=0 and R/W=1, the busy flag is output to DB7. The next instruction must be written after ensuring that the busy flag is 0.

### Address Counter (AC)

The address counter (AC) assigns addresses to both DDRAM and CGRAM

### Display Data RAM (DDRAM)

This DDRAM is used to store the display data represented in 8-bit character codes. Its extended capacity is 80x8 bits or 80 characters. Below figure is the relationships between DDRAM addresses and positions on the liquid crystal display.





## Display position DDRAM address

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

4-Line by 20-Character Display

**Character Generator ROM (CGROM)**

The CGROM generate 5x8 dot or 5x10 dot character patterns from 8-bit character codes. See Table 2.

**Character Generator RAM (CGRAM)**

In CGRAM, the user can rewrite character by program. For 5x8 dots, eight character patterns can be written, and for 5x10 dots, four character patterns can be written.

Write into DDRAM the character code at the addresses shown as the left column of table 1. To show the character patterns stored in CGRAM.

Relationship between CGRAM Addresses, Character Codes (DDRAM) and Character patterns

Table 1.

For 5 \* 8 dot character patterns

Character Codes (DDRAM data)		CGRAM Address		Character Patterns (CGRAM data)		
7 6 5 4 3 2 1 0		5 4 3 2 1 0		7 6 5 4 3 2 1 0		
High	Low	High	Low	High	Low	
0 0 0 0 * 0 0 0		0 0 0	0 0 0	* * *	0	Character pattern(1)
			0 0 1	* * *	0 0 0	
			0 1 0	* * *	0 0 0	
			0 1 1	* * *	0	
			1 0 0	* * *	0 0 0	
			1 0 1	* * *	0 0 0	
			1 1 0	* * *	0 0 0	
			1 1 1	* * *	0 0 0 0 0	
0 0 0 0 * 0 0 1		0 0 1	0 0 0	* * *	0 0 0	Character pattern(2)
			0 1 0	* * *	0 0 0	
			0 1 1	* * *	0 0 0	
			1 0 0	* * *	0 0 0	
			1 0 1	* * *	0 0 0 0 0	
			1 1 0	* * *	0 0 0	
			1 1 1	* * *	0 0 0 0 0	
			0 0 0	* * *	0 0 0 0 0	
0 0 1	* * *	0 0 0	Cursor pattern			
0 0 0	* * *	0 0 0				
0 0 0 0 * 1 1 1		1 1 1	1 0 0			
			1 0 1			
			1 1 0			
			1 1 1	* * *		

For 5 \* 10 dot character patterns

Character Codes (DDRAM data)		CGRAM Address		Character Patterns (CGRAM data)		
7 6 5 4 3 2 1 0		5 4 3 2 1 0		7 6 5 4 3 2 1 0		
High	Low	High	Low	High	Low	
0 0 0 0 * 0 0 0		0 0	0 0 0 0	* * *	0 0 0 0 0	Character pattern
			0 0 0 1	* * *	0 0 0 0 0	
			0 0 1 0	* * *	0 0 0 0 0	
			0 0 1 1	* * *	0 0 0 0	
			0 1 0 0	* * *	0 0 0 0	
			0 1 0 1	* * *	0 0 0 0	
			0 1 1 0	* * *	0	
			0 1 1 1	* * *	0 0 0 0 0	
			1 0 0 0	* * *	0 0 0 0 0	
			1 0 0 1	* * *	0 0 0 0 0	
1 0 1 0	* * *	0 0 0 0 0				
			1 1 1 1	* * *	* * * * *	Cursor pattern

■ : " High "

# 10.CharacterGenerator ROM Pattern

Table.2

Upper 4 bit Lower 4 bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)															
LLLH	CG RAM (2)															
LLHL	CG RAM (3)															
LLHH	CG RAM (4)															
LHLL	CG RAM (5)															
LHLH	CG RAM (6)															
LHHL	CG RAM (7)															
LHHH	CG RAM (8)															
HLLL	CG RAM (1)															
HLLH	CG RAM (2)															
HLHL	CG RAM (3)															
HLHH	CG RAM (4)															
HHLL	CG RAM (5)															
HHLH	CG RAM (6)															
HHHL	CG RAM (7)															
HHHH	CG RAM (8)															

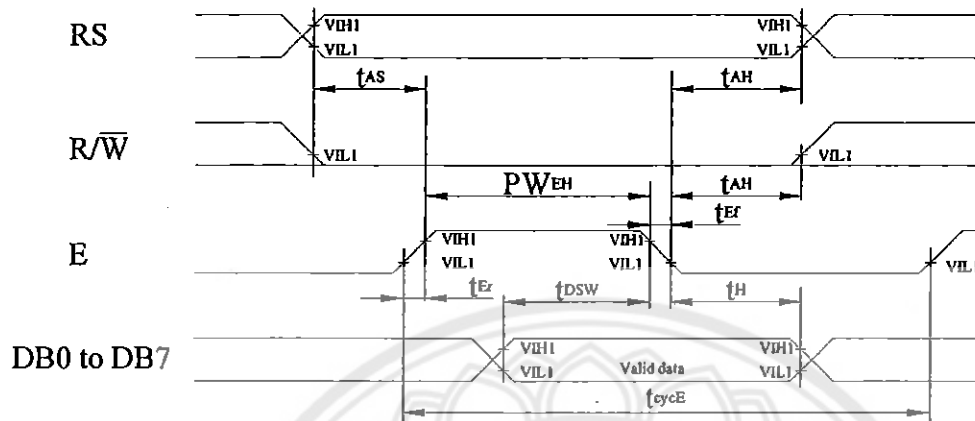
# 11. Instruction Table

Instruction	Instruction Code										Description	Execution time ( $f_{osc}=270\text{KHz}$ )
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "00H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	—	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction and enable the shift of entire display.	39 $\mu$ s
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and blinking of cursor (B) on/off control bit.	39 $\mu$ s
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	—	—	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction, without changing of DDRAM data.	39 $\mu$ s
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	—	—	Set interface data length (DL:8-bit/4-bit), numbers of display line (N:2-line/1-line)and, display font type (F:5x11 dots/5x8 dots)	39 $\mu$ s
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39 $\mu$ s
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39 $\mu$ s
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0 $\mu$ s
Write Data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 $\mu$ s
Read Data from RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 $\mu$ s

\* "—" : don't care

## 12. Timing Characteristics

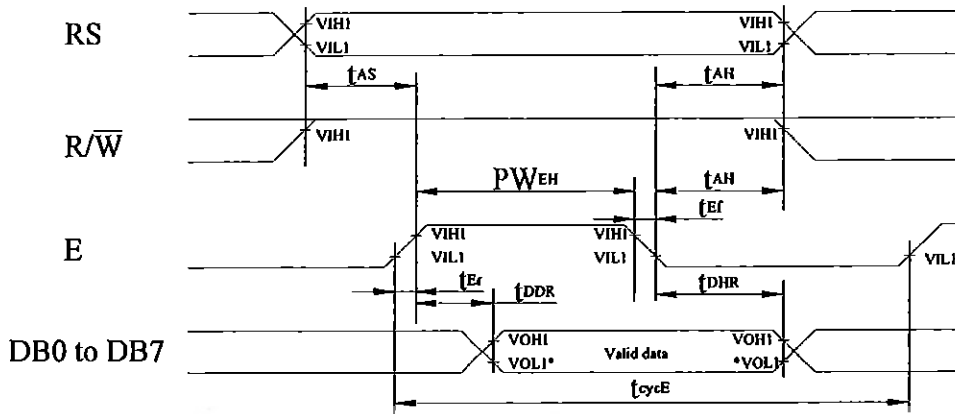
### 12.1 Write Operation



T<sub>a</sub>=25°C, VDD=5.0±0.5V

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Enable cycle time	t <sub>cycE</sub>	1200	—	—	ns
Enable pulse width (high level)	PW <sub>EH</sub>	140	—	—	ns
Enable rise/fall time	t <sub>Er</sub> , t <sub>Ef</sub>	—	—	25	ns
Address set-up time (RS, R/W to E)	t <sub>AS</sub>	0	—	—	ns
Address hold time	t <sub>AH</sub>	10	—	—	ns
Data set-up time	t <sub>DSW</sub>	40	—	—	ns
Data hold time	t <sub>H</sub>	10	—	—	ns

### 12.2 Read Operation

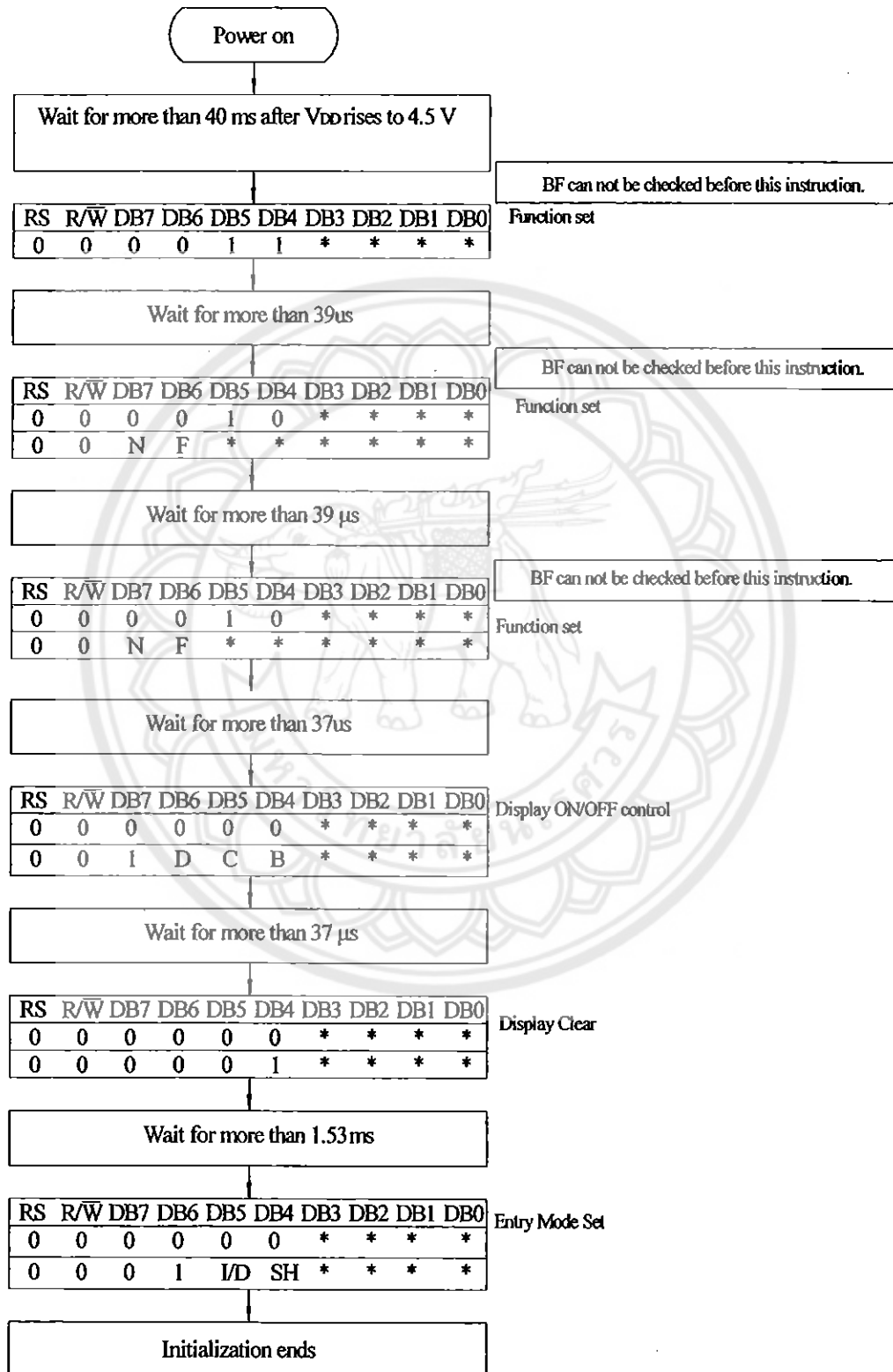


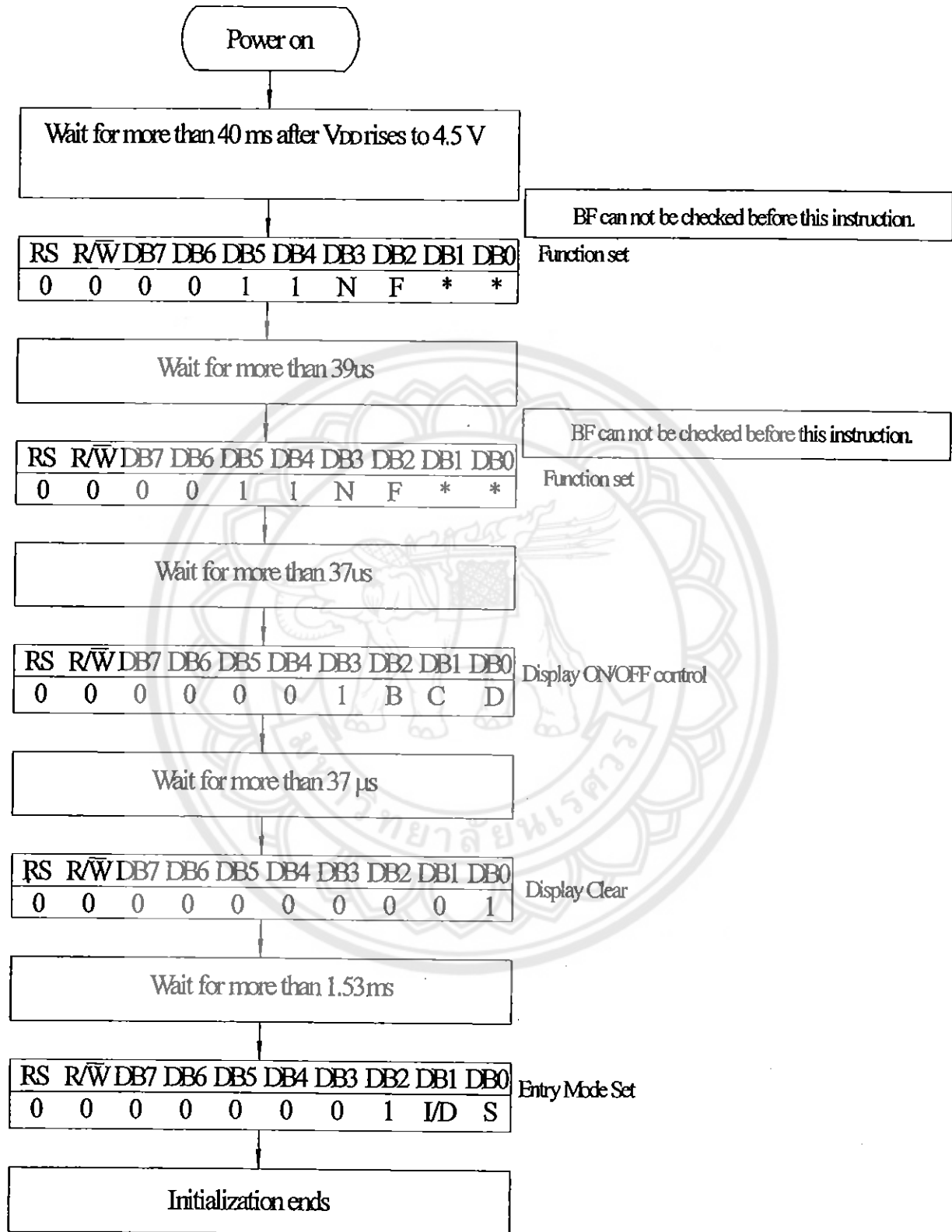
NOTE: \*VOL1 is assumed to be 0.8V at 2 MHz operation.

$T_a=25^{\circ}C, V_{DD}=5.0 \pm 0.5V$

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Enable cycle time	$t_{cyE}$	1200	—	—	ns
Enable pulse width (high level)	$PW_{EH}$	140	—	—	ns
Enable rise/fall time	$t_{Er}, t_{Df}$	—	—	25	ns
Address set-up time (RS, R/W to E)	$t_{AS}$	0	—	—	ns
Address hold time	$t_{AH}$	10	—	—	ns
Data delay time	$t_{DDR}$	—	—	100	ns
Data hold time	$t_{DHR}$	10	—	—	ns

# 13. Initializing of LCM





8-Bit Ineterface





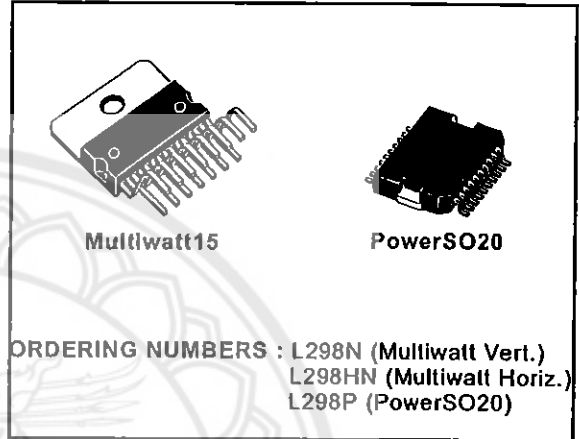
# L298

## 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)

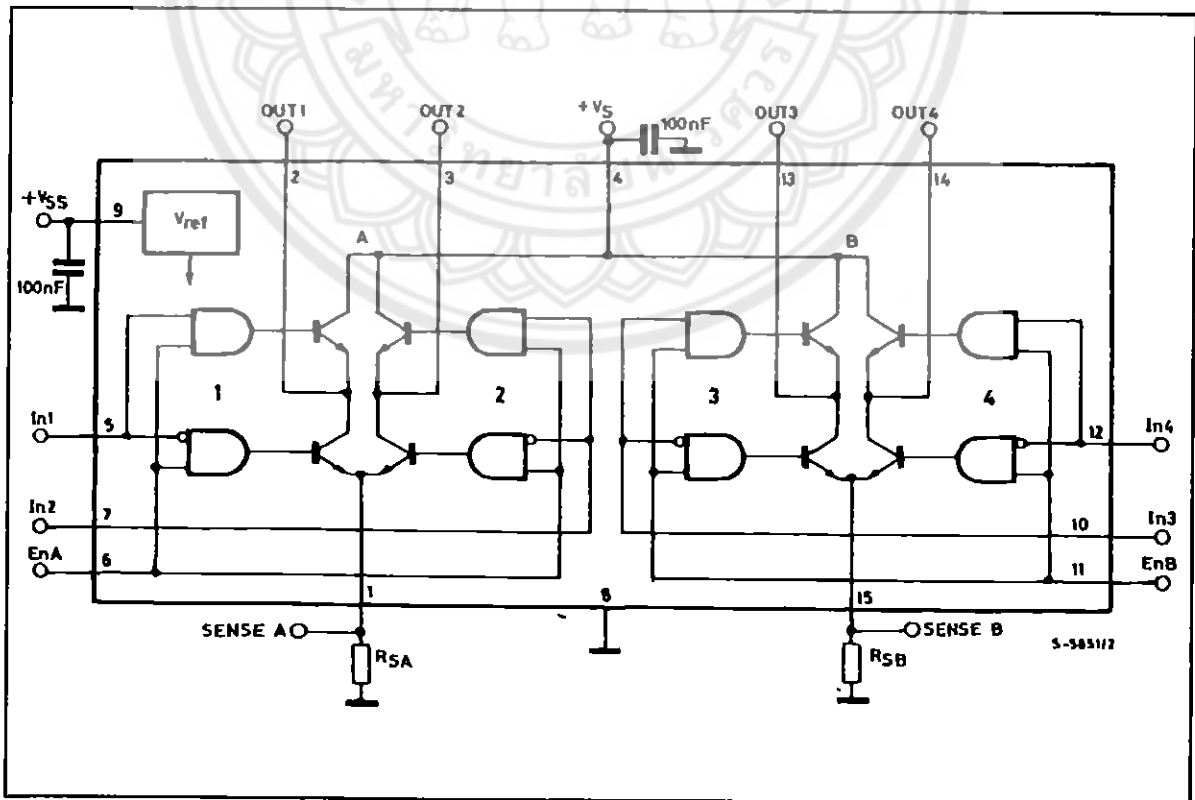
### DESCRIPTION

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

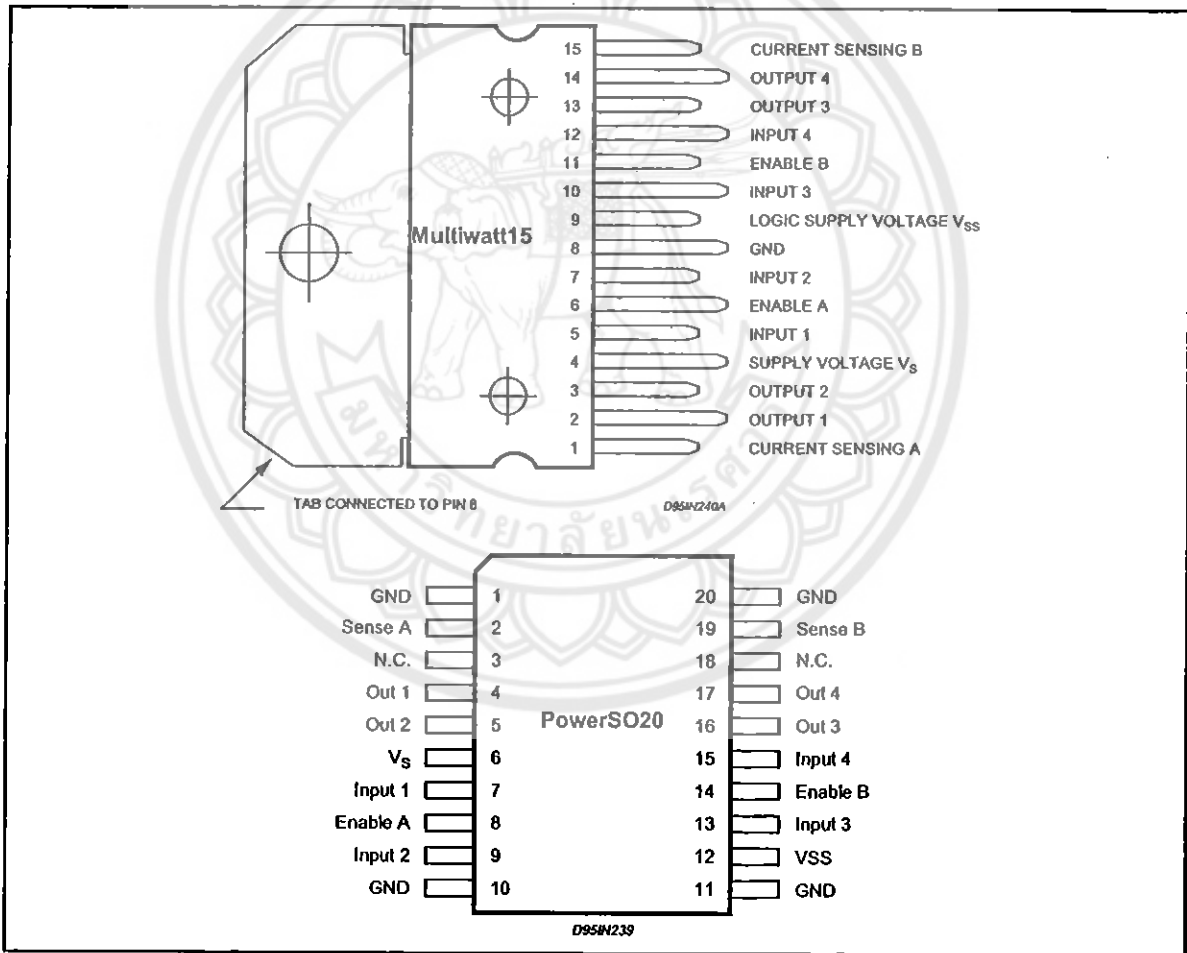


L298

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	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	$^\circ C/W$

(\*) 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 <sub>S</sub>	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 <sub>SS</sub>	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<sub>S</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V, T<sub>J</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

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

## L298

## 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		$\mu s$
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		$\mu s$
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		$\mu s$
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		$\mu s$
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		$\mu s$
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		$\mu s$
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		$\mu s$
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		$\mu s$
$I_c (V_i)$	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		$\mu s$
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		$\mu s$
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		$\mu s$
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		$\mu s$
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		$\mu s$
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		$\mu s$
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		$\mu s$
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		$\mu s$

- 1) Sensing voltage can be  $-1 V$  for  $t \leq 50 \mu s$ ; in steady state  $V_{sens} \min \geq -0.5 V$ .
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

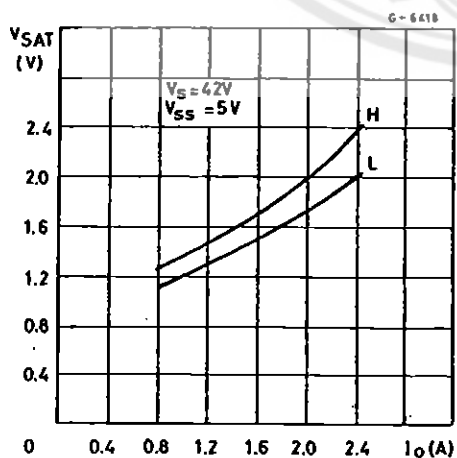
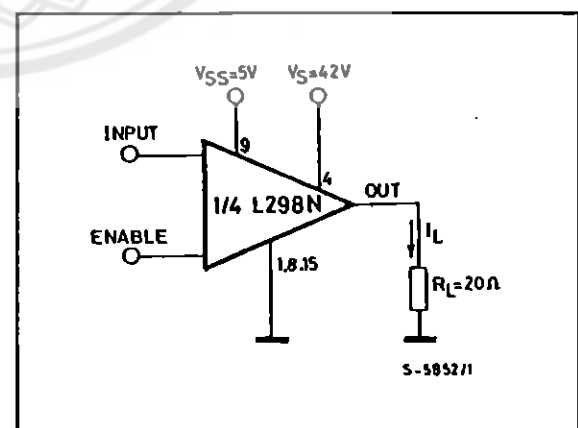


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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

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

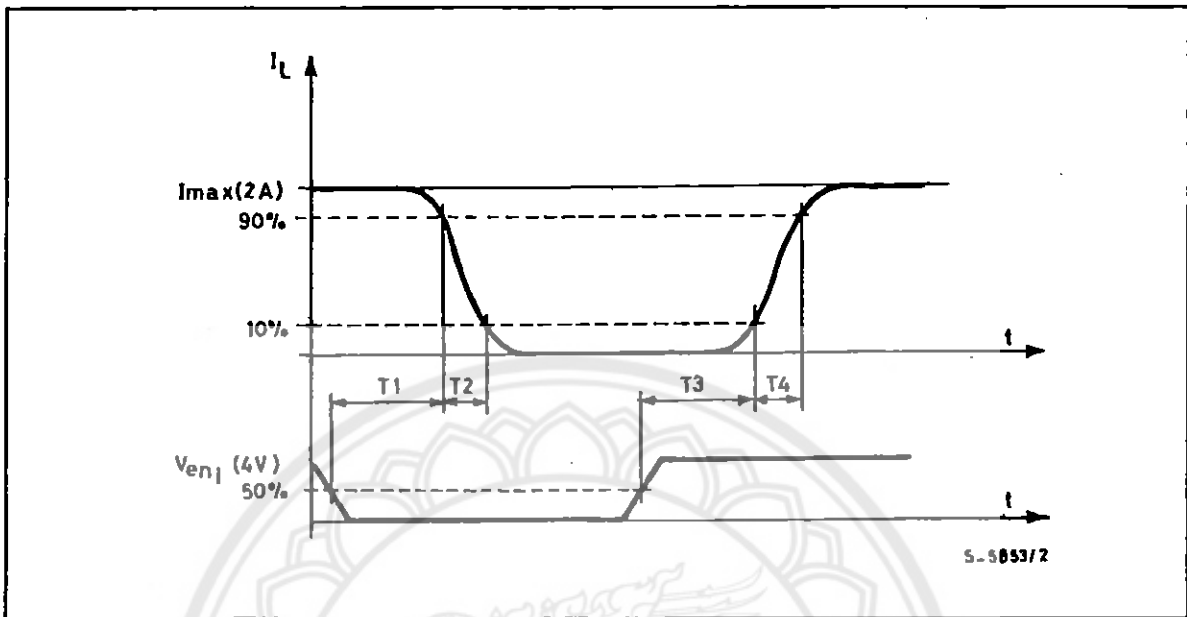
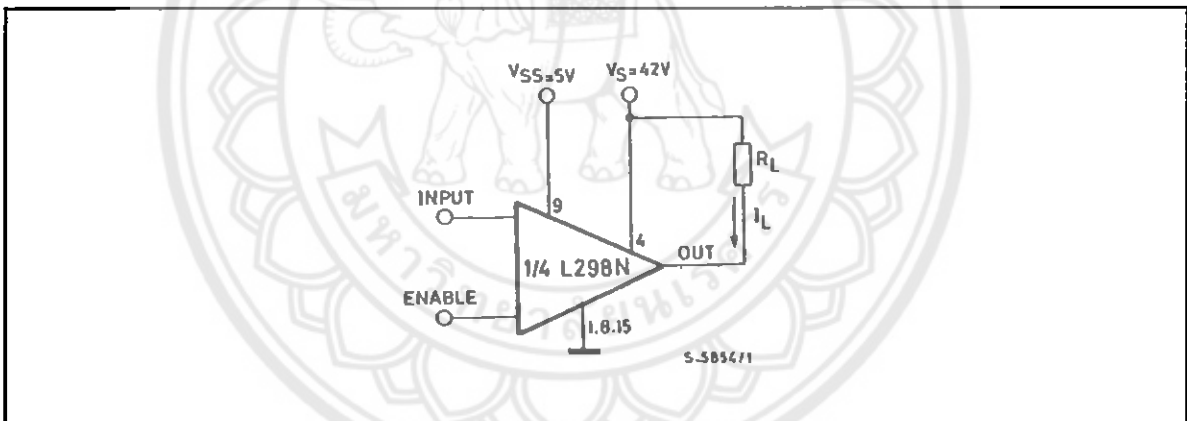


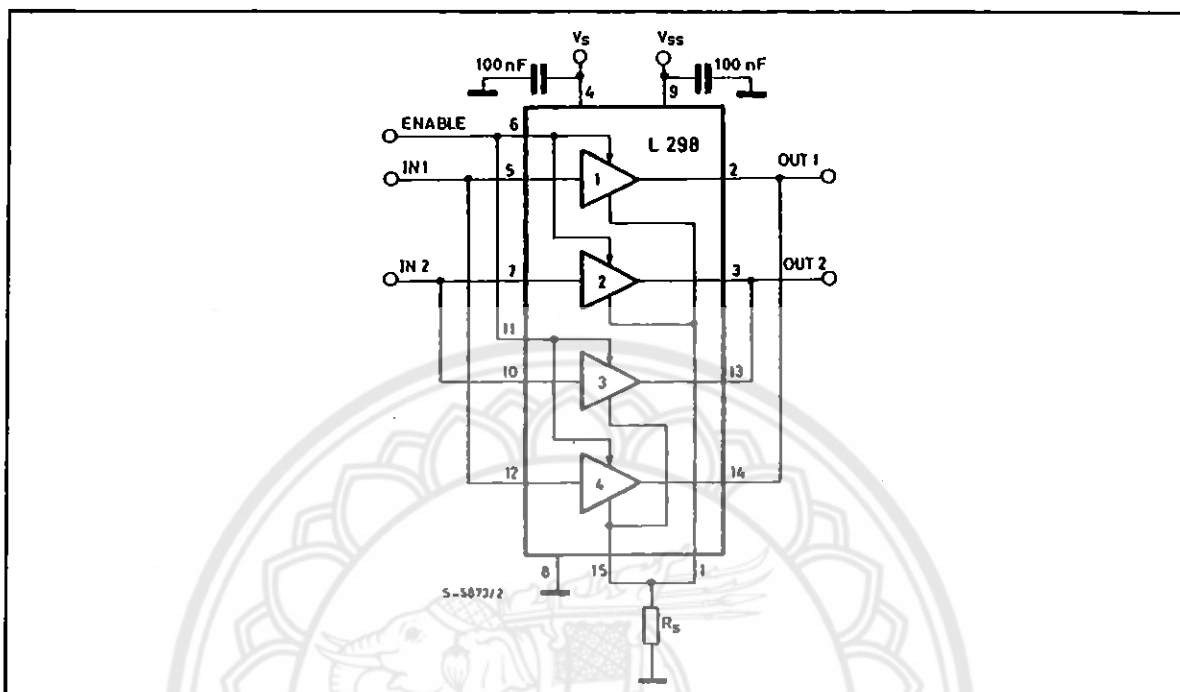
Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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



Figure 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 differenzial 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 VF 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 ; Shottky diodes would be preferred.



# L79xxC

## Negative voltage regulators

Datasheet – production data

### Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of - 5; - 8; - 12; - 15 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

### Description

The L79xxC series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L78xx positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

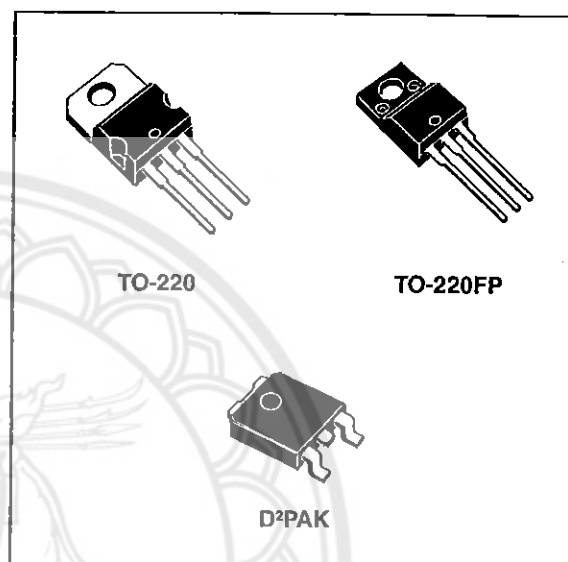


Table 1. Device summary

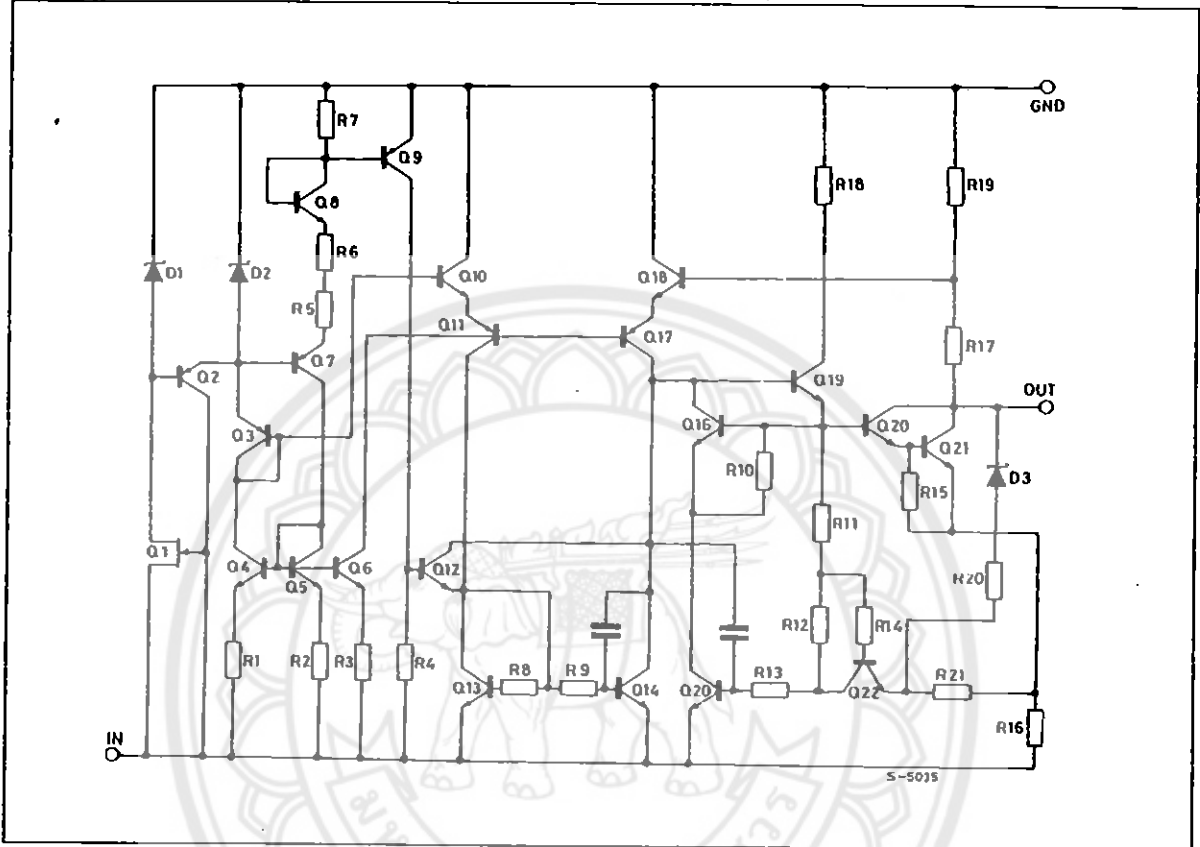
Part numbers	Order codes			Output voltages	
	TO-220		D <sup>2</sup> PAK		TO-220FP
L7905C	L7905CV	L7905CV-DG <sup>(1)</sup>	L7905CD2T-TR	L7905CP	- 5 V
L7908C	L7908CV	L7908CV-DG <sup>(1)</sup>			- 8 V
L7912C	L7912CV	L7912CV-DG <sup>(1)</sup>	L7912CD2T-TR	L7912CP	- 12 V
L7915C	L7915CV	L7915CV-DG <sup>(1)</sup>	L7915CD2T-TR	L7915CP	- 15 V

1. TO-220 Dual Gauge frame.



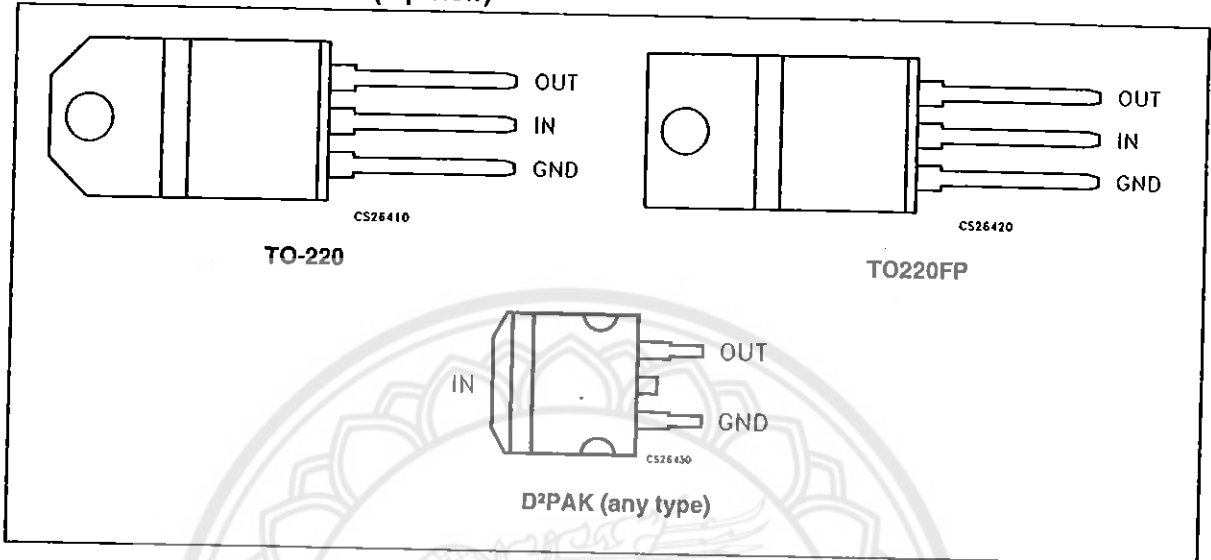
# 1 Diagram

Figure 1. Schematic diagram



## 2 Pin configuration

Figure 2. Pin connections (top view)



### 3 Maximum ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_I$	DC input voltage	for $V_O = -5$ to $-18$ V	-35	V
		for $V_O = -20$ to $-24$ V	-40	
$I_O$	Output current		Internally limited	
$P_D$	Power dissipation		Internally limited	
$T_{STG}$	Storage temperature range		-65 to 150	°C
$T_{OP}$	Operating junction temperature range		0 to 150	°C

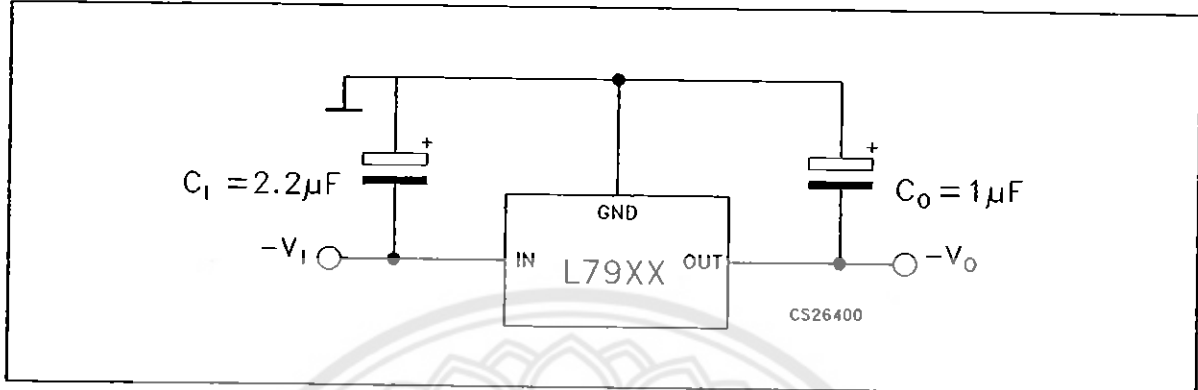
*Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.*

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	Unit
$R_{thJC}$	Thermal resistance junction-case	3	5	5	°C/W
$R_{thJA}$	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	°C/W

## 4 Test circuit

Figure 3. Test circuit



## 5 Electrical characteristics

Refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125$  °C,  $V_I = -10$  V,  $I_O = 500$  mA,  $C_I = 2.2$   $\mu$ F,  $C_O = 1$   $\mu$ F unless otherwise specified.

Table 4. Electrical characteristics of L7905C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = -5$ mA to $-1$ A, $P_O \leq 15$ W $V_I = -8$ to $-20$ V	-4.75	-5	-5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -7$ to $-25$ V, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_I = -8$ to $-12$ V, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5$ mA to $1.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250$ to $750$ mA, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$I_Q$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent current change	$I_O = 5$ mA to $1$ A			0.5	mA
		$V_I = -8$ to $-25$ V			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5$ mA		-0.4		mV/°C
eN	Output noise voltage	$B = 10$ Hz to $100$ kHz, $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		$\mu$ V
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10$ V, $f = 120$ Hz	54	60		dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $\Delta V_O = 100$ mV		1.4		V
$I_{sc}$	Short circuit current			2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## Electrical characteristics

L79xxC

Refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -14\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$  unless otherwise specified.

Table 5. Electrical characteristics of L7908C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-7.7	-8	-8.3	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to }-1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -11.5\text{ to }-23\text{ V}$	-7.6	-8	-8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -10.5\text{ to }-25\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = -11\text{ to }-17\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$I_d$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -11.5\text{ to }-25\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		175		$\mu\text{V}$
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125$  °C,  $V_I = -19$  V,  $I_O = 500$  mA,  $C_I = 2.2$   $\mu$ F,  $C_O = 1$   $\mu$ F unless otherwise specified.

Table 6. Electrical characteristics of L7912C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-11.5	-12	-12.5	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = -5$ mA to $-1$ A, $P_O \leq 15$ W $V_I = -15.5$ to $-27$ V	-11.4	-12	-12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -14.5$ to $-30$ V, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = -16$ to $-22$ V, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5$ mA to $1.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250$ to $750$ mA, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$I_d$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent current change	$I_O = 5$ mA to $1$ A			0.5	mA
		$V_I = -15$ to $-30$ V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5$ mA		-0.8		mV/°C
eN	Output noise voltage	$B = 10$ Hz to $100$ kHz, $T_J = 25^\circ\text{C}$		200		$\mu$ V
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10$ V, $f = 120$ Hz	54	60		dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $\Delta V_O = 100$ mV		1.1		V
$I_{sc}$	Short circuit current			1.5		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

## Electrical characteristics

L79xxC

Refer to the test circuits,  $T_J = 0$  to  $125^\circ\text{C}$ ,  $V_I = -23\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 1\ \mu\text{F}$  unless otherwise specified.

Table 7. Electrical characteristics of L7915C

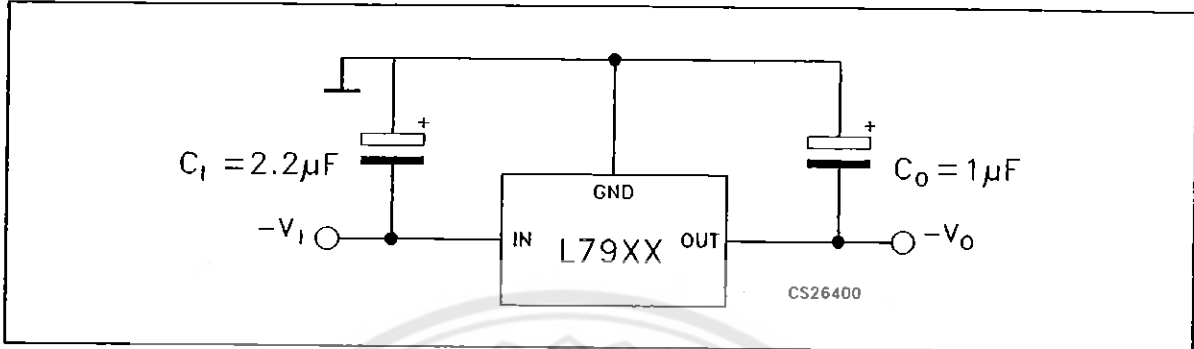
Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
$V_O$	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$I_d$	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
$\Delta I_d$	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/°C
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		$\mu\text{V}$
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
$V_d$	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ , $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
$I_{sc}$	Short circuit current			1.3		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.



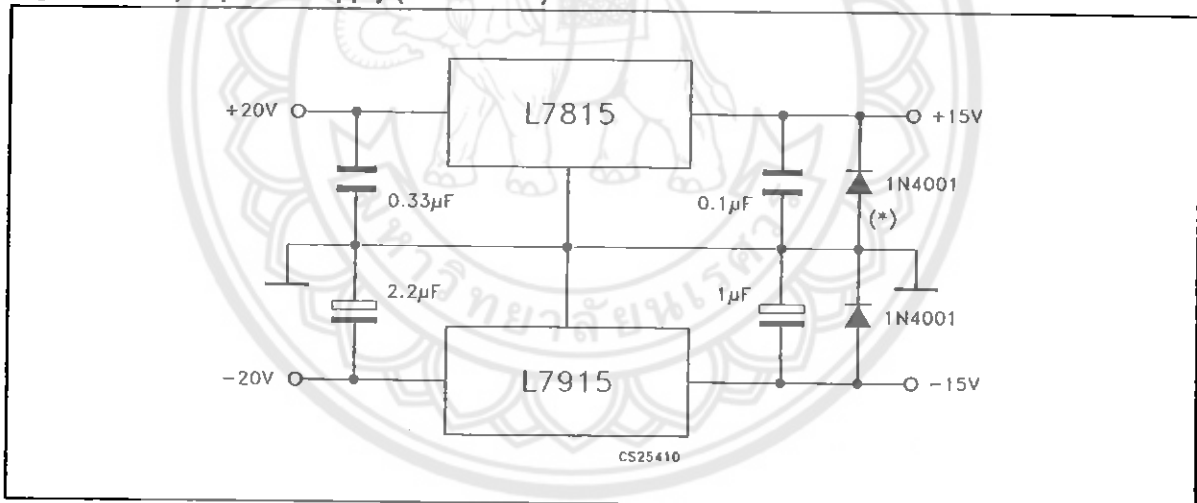
## 6 Application information

Figure 4. Fixed output regulator



1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".
2. Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. If aluminium electrolytic are used, at least ten times value should be selected. C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. To improve transient response. If large capacitors are used, a high current diode from input to output (1N4001 or similar) should be introduced to protect the device from momentary input short circuit.

Figure 5. Split power supply ( $\pm 15\text{ V} - 1\text{ A}$ )



(\*) Against potential latch-up problems.



## DS1307 64 x 8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock

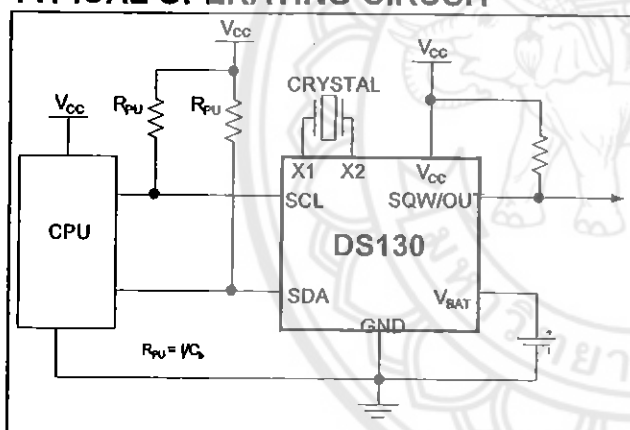
### GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

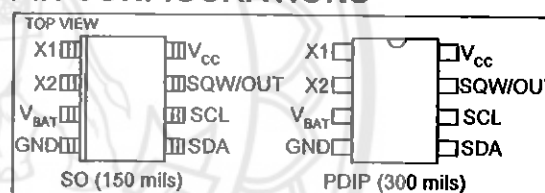
### FEATURES

- Real-Time Clock (RTC) Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
- I<sup>2</sup>C Serial Interface
- Programmable Square-Wave Output Signal
- Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Available in 8-Pin Plastic DIP or SO
- Underwriters Laboratories (UL) Recognized

### TYPICAL OPERATING CIRCUIT



### PIN CONFIGURATIONS



### ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

\*A "+" anywhere on the top mark indicates a lead-free package. An "N" anywhere on the top mark indicates an industrial temperature range device.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

REV: 100208

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature Range (Noncondensing)	
Commercial.....	0°C to +70°C
Industrial.....	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range.....	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (DIP, leads).....	+260°C for 10 seconds
Soldering Temperature (surface mount).....	Refer to the JPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	$V_{IH}$		2.2		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input	$V_{IL}$		-0.3		+0.8	V
$V_{BAT}$ Battery Voltage	$V_{BAT}$		2.0	3	3.5	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 4.5\text{V}$  to  $5.5\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage (SCL)	$I_{LI}$		-1		1	$\mu\text{A}$
I/O Leakage (SDA, SQW/OUT)	$I_{LO}$		-1		1	$\mu\text{A}$
Logic 0 Output ( $I_{OL} = 5\text{mA}$ )	$V_{OL}$				0.4	V
Active Supply Current ( $f_{SCL} = 100\text{kHz}$ )	$I_{CCA}$				1.5	mA
Standby Current	$I_{CCS}$	(Note 3)			200	$\mu\text{A}$
$V_{BAT}$ Leakage Current	$I_{BATLKG}$			5	50	nA
Power-Fail Voltage ( $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ )	$V_{PF}$		$1.216 \times V_{BAT}$	$1.25 \times V_{BAT}$	$1.284 \times V_{BAT}$	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 0\text{V}$ ,  $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	$I_{BAT1}$			300	500	nA
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	$I_{BAT2}$			480	800	nA
$V_{BAT}$ Data-Retention Current (Oscillator Off)	$I_{BATDR}$			10	100	nA

**WARNING:** Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**(V<sub>CC</sub> = 4.5V to 5.5V; T<sub>A</sub> = 0°C to +70°C, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>		0		100	kHz
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t <sub>BUF</sub>		4.7			μs
Hold Time (Repeated) START Condition	t <sub>HD:STA</sub>	(Note 4)	4.0			μs
LOW Period of SCL Clock	t <sub>LOW</sub>		4.7			μs
HIGH Period of SCL Clock	t <sub>HIGH</sub>		4.0			μs
Setup Time for a Repeated START Condition	t <sub>SU:STA</sub>		4.7			μs
Data Hold Time	t <sub>HD:DAT</sub>		0			μs
Data Setup Time	t <sub>SU:DAT</sub>	(Notes 5, 6)	250			ns
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t <sub>R</sub>				1000	ns
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t <sub>F</sub>				300	ns
Setup Time for STOP Condition	t <sub>SU:STO</sub>		4.7			μs

**CAPACITANCE**(T<sub>A</sub> = +25°C)

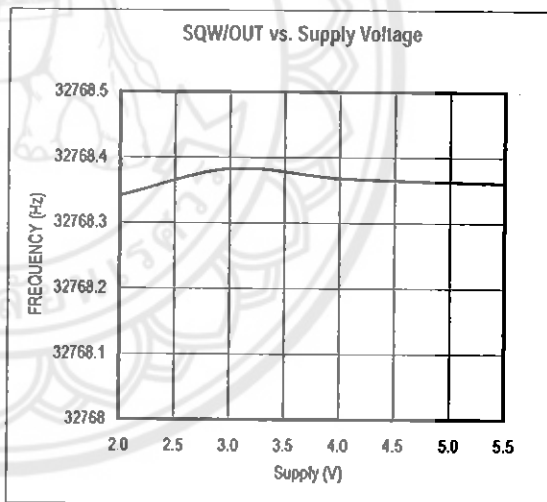
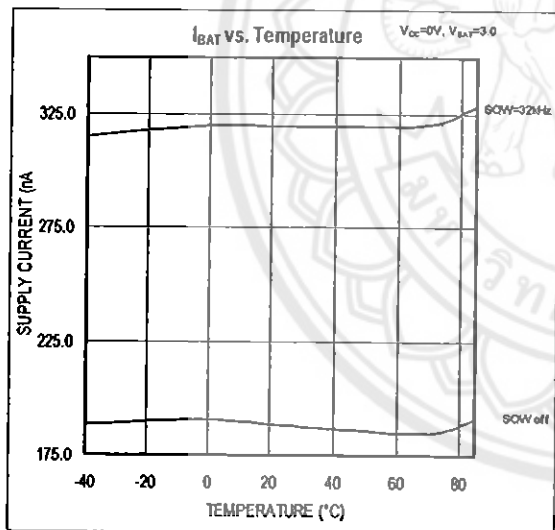
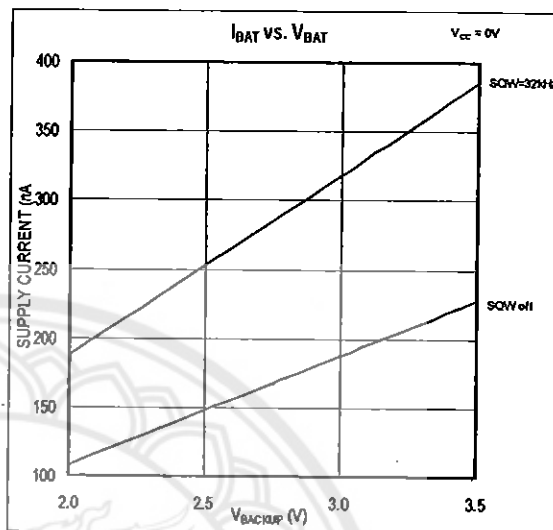
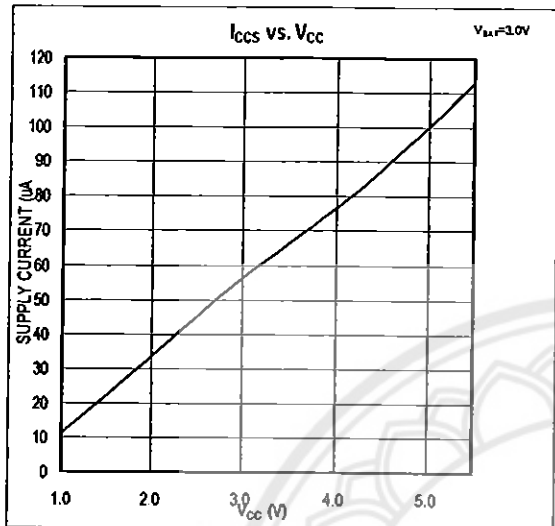
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Pin Capacitance (SDA, SCL)	C <sub>I/O</sub>				10	pF
Capacitance Load for Each Bus Line	C <sub>B</sub>	(Note 7)			400	pF

**Note 1:** All voltages are referenced to ground.**Note 2:** Limits at -40°C are guaranteed by design and are not production tested.**Note 3:** I<sub>CCS</sub> specified with V<sub>CC</sub> = 5.0V and SDA, SCL = 5.0V.**Note 4:** After this period, the first clock pulse is generated.**Note 5:** A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V<sub>IH(MIN)</sub> of the SCL signal) to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.**Note 6:** The maximum t<sub>HD:DAT</sub> only has to be met if the device does not stretch the LOW period (t<sub>LOW</sub>) of the SCL signal.**Note 7:** C<sub>B</sub>—total capacitance of one bus line in pF.



**TYPICAL OPERATING CHARACTERISTICS**

(V<sub>CC</sub> = 5.0V, T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)



**PIN DESCRIPTION**

PIN	NAME	FUNCTION
1	X1	Connections for Standard 32.768kHz Quartz Crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance ( $C_L$ ) of 12.5pF. X1 is the input to the oscillator and can optionally be connected to an external 32.768kHz oscillator. The output of the internal oscillator, X2, is floated if an external oscillator is connected to X1.
2	X2	<b>Note:</b> For more information on crystal selection and crystal layout considerations, refer to <i>Application Note 58: Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks</i> .
3	V <sub>BAT</sub>	<b>Backup Supply Input for Any Standard 3V Lithium Cell or Other Energy Source.</b> Battery voltage must be held between the minimum and maximum limits for proper operation. Diodes in series between the battery and the V <sub>BAT</sub> pin may prevent proper operation. If a backup supply is not required, V <sub>BAT</sub> must be grounded. The nominal power-fail trip point (V <sub>PF</sub> ) voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V <sub>BAT</sub> nominal. A lithium battery with 48mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at +25°C.  UL recognized to ensure against reverse charging current when used with a lithium battery. Go to: <a href="http://www.maxim-ic.com/qa/info/ul/">www.maxim-ic.com/qa/info/ul/</a> .
4	GND	Ground
5	SDA	Serial Data Input/Output. SDA is the data input/output for the I <sup>2</sup> C serial interface. The SDA pin is open drain and requires an external pullup resistor. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .
6	SCL	Serial Clock Input. SCL is the clock input for the I <sup>2</sup> C interface and is used to synchronize data movement on the serial interface. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .
7	SQW/OUT	Square Wave/Output Driver. When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square-wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pullup resistor. SQW/OUT operates with either V <sub>CC</sub> or V <sub>BAT</sub> applied. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> . If not used, this pin can be left floating.
8	V <sub>CC</sub>	Primary Power Supply. When voltage is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a backup supply is connected to the device and V <sub>CC</sub> is below V <sub>TP</sub> , read and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage.

**DETAILED DESCRIPTION**

The DS1307 is a low-power clock/calendar with 56 bytes of battery-backed SRAM. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The DS1307 operates as a slave device on the I<sup>2</sup>C bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V<sub>CC</sub> falls below 1.25 x V<sub>BAT</sub>, the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out-of-tolerance system. When V<sub>CC</sub> falls below V<sub>BAT</sub>, the device switches into a low-current battery-backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V<sub>CC</sub> when V<sub>CC</sub> is greater than V<sub>BAT</sub> + 0.2V and recognizes inputs when V<sub>CC</sub> is greater than 1.25 x V<sub>BAT</sub>. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

## OSCILLATOR CIRCUIT

The DS1307 uses an external 32.768kHz crystal. The oscillator circuit does not require any external resistors or capacitors to operate. Table 1 specifies several crystal parameters for the external crystal. Figure 1 shows a functional schematic of the oscillator circuit. If using a crystal with the specified characteristics, the startup time is usually less than one second.

## CLOCK ACCURACY

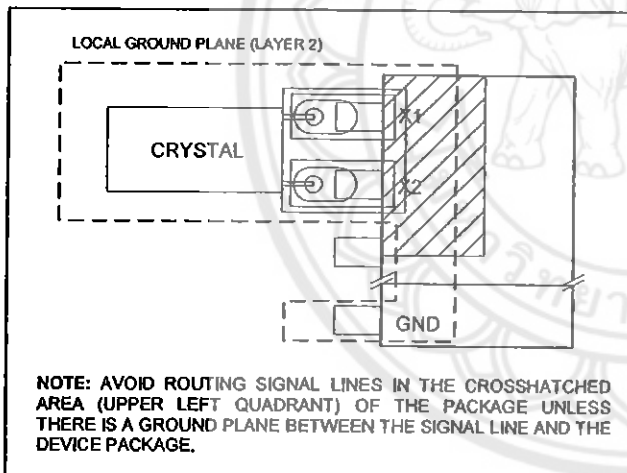
The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. Refer to Application Note 58: *Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks* for detailed information.

**Table 1. Crystal Specifications\***

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
Nominal Frequency	$f_0$		32.768		kHz
Series Resistance	ESR			45	k $\Omega$
Load Capacitance	$C_L$		12.5		pF

\*The crystal, traces, and crystal input pins should be isolated from RF generating signals. Refer to Application Note 58: *Crystal Considerations for Dallas Real-Time Clocks* for additional specifications.

**Figure 2. Recommended Layout for Crystal**



## RTC AND RAM ADDRESS MAP

Table 2 shows the address map for the DS1307 RTC and RAM registers. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multibyte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.



## CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Table 2 shows the RTC registers. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on.) Illogical time and date entries result in undefined operation. Bit 7 of Register 0 is the clock half (CH) bit. When this bit is set to 1, the oscillator is disabled. When cleared to 0, the oscillator is enabled. On first application of power to the device the time and date registers are typically reset to 01/01/00 01 00:00:00 (MM/DD/YY DOW HH:MM:SS). The CH bit in the seconds register will be set to a 1. The clock can be halted whenever the timekeeping functions are not required, which minimizes current (I<sub>BATDR</sub>).

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12-hour or 24-hour mode-select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10-hour bit (20 to 23 hours). The hours value must be re-entered whenever the 12/24-hour mode bit is changed.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any I<sup>2</sup>C START. The time information is read from these secondary registers while the clock continues to run. This eliminates the need to re-read the registers in case the internal registers update during a read. The divider chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the I<sup>2</sup>C acknowledge from the DS1307. Once the divider chain is reset, to avoid rollover issues, the remaining time and date registers must be written within one second.

**Table 2. Timekeeper Registers**

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1–12 +AM/PM 00–23	
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04h	0	0	10 Date			Date			Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month			Month	01–12	
06h	10 Year			Year			Year			00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

0 = Always reads back as 0.

## CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

**Bit 7: Output Control (OUT).** This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square-wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0. On initial application of power to the device, this bit is typically set to a 0.

**Bit 4: Square-Wave Enable (SQWE).** This bit, when set to logic 1, enables the oscillator output. The frequency of the square-wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square-wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave. On initial application of power to the device, this bit is typically set to a 0.

**Bits 1 and 0: Rate Select (RS[1:0]).** These bits control the frequency of the square-wave output when the square-wave output has been enabled. The following table lists the square-wave frequencies that can be selected with the RS bits. On initial application of power to the device, these bits are typically set to a 1.

RS1	RS0	SQW/OUT OUTPUT	SQWE	OUT
0	0	1Hz	1	X
0	1	4.096kHz	1	X
1	0	8.192kHz	1	X
1	1	32.768kHz	1	X
X	X	0	0	0
X	X	1	0	1

## LM138/LM338 5-Amp Adjustable Regulators

### General Description

The LM138 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 5A over a 1.2V to 32V output range. They are exceptionally easy to use and require only 2 resistors to set the output voltage. Careful circuit design has resulted in outstanding load and line regulation—comparable to many commercial power supplies. The LM138 family is supplied in a standard 3-lead transistor package.

A unique feature of the LM138 family is time-dependent current limiting. The current limit circuitry allows peak currents of up to 12A to be drawn from the regulator for short periods of time. This allows the LM138 to be used with heavy transient loads and speeds start-up under full-load conditions. Under sustained loading conditions, the current limit decreases to a safe value protecting the regulator. Also included on the chip are thermal overload protection and safe area protection for the power transistor. Overload protection remains functional even if the adjustment pin is accidentally disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An output capacitor can be added to improve transient response, while bypassing the adjustment pin will increase the regulator's ripple rejection.

Besides replacing fixed regulators or discrete designs, the LM138 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., do not short-circuit output to ground. The part numbers in the LM138 series which have a K suffix are packaged in a standard Steel TO-3 package, while those with a T suffix are packaged in a TO-220 plastic package. The LM138 is rated for  $-55^{\circ}\text{C} \leq T_j \leq +150^{\circ}\text{C}$ , and the LM338 is rated for  $0^{\circ}\text{C} \leq T_j \leq +125^{\circ}\text{C}$ .

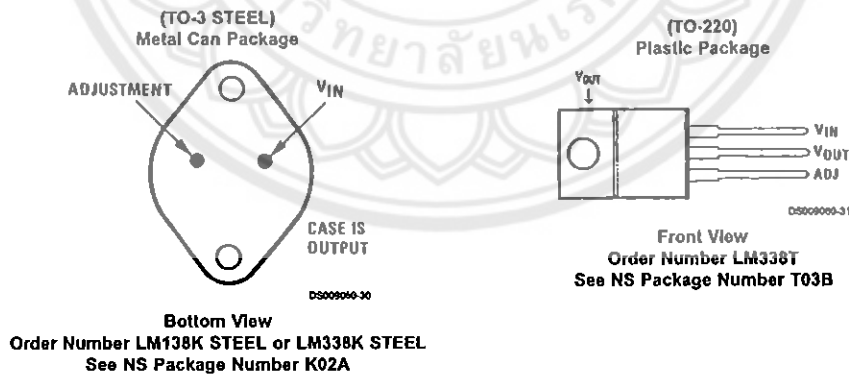
### Features

- Guaranteed 7A peak output current
- Guaranteed 5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Guaranteed thermal regulation
- Current limit constant with temperature
- P\* Product Enhancement tested
- Output is short-circuit protected

### Applications

- Adjustable power supplies
- Constant current regulators
- Battery chargers

### Connection Diagrams (See Physical Dimension section for further information)



**Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

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

(Note 4)

Power Dissipation	Internally limited
Input/Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C

**Lead Temperature**

Metal Package (Soldering, 10 seconds)  
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)

300°C

260°C

**ESD Tolerance**

TBD

**Operating Temperature Range**

LM138

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

LM338

 $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$ **Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ ; and  $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ . (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	LM138			Units
			Min	Typ	Max	
$V_{REF}$	Reference Voltage	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ , $P \leq 50\text{W}$	1.19	1.24	1.29	V
$V_{RLINE}$	Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$ (Note 3)		0.005	0.01	%/V
				0.02	0.04	%/V
$V_{RLOAD}$	Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ (Note 3)		0.1	0.3	%
				0.3	0.6	%
	Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.002	0.01	%/W
$I_{ADJ}$	Adjustment Pin Current			45	100	$\mu\text{A}$
$\Delta I_{ADJ}$	Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ , $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$		0.2	5	$\mu\text{A}$
$\Delta V_{R/T}$	Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1		%
$I_{LOAD(MIN)}$	Minimum Load Current	$V_{IN} - V_{OUT} = 35\text{V}$		3.5	5	mA
$I_{CL}$	Current Limit	$V_{IN} - V_{OUT} \leq 10\text{V}$				
		DC	5	8		A
		0.5 ms Peak	7	12		A
		$V_{IN} - V_{OUT} = 30\text{V}$		1	1	A
$V_N$	RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003		%
$\frac{\Delta V_R}{\Delta V_{IN}}$	Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		60		dB
		$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	60	75		dB
	Long-Term Stability	$T_J = 125^{\circ}\text{C}$ , 1000 Hrs		0.3	1	%
$\theta_{JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	K Package			1	$^{\circ}\text{C/W}$
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		$^{\circ}\text{C/W}$

**Electrical Characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	LM338			Units
			Min	Typ	Max	
$V_{REF}$	Reference Voltage	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ , $P \leq 50\text{W}$	1.19	1.24	1.29	V
$V_{RLINE}$	Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$ (Note 3)		0.005	0.03	%/V
				0.02	0.06	%/V
$V_{RLOAD}$	Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ (Note 3)		0.1	0.5	%
				0.3	1	%
	Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.002	0.02	%/W
$I_{ADJ}$	Adjustment Pin Current			45	100	$\mu\text{A}$
$\Delta I_{ADJ}$	Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 5\text{A}$ , $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35\text{V}$		0.2	5	$\mu\text{A}$

**Electrical Characteristics (Continued)**

Symbol	Parameter	Conditions	LM338			Units
			Min	Typ	Max	
$\Delta V_{R/T}$	Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1		%
$I_{LOAD(Min)}$	Minimum Load Current	$V_{IN} - V_{OUT} = 35V$		3.5	10	mA
$I_{CL}$	Current Limit	$V_{IN} - V_{OUT} \leq 10V$				
		DC	5	8		A
		0.5 ms Peak	7	12		A
		$V_{IN} - V_{OUT} = 30V$			1	A
$V_N$	RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		0.003		%
$\frac{\Delta V_R}{\Delta V_N}$	Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10V, f = 120 \text{ Hz}, C_{ADJ} = 0 \mu F$		60		dB
		$V_{OUT} = 10V, f = 120 \text{ Hz}, C_{ADJ} = 10 \mu F$	60	75		dB
	Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ C, 1000 \text{ hrs}$		0.3	1	%
$\theta_{JC}$	Thermal Resistance	K Package			1	$^\circ C/W$
	Junction to Case	T Package			4	$^\circ C/W$
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		$^\circ C/W$
		T Package		50		$^\circ C/W$

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

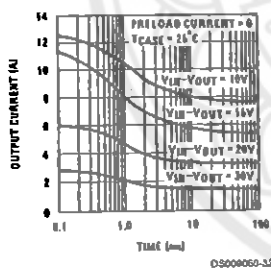
**Note 2:** These specifications are applicable for power dissipations up to 50W for the TO-3 (K) package and 25W for the TO-220 (T) package. Power dissipation is guaranteed at these values up to 15V input-output differential. Above 15V differential, power dissipation will be limited by internal protection circuitry. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National AQL (Average Outgoing Quality Level).

**Note 3:** Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

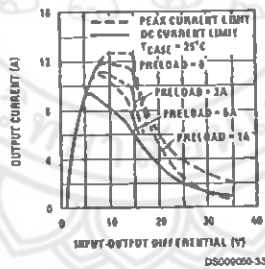
**Note 4:** Refer to RETS 138K drawing for military specifications of LM138K.

**Typical Performance Characteristics**

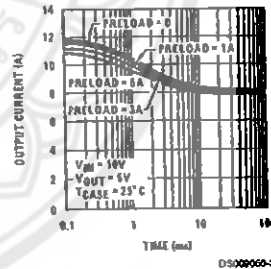
**Current Limit**



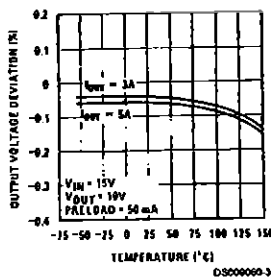
**Current Limit**



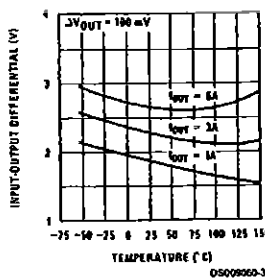
**Current Limit**



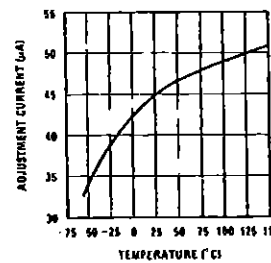
**Load Regulation**



**Dropout Voltage**

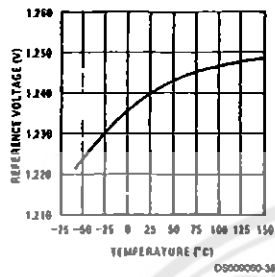


**Adjustment Current**

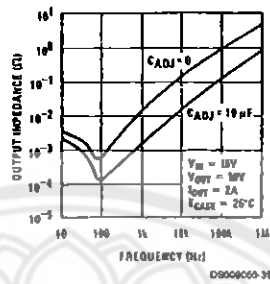


**Typical Performance Characteristics (Continued)**

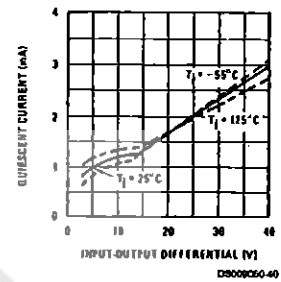
**Temperature Stability**



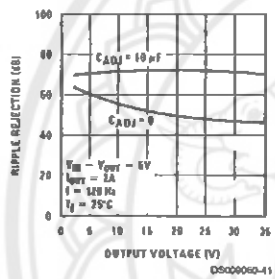
**Output Impedance**



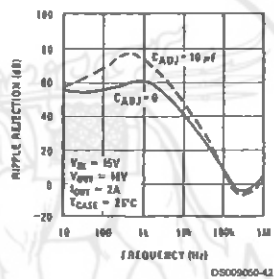
**Minimum Operating Current**



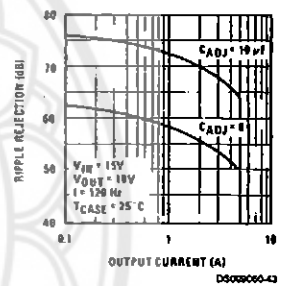
**Ripple Rejection**



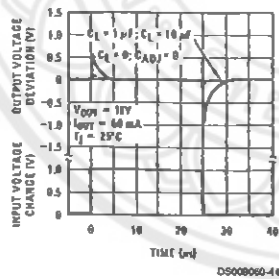
**Ripple Rejection**



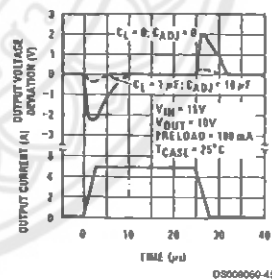
**Ripple Rejection**



**Line Transient Response**



**Load Transient Response**



**Application Hints**

In operation, the LM138 develops a nominal 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor  $R_1$  and, since the voltage is constant, a constant current  $I_1$  then flows through the output set resistor  $R_2$ , giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}R_2.$$

### Application Hints (Continued)

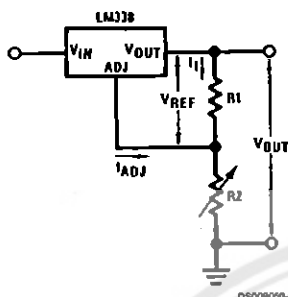


FIGURE 1.

Since the 50  $\mu$ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM138 was designed to minimize  $I_{ADJ}$  and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

#### External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1  $\mu$ F disc or 1  $\mu$ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM138 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10  $\mu$ F bypass capacitor 75 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 20  $\mu$ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use are solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25  $\mu$ F in aluminum electrolytic to equal 1  $\mu$ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01  $\mu$ F disc may seem to work better than a 0.1  $\mu$ F disc as a bypass.

Although the LM138 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1  $\mu$ F solid tantalum (or 25  $\mu$ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability.

#### Load Regulation

The LM138 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 $\Omega$ ) should be tied directly to the output of the regulator (case) rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 $\Omega$  resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of  $0.05\Omega \times I_L$ . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be  $0.05\Omega (1 + R_2/R_1)$  or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 $\Omega$  set resistor.

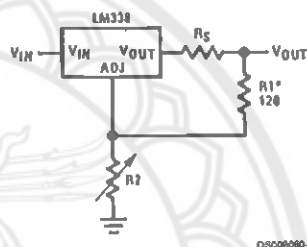


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using 2 separate leads to the case. The ground of R2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

#### Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 20  $\mu$ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of  $V_{IN}$ . In the LM138 this discharge path is through a large junction that is able to sustain 25A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 100  $\mu$ F or less at output of 15V or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM138 is a 50 $\Omega$  resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10  $\mu$ F capacitance. Figure 3 shows an LM138 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.

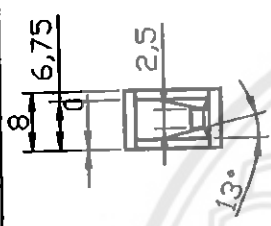


ภาคผนวก ข

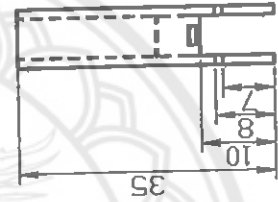
แบบร่างโครงสร้างของกล่องใส่อาหาร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

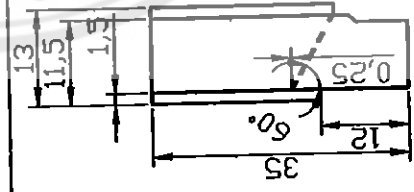




**TOP VIEW**



**FRONT VIEW**



**SIDE VIEW**

SCALE 1:20

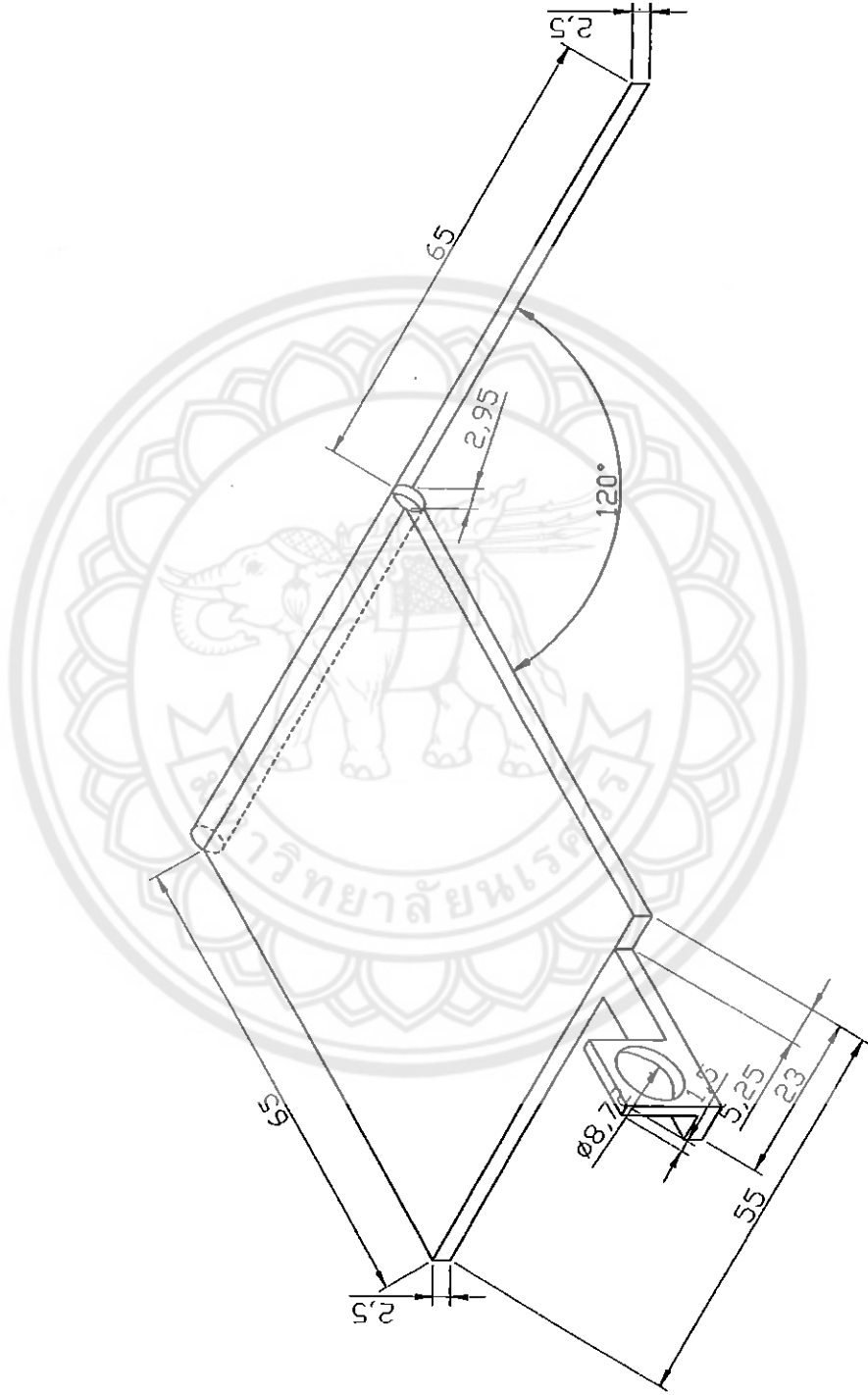
DATE 29/08/2013

แบบ ก่อังไฮอาการ

นพท ดั่งศรีวงค์

DRANWN

ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



แบบ ฝาปิดกล่องใส่อาหาร

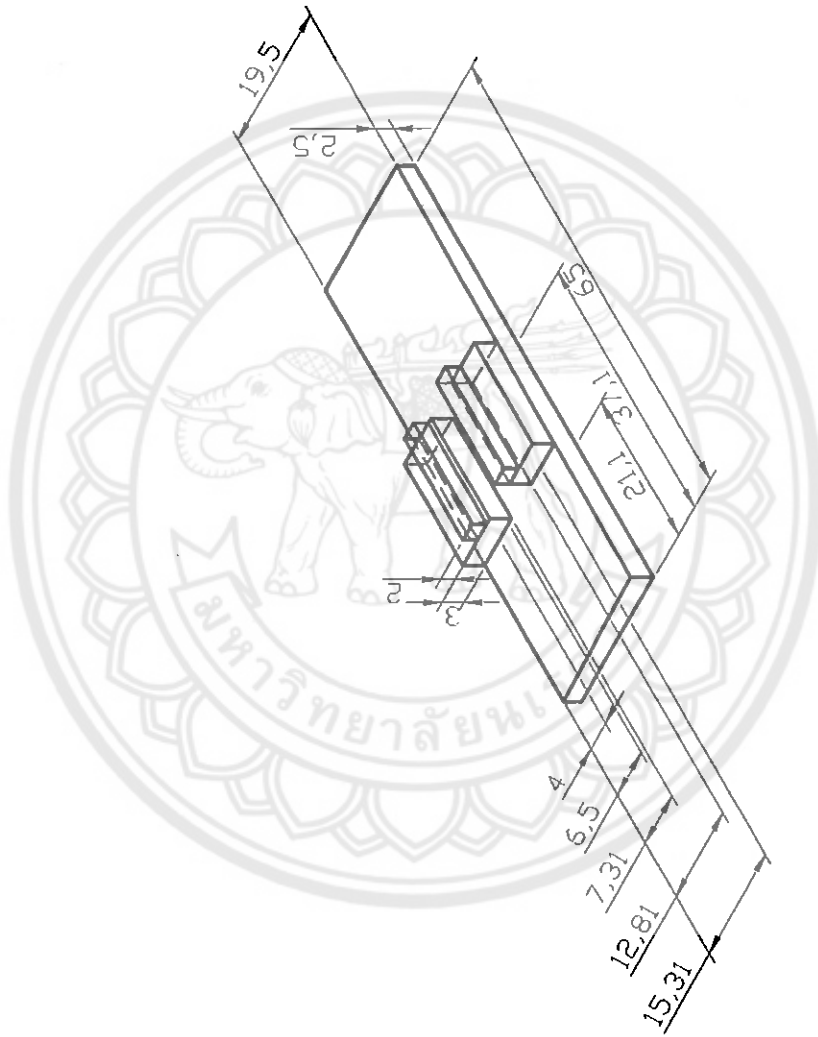
DATE 29/08/2013

SCALE 1:2

150

ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

DRANWN นพพต ตั้งศรีวงศ์



แบบ ฐานกล่องใส่อาหาร

DATE 29/08/2013

SCALE 1:10

151

ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

DRANWN นพทอ คังกรวิงท์