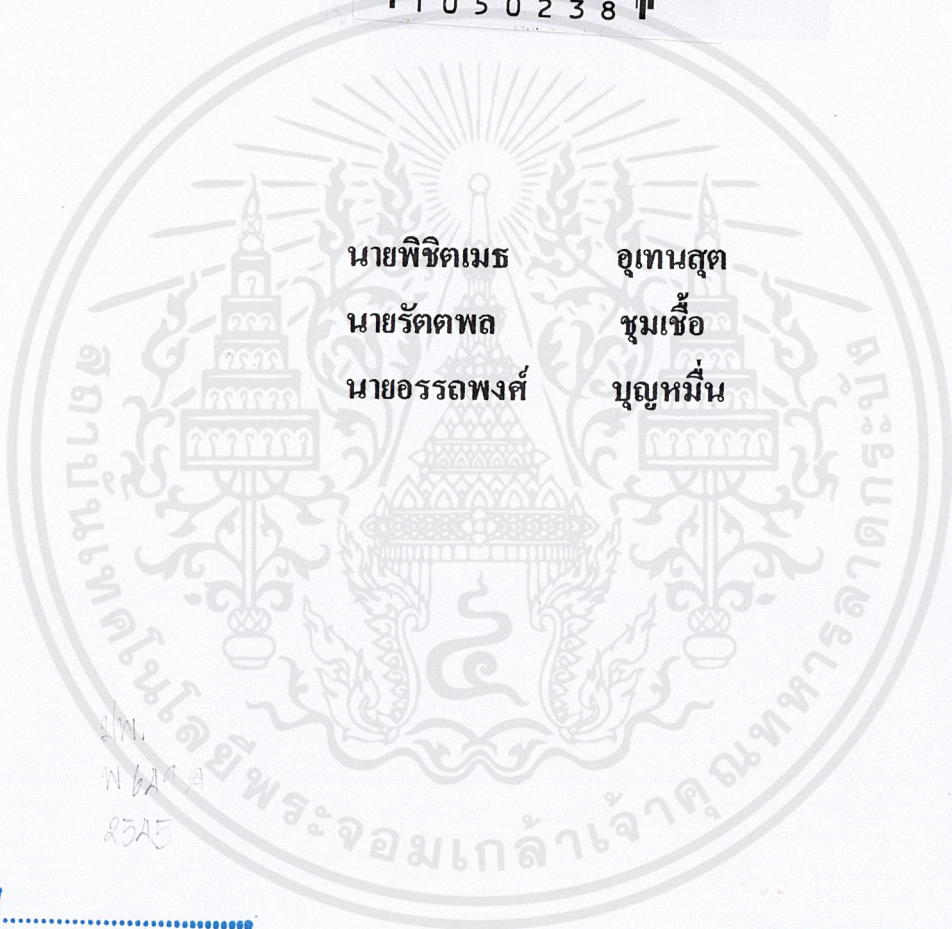


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก
MOISTURE METER FOR GAIN



นายพิชิตเมธ อุเทนสุด
นายรัตตพล ชุมเชื้อ
นายอรรถพงษ์ บุญหมื่น



พ.ศ.
พ.ค.ค.
๒๕๔๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50238
วัน,เดือน,ปี 2 8 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

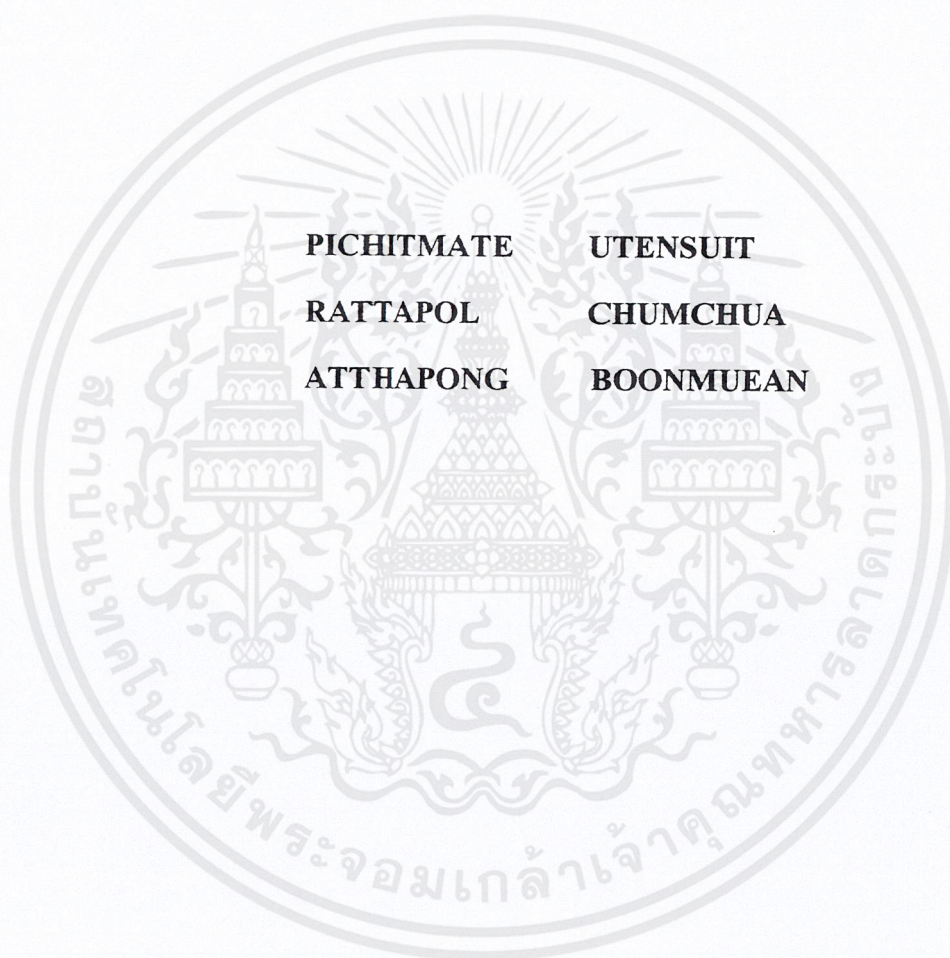
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOISTURE METER FOR GAIN



PICHITMATE
RATTAPOL
ATTHAPONG

UTENSUIT
CHUMCHUA
BOONMUEAN

A THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR
OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACURITY OF ENGINEERING
KING MUNBKUT'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก
MOISTURE METER FOR GAIN
นักศึกษาคำสั่งทำ นายพิชิตเมธ อุเทนสุด รหัสประจำตัว 43015574
นายรัตพล ชุมเชื้อ รหัสประจำตัว 43015582
นายอรรถพงศ์ บุญหมื่น รหัสประจำตัว 43015601
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
อ. เชื้อ นกอยู่	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาองรับแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก

MOISTURE METER FOR GAIN

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพิชิตเมธ อุเทนสุด

นายรัตพล ชุมเชื้อ

นายอรรถพงษ์ บุญหมื่น

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.เชื้อ นกอยู่

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำหลักการของตัวเก็บประจุ โดยให้ตัวแปรของขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลตและระยะห่างคงที่ ซึ่งจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกลางแผ่นเพลต จากหลักการดังกล่าวนี้ได้นำมาออกแบบและสร้างเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก ซึ่งเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกนี้ได้พัฒนาทำการลดผลกระทบที่เกิดจากความต้านทานในตัวเก็บประจุ อีกทั้งยังได้ทำการชดเชยอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนจะส่งผลกับค่าความชื้นทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นเมื่อมีการชดเชยอุณหภูมิจะทำให้เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกมีความถูกต้องมากขึ้น

Thesis Title	Moisture meter for gain	
Authors	Mr.Pichitmate	Utensuit
	Mr.Rattapol	Chumchua
	Mr.Atthapong	Boonmuean
Thesis Advisor	Mr.Shuae	Nokyoo
Year	2002	

ABSTRACT

This thesis is a principle of capacitor. Through the area of a parallel plate and the distance of a parallel plate is constants .This capacitor is to concern a coefficient factor of a parallel plate. This is a principle is design and construction the moisture meter for gain. It is development through decrease the effect of resistance of the capacitor and compensates the temperature .Because the temperature is change into moisture for the vicinity true.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก อาจารย์เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร รองศาสตราจารย์ ชัยวัฒน์ ชัยกุล ผู้ช่วยอธิการบดีวิทยาเขต ฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ อาจารย์ วิชัย ลีมกาญจนะพงศ์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

และที่ลืมนเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 จุดมุ่งหมายของปริยฐานิพนธ์.....	1
1.2 กล่าวนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 หลักการและเหตุผล.....	3
2.2 ทฤษฎี.....	4
2.2.1 การประมาณค่า (Approximation).....	4
2.2.2 ประจุและสนามไฟฟ้า (Charges and Fields).....	5
2.2.3 พื้นฐานของคาปาซิเตอร์เซินเซอร์.....	8
2.3 เครื่องมือวัดค่าการเก็บประจุ (Measuring Capacitance).....	9
2.3.1 เปรียบเทียบวงจรตรวจวัดค่าประจุ (Circuit comparison).....	9
2.3.2 ค่าคงที่ฉนวนอากาศ (Dielectric constant of Air).....	11
2.3.3 การคำนวณหาค่าประจุ.....	11
2.4 วงจรชดเชยอุณหภูมิ.....	13
2.4.1 บล็อกไดอะแกรมภายใน.....	14
2.4.2 การทำงานในการวัดอุณหภูมิ.....	16
2.4.3 การทำงานของสัญญาณเตือน.....	18
2.4.4 64 บิตเลเซอร์รวม.....	18
2.4.5 การจัดหาแหล่งจ่ายไฟ.....	19
2.5 วงจรแสดงผล.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 รายละเอียดของคำสั่ง.....	21
2.5.2 ขาดต่างๆในการต่อใช้งาน.....	25
2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	27
2.6.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบ เคาเตอร์ คอนเวอร์เตอร์.....	28
2.6.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบซีกเซตซีฟ แอพพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation).....	29
2.6.3 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบดวล-สโลป เอดีซี (Dual-Slope ADC).....	31
2.6.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบแฟลตคอนเวอร์เตอร์ (Flash Converter).....	34
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51.....	35
2.7.1 การจัดการหน่วยความจำและการเชื่อมต่อ.....	35
2.7.2 ไทม์เมอร์และคาน์เตอร์ (วงจรรนับ/จับเวลา).....	42
2.7.3 ระบบ I/O สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	47
2.7.4 การอินเตอร์รัพท์ และ การออกแบบ (Interrupt and Design).....	54
บทที่ 3 การออกแบบวงจร.....	58
3.1 การออกแบบ (Circuits design).....	58
3.1.1 สัญญาณกระตุ้น (Excitation).....	58
3.1.2 บล็อกการทำงานของวงจร (Block diagram).....	58
3.2 วงจร (Circuits).....	59
3.2.1 วงจรภาคตรวจวัดและขยาย (Sensor and Amplifier).....	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง.....	67
4.1 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	67
4.2 ทดสอบวงจรส่วนแปรเปลี่ยนค่าแรงดันตามความชื้น.....	69
4.2.1 วัตถุประสงค์.....	69
4.2.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	69
4.2.3 วิธีการทดลอง.....	69
4.2.4 วิธีการอบซ้ำ.....	70
4.2.5 วิธีการอบซ้ำ.....	70
4.3 การนำผลการทดลองมาออกแบบตัวประมวล.....	83
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์.....	85
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบวงจรตรวจวัดค่าคาปาซิแตนซ์.....	9
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฉนวนอากาศ.....	11
2.3 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DS1820.....	15
2.4 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต.....	17
2.5 แสดง ค่าการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปแต่ละตำแหน่ง.....	22
2.6 แสดงคำสั่งย่อยของคำสั่งเซตฟังก์ชัน.....	23
2.7 ชุดคำสั่งพื้นฐานควบคุมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ภายในแอลซีดี โมดูล.....	26
2.8 แสดงกลุ่มรีจิสเตอร์ R0 - R7.....	37
2.9 การกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW.....	38
2.10 แสดงรีจิสเตอร์โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW).....	40
2.11 รีจิสเตอร์ PCON.....	41
2.12 แสดงหน้าที่พิเศษของขาต่างๆ ในพอร์ตเบอร์ 3.....	50
2.13 แสดง โหมดการทำงาน.....	52
3.1 การต่อเชื่อมต่อของไอซี MAX038.....	61
4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล.....	67
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 ก่อนเข้าคู่มือ.....	71
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 หลังเข้าคู่มือ.....	72
4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 ก่อนเข้าคู่มือ.....	72
4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 หลังเข้าคู่มือ.....	72
4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 ก่อนเข้าคู่มือ.....	73
4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 หลังเข้าคู่มือ.....	74
4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 ก่อนเข้าคู่มือ.....	75
4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 หลังเข้าคู่มือ.....	76
4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 ก่อนเข้าคู่มือ.....	77
4.11 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 หลังเข้าคู่มือ.....	78
4.12 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 ก่อนเข้าคู่มือ.....	79
4.13 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 หลังเข้าคู่มือ.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 ก่อนเข้าสู่ข้อ.....	81
4.15 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 หลังเข้าสู่ข้อ.....	82
4.16 แสดงเปรียบเทียบสเกลระหว่างค่าความชื้น,ค่าแรงคั้น และสัญญาณคิจิตอล.....	83
4.17 แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความชื้น,ค่าแรงคั้นและสัญญาณคิจิตอล.....	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สนามไฟฟ้าของประจุที่กระทำต่อแผ่นเพลทคู่ขนาน.....	6
2.2 การคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์เบื้องต้น.....	8
2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าคาปาซิแตนซ์.....	9
2.4 การคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ของแผ่นเพลทแบบขนาน.....	12
2.5 แสดงลักษณะตัวไอซี DS1820.....	14
2.6 บล็อกไดอะแกรมภายใน DS1820.....	16
2.7 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ.....	17
2.8 แสดงการแบ่งส่วนในหน่วยความจำรวม.....	19
2.9 แสดงการจัดหาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS1820 ในบัส 1- Wire.....	19
2.10 แสดงการจัดหาแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเตอร์เฟสร่วม DS1820 หลายตัวบนบัส 1- Wire.....	20
2.11 แสดงลักษณะการทำงานแบบ คาเตอร์ คอนเวอร์เตอร์.....	28
2.12 แสดงกราฟเอาต์พุตที่ได้จากแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	28
2.13 แสดงการเปรียบเทียบกึ่งกลางของช่วง.....	29
2.14 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร เอซีดี แบบซิกเซสซีฟแอปหรือกซิมชั้น.....	30
2.15 แสดงการแปลง Dual-Slope ADC.....	31
2.16 ช่วงเวลาการแปลงสัญญาณ คูล-สโลป เอดีซี.....	33
2.17 แสดง ซีโร ออฟเซตของการแปลง คูล-สโลป เอดีซี.....	34
2.18 แสดงการแปลงแบบ แฟรชคอนเวอร์เตอร์ เอดีซี.....	34
2.19 โครงสร้างของหน่วยความจำ โปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล.....	36
2.20 แนวคิดการโปรแกรม 8051.....	37
2.21 การทำงานของ ไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ 0 หรือ 1 ในโหมด 0.....	43
2.22 การทำงานของ ไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ 0 หรือ 1 ในโหมด 1.....	43
2.23 การทำงานของ ไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ 0 หรือ 1 ในโหมด 2.....	44
2.24 วงจรนับ/จับเวลา 0 เมื่อทำงานในโหมด 3.....	44
2.25 แผนภาพแสดงการทำงาน ใน โหมดแคปเจอร์ ของ ไทม์เมอร์ 2.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26 แผนภาพแสดงการทำงานในโหมดโหลดค่าโดยอัตโนมัติ ของ ไทม์เมอร์2.....	46
2.27 แผนภาพการทำงานในโหมดการกำเนิดอัตราบอดของ ไทม์เมอร์2.....	46
2.28 แสดงแผนผัง ทาง ลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P0.....	47
2.29 แสดงแผนผัง ทางลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P1.....	48
2.30 แสดงแผนผัง ทางลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P2.....	48
2.31 แสดงแผนผังทาง ลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P3.....	48
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องมือวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก.....	59
3.2 การต่อใช้งานออสซิลเลเตอร์ของไอซี MAX038.....	60
3.3 วงจรปริคซ์สมมูลแบบขนาน.....	63
3.4 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์.....	65
3.5 วงจรภาคจ่ายไฟตรง ± 5 V.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 จุดมุ่งหมายของปริญญาโท

ศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวเปลือก กับค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตเมื่อค่าความชื้นเปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งศึกษาระบบการทำงานและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัดค่าความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกที่มีอยู่ในปัจจุบัน หาข้อดี ข้อเสีย เพื่อนำมาปรับปรุง และการประดิษฐ์เครื่องมือวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกให้มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศ

1.2 กล่าวนำ

โดยทั่วไปแล้วข้าวที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นมีหลายพันธุ์ เช่น ข้าวหอมมะลิ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี ข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ เป็นต้น แต่พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวที่เกษตรกรประเทศไทยทำการเพาะปลูกมากที่สุด และมีการส่งออกต่างประเทศมากที่สุดด้วย นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท แต่การซื้อ-ขายข้าวแต่ละครั้งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตั้งราคาการซื้อ-ขายข้าวอยู่หลายประการ เช่น ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าว สายพันธุ์ ความชื้น เป็นต้น ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ราคาของข้าวนั้นมีราคาสูงหรือต่ำตามตัวแปรเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์เพื่อทำการวัดค่าต่างๆ เหล่านี้เพื่อที่จะสามารถกำหนดได้ว่า จะต้องตั้งราคาเท่าไรถึงจะพอดีหรือสมเหตุสมผลกับข้าวในแต่ละพันธุ์ ความชื้น หรือความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ราคาของข้าวสูงหรือต่ำ

ในปัจจุบันนี้มีเครื่องมือวัดความชื้นข้าวอยู่มากมายหลายแบบ และส่วนมากอีกเช่นกันที่เครื่องมือวัดเหล่านี้ได้นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งก็จะมีราคาที่สูง จึงทำให้เกษตรกรนั้นไม่สามารถหาซื้อมาใช้ จึงทำให้บางครั้งในการซื้อ-ขายข้าวนั้นถูกเอาเปรียบจากพ่อค้าคนกลาง ทำให้ราคาข้าวที่ได้ต่ำกว่าปกติ บางครั้งเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศนั้นมีจะขนาดใหญ่ จึงทำให้การเคลื่อนย้ายมีความลำบาก ถึงแม้ว่าเครื่องที่นำเข้ามาจะทันสมัย สามารถบันทึกหรือพิมพ์ข้อมูลต่าง ๆ ออกมา แต่ในความเป็นจริงก็คือ ในสภาพที่เป็นอยู่ในประเทศไทยนี้ต้องมีการเคลื่อนย้ายไปที่ต่าง ๆ ดังนั้นจึงเป็นการไม่สะดวกที่จะนำเครื่องที่มีขนาดใหญ่ไปในที่ต่าง ๆ ดังนั้นจึงเป็นแนวคิดที่จะสร้างเครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวที่มีขนาดเล็ก สามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวนี้มีหลายแบบ แต่โดยส่วนมากจะใช้หลักการชั่งน้ำหนักของข้าวก่อนนำไปวัดเพราะมีความแม่นยำสูง มีเพียงส่วนน้อยที่ใช้ปริมาตร ในการนำไปวัด เหตุผลที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวอ้างอิงนั้นเพราะถ้ามีสิ่งอ้างอิงอย่างหนึ่งแล้วจะทำให้หา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอื่น ๆ ได้ง่ายซึ่งค่าน้ำหนักนั้นเป็นค่าที่หาได้ง่ายกว่าค่าอื่น โดยเฉพาะข้าว คือเมื่อรู้น้ำหนักของข้าวแล้ว ก็จะทำรู้ค่าอื่น ๆ อย่างค่าความชื้นข้าว เมื่อน้ำหนักที่แตกต่างกันก็จะทำให้ค่าความชื้นหรือปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน และเมื่อข้าวต่างชนิดกันแล้ว น้ำหนักที่เท่ากันค่าปริมาตรก็จะแตกต่างกันหรือแม้แต่ข้าวที่พันธุ์เดียวกันก็ตามปริมาตรก็อาจแตกต่างกันได้ ดังนั้นการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวอ้างอิงนั้นจึงเป็นค่าที่คงที่นั่นหมายความว่า หนักจะคงที่เสมอถึงแม้ว่าปริมาตรจะเปลี่ยนไปตาม และเมื่อได้ค่าคงที่นี้แล้วในการที่จะหาค่าอื่น ๆ จึงสามารถทำได้ง่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการและเหตุผล

จากการศึกษาตัวอย่างของเครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวจากหลาย ๆ ตัวอย่าง ไม่ว่าจะ เป็นของที่ผลิตในประเทศ หรือต่างประเทศ พบว่ามีการใช้ค่าความต้านทาน (Resistance) กับค่าเก็บประจุ (Capacitance) นั้นเป็นค่าที่นำมาใช้เป็นส่วนใหญ่ เพราะในเมล็ดข้าวเปลือกนั้นจะมีค่าความชื้นอยู่หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ปริมาณของน้ำที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกนั่นเอง ดังนั้นเมื่อ ปริมาณน้ำที่อยู่เมล็ดข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมค่าความต้านทาน และค่าประจุกก็ จะแปรเปลี่ยนตามความชื้น ไปด้วย กล่าวคือเมื่อค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานของเมล็ดข้าวเปลือกก็จะลดลง แต่ค่าการเก็บประจุกมีค่าเพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น แต่โดยส่วนมากที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ก็คือการใช้ค่าประจุกเป็นตัวแสดงการเปลี่ยนแปลงไปของค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก จากการศึกษาพบว่าการใช้ค่าความต้านทาน นั้นไม่เป็นที่นิยม ก็เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกนั้น ต้องใช้ข้าวในปริมาณที่มาก เนื่องจากค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกไม่ได้ขึ้นที่เปลือกแต่ขึ้นจากภายในเมล็ด ดังนั้นค่าความต้านทานจึงมีค่ามากและเปลี่ยนแปลงไปไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปและอีกประการหนึ่งก็คือค่าความต้านทานจะไม่ค่อยคงที่เท่าที่ควรเนื่องจากจะแปรเปลี่ยนตามค่าของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ด้วย การใช้ค่าเก็บประจุกจึงให้ผลที่ดีกว่าการใช้ค่าความต้านทาน เพราะค่าประจุกจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง ไป ดังนั้นการนำเอาเมล็ดข้าวมาทำการวัดเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าประจุกเปลี่ยนไปได้

2.2 ทฤษฎีไฟฟ้าสถิต

ไฟฟ้าสถิตเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการไม่เคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้า ฉนวนไฟฟ้า และแหล่งจ่ายไฟตรง โดยส่วนใหญ่เซ็นเซอร์แบบค่าความจุ (Capacitive Sensor) จะใช้แบบแผ่นคู่ขนาน (Two Parallel Plate) ซึ่งเป็นวงจรง่ายและ ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้าน ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics) แต่ต้องมีความรู้พื้นฐานที่เคยเรียนรู้มาอย่างกว้างๆ มีหนังสือเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของไฟฟ้าสถิตของ Haus และ Melcher (1989) ที่จะสามารถค้นคว้าเกี่ยวกับรายละเอียดได้ การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์แบบค่าความจุ อาจจะใช้อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่เป็นแผ่นแบน และอาจต้องใช้

2.2.1 การประมาณค่า (Approximation)

การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์แบบค่าความจุ ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุบางส่วนบนผิวหน้าของตัวนำ และระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC potential source) สำหรับการคำนวณหาสนามไฟฟ้าและกระแส โดยหาได้จากสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's) กล่าวไว้ว่า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นของประจุและความหนาแน่นของกระแส ใช้ในวงจรเซ็นเซอร์แบบค่าความจุ แต่ให้ง่ายต่อการประมาณค่าอาจจะละทิ้งค่าของสนามแม่เหล็ก เพราะแทบจะไม่มีผลต่อความเที่ยงตรงในการคำนวณ

สมการแมกซ์เวลล์ ส่วนใหญ่จะกล่าวถึงการเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์คลื่นสนามแม่ไฟฟ้าตามหลักแล้วการคำนวณหาค่าสนามเป็นเรื่องที่ยากลำบากและยากที่จะเป็นไปได้ปรากฏการณ์คลื่นสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้น ๆ หรือค่าความถี่สูง แต่ถ้าสามารถหาข้อสันนิษฐานของสนาม อาจจะตัดสมการของแมกซ์เวลล์โดยการประยุกต์เกี่ยวกับการยืดเวลาให้ยาวหรือนานขึ้นและความถี่ที่ต่ำลง ดังนั้นจึงหาระบบที่มีตัวนำและช่องว่างที่มีคุณภาพได้ และคลื่นสนามไฟฟ้าสามารถแพร่กระจายหรือทะลุผ่านพื้นที่ตัวอย่างของระบบในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ทำให้ลักษณะของวงจรเซ็นเซอร์แบบค่าความจุ สามารถประยุกต์ให้ทำการวัดค่าที่ค่าน้อยๆ และซ้ำได้ และลักษณะของตัวนำและการนำเพียงพอต่อการหาค่าผลตอบสนองต่อเวลาคงที่ (Time constant) ของวงจรได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการของแมกซ์เวลล์ในการคำนวณหาตั้งสมการข้างล่าง

$$\nabla \times E = -\frac{\partial}{\partial t} \mu_0 H \approx 0$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial}{\partial t} \epsilon_0 E + J \approx 0$$

$$\nabla \cdot \epsilon_0 E = \rho$$

$$\nabla \cdot \mu_0 H = 0$$

กำหนดให้การกระจายความหนาแน่นประจุของชิ้นงาน (Distribution of charge density; ρ) , ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (Electric field intensity; E) , ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity; H) มีค่าประมาณศูนย์

หน่วยวัด (Units)

ค่าของแมกเนติกเพอร์เมียบิลิตี (Magnetic permeability; μ_0) ของสุญญากาศเป็นค่าคงที่มูลฐานทางฟิสิกส์อยู่ในรูปของหน่วยวัดระบบ SI มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, ค่าอิเล็กทริกเพอร์มิตติวิตี (Electric permittivity; ϵ_0) ของสุญญากาศ สามารถคำนวณหาได้จากค่าของ μ_0 และค่า c คือค่าความเร็วแสงในสุญญากาศ เท่ากับ $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$ โดยที่ค่า c มีค่าเท่ากับ 299,792,458 เมตรต่อวินาทีที่ค่า $\epsilon_0 = 8.8541878 \times 10^{-12}$ ฟาราดต่อเมตร โดยปกติค่าอิเล็กทริกเพอร์มิตติวิตี; ϵ_0 ของวัสดุฉนวนจะมีค่าสูงกว่าสุญญากาศ ซึ่งจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฉนวน (relative dielectric constant; ϵ_r) เป็นตัวคูณอยู่ด้วย โดยที่ค่า ϵ_r จะอยู่ในย่าน 2-10 เมื่อเป็นของแข็งและแห้ง แต่จะมีค่าสูงมากเมื่อเป็นของเหลว

2.2.2 ประจุและสนาม (Charges and Fields)

สมการการคำนวณค่าของสนามไฟฟ้าสถิต สามารถหาได้จากสนามไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ โดยการส่งผ่านการเปลี่ยนแปลงของประจุในระบบของวัสดุฉนวนคงที่ (Dielectric constant) ต่าง ๆ

2.2.2.1 กฎของคูลอมป์

ประจุขนาดเล็กในวัตถุฉนวนให้ ประจุ Q_1 และ Q_2 คูลอมป์มีระยะทางห่างกัน จึงมีแรงกระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton)

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2} \quad (2.1)$$

แรงกระทำของประจุจะพร้อมกันแต่มีทิศทางที่ตรงกันข้ามกัน

หนึ่งหน่วยวัดทางไฟฟ้า คูลอมป์คือประจุจำนวนมากที่มีการเคลื่อนที่โดยกระแส 1 แอมป์ภายใน 1 วินาที; ประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6026×10^{-19} คูลอมป์ ดังนั้นหนึ่งหน่วยวัดไฟฟ้ามีจำนวนอิเล็กตรอนประมาณ 6×10^8 อิเล็กตรอน แรงกระทำระหว่างประจุสองประจุขนาด 1 คูลอมป์ ที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตร แต่แรงกระทำจากไฟฟ้าสถิตสามารถละทิ้งได้เมื่อประจุมีขนาดเล็กมาก

ในทำนองเดียวกันความต่างศักย์หรือแรงดัน (โวลต์; V) สามารถหาได้จากวงจรประจุเพลตแบบขนาน (Parallel plate capacitor) โดยมีขนาดพื้นที่แผ่นเท่ากับ A ตารางเมตร และช่องว่างห่าง d เมตร จะมีพลังงานสะสมในตัวคาปาซิเตอร์ เท่ากับ

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \cdot V^2 \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

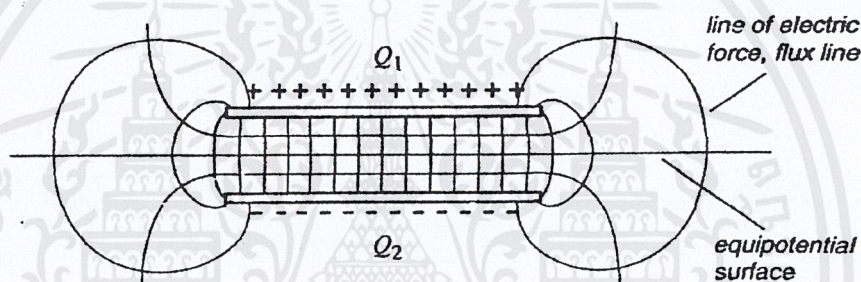
และแรงกระทำจะมีหน่วยเป็นนิวตัน คำนวณจากสมการดิฟเฟอเรนเชียล ของพลังงานต่อช่องว่างของแผ่นเพลตดังนี้

$$F = \frac{\partial E}{\partial d} = \frac{1}{2} \frac{C}{d} \cdot V^2 = \frac{-\epsilon_0 \epsilon_r}{2} \frac{A}{d^2} \cdot V^2 \quad (2.3)$$

$$F = -4.427 \times 10^{-12} \epsilon_r \frac{AV^2}{d^2}$$

สนามไฟฟ้า

แนวคิดเรื่องสนามไฟฟ้าของประจุที่กระทำต่อแผ่นเพลตคู่ขนานแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สนามไฟฟ้าของประจุที่กระทำต่อแผ่นเพลตคู่ขนาน

ระดับของแรงดัน (Voltage gradient)

ถ้ากำหนดให้แรงดันระหว่างแผ่นเพลตปราศจากทิศทาง มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โวลต์ จะสามารถหาค่าแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ภายในช่องว่างระหว่างแผ่นเพลตได้ โดยการแทนค่าที่จุดนั้นเป็นพื้นผิวหน้าแทนแผ่นเพลตกับพื้นผิวหน้าของเส้นสมมุติ (Equipotential surface) สนามไฟฟ้า; E ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทางสามารถคำนวณหาได้ดังสมการ

$$E = -\frac{dV}{dn} = -gradV = -\nabla V \quad \text{1 โวลต์ต่อเมตร} \quad (2.4)$$

เมื่อ คือค่าความต่างระหว่างจุดที่ทำกรหาภายในช่องว่างกับเส้นสมมุติที่จุดกึ่งกลาง โดยตั้งฉากกับแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 พื้นผิวหน้าแต่ละจุดจะมีค่าแรงดันคงที่และที่เส้นจุดกึ่งกลางสมมุติจะมีสนามไฟฟ้าสูงที่สุด ดังนั้นแรงดันระหว่างจุด 2 จุดภายในช่องว่างเช่น จุด a กับจุด b สามารถคำนวณหาได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ab} = \int_a^b -E \cdot dn \quad \text{โวลต์} \quad (2.5)$$

ภายในแผ่นเพลทคู่ขนานดังแสดงในรูปที่ 2.1 ค่าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง (Linear) ค่าของสนามไฟฟ้าคงที่และมีแนวตั้งฉากกับแผ่นเพลท ดังนั้นจากสมการ 2.1.5 จะได้ว่า $V_{12} = Ed$ เมื่อ d คือความกว้างของแผ่นเพลท

2.2.2.2 การนำและการเคลื่อนที่ของกระแส

เมื่อสนามไฟฟ้าคือการเกิดกระแสไหลผ่านตัววัสดุที่มาทำต่าง ๆ กระแสคือความหนาแน่นของการนำกระแสรวม (Sum of a conduction current density; J_C) และความหนาแน่นการเคลื่อนที่ของกระแส (Displacement current density; J_d) ดังนั้นจึงกำหนดชนิดหรือลักษณะเฉพาะของความหนาแน่นของกระแส (Specify current density) ในรูปของ แอมแปร์ต่อตารางเมตร

สำหรับตัวนำที่เป็นโลหะการเคลื่อนที่หรือการนำกระแส เกิดจะขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่วนตัวนำที่เป็นของเหลวนำไฟฟ้า (Electrolytes) กระแสจะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่โดยไอออน (Ions) ความหนาแน่นของกระแสสำหรับการนำกระแสสามารถหาได้ดังสมการคือ

$$J_C = \sigma E \quad (\text{แอมแปร์ต่อตารางเมตร}) \quad (2.6)$$

เมื่อ σ ค่า Conductivity มีหน่วยเป็น โอห์มต่อมิเตอร์

สำหรับฉนวนค่าความต้านทานสูงเป็นเรื่องที่ดี เพราะค่าการนำกระแสจะมีค่าเกือบเป็นศูนย์ และประจุจะส่งผ่านโดยการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของกระแส นำเป็นตัวนำในการส่งผ่านประจุได้เป็นอย่างดี แต่ในสุญญากาศจะส่งผ่านได้เพียงเล็กน้อย และเมื่อมีค่ารีเลทีฟไดอิเล็กทริกคอนสแตนต์ (relative dielectric constant; ϵ_r) สูงก็จะทำให้กระแสไหลผ่านได้ดีขึ้น การเคลื่อนที่ของกระแสจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ใกล้กับขั้วอิเล็กโทรด เกิดเป็นความต่างศักย์ และกลายเป็นแรงผลักดันประจุเพื่อให้เกิดความสมดุล การเคลื่อนที่ของกระแส (Displacement current) สามารถหาได้จากสมการ

$$J_d = \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \epsilon_r E) \quad (\text{แอมแปร์ต่อตารางเมตร}) \quad (2.7)$$

โดยที่ D คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์

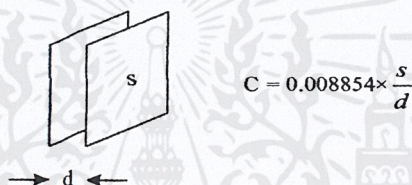
และค่า E คือ สนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 พื้นฐานของคาปาซิเตอร์เซินเซอร์

ชนิดของเซินเซอร์แบบค่าความจุ มีอยู่หลายชนิด เช่น ทรงกระบอก แผ่นคู่ขนานเป็นต้น แตกต่างกันทั้งวงจร การคำนวณหาค่าของการเก็บประจุ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบการใช้เซินเซอร์แบบค่าความจุว่าจะใช้วัดค่าอะไร การใช้เซินเซอร์แบบค่าความจุ สามารถตรวจจับค่าต่าง ๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนไหวหรือการเปลี่ยนแปลงค่าฉนวน (dielectric) และสามารถตรวจจับสิ่งของหรืออุปกรณ์ที่นำไฟฟ้า และไม่นำไฟฟ้าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบวงจร ลักษณะของงานที่จะนำไปใช้งาน และความชำนาญด้านส่วนประกอบของเซินเซอร์แบบค่าความจุ

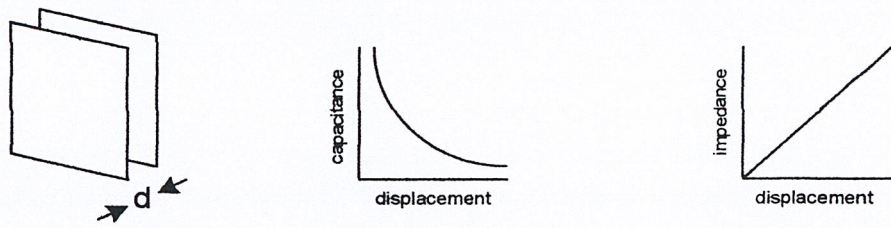
ส่วนใหญ่องค์ประกอบของเซินเซอร์แบบค่าความจุ จะใช้แบบแผ่นคู่ขนาน (Two Parallel Plate) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์แผ่นคู่ขนาน

เมื่อขนาด ความกว้าง ความยาวของแผ่นเพลตเป็นเซนติเมตร และระหว่างแผ่นเพลตเป็น ฉนวนอากาศซึ่งมีค่าคงที่ของฉนวน (relative dielectric constant; ϵ_r) ประมาณ 1 ดังนั้นค่าคาปาซิเตอร์ จึงมีค่าเท่ากับพิค โทโดยที่ไม่คิดค่าผลกระทบจากขอบหรือตะเข็บของวัสดุที่นำมาใช้ และถ้าหากแผ่นเพลตมีขนาดที่เปลี่ยนแปลง หรือช่องว่างมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นองค์ประกอบเหล่านี้จึงนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการวัดค่าฉนวนของวัสดุ และการเคลื่อนที่ของแผ่นเพลต

เมื่อช่องว่างของแผ่นเพลต เปลี่ยนแปลง ไปค่าคาปาซิเตอร์ จะไม่เป็นอิสระ แต่จะขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่เฉลี่ยของแผ่นเพลตดังนั้นเมื่อช่องว่างแผ่นเพลต เปลี่ยนแปลง ไปเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าคาปาซิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป และค่าจะไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างและค่าคาปาซิเตอร์ จะมีปัญหาถ้าใช้ในการวัดโดยตรง แต่ค่าที่ได้จะเป็นเชิงเส้น ถ้าค่าความจุ เป็นการวัดโดยการแทนภายในช่องว่าง หรือการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฉนวน ดังที่แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าคาปาซิแตนซ์

2.3 เครื่องมือวัดโดยวิธีการเก็บประจุ (Measuring Capacitance)

2.3.1 เปรียบเทียบวงจร

มีวงจรเซ็นเซอร์ตัวเก็บประจุ ดังที่แสดงในตาราง พิจารณาคุณสมบัติของระบบที่ต้องการ ความเที่ยงตรง, ราคา ขนาดและการรบกวนจากสภาพแวดล้อม อุปสรรคที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือการซ่อมบำรุง ดังแสดงในตารางวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ราคาอาจจะไม่แพง ขนาดกะทัดรัด แต่มีข้อเสีย คือจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อการรบกวนของสภาพแวดล้อมอย่างมาก ส่วน ซิงโครไนซ์บริดจ์ จะมีผลน้อย แต่ขนาดหรือวงจรจะใหญ่กว่า ราคาก็จะแพงกว่าด้วย

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบวงจรตรวจวัดค่าคาปาซิแตนซ์

Circuit	Function	Sensitive to stray capacity	Sensitive to noise	Needs ADC	Bandpass filter available	Size	Sensitive to shunt resistor
DC	volt = $1/C$	yes	5	no	no	0	5
RC oscillator or 1-shot	freq $\cong 1/RC$ period = RC	yes	5	no	no	1	5
IC oscillator (current-capacitance)	freq $\cong 1/RC$ period $\cong RC$	yes	3	no	no	2	5
LC oscillator	freq $\cong 1/\sqrt{LC}$	yes	2	no	yes	3	0
Sync., single ended	volt $\cong C1-C2$ or $C1/C2$	no	1	yes	yes	4	1
Sync., bridge	volt $\cong C1-C2$ or $1/C1-C2$	no	0	yes	yes	5	0

ตารางเปรียบเทียบวงจรตรวจวัดค่าคาปาซิแตนซ์: 0 คือ ดี, 5 คือ ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของเครื่องมือวัด โดยใช้ค่าการเก็บประจุมีตัวแปรทั้งหมด 7 ประการคือ

1.) ฟังก์ชัน

สำหรับ อาร์ซี ออสซิลเลเตอร์ (RC Oscillator) ความถี่เอาต์พุตเป็นสัดส่วนคือ $\frac{1}{RC}$ และคาบเวลาของวงจร (Period) จะเป็นตรงข้ามกับค่าความถี่นั่นก็คือ ค่าของอาร์ซี โดยที่ค่าของคาบเวลาและความถี่ทางเอาต์พุตจะแปรผัน โดยตรงกับความจุ

ส่วนวงจรซิงค์โครไนส์บริดจ์ (Two synchronous bridge circuit) ค่าความแตกต่างของสมการจะขึ้นตรงอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา โดยที่ทางเอาต์พุตค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของแรงดันเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าของความจุไฟฟ้าที่นำมาต่อในวงจร ค่าที่ได้จะค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงเมื่อค่าในช่องว่างเปลี่ยนแปลงไป

2.) ความไวของค่าความจุไฟฟ้า

เมื่อส่วนของการตรวจจับหรือแผ่นเพลตมีขนาดที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดสถานะที่เรียกว่า stray capacity มีค่าเพียงเล็กน้อยมีค่าเป็นพิโก แต่จะมีผลอย่างมากต่อการผลิตความถี่ เช่น อาร์ซี ออสซิลเลเตอร์เพราะค่าความถี่จะขึ้นตรงต่อความจุ

3.) ความไวของสัญญาณรบกวน

จะเป็นการเลี้ยวอย่างยิ่งเมื่อวงจรออสซิลเลเตอร์จะมีความถี่ที่ผิดเพี้ยนไป เมื่อค่าความจุไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น เมื่อความไวของอาร์ซีวงจรออสซิลเลเตอร์มีค่ามากทำให้ค่าของคาบเวลามีค่ามากขึ้นหรือมีค่าลดลง ก็จะทำให้ค่าความถี่เพิ่มหรือลดตามไปด้วย ปัญหานี้จะมีผลอย่างมากเมื่อนำไปใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์

4.) การแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

ความถี่ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยการนับในรูปของสัญญาณพัลส์ หากแต่ว่าสัญญาณนั้นต้องมีค่าความกว้างของคาบเวลาที่คงที่แต่ในวงจรอาร์ซี ออสซิลเลเตอร์จะไม่สามารถตรวจจับค่านับได้เนื่องจากว่าค่าคาบเวลาของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าอาร์ซี โดยตรง

แต่สำหรับวงจรซิงค์โครไนส์บริดจ์แล้ว จะสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้เลย เพราะค่าที่ได้จากทางเอาต์พุตนั้นเป็นสัญญาณแรงดัน

5.) การกรองสัญญาณความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลง

สัญญาณรบกวนที่อยู่เหนือค่าความถี่ (Wideband) จะสามารถลดลงได้เมื่อใส่วงจร กรองความถี่ผ่านเมื่อเป็นวงจรซิงค์โครไนส์บริดจ์ แต่จะไม่ใช่เป็นอย่างนั้นเมื่อเป็นวงจรอาร์ซี ออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากจะทำให้ค่าความถี่ทางเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป

6.) ขนาด

ออสซิลเลเตอร์จะใช้พื้นที่น้อยกว่าแบบซิงค์โครไนส์บริดจ์ เพราะมีส่วนประกอบน้อยกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวรรษวิสาห์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.) ความไวของความต้านทานแบบต่อขนาน

จะส่งผลอย่างมากเมื่อมีค่าความต้านทานมาต่อขนานกับตัวเก็บประจุ จะทำให้ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เมื่อเป็นวงจรรออสซิลเลเตอร์แต่กลับเกือบจะไม่มีผลเลยเมื่อเป็นวงจรซิงค์โครไนส์บริดจ์ เพราะค่าการเปลี่ยนแปลงทางเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับค่าความจุเท่านั้น

2.3.2 ค่าคงที่ของไดอิเล็กทริกของอากาศ

ข้อกำหนดขีดจำกัดสูงสุดการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r ของอากาศ สามารถคำนวณหาได้โดยที่จะมีค่ากำหนดพื้นฐานต่าง ๆ ถึงแม้ว่าค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r ของอากาศจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อความดัน อุณหภูมิ ความชื้นเปลี่ยนแปลงก็ตาม

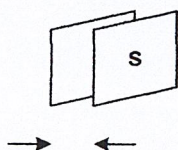
จากมาตรฐานอุณหภูมิและความดัน ค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r จะเปลี่ยนแปลง $2 \times 10^{-6} / ^\circ C$ ที่อากาศแห้ง แต่จะเพิ่มขึ้นเป็น $7 \times 10^{-6} / ^\circ C$ ที่อากาศมีความชื้นที่อุณหภูมิ $20^\circ C$ ค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r จะแปรเปลี่ยนตามความชื้น ที่ 7×10^{-5} สำหรับ R.H. เปลี่ยนแปลงจาก 40% ถึง 90% และจะเปลี่ยนแปลงที่ความดัน 1 บรรยากาศ ค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r ที่ 10^{-4} เมื่อปล่อยระยะเวลาไป 2-3 ชั่วโมงก็จะสามารถหาค่าต่างๆของการเปลี่ยนแปลงดังตารางข้างล่างนี้

ตาราง ที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฉนวนอากาศ

	Change	Coefficient	Effect
Temperature	5 $^\circ C$	5 ppm / $^\circ C$	25 ppm
Relative humidity	10%	1.4 ppm / %RH	14 ppm
Pressure	0.05 atm	100 ppm / atm	5 ppm
Total			44 ppm

2.3.3 การคำนวณค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance)

ในการคำนวณค่าความจุของไฟฟ้าของแผ่นคู่ขนานนั้น สามารถหาได้จากกฎของเกาส์ สามารถหาค่าความจุไฟฟ้า ได้จากพื้นที่ผิวที่ล้อมรอบช่องว่างของแผ่นคู่ขนานและ สารทุกชนิดจะมีค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้นๆ แต่ถ้าสารหรือฉนวนที่เป็นอากาศ แสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นค่ารวมของประจุ Q ภายในช่องว่างจะเท่ากับค่าการเคลื่อนที่ของแผ่นเพลต; S ผลก็คือ



$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = 8.854 \times 10^{-12} = \frac{\epsilon_r S}{d}$$

Where

C = ค่าความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟาราด

ϵ_0 = ค่าคงที่ของอากาศ = 8.854×10^{-12}

ϵ_r = ค่าคงที่ของฉนวนที่ความดัน 1 สูญญากาศ

S = พื้นที่ของแผ่นเพลต มีหน่วยเป็นตารางเมตร

d = ช่องว่างระหว่างแผ่นเพลต มีหน่วยเป็นเมตร

ภาพที่ 2.4 การคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ของแผ่นเพลตแบบขนาน

ค่าคงที่ของฉนวน; ϵ_r ของอากาศมีค่าประมาณ 1 ถ้าชส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 1 น้ำบริสุทธิ์มีค่าประมาณ 80 เนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต ; S และค่าความกว้างของแผ่นเพลต ; d เป็นค่าคงที่ ดังนั้นค่าประจุจึงแปรเปลี่ยนไปตามค่าคงที่ของฉนวนของสารตัวกลางที่เข้ามาแทนที่อากาศ เนื่องจากค่าคงที่ของฉนวน มีค่าสูงกว่าอากาศ หลักการวัดด้วยการวัดค่าความจุทางไฟฟ้า จึงเหมาะสำหรับสารตัวกลางที่มีค่าคงที่ของฉนวนสูงกว่าค่าคงที่ของฉนวนของอากาศมาก ๆ โดยธรรมชาติค่าคงที่ของฉนวนของสารจะเปลี่ยนค่าไปตามอุณหภูมิ , ความหนาแน่น ความชื้น , ความดัน ถ้าสารตัวกลางเป็นผง เช่น ซีเมนต์ ถ่าน เมล็ดพืชค่าคงที่ของฉนวน จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความชื้นของสารชนิดนั้น ๆ แต่ถ้าสารตัวกลางเป็นของเหลวค่าคงที่ของฉนวน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ในของเหลวชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีค่าคงที่ของฉนวน สูงกว่า ดังนั้นในเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งเป็นเมล็ดพืชก็จะมีค่าคงที่ของฉนวนมี; ϵ_r อยู่ค่าหนึ่ง แต่ค่าคงที่ของฉนวนจะแปรไปตามค่าต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น แต่ส่วนที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดก็คือค่าความชื้นเพราะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือก ยิ่งเมื่อปริมาณน้ำมีมากเท่าไร ค่าคงที่ของฉนวน ก็จะมากตามไปด้วย ส่วนอุณหภูมินั้นจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นจะเปลี่ยนประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

แต่ในความเป็นจริงภายในแผ่นคู่ขนานจะ ไม่มีเพียงแต่ค่าความจุไฟฟ้าเพียงค่าเดียว แต่จะมีค่าของความต้านทานระหว่างแผ่นอยู่ด้วยโดยค่าความต้านทานจะขนานอยู่กับค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งค่าความต้านทานจะมีค่าตามสมการ ดังนี้

$$R = \rho \frac{d}{A} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; ρ = สัมประสิทธิ์ความต้านทานจำเพาะของวัสดุ

; d = ความกว้างของแผ่นเพลต

; A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต

ค่าของรีซิสติวิตี (Resistivity) ; ρ จะมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{2\sqrt{3mkT}}{ne^2\lambda} \quad (2.9)$$

; m = มวลอิเล็กตรอน = $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

; e = ประจุของอิเล็กตรอน = 1.602×10^{-19} คูอมบ์

; k = ค่าคงที่ของ Boltzmann = 1.38×10^{-23} จูลต่อองศาเควิน

; T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็นองศาเควิน

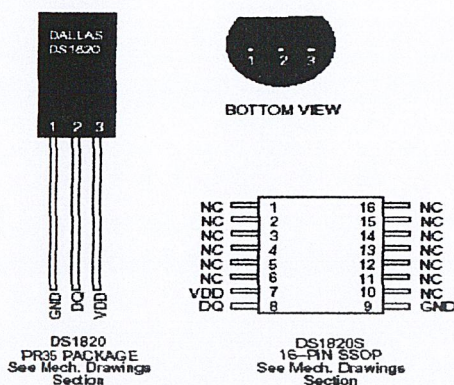
; λ = ทางเดินอิสระ

จะเห็นว่าค่าความต้านทาน จะแปรตามค่าของอุณหภูมิ และ จะแปรผกผันกับค่า λ ดังนั้นเมื่อค่า λ คงที่แล้ว ค่าความต้านทาน จะแปรเปลี่ยนตามค่าของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนั่นเอง อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานจะมีค่าสูงมากถึงแม้ว่าจะมีเมล็ดข้าวเปลือกก็ตาม เพราะในความเป็นจริงค่าความชื้นจะอยู่ภายในเมล็ดข้าว ไม่ได้อยู่ที่เปลือกข้าวคิงที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่จะมีผลต่อค่าเวลาคงที่ (Time constant) ขณะเริ่มต้นของการทำงานของวงจรเท่านั้นเอง

2.4 วงจรชดเชยอุณหภูมิ

ในการอ่านค่าอุณหภูมิใช้ไอซีเบอร์ DS1820 เป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อแบบระบบบัส 1 สาย มีขาต่อใช้งานเพียง 3 ขา คือ DQ ซึ่งเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบบัส, ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอก และขากราวด์คิงแสดงการจัดขาคิงแสดงภาพที่ 2.5

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND	-	Ground
DQ	-	Data In/Out
V _{DD}	-	Optional V _{DD}
NC	-	No Connect

ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะตัวไอซี DS1820

2.4.1 บล็อกไดอะแกรมภายใน

ในรูปที่ 2.4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของการทำงานต่างๆ ภายในตัว DS1820 จะเห็นว่ามีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต, ส่วนเซนเซอร์อุณหภูมิและส่วนกระตุ้นเตือนอุณหภูมิแบบ non - volatile (TH และ TL) โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมสถานะการเพาเวอร์ ออน และเพาเวอร์ ออฟจากไลน์ข้อมูล เพียง 1 สายข้อมูลจากการเก็บรักษากำลังงานสำรองไว้ในตัวเก็บประจุภายใน ในช่วงระหว่างคาบเวลาเมื่อสัญญาณภายในไลน์มีสถานะเป็นสูง และจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และการหยุดการทำงานก็จะเกิดขึ้นจากการหยุดจ่ายแหล่งจ่ายในช่วงระหว่างค่านเวลานั้นเป็นค่า ของไลน์ข้อมูล และจะหยุดอยู่เช่นนั้นจนกว่าขา ไลน์ข้อมูลจะกลับมาเป็นสูงอีกครั้ง จึงจะเกิดการการทำงานที่ DS1820 และแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับไอซีนี้ก็จะ ได้จากแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ภายนอก

การติดต่อข้อมูลกับ DS1820 จะติดต่อผ่านพอร์ตเพียงพอร์ตเดียวคือ 1- Wire port ภายในพอร์ต 1- Wire นี้ในส่วนของหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันจะยังไม่รับรู้ข้อมูลใดๆทั้งสิ้นก่อนที่ฟังก์ชันโปรโตคอลของ ROM จะถูกทำการเซตค่าเสียก่อน ในส่วนสำคัญของการทำงานฟังก์ชันอันดับแรกซึ่งเป็นหนึ่งในห้าอันดับของการสั่งการฟังก์ชันใน ROM ก็คือ

- 1.) อ่านหน่วยความจำ ROM
- 2.) ทำการแมทซ์ ROM
- 3.) ค้นหา ROM
- 4.) กระโดดข้าม ROM , เตือนการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

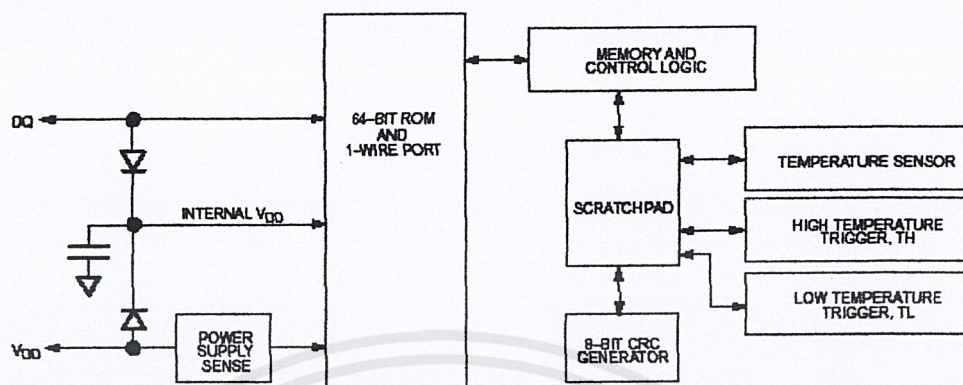
ซึ่งการทำงานของระบบการตั้งการนี้จะทำงานบนพื้นที่หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต ผ่านพอร์ตของ ไอซีแต่ละตัวสามารถให้เอาต์พุตเดียว เพื่อการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ ตรวจสอบอุณหภูมินี้หลายๆ ตัวก็ทำได้ โดยตั้งการผ่านไลน์ข้อมูล 1- Wire นี้ หลังจากที่ฟังก์ชันใน ROM ถูกลำดับการทำงานแล้วก็พร้อมที่จะถูกใช้งานหรือเริ่มต้นการทำงานได้แล้ว และสามารถที่จะเข้าถึงการทำงานได้และส่วนจัดเก็บค่าที่เซตไว้สามารถหรืออาจจะถูกเก็บไว้ในพื้นที่ 1 ส่วนจากทั้งหมด 6 ส่วนของหน่วยความจำและส่วนควบคุมฟังก์ชันการตั้งการ

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DS1820

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันไฟเลี้ยง	VDD	2.2 ถึง 5.5	โวลต์
แรงดันขาข้อมูล	I/O	-0.5 ถึง +5.5	โวลต์
ความผิดพลาดของการวัดอุณหภูมิ	TERR	± 0.5	องศาเซลเซียส
กระแสซิงค์	IL	-0.4	มิลลิแอมป์
กระแสขณะเสตนด์บาย	IQ	200-350	นาโนแอมป์
กระแสขณะทำงาน	IDD	1-1.5	มิลลิแอมป์
กระแสโหลดทางอินพุต	IL	5	ไมโครแอมป์
ค่าเวลาการแปลงอุณหภูมิ	TCONV	200-500	มิลลิวินาที
ค่าเวลาไทม์สล็อต	TSLOT	60-120	ไมโครวินาที
ค่าความจุ I/O	C IN/OUT	25	พิโกฟาราด
เวลาการอ่านข้อมูล	TRDV	15	ไมโครวินาที
ย่านอุณหภูมิทำงาน	To	-55 ถึง +125	องศาเซลเซียส

ส่วนควบคุมฟังก์ชันการตั้งการหนึ่งส่วนจะถูกกำหนดคุณสมบัติของ DS1820 ให้อยู่ในรูปแบบของการวัดค่าของอุณหภูมิซึ่งผลของการวัดนี้จะถูกบันทึกไว้ใน DS1820 ในส่วนของหน่วยความจำส่วนหนึ่ง (scratchpad) และบางครั้งก็จะอ่านออกมาได้จากตารางสารบัญของหน่วยความจำฟังก์ชัน การตั้งการซึ่งเป็นการตั้งการเฉพาะหัวข้อที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ (scratchpad) สัญลักษณ์กระตุ้นเตือนค่าอุณหภูมิสูงเกินและต่ำเกิน (TH และ TL) จะประกอบด้วย 1 ไบต์ EEPROM ถ้าสัญลักษณ์เตือนการค้นหาไม่ถูกจ่ายเข้าไปยัง DS1820 รีจิสเตอร์เหล่านี้บางครั้งจะถูกใช้ได้อย่างทั่วๆ ไปจากหน่วยความจำที่ผู้ใช้งานกำหนดได้และการเขียนเข้าไปในส่วนของการเตือน TH และ TL จะไม่ใช่หน่วยความจำฟังก์ชันตั้งงานและการอ่านเข้าไปถึงรีจิสเตอร์นี้จะอ่าน

ผ่านหน่วยความจำ (scratchpad) และข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการอ่านและเขียนจะกระทำได้ในบิตแรกของ LSB

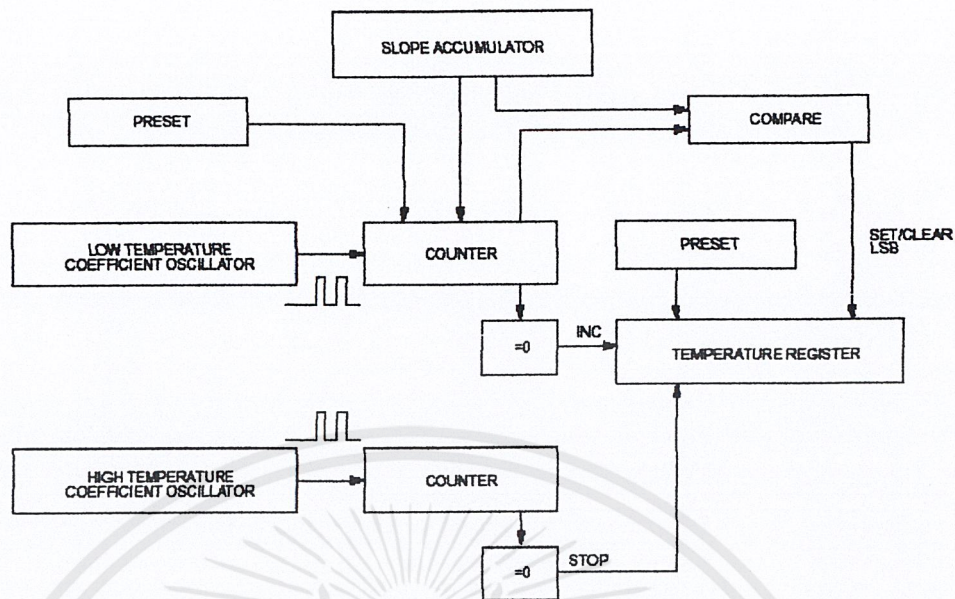


ภาพที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมภายใน DS1820

2.4.2 การทำงานในการวัดอุณหภูมิ

DS1820 จะทำการวัดค่าอุณหภูมิโดยอาศัยเทคนิคการวัดแบบอนบอร์ดพิเศษ ซึ่งเทคนิคการวัดอุณหภูมิโดยเฉพาะของอุปกรณ์ชนิดนี้ ในรูปที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิของ DS1820 ซึ่งจะอาศัยการวัดอุณหภูมิ โดยใช้การวัดจำนวนวอร์บของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมา ช่วงค่าเวลาเกิดของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลตขึ้นมาจะเป็นการกำหนดได้จากช่วงเวลาที่มียค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิค่า ไปจนถึงสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูงซึ่งจะมีค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าการนับตัวเลขจะเริ่มนับที่อุณหภูมิค่าสุดพื้นฐาน คือ -55 องศาเซลเซียส ถ้าการนับสัญญาณนาฬิกาถึงค่าศูนย์ก่อนที่ค่าเวลาเกิดจะเกินมา รีจิสเตอร์อุณหภูมิก็จะแสดงผลที่ค่า -55 องศาเซลเซียส ถ้าหากค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การแสดงผลของอุณหภูมิขณะนั้นก็จะสูงกว่า -55 องศาเซลเซียส

ในการทำงานเดียวกันนี้ การตั้งค่าของการนับจะกำหนดได้จากการเพิ่มความลาดลงของวงจรมับ ซึ่งวงจรมับนี้ต้องการการชดเชยสำหรับการแสดงคุณสมบัติของส่วนโค้งของออสซิลเลเตอร์ที่อุณหภูมิมีค่าเกินมา วงจรมับก็จะนับสัญญาณนาฬิกาอีกครั้งจนกว่ามันจะได้ค่าเป็นศูนย์ ถ้าคาบเวลาเกิดอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง ไม่มีการปรับแต่งก็จะเกิดการประมวลผลใหม่อีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าอุณหภูมิ

การคำนวณค่าภายใน DS18B20 จะให้ค่าความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อสตีปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การอ่านค่าของอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ภายใน 16 บิต โดยมีนัยสำคัญของตัวเลขสองส่วนประกอบการอ่าน ในตารางที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะรายละเอียดความสัมพันธ์ของข้อมูลทางเอาต์พุตกับการจัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

ค่าอุณหภูมิ	ดิจิทัลเอาต์พุต (Binary)	ดิจิทัลเอาต์พุต (Hex)
+125 °C	00000000 11111010	00FAh
+25 °C	00000000 00110010	0032h
+1/2 °C	00000000 00000001	0001h
+0 °C	00000000 00000000	0000h
-1/2 °C	11111111 11111111	FFFFh
-25 °C	11111111 11001110	FFCEh
-55 °C	11111111 10010010	FF92H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นอนุกรมบนการอินเตอร์เฟสกับสายข้อมูล 1-Wire ซึ่ง DS1820 สามารถทำการวัดค่าอุณหภูมิได้เกินย่านตั้งแต่ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาต่อ สเต็ป ค่าอุณหภูมิที่ถูกทำการปรับตั้งไว้ใน DS1820 ในเทอมของ 0.5 องศาเซลเซียส LSB ซึ่งจะเป็นไปตามแบบของข้อมูล 9 บิต

ที่ MSB บิตเป็นคู่เปรียบเทียบกับทุกบิตใน MSB สูงสุดของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 2 ไบต์ ในหน่วยความจำซึ่งการอ่านค่าอุณหภูมิแบบ 16บิตในลักษณะสำคัญต่างๆ ก็แสดงไว้ในตารางที่ 2.8

2.4.3 การทำงานของสัญญาณเตือน

หลังจากที่ DS1820 มีการตรวจวัดอุณหภูมิเกิดขึ้นแล้วค่าของอุณหภูมิก็จะทำการเปรียบเทียบเพื่อทำเป็นสัญญาณกระตุ้น การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจะเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกบันทึกหรือกำหนดไว้ของค่าอุณหภูมิสูงสุด (TH) และค่าอุณหภูมิต่ำสุด (TL) ตลอดย่านอุณหภูมิที่วัดได้ โดยที่จะใช้พื้นที่รีจิสเตอร์ 8 บิตสำหรับการทำงานนี้ ใน MSB ของ TH หรือ TL ที่ตรงกันก็จะถูกส่งไปยัง MSB ของรีจิสเตอร์อุณหภูมิขนาด 16 บิต ถ้าผลของการวัดอุณหภูมิต่ำกว่า TH หรือต่ำกว่า TL ลำดับสัญญาณเตือนภายในก็จะถูกเซต DS1820 จะมีการตอบสนองนำไปสู่การค้นหาสัญญาณการสั่งการและจะยอมให้ทำการต่อ DS1820 ในลักษณะขนานกันหลายตัว ได้เพื่อทำการจำลองการวัดค่าอุณหภูมิแล้วนำมาเฉลี่ยค่าของการวัดในครั้งนั้นอีกขั้นตอนหนึ่ง

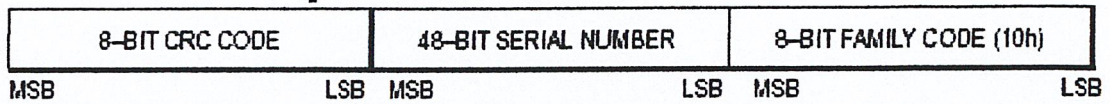
2.4.4 64 บิตเลเซอร์รวม

ใน DS1820 นั้นจะประกอบด้วยส่วนของรหัสหน่วยความจำรวมที่มีความยาวถึง 64 บิต โดยใน 8 บิตแรกจะเป็นรหัสระบุตระกูล (family code) 1-Wire ของ DS1820 (DS1820 มีรหัสเป็น 10h) และอีก 48 บิตต่อมาเป็นส่วนระบุอนุกรมตัวเลข (serial number) และอีก 8 บิต สุดท้ายคือส่วนบันทึก CRC ของ 56บิตแรก ดังแสดงการแบ่งส่วนไว้ในรูปที่ 2.7 หน่วยความจำรวมขนาด 64 บิต และส่วนควบคุมฟังก์ชันรวมนี้จะยอมให้ DS1820 สามารถทำเป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบ 1-Wire ได้ และมีรายละเอียดตามโปรโตคอลของระบบบัส 1-Wire ซึ่งฟังก์ชันและส่วนควบคุมต่างๆ ใน DS1820 จะยังไม่สามารถทำงานหรือเข้าถึงได้จนกว่าจะมีการเซตอัพโปรโตคอลฟังก์ชัน ในหน่วยความจำรวมเสียก่อน โดยในการอินเตอร์เฟสในส่วนหลักของฟังก์ชันการสั่งการในหน่วยความจำรวมจะต้องมีการลำดับฟังก์ชันดังนี้คือ

- 1.) อ่านรวม
- 2.) แมทซ์รวม
- 3.) ค้นหา
- 4.) กระโดดข้ามรวม
- 5.) เตือนการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

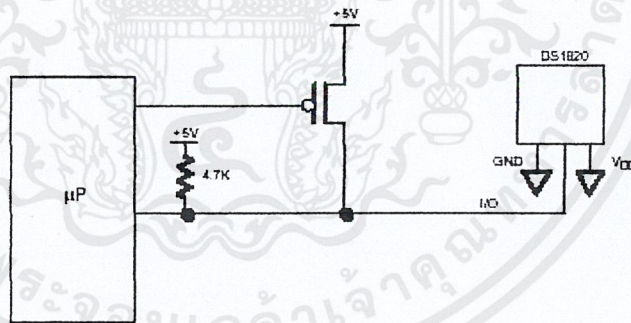
หลังจากการเซตลำดับฟังก์ชันรอมดั่งข้างต้นเสร็จแล้วฟังก์ชันต่างๆ ของ DS1820 ก็จะสามารถเข้าถึงได้



ภาพที่ 2.8 แสดงการแบ่งส่วนในหน่วยความจำรอม

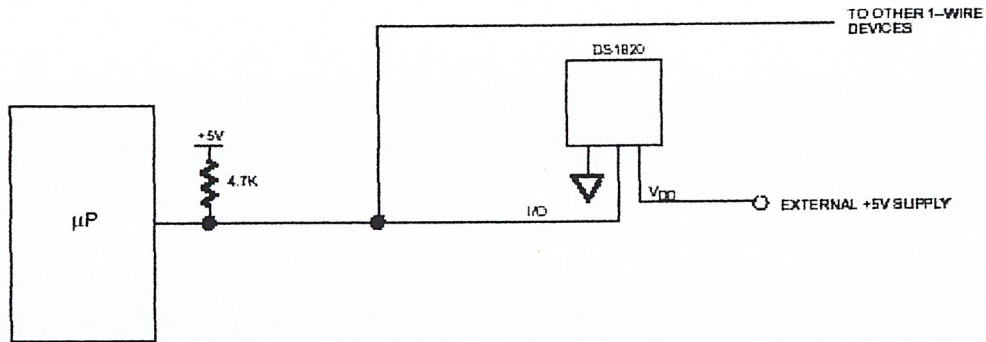
2.4.5 การจัดหาแหล่งจ่ายไฟ

ในภาพที่ 3.2.2.5 เป็นการต่อ DS1820 ร่วมกับ ไมโคร โปรเซสเซอร์ เพื่อการควบคุมจากระยะไกล จะสังเกตว่าขาที่รับไฟเลี้ยง VDD ของ DS1820 นั้นจะถูกต่อไว้กับกราวด์ แต่จะได้รับไฟเลี้ยงมาจากขา I/O ข้อมูลในแบบ 1-Wire จากระบบควบคุมหลัก ไมโคร โปรเซสเซอร์แทน ซึ่งวิธีนี้จะใช้สำหรับการควบคุมจากระยะไกลและไม่ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟภายนอกให้กับ DS1820 ให้ยุ่งยาก เพราะในการอินเทอร์เฟสแบบ 1-Wire นี้จะสามารถทำการกำหนดการทำงาน (power on) ของไอซีได้จากคำสั่งของไมโคร โปรเซสเซอร์ จึงไม่สิ้นเปลืองกำลัง และจะเป็นในลักษณะการกระตุ้นแหล่งจ่ายไฟสำรองที่เป็นตัวเก็บประจุภายในไอซีให้จ่ายไฟเลี้ยงวงจรภายในตัวไอซีแทน



ภาพที่ 2.9 แสดงการจัดหาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ DS1820 ในบัส 1-Wire

ส่วนในภาพที่ 2.9 เป็นการจัดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายนอกให้กับ DS1820 ณ จุดที่ติดตั้งใช้งาน และการสั่งการจากไมโคร โปรเซสเซอร์ก็ยังสามารถทำงานได้เหมือนเดิมและสามารถที่จะต่อ DS1820 ขนานกันโดยใช้การอินเทอร์เฟสผ่านบัส 1-Wire เดียวกันได้หลายตัวที่เดียว จึงเหมาะกับการตรวจวัดอุณหภูมิหลายจุดที่ควบคุมได้จากระยะไกลผ่านระบบไมโคร โปรเซสเซอร์



ภาพที่ 2.10 แสดงการจัดแหล่งจ่ายไฟภายนอกและการอินเตอร์เฟสร่วม DS1820 หลายตัว บนบัส 1-Wire

2.5 วงจรแสดงผล

อุปกรณ์ในปัจจุบันนี้ในส่วนแสดงผลนั้นจะใช้ LCD เสียเป็นส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่น VEDIO, เครื่องถ่ายเอกสาร, เครื่องมือวัดคุมต่างๆ, คอมพิวเตอร์ เราพอจะแบ่ง DOTMATRIX LCD MODULE นี้ออกได้เป็นพวกๆดังนี้

- 1.) ลักษณะ โมดูลของ LCD
- 2.) กราฟฟิค โมดูลของ LCD
- 3.) ส่วนแสดงผล โมดูลของ LCD

โดยในแต่ละแบบจะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ แบ่งได้เป็น

1. ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก คั้งนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD
2. ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์มาควบคุมการทำงานของ โมดูล LCD เช่นลบจอภาพ แสดงตัวอักษรหรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ
3. ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้แสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนดไว้

ในการศึกษาการทำงานและใช้งาน โมดูล LCD นั้นไม่ใช่เรื่องยากเลยถ้าเราสามารถทำความเข้าใจในส่วนของส่วนควบคุม ได้ก็เพียงพอแล้วและ โดยมาก โมดูล LCD ในแต่ละบริษัทแล้วจะใช้ ตัวควบคุม ที่มีหลักการทำงานเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่และใน โมดูล LCD แต่ละขนาดจำนวน ตัวอักษรหรือจำนวนบรรทัดก็มีหลักการทำงานแบบเดียวกันทั้งหมด ไอซี ที่นิยมใช้เป็นตัวควบคุม LCD คือเบอร์ HD4470 จะ ใช้แบบ ลักษณะ โมดูลของ LCD (CHARACTER LCD MODULE) เป็น

ส่วนใหญ่และเบอร์ไอซี HD61830 จะใช้ในแบบกราฟฟิกโมดูลของ LCD (GRAPHIC LCD MODULE)

HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆ ตัวมันเอง สามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิตหรือ 8 บิตก็ได้ โดยถ้าเราต่อแบบ 4 บิตจะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้น HD44780 จะถือเป็นข้อมูล 4 บิตบน และข้อมูลที่ส่งต่อมานั้นเป็นข้อมูล 4 บิตล่าง

2.5.1 รายละเอียดของคำสั่ง

1. การขจัดส่วนแสดงผล (CLEAR DISPLAY)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

แสดงคำสั่ง การขจัดส่วนแสดงผล

คำสั่งนี้จะเป็นการเขียนช่องว่างหรือ SPACE (ASCII 20H) เข้าไปใน DD RAM ทั้งหมด และทำการเซ็ต DD RAM ADDRESSER เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์ จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพเซ็ต I/D = 1 และ S ไม่มีการเปลี่ยน

2. รีเทิร์น โฮม (RETURN HOME)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

* No effect

แสดงคำสั่งรีเทิร์น โฮม

คำสั่งนี้จะทำการเซ็ต DD RAM ADDRESSER เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์ จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพข้อมูลในจอภาพไม่เปลี่ยน

3. การเข้าโหมดเซ็ต (ENTRY MODE SET)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	S
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---

แสดงคำสั่ง การเข้าโหมดเซ็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตI/D : โดยจะเป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ตำแหน่ง DD RAM เพิ่มขึ้นหนึ่งหรือลดลงหนึ่ง โดย 1= เพิ่ม และ 0 = ลดลงหนึ่ง

บิตS : เป็นการกำหนดแสดงผลโดยถ้า

S = 1 จะเป็นการใส่ข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์ อยู่ที่ที่ ข้อมูลจะถูกค้น ไปทางซ้าย

S = 0 ข้อมูลจะอยู่ที่ที่ ตัวเคอร์เซอร์ จะถูกค้น ไปทางขวามือ

4. การควบคุมส่วนแสดงผลปิด- เปิด (DISPLAY ON/OFF CONTROL)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

แสดงคำสั่ง การควบคุมส่วนแสดงผลปิด- เปิด

บิตD : เป็นบิต ให้เปิดปิดหน้าจอภาพโดยถ้า

D = 1 จะ ON

D = 0 จะ OFF

บิตC : จะให้แสดงเคอร์เซอร์ ให้ บิตC = 1 และถ้าไม่ต้องการแสดงเคอร์เซอร์ ให้ บิตC = 1

บิตB : เป็น บิตเซต การกระพริบของ CURSOR โดย B = 1 จะกระพริบ B = 1 จะไม่กระพริบ โดยมีระยะเวลาการกระพริบประมาณ 379.2×10^{-3} วินาที

5. การเลื่อนส่วนแสดงผล(CURSOR OR DISPLAY SHIFT)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*
---	---	---	---	---	---	-----	-----	---	---

* No effect

แสดงคำสั่ง การเลื่อนส่วนแสดงผล

เป็นคำสั่งกำหนดให้ตำแหน่งเคอร์เซอร์ หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือขวาโดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่านโดย

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปแต่ละตำแหน่ง

S/C	R/L	
0	0	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปทางขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการค้นตัวอักษรที่เกิด ไปทางซ้าย
1	1	เป็นการค้นตัวอักษรที่เกิด ไปทางซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การเซตฟังก์ชัน(FUNCTION SET)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

* No effect

แสดงคำสั่งเซตฟังก์ชัน

บิต DL : เป็นการเซต การติดต่อกว่าจะใช้เป็นแบบ 8 บิตหรือ 4 บิตโดยถ้าต้องการ 4 บิตให้

DL = 1

N : เป็นการบิต บรรทัดการแสดงผล N = 0 แสดง 1 บรรทัด N = 1 แสดง 2 บรรทัด ในกรณีมากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้เซต N = 1

F : เป็นการเซต ขนาด DOT การแสดงผล 5×7 หรือ 5×10 โดย F = 0 เป็นแบบ 5×7 และ F = 1 เป็นแบบ 5×10

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดย่อยของคำสั่งเซตฟังก์ชัน

N	F	No. of display line	Character Front	Duty factor	Remarks
0	0	1	5×7 dots	1/8	
0	1	1	5×10 dots	1/11	
1	*	2	5×7 dots	1/16	Cannot display 2 line With 5×7 dots character font

* No effect

7. การตั้งค่าตำแหน่ง CG แรม (SET CG RAM ADDRESS)

RS R/W DB7DB0

0	0	0	1	A	A	A	A	A	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

← Higher Order Bit

Lower Order Bit →

แสดงคำสั่งการตั้งค่าตำแหน่ง CG RAM

ใน HD44780 นั้นจะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุด คือ DISPLAY DATA RAM (DD RAM)

จำนวน 80×8 บิตและ CHARACTER GENERATOR ROM CG แรมจำนวน 512 บิต และ 7200 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งนี้จะเป็นการเซตตำแหน่ง ใน CG RAM โดยต้องทำการเซตตำแหน่ง ก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูล จาก CG RAM ด้วย

8. การตั้งค่าตำแหน่ง DD RAM (SET DD RAM ADDRESS)

RS R/W DB7DB0

0	0	1	A	A	A	A	A	A	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

← Higher Order Bit

Lower Order Bit →

แสดงคำสั่งการตั้งค่าตำแหน่ง DD RAM

9. การอ่านแฟลกและตำแหน่ง(READ BUSY FLAG AND ADDRESS)

RS R/W DB7DB0

0	1	BF	A	A	A	A	A	A	A
---	---	----	---	---	---	---	---	---	---

← Higher Order Bit

Lower Order Bit →

แสดงคำสั่ง การอ่านแฟลกและตำแหน่ง

เป็นคำสั่งอ่านค่า BUSY แฟลก ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าตัว HD44780 นี้ อยู่ในขบวนการทำงานภายในอยู่ หรืออยู่ในสภาพพร้อมจะรับข้อมูล โดย

BF = 1 อยู่ในขบวนการทำงานภายใน ไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

BF = 0 พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่งได้

และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านข้อมูลตำแหน่ง ของ CG RAM หรือ DD RAM ด้วย

10. การเขียนข้อมูลที่ CG หรือ DD RAM (WRITE DATA TO CG หรือ DD RAM)

RS R/W DB7DB0

1	0	D	D	D	D	D	D	D	D
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

← Higher Order Bit

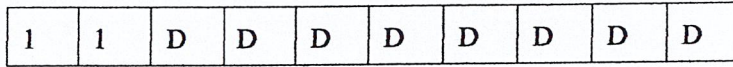
Lower Order Bit →

แสดงคำสั่ง การเขียนข้อมูลที่ CG หรือ DD RAM

เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลเข้าไปใน CG หรือ DD RAM โดยเมื่อเขียนข้อมูลและตำแหน่ง จะเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติตามคำสั่งที่เซต ในการเข้าโหมด ข้อกำหนดที่จะรู้ว่าเป็นการเขียนข้อมูลของ CG RAM หรือ DD RAM ทำได้โดยการการเซตตำแหน่งของ CG RAM หรือ DD RAM ขึ้นมาก่อนจะเขียนข้อมูล

11. การอ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD RAM(READ DATA FROM CG OR DD RAM)

RS R/W DB7DB0



← Higher Order Bit

Lower Order Bit →

แสดงคำสั่ง การอ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD RAM

เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลจาก CG RAM หรือ DD RAM โดยอ่านค่าจาก DD RAM หรือ CG RAM นี้ควรจะใช้คำสั่งเช็คตำแหน่ง ก่อนเพื่อให้รู้ข้อมูลที่อ่านนั้นเป็น DD RAM หรือ CG RAM จากตารางการทำงานจะเห็นว่าการใช้งานโมดูล LCD นั้นง่าย เพียงแต่เราส่งคำสั่งเริ่มแรกและเช็คความต้องการในขนาดตัวอักษร CURSOR หลังจากนั้นเราก็สามารถเขียนตัวอักษรเข้าไปใน DD RAM ได้

2.5.2 ขาต่างๆในการต่อใช้งาน

1. การเลือกตัวบันทึกข้อมูล(REGISTER SELECTION) จะเป็นขาเลือกตัวบันทึกข้อมูลภายในซึ่งมีอยู่ 2 ตัวคือ โครงสร้างตัวบันทึกข้อมูล (INSTRUCTION REGISTOR ;IR) และข้อมูลของ ตัวบันทึกข้อมูล(DATA REGISTER ;DR) โดยถ้าเป็น 1 จะเป็นการเลือกข้อมูลของ ตัวบันทึกข้อมูล และถ้าเป็น 0 จะเป็นการเลือกโครงสร้างตัวบันทึกข้อมูล
2. อ่านและเขียน(READ/WRITE) เป็นตัวเลือกว่าจะเขียนหรือจะอ่านข้อมูลจากตัว IC โดยอ่านข้อมูล = 1 และเขียนข้อมูล = 0
3. การกำหนดสัญญาณ (ENABLE SIGNAL) เป็นขากำหนดสถานะการรับเขียนอ่านข้อมูล
4. DB0-DB7 เป็นขารับส่งข้อมูลจากตัว IC
5. VDD ไฟเลี้ยงตัววงจร +5 โวลต์
6. VSS เป็นขากราวน้ำ
7. VO เป็นขาปรับแรงดัน ในการขับ LCD ให้สว่างหรือมืด

<p>S = 1 : ตัวอักษรจะถูกเลื่อน</p> <p>S/C=1 : ตัวอักษรถูกเลื่อน S/C=0 : เคอร์เซอร์ถูกเลื่อน</p> <p>R/L=1 : เลื่อนไปทางขวา</p> <p>R/L=0 : เลื่อนไปทางซ้าย</p> <p>DL=1 : 8 บิต</p> <p>4 บิต</p> <p>N = 1 : 2 บรรทัด</p> <p>บรรทัด</p> <p>F = 1 : 5×10 จุด</p> <p>5×7 จุด</p> <p>BF=1 : การทำงานภายในยังไม่เสร็จสิ้น</p> <p>BF=0 : สามารถรับคำสั่งใหม่ได้</p>	<p>ACG : ตำแหน่ง CG RAM</p> <p>ADD : ตำแหน่ง DD RAM</p> <p>AC :</p> <p>D/L = 0 :</p> <p>N = 0 : 1</p> <p>F = 0 :</p>
--	--

2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิดคือ สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล สัญญาณอนาล็อก จะใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเก่า

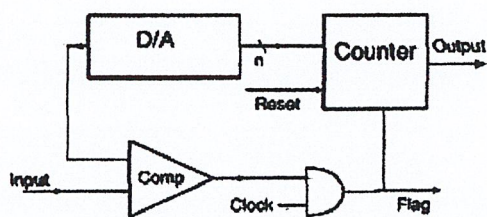
ในปัจจุบันนี้มีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เข้ามาช่วยในการควบคุม อุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้สัญญาณดิจิทัลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้นเราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ควบคุมระบบต่อไป

แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอนและแม่นยำสูงแต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิทัลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบอนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง

อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิทัลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

2.6.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แบบ เคาเตอร์ คอนเวอร์เตอร์

เคาเตอร์คอนเวอร์เตอร์ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังภาพที่ 2.11



Analog To digital Converter

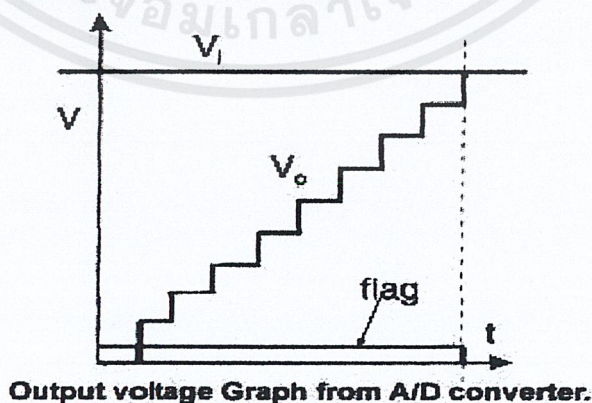
ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการทำงานแบบ เคาเตอร์ คอนเวอร์เตอร์

จากวงจรเคาเตอร์ เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (ดี/เอ) มีขาเรซเซต รับสัญญาณ รีเซต เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่

ดี/เอเมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณ อนาล็อกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าหนึ่งแล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ คอมพาราเตอร์(Comparator) จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุตและค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ศูนย์โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ศูนย์โวลต์ออกมา(ลอจิก1)

ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกา ก็จะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิตอลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จากตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิตอลจากตัวนับที่ต้องการ

จากคำอธิบายข้างต้นจะได้กราฟของ V_O ดังนี้



ภาพที่ 2.12 แสดงกราฟเอาต์พุตที่ได้จากแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

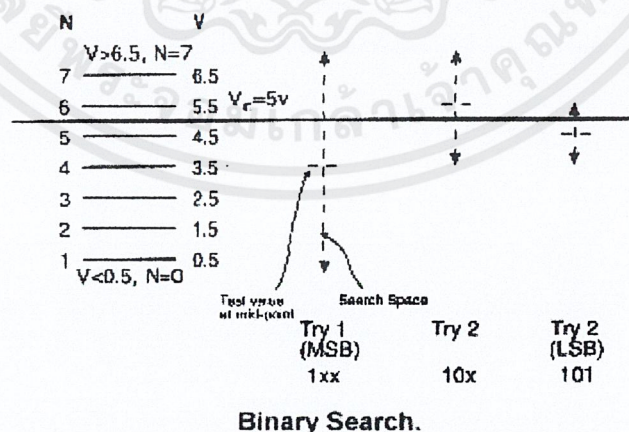
ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุทที่ได้จะมีคิเลย์ จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุทใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

2.6.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ ซักเซตซีพแอฟ พร็อกซิเมชัน (Successive Approximation)

ใช้หลักการของไบนารี เซิร์ช (binary search) ในการหาคำตอบโดยนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่ามันน้อยกว่าหรือมากกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า $(0+7)/2 = 4$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า $(0+4)/2 = 2$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า $(2+4)/2=3$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ

ข้อดีของวิธีนี้ คือเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบแน่นอนสำหรับ เอ็น- บิต คอนเวอร์เตอร์ (n bit converter) ซึ่งอ้างอิงได้ 2^n ระดับ และระดับแรงดันอินพุทที่คงที่ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบเคาติงอัลกอริทึม (Counting Algorithm)

แต่มีข้อเสีย คือถ้า ระดับไบนารี เซิร์ช เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ ไบนารี เซิร์ช อยู่นั้น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด ตัวอย่างเช่น เปลี่ยนระดับ แรงดันอินพุท จาก 5 Volt เป็น 2 โวลต์



ภาพที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบกึ่งกลางของช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

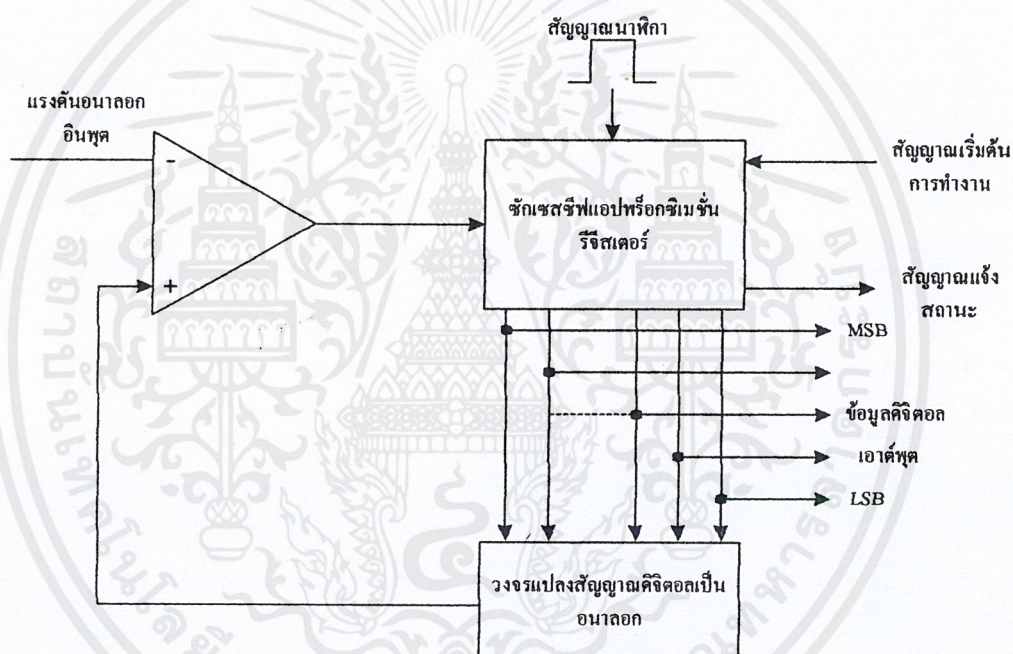
ช่วงของแรงดันอินพุต (V_{in}) คือ 1-7 ใช้ $n=3$ (เพราะว่า $2^3=8$)

ครั้งแรก ใช้ 4 เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วงต่ำ ได้ $1xx$

ครั้งที่ 2 ใช้ 2 เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วงสูง ได้ $10x$

ครั้งที่ 3 ใช้ 3 เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะผิดพลาด ได้ 100

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ที่ได้รับความนิยมสูงสุดและมีประสิทธิภาพดีคือ การแปลงแบบซิกเซตซีฟแอปพริอ็อกซิเมชันคือ การแปลงแบบประมาณใกล้เคียงนั่นเอง โคอะแกรมการทำงานดังแสดงในรูป ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก



ภาพที่ 2.14 โคอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร เอซีดี แบบซิกเซตซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน

ความเที่ยงตรงของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก ของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล กับแรงดัน ที่ควรเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต เมื่อเทียบกับแรงดันอนาลอกควรมีเท่ากับ 5.0000 โวลต์ แต่จากการคำนวณได้ค่าแรงดัน 4.9804 โวลต์ นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 โวลต์ แต่การบอกความเที่ยงตรงของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจรแปลง

สัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางทีเรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm 1/2$ LSB

ข้อมูลเบื้องต้นของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยใช้ไอซี PCF8591

ไอซีเบอร์ PCF8591 เป็นไอซีที่มีความสามารถสูง เนื่องจากในตัวมันมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกอีก 1 ช่องระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น

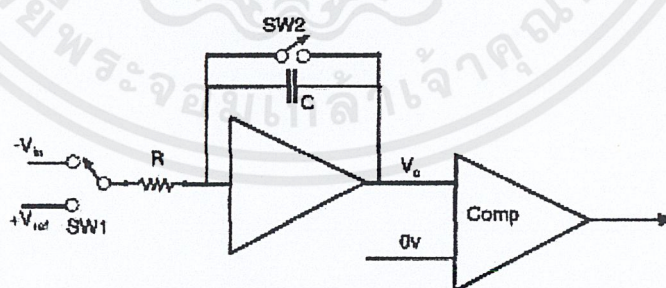
- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5 โวลต์ ถึง 6 โวลต์
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
- เลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้

สูงสุด 8 ตัว

- อัตราการส่งข้อมูล ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เดือนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันขนาด 8 บิต

2.6.3 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบดวล-สโลปเอ็ดจี (Dual-Slope ADC)

ใช้หลักการของวงจร อินทิเกรเตอร์ทำงานร่วมกับตัว คอมพาราเตอร์ดังแสดงในภาพ



Dual Slope A/D converter .

ภาพที่ 2.15 แสดงการแปลง Dual-Slope ADC

แรงดันอินพุต มี 2 ตัว คือ ค่าความต่างศักย์อนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัล ($-V_{in}$) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง (V_{ref}) และมีสวิตช์ SW1 ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรตอนเริ่มต้นสวิตช์ (SW2) ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิดสวิตช์ (SW2) ออก

เมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่ $-V_m$ จากวงจร อินทิเกรเตอร์ จะพิสูจน์สมการได้ดังนี้

$$-V_m + iR - V_0 + V_0 = 0$$

$$-V_m + RC \frac{dV_0}{dt} = 0$$

$$V_m = RC \frac{dV_0}{dt}$$

$$\int dV_0 = \int \frac{V_m}{RC} dt$$

$$V_0 = \frac{V_m(t)}{RC}$$

สโลปมีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_m}{RC}$$

ค่า t ที่ใช้มีค่าคงที่ t_m เมื่อ t เพิ่มจากศูนย์ถึง t_m ให้ SW1 สับไปที่ V_{ref} จะได้สมการ

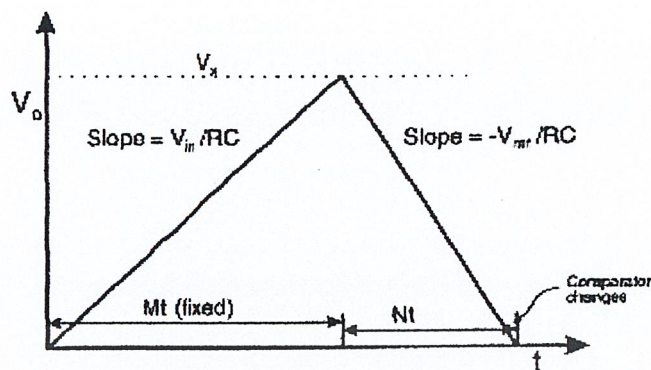
$$V_0 = \frac{V_{ref}(t)}{RC}$$

Slope มีค่า

$$\frac{V_{ref}}{RC}$$

สมมติ ช่วงเวลาดังแต่ความต่างศักย์ที่ t_m จนความต่างศักย์เป็น 0 มีค่าเท่ากับ t_n ได้ดังแสดงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Dual Slope A/D Converter Output and Timing

ภาพที่ 2.16 ช่วงเวลาการแปลงสัญญาณ ดวล-สโลป เอดีซี

จากหลักของสามเหลี่ยมคล้าย จะ ได้สมการ

$$V_m = V_{ref} \frac{t_n}{t_m}$$

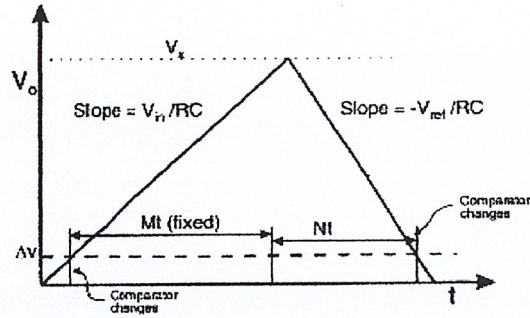
เนื่องจาก V_{REF} และ t_n มีค่าคงที่ สัญญาณอนาล็อกขึ้นกับค่า t_n เพราะการควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลที่ขึ้นกับค่า t_n

การแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลจะทำโดยจับคู่ค่า t_n กับเอาต์พุตค่าๆ หนึ่งตามความเหมาะสม สำหรับ V_{REF} นั้นๆเหมือนการเทียบค่าในตาราง

ความเร็วของการแปลงสัญญาณแบบนี้ ขึ้นอยู่กับ V_{IN} และ Slope ของวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยธรรมชาติแล้ว ลักษณะของตัวเปรียบเทียบเองนั้น จะไม่เป็นอุดมคติ คือจะมีผลต่างของความต่างศักย์อยู่ V โวลต์ แม้ว่าจะต่ออินพุตทั้งสองลงกราวด์แล้วก็ตาม ซึ่งถ้า V_{REF} ที่ใช้อยู่มีค่าน้อยกว่าค่าผลต่างของความต่างศักย์ที่เกิดจากตัวเปรียบเทียบ ความชันก็จะน้อย ทำให้เวลา t_m ใช้นานมาก กว่าที่จะพ้นค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากตัวเปรียบเทียบ เราจึงต้องนำค่าความต่างศักย์มาเพิ่มให้กับ V_{REF} เพื่อหาผลลัพธ์

จากวงจรดังกล่าวทำให้ได้กราฟดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



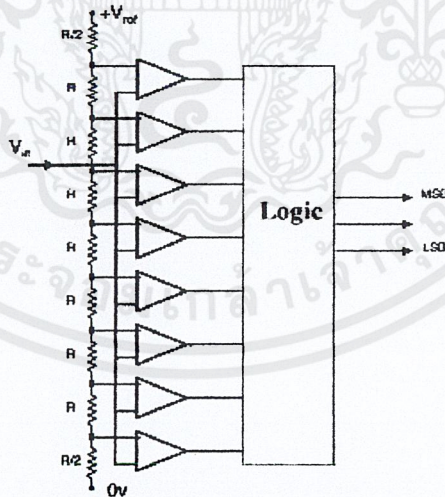
Dual Slope A/D Converter - Zero Offset

ภาพที่ 2.17 แสดง ซีโร ออฟเซตของการแปลง ดวล-สโลป เอดีซี

2.6.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ แฟรต คอนเวอร์เตอร์

หลักการของ แฟรต คอนเวอร์เตอร์ คือการใช้การแบ่งแรงดันเป็นแรงดันหลายๆ ค่า แล้วเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต เป็นคู่ๆ พร้อมกัน แล้วทำการทางลอจิก จากภาพที่ 2.18 มีแรงดันเปรียบเทียบ 8 บิตค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ที่ได้นั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต แล้วมากกว่าก็จะปล่อยลอจิกออกมาถ้ามากกว่าก็จะให้ลอจิก1 ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากันก็จะให้ลอจิก0

วิธี แฟรตคอนเวอร์เตอร์ นี้จะเร็วที่สุด แต่ใช้อุปกรณ์ทาง ฮาร์ดแวร์ มากกว่าแบบอื่นๆ



A "Flash" converter.

ภาพที่ 2.18 แสดงการแปลงแบบ แฟรต คอนเวอร์เตอร์ เอดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51

ปัจจุบัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เข้ามามีบทบาทมากกับการควบคุมในงานอุตสาหกรรมการพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างต่อเนื่อง ผสมกับเทคโนโลยีการผลิตที่มีวิวัฒนาการมาเป็นหน่วยไมครอนนำไปสู่การสร้างชิพที่มีขนาดเล็กและมากด้วยคุณภาพ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เป็นชิพที่ได้รับความนิยมมากตัวหนึ่งที่ใช้ในงานควบคุม เนื่องจากความสามารถที่สูงและง่ายต่อการใช้งาน ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานที่จะมีวิธีการอย่างไรในการดึงความสามารถของ CHIP มาให้ใช้เต็มที่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการที่รู้ถึงรายละเอียด และเรียนรู้สถาปัตยกรรมของ เป็นสิ่งแรกที่ต้องทำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ได้มีการผลิตครั้งแรกโดยบริษัท อินเทลและใช้ชื่อว่า MCS-51 ซึ่งปรากฏว่านิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 16บิตต่อมาได้มีหลายบริษัทที่รับลิขสิทธิ์จากบริษัทอินเทล ให้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไปผลิตเพื่อจำหน่าย ทำให้เกิด 8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชิพหลาย SERIES จำนวนมากขึ้นมาซึ่งผู้บริโภครสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน

2.7.1 การจัดการหน่วยความจำและการเชื่อมต่อ

หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) หน่วยความจำประเภทนี้ คือ ROM ใช้เก็บโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งเป็นหน่วยความจำประเภท non-volatile
2. หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำประเภทนี้ได้แก่ RAM

หน่วยความจำโปรแกรม

ใน 8051 จะแบ่งหน่วยความจำประเภทนี้เป็นอีก 2 ประเภท

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external memory) กล่าวคือ ROM ที่มาต่อภายนอกตัว 8051

2.คือ หน่วยความจำภายใน (internal memory) ได้แก่ ROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายในทำได้โดยการให้สัญญาณทางไฟฟ้าที่ขา EA/ โดย

2.1. สัญญาณทางไฟฟ้าที่ขา EA/ เป็นลอจิก 0 หมายถึง หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

2.2. สัญญาณทางไฟฟ้าที่ขา EA/ เป็นลอจิก 1 หมายถึง หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

*หมายเหตุ หน่วยความจำโปรแกรมนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 สามารถอ้างข้อมูลได้ 64 กิโลไบต์

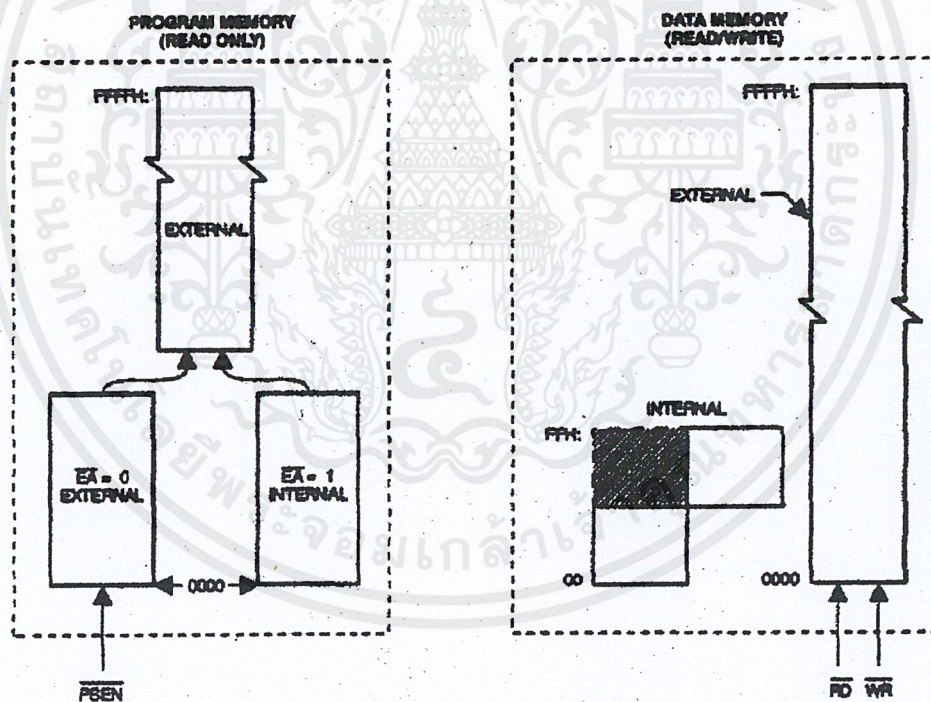
หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลนั้นมีหน้าที่ สำหรับทำการเก็บข้อมูล หรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังจะทำการประมวลผลโปรแกรมที่เก็บไว้เป็นการชั่วคราว โดยพื้นฐานแล้วหน่วยความจำข้อมูลจัดเป็นหน่วยความจำแรมแบบสแตติก ดังนั้นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ก็จะมีผลทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำนี้สูญหายไป

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูล ของ 8051 สามารถมีได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทออกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วย ความจำนั้น

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Data Memory) ซึ่ง เป็น RAM ที่อยู่ภายในตัวของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง

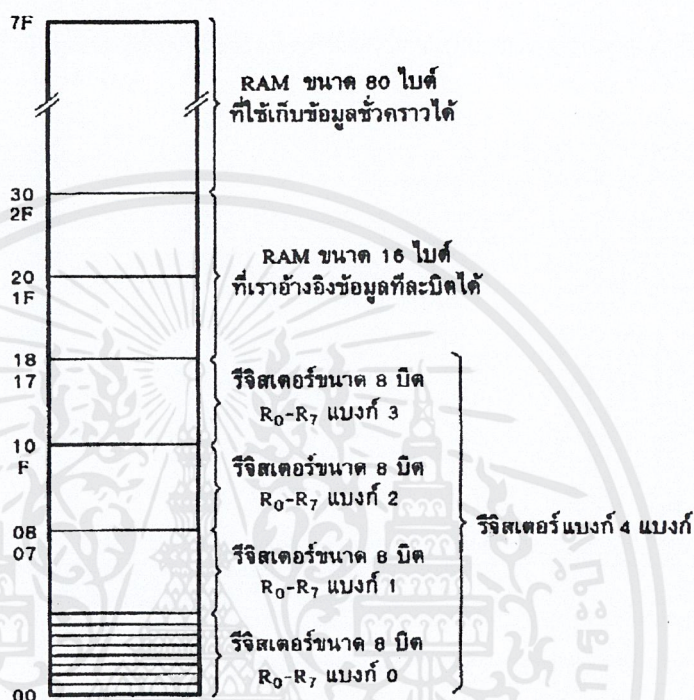
2. หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำ RAM มาเพิ่มเติมเข้าไปในวงจร ลักษณะเดียวกับการนำไอซี EPROM มาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง ภาพที่ 2.19 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลภายใน

หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 มีจำนวนทั้งหมด 256 ไบต์ โดยจำแนกออกได้เป็นสองลักษณะ คือพื้นที่เฉพาะสำหรับตัวประมวลผลกลาง หรือเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 และพื้นที่ใช้งานทั่วไปสำหรับ โปรแกรมใช้งานที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา



ภาพที่ 2.20 แนวคิดการ โปรแกรม 8051

หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์แรก

บริเวณแอดเดรส 00H - 1FH จำนวน 32 ไบต์จำแนกออกเป็นกลุ่ม(Blank) 8 ไบต์ จำนวน 4 กลุ่มซึ่งมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0 - R7 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 แสดงกลุ่มรีจิสเตอร์ R0 - R7

แอดเดรส	รีจิสเตอร์แบงก์	ชื่อรีจิสเตอร์ใช้งาน
00H-07H	0	R0-R7
08H-0FH	1	R0-R7
10H-17H	2	R0-R7
18H-1FH	3	R0-R7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นได้ว่าชื่อของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อ R0 ถึง R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นในการใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่าต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ใด การสวิตช์ เลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ก็ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW เท่านั้นตามตาราง ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9 การกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW

RS0	RS1	ตำแหน่งหน่วยความจำ
0	0	0000H
0	1	0008H
1	0	0010H
1	1	0018H

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็มักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของ แบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความจำข้อมูลภายในปกติด้วยการอ้างถึงหมายเลขของ แอดเดรส นั้น ๆ โดยตรงบริเวณแอดเดรส 20H - 2FH จำนวน 16 ไบต์ บริเวณพื้นที่เป็นส่วนสำหรับผู้ใช้ ซึ่งจะมีความพิเศษต่างไปจากหน่วยความจำส่วนอื่นๆ เนื่องจากผู้ใช้อาจสามารถอ้างถึงหน่วยความจำบริเวณนี้ได้ทั้งในลักษณะของ ไบต์ข้อมูล เช่น ปกติหรืออาจจะเป็นบิตข้อมูล ได้โดยตรง ดังนั้นหากเรามองในลักษณะบิตข้อมูลแล้ว ก็จะมีพื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้ งานได้มากถึง 128 บิต โดยตำแหน่งแรกของบิตจะเป็นบิตซึ่งเริ่มต้นนับจากบิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ของแอดเดรส 20H เรื่อยไปจนกระทั่งถึงบิตที่ 127 ซึ่งเป็นบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ของแอดเดรส 2FH

ความสามารถในการใช้งานพื้นที่ส่วนนี้แบบบิตข้อมูลโดยตรงนี้นับว่าน่าสนใจมาก และถือเป็นการใช้งาน 8051 อย่างเต็มประสิทธิภาพทีเดียว เนื่องจากว่า 8051 ได้รับการออกแบบมา ก็มักจะเป็นเพียงการอ่านค่าสถานะลอจิก ของเส้นสัญญาณ หรือกรณีการส่งออกข้อมูลก็จะเป็นการกำหนดสถานะลอจิกให้กับวงจรภายนอกผ่านทางบิตใดบิต หนึ่งอยู่แล้ว ดังนั้นหากเรามีการกำหนดบิตหรืออ่านค่าของบิตมาโดยตรง แทนที่จะต้องทำลอจิกขึ้นต้นกับข้อมูลทั้ง ไบต์ เพื่อต้องการทราบผลเพียงหนึ่งบิต

เช่นที่กระทำกันในโปรเซสเซอร์โดยทั่วไป ก็จะเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการ เขียนโปรแกรมควบคุมมาก รายละเอียดในส่วนนี้จะ ได้กล่าวถึงอีกครั้งหนึ่งเมื่อศึกษาถึงการใช้งานพอร์ต อินพุต/เอาต์พุตต่อไป

บริเวณแอดเดรส 30H - 7FH เป็นบริเวณที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างอิสระ โดยสามารถ

อ้างถึงได้เฉพาะ ในลักษณะของไบต์ข้อมูลตามปกติเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์ถัดไป

พื้นที่ตั้งแต่บริเวณตั้งแต่แอดเดรส 80H-FFH เป็นบริเวณของหน่วยความจำที่มีการใช้งาน เฉพาะจาก 8051 เท่านั้น โดยจะนำมาใช้เป็นตำแหน่งของ รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special-Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง ดังแสดงแผนภาพในรูป สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสำหรับการใช้งานเพิ่มมากขึ้น กว่าเบอร์อื่นๆ เช่น 8031 หรือ 8751 อีก 128 ไบต์ โดยจะอยู่บริเวณช่วงแอดเดรส 80H ถึง FFH เช่นกัน ซึ่งแม้ว่า จะเป็นพื้นที่ ที่มีหมายเลขแอดเดรสเดียวกับส่วนของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ แต่ในความเป็นจริงแล้วจะเป็นพื้นที่ หน่วย ความจำอีกบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีการซ้อนเกย (Overlap) กันให้อยู่ในบริเวณแอดเดรสส่วนนี้ ซึ่ง หากว่าผู้ใช้งานต้องการ จะเก็บข้อมูลในพื้นที่บริเวณนี้ก็จะต้องใช้การอ้างถึงหน่วยความจำแบบ โดย อ้อม (Indirect Addressing) เท่านั้น

ซึ่งรีจิสเตอร์ ความสามารถในการอ้างถึงแบบบิตได้

ACC , B , PSW , SP , DPTR , P0 , P1 , P2 , P3 , IP , IE , TMOD , TCON , TH0 , TL0 , TH1 , TL1 , SCON , SBUF แทนได้ , PCON

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่และการทำงานของ อุปกรณ์หรือพอร์ตของ 8051 ทั้งหมด โดยมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณแอดเดรส 80H-FFH การใช้งาน รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้

สามารถทำได้ทั้งการระบุถึงชื่อของรีจิสเตอร์หรือตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้น ก็ได้ ตารางต่อไปนี้แสดงให้เห็นลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำ สำหรับรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ เหล่านี้โดยมีข้อสังเกตว่ารีจิสเตอร์ที่อยู่ตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นจำนวนทวีคูณของค่า 8 จะสามารถ อ้างถึงในระดับบิตได้ด้วย (นั่นคือ แอดเดรส 80H,88H,90H,98H,A0H,A8H,B0H,B8H,D0H,E0H และ F0H)

แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) หรือ ACC

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่จะส่งให้กับหน่วยทำงานภายในซีพียู และเก็บผลลัพธ์ ที่ได้จากการทำงานนั้น การทำงานของรีจิสเตอร์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัว แอ็กคิวมูเลเตอร์ของโปรเซสเซอร์ทั่วไปการใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ A

รีจิสเตอร์ B เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำคำสั่งการคูณแลหารตัวเลข ในกรณีที่ไมได้ใช้ในการคำนวณทางด้าน คณิตศาสตร์ ก็สามารถนำไปใช้งานเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งจะต้องไปทำงานในลำดับถัดไป การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ PC

สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของตัวชี้หรือพอยน์เตอร์ (Pointer) ของบริเวณสแต็ก (Stack) สำหรับเก็บข้อมูลแอดเดรสรีจิสเตอร์ต่างๆ รวมทั้งข้อมูลจากโปรแกรมโดยปกติแล้วเมื่อทำการเริ่มต้น ระบบใหม่หลังจากการเริ่มจ่ายไฟฟ้า หรือมีการรีเซต (Reset) เกิดขึ้นค่าภายในสแต็กพอยน์เตอร์จะมีค่า 07H ซึ่งเป็นตำแหน่งแอดเดรสภายในบริเวณเนื้อที่ 128 ไบต์แรกของหน่วยความจำข้อมูลภายใน การใช้งานภายในโปรแกรม จะเรียกว่า รีจิสเตอร์ SP

ตัวชี้ข้อมูล หรือ คาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งเรียกว่า DPTR และสามารถใช้งานแยกออกเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตสองตัวคือ รีจิสเตอร์ DPH และ DPL เพื่อเก็บค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องใช้งานภายในโปรแกรมหรืออาจจะเป็นแอดเดรสของอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งกำหนดให้ติดต่อกันโดยใช้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายในโปรแกรม

โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)

รีจิสเตอร์นี้ทำหน้าที่บอกถึงแฟล็กสถานะการทำงานต่างๆ รวมทั้งบิตสำหรับการกำหนดเลือกแบงก์ ของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานด้วยดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 แสดงรีจิสเตอร์โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
CY	PSW.7	Carry Flag
AC	PSW.6	Auxiliary Carry Flag
F0	PSW.5	Flag 0
RS1	PSW.4	Select Bank bit 1
RS0	PSW.3	Select Bank bit 0
OV	PSW.2	Overflow Flag
-	PSW.1	
P	PSW.0	Parity Flag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ต (Port Register)

รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตโดยตรง ซึ่งแต่ละตัวจะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถใช้งานได้ทั้งในลักษณะของการอินพุต หรือการเอาต์พุต ข้อมูลได้ การดำเนินการใดๆ ที่เกี่ยวกับพอร์ตทั้งสิ้นจะมีผลทำให้ข้อมูลที่ตำแหน่งของพอร์ตเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน นอกจากนี้พอร์ต P0 และ P2 ยังสามารถนำมาใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมหรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ โดยพอร์ต P2 จะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตบนของหน่วยความจำ ส่วนพอร์ต P0 นั้นในช่วงเริ่มแรกจะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตล่างของหน่วยความจำช่วงเวลาต่อมาจึงจะนำพอร์ต P0 ไปใช้เป็นบัสนำสำหรับการรับหรือส่งข้อมูลกับหน่วยอุปกรณ์ ภายนอก สำหรับพอร์ต P3 นั้นนอกเหนือจากจะใช้ในฐานะของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตเช่นปกติแล้ว ยังนำมาใช้ในสถานะ บัสควบคุมเกี่ยวกับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ได้อีกด้วย

รีจิสเตอร์ SBUF

เป็นบัฟเฟอร์ขนาด 8 บิต สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้งการรับและส่งข้อมูล ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วบัฟเฟอร์นี้มีอยู่ด้วยกันสองชุดและแยกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับการส่งและการรับ โดยซีพียูจะทำการจัดการเลือกบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมให้โดยอัตโนมัติ

รีจิสเตอร์ PCON

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมหน้าที่การทำงานในสามลักษณะ ซึ่งได้แก่ การควบคุมการทำงานของโปรเซสเซอร์ (บิต IDL และ PD) การกำหนดอัตราการทวีคูณของอัตราเร็ว ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (บิต SMOD) และแฟล็กสถานะสำหรับการใช้งานทั่วไป (บิต GR0 และ GR1)

ตารางที่ 2.11 รีจิสเตอร์ PCON

ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
SMOD	PCON.7	บิตทวีคูณของอัตราบอดปรกติ
-	PCON.6	
-	PCON.5	
-	PCON.4	
GF1	PCON.3	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้ ใช้งานทั่วไป Flag 0
GF0	PCON.2	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้ ใช้งานทั่วไป Flag 1
PD	PCON.1	บิตสำหรับการกำหนด Power down
IDL	PCON.0	บิตสำหรับการกำหนด idel mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต PD (Power down) เป็นการกำหนดให้ลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนของ โปรเซสเซอร์ ภายในลง โดยยังคงมีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในผ่านทางขาสัญญาณ RST วิธีการนี้มักนำมาใช้ในกรณีที่มีการตรวจสอบการไม่มีกำลังไฟฟ้า (Power failure) โดยวงจรตรวจสอบภายนอกจะต้องมีการอินเตอร์รัพต์เข้ามา เพื่อทำการเก็บข้อมูลที่กำลังประมวลผลอยู่ก่อน และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้เป็นปกติแล้วจึงค่อยนำข้อมูลนั้นมาประมวลผลต่อไป

บิต IDL (Idle Mode) เป็นการกำหนดให้โปรเซสเซอร์หยุดการทำงานชั่วขณะ (Sleep) และ จะกลับมาอยู่ในสภาพปกติอีกครั้งเมื่อ ทำการรีเซตทางฮาร์ดแวร์ หรือมีการอินเตอร์รัพต์อย่างใด อย่างหนึ่งเกิดขึ้นการทำงานในลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ ก็เนื่องจากว่าสภาวะการหยุดการทำงาน ชั่วขณะนั้น เป็นเพียงการห้ามไม่ให้มีสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้ส่วนของ โปรเซสเซอร์เท่านั้น ส่วน ของวงจรการอินเตอร์รัพต์พอร์ตคอนโทรลและวงจรรีบ/จับเวลา ยังคงมีสัญญาณนาฬิกาอยู่ เป็นปกติ

2.7.2 ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ (วงจรรีบ/จับเวลา)

8051 ประกอบด้วย รีจิสเตอร์ ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ T0 (Timer0) และ T1 (Timer1) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างอิสระ โดยสามารถควบคุมให้ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา(Timer) เพื่อ นับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน หรือควบคุมให้ทำหน้าที่เป็นตัวนับ (Counter) เพื่อนับ จำนวนพัลส์ของระบบได้ ภายในรีจิสเตอร์แต่ละตัวยังสามารถแยกออกได้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต คือ TH0, TL0, TH1 และ TL1 โดยการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มีผลมาจากการกำหนด ค่าของบิต ที่อยู่ภายใน TMOD (Timer mode control register) และ TCON (Timer/Counter control register) บิตต่างๆภายใน รีจิสเตอร์ TMOD บิตต่างๆภายในรีจิสเตอร์TCON

การ อินเตอร์รัพท์ วงจรรีบตรวจ/จับเวลา

จากกระบวนการทำงานของวงจรรีบ/จับเวลาของ 8051 จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ รีจิสเตอร์T0 หรือ T1 ค่านี้เป็นค่าจำนวนพัลส์ภายในที่จะต้องนับหรือค่าของจำนวนพัลส์ภายนอก ที่ เข้ามาทางขาสัญญาณสัญญาณ T0 หรือ T1 ค่าตัวเลขภายใน รีจิสเตอร์ นี้จะต้องลดให้มีค่าที่น้อยกว่า ค่าที่ต้องการอยู่หนึ่งค่า ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของ รีจิสเตอร์ จะเพิ่มค่าจากที่กำหนดไปเรื่อยๆ จนถึง ค่าสูงสุดของรีจิสเตอร์และกลับไปเป็นค่าศูนย์ เมื่อมีการเกิด โอเวอร์ โฟลว์เกิดขึ้น ทำให้เกิด การกำหนดค่าแฟล็ก เพื่อทำการแจ้งให้ซีพียูได้รับทราบ ดังนั้นโปรแกรมทั่วไปจึงมักใช้สภาวะ ของแฟล็ก นี้

(TF0 และ TF1) ซึ่งเป็นบิตอยู่ภายในรีจิสเตอร์ TCON เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการนั้นได้เสร็จ สิ้นลงแล้ว หรือใช้เพื่อ ทำการอินเตอร์รัพท์ โปรแกรม ต่อไป ส่วนควบคุมการทำงานของวงจรรีบ/ จับเวลา ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการกำหนดที่มาของสัญญาณ ไทม์เมอร์หรือ เคาน์เตอร์ และ บิต หรือขาสัญญาณสำหรับการหยุดหรือทำงานของวงจรรีบ

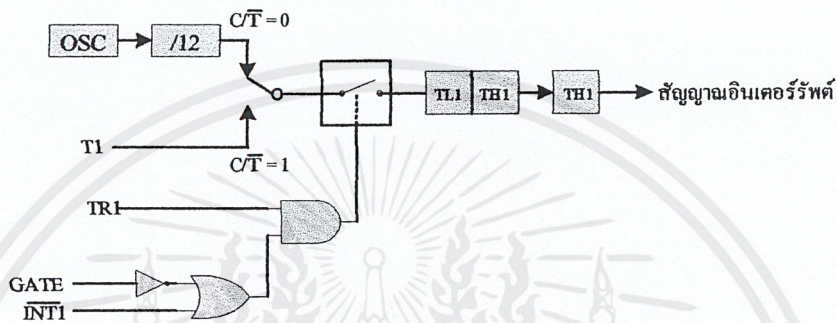
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเป็นตัวจับเวลา

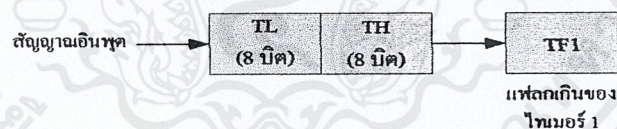
ก่อนที่ทำงานเป็นวงจรจับเวลา ต้องมีการกำหนดค่าให้อยู่ในสภาวะดังตารางก่อน

การจับเวลาใน โหมด0: การทำงานในโหมด0 วงจรนับจับเวลาจะทำหน้าที่เป็นตัวนับขนาด 13 บิต (โดยใช้ รีจิสเตอร์TH0 หรือ TH1 เป็นตัวนับขนาด 8 บิต และรีจิสเตอร์TLO หรือ TL1 มีขนาด 5บิต) ตามลักษณะของ แผนภาพแสดงในภาพที่ 2.21



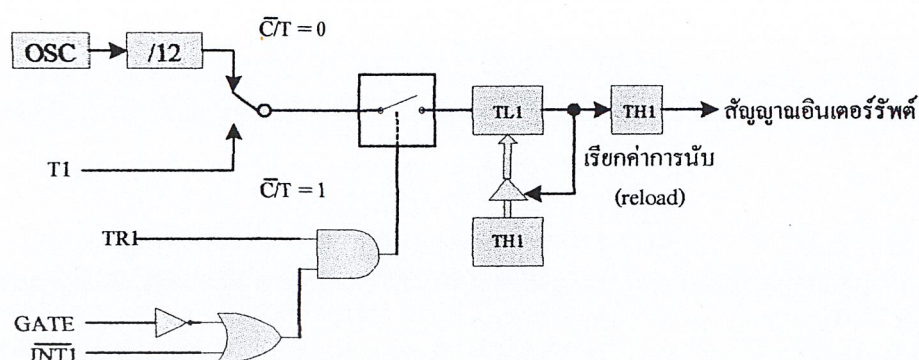
ภาพที่ 2.21 การทำงานของ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์0 หรือ 1 ในโหมด 0

การจับเวลาใน โหมด1 : การทำงานใน โหมด1 มีความคล้ายคลึงใน โหมด0 มาก แตกต่างกันที่ โหมด1 เป็นตัวนับขนาด 16 บิตเต็ม แสดงดังภาพที่ 2.22



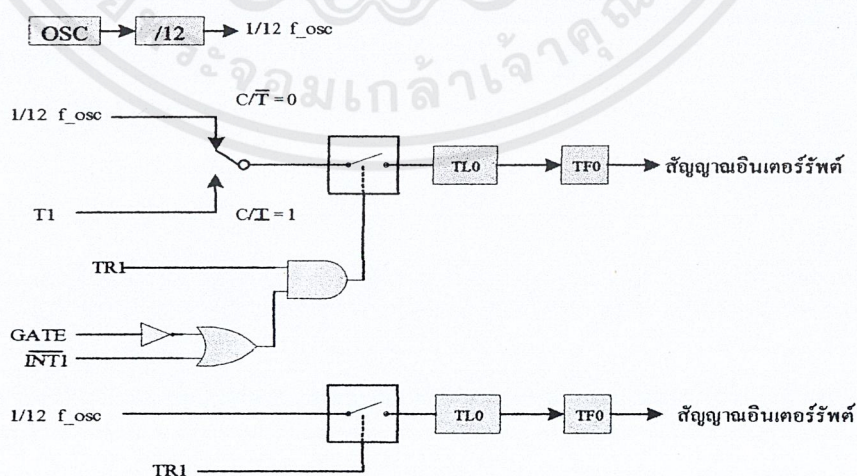
ภาพที่ 2.22 การทำงานของ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์0 หรือ 1 ในโหมด 1

การจับเวลาใน โหมด2 : การทำงานในโหมด2 ของวงจรถับเวลาแตกต่างกันออกไป เพียงใช้ รีจิสเตอร์ TLO(TL1) เป็น ตัวนับขนาด 8 บิต ส่วน รีจิสเตอร์TH0(TH1) เก็บค่าเริ่มต้นของการนับไว้ แสดงดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 การทำงานของ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 หรือ 1 ในโหมด 2

การจับเวลาใน โหมด 3 : การทำงานใน โหมด 3 จะสามารถใช้ได้เฉพาะกับ ไทม์เมอร์ 0 เท่านั้น หากว่านำไปกำหนดให้กับ ไทม์เมอร์ 1 จะทำให้หยุดการทำงานไป เมื่อไทม์เมอร์ 0 ได้รับการกำหนดทำงานใน โหมด 3 จะมีผลทำให้ รีจิสเตอร์ ของมันแยกการทำงานเป็นอิสระ โดย รีจิสเตอร์ TLO จะถูกควบคุมจากบิต ภายใน รีจิสเตอร์ TCON และ ขาสัญญาณ INT0 ดังแสดงในรูป และเมื่อมีการ โอเวอร์โฟลว์ เกิดขึ้น จากค่า 0FFH เป็น 00H ก็ จะมีผลให้ แฟล็ก TFO มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น สำหรับ รีจิสเตอร์ TH0 จะถูกกำหนดให้ทำงานในแบบ ของตัวจับเวลาภายใต้การควบคุมของบิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON เท่านั้น และหากเกิดโอเวอร์โฟลว์ จะมีผลเฉพาะต่อ แฟล็ก TF1 ในส่วนไทม์เมอร์ 1 ขณะเมื่อ ไทม์เมอร์ 0 ถูกกำหนดให้ทำงาน โหมด 3 ก็ยังสามารถทำงานใน โหมดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ โหมด 3 ได้ เช่นเคิม ยกเว้นจะ ไม่มีการอินเตอร์รัพท์ เกิดขึ้นเท่านั้น (เนื่องจากแฟล็ก TF1 ถูก ใช้โดย ไทม์เมอร์ 0 ไปแล้ว) ภาพแสดงการทำงานในโหมด 3



ภาพที่ 2.24 วงจรนับ/จับเวลา 0 เมื่อทำงานในโหมด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเป็นตัวนับสัญญาณ

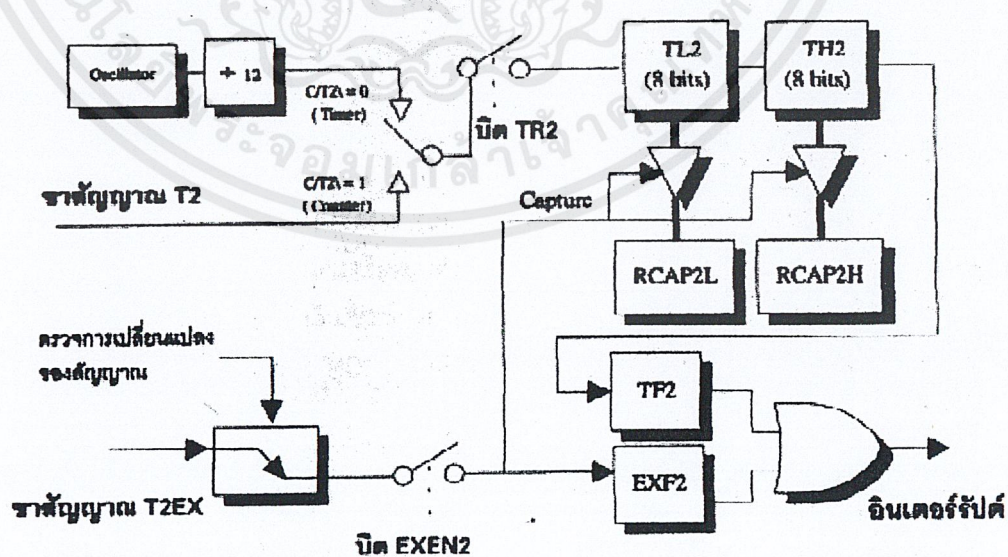
การใช้งานในลักษณะตัวนับโดยหลักแล้วจะเหมือนกับลักษณะการทำงานเป็นตัวจับเวลา ดังได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ข้อแตกต่างประการเดียวคือ แทนที่จะนับพัลส์ สัญญาณภายในและผ่านวงจรหาร 12 มาเป็นการนับพัลส์ สัญญาณทางขาสัญญาณ T0(P3.4) ให้กับ โหมด 0 หรือ ขาสัญญาณ T1(P3.5) ให้กับ ไทเมอร์ 1 เท่านั้น นอกจากนี้ก่อนการเริ่มต้นใช้งานจะต้องกำหนดค่าของ bit C/T ภายใน TCON ให้มีค่าเป็น 1 เสียก่อน

วงจรรนับ/จับเวลา 2 (Timer 2) โหมดการทำงานของ ไทเมอร์ 2 ประกอบด้วย

- Capture mode: สามารถเลือกใช้งานได้ 2 ลักษณะ ด้วยการกำหนดให้กับบิต EXEN2 ของ รีจิสเตอร์ T2CON ดังนี้

1. เมื่อกำหนดบิต EXEN2 เป็น 0 ไทเมอร์ 2 ยังทำงานเป็นวงจรรนับ/ตรวจจับเวลา เมื่อมีการ โอเวอร์โฟลว์ ขึ้น บิต ใน รีจิสเตอร์ TF2 จะถูกเซต และสามารถนำไปสร้างการอินเตอร์รัพต์ ขึ้นได้

2. เมื่อกำหนดค่าบิต EXEN2 เป็น 1 การทำงานจะครอบคลุมการทำงานลักษณะข้างต้น แต่จะเพิ่มเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับ สัญญาณทางขาสัญญาณ T2EX จาก ลอจิก สูง ไปเป็น ลอจิก ต่ำ จะมีผลทำให้ค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ของ ไทเมอร์ 2 คือ TL2 และ TH2 ถูกนำไปใส่ (Capture) ให้กับ รีจิสเตอร์ RCAP2L และ RCAP2H ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ หรือ SFR ที่มีใน ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8052 เท่านั้น นอกจากนี้จะมีผลทำให้บิต EXF2 ภายใน รีจิสเตอร์ T2CON มีค่าเป็น 1 สามารถนำไปใช้งานในการอินเตอร์รัพต์ได้เช่นกัน



ภาพที่ 2.25 แผนภาพแสดงการทำงาน ในโหมดแคปเจอร์ ของ ไทเมอร์ 2

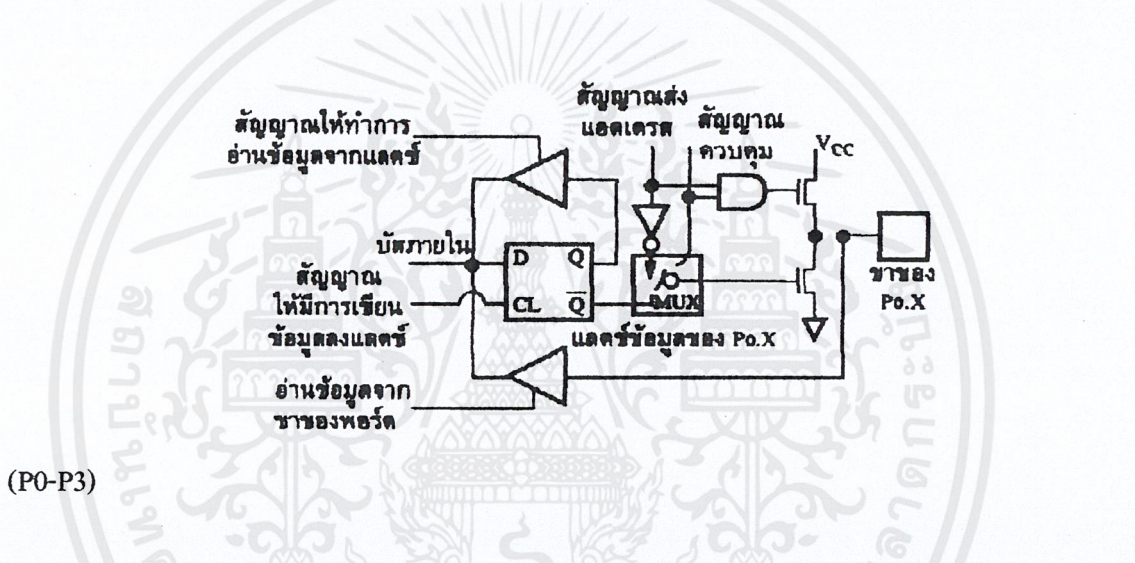
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโหมดนี้คล้ายคลึงกับการทำงานในโหมด ออโต-รีโหลด กล่าวคือค่าใน รีจิสเตอร์ TH2 เปลี่ยนแปลงจากค่า 0FFH ไปเป็นค่า 0 หรือที่เรียกว่า โอเวอร์โฟลว์ จะมีผลให้มีการ โหลดข้อมูลขนาด 16 บิต จาก รีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L ซึ่งมีการเตรียมค่าล่วงหน้าแล้ว โดยอัตโนมัติ

2.7.3 ระบบ I/O สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

จากองค์ประกอบของชิพ 51 เราจะพบว่า มีพอร์ต I/O ที่รับส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทางขนาด 8 บิตอยู่ 4 พอร์ต ซึ่งพอร์ตแต่ละตัวนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว แสดงดังภาพที่ 2.28 ถึง ภาพที่ 2.31 ซึ่งแสดงแผนภาพทางตรรกะสำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ตแต่ละตัว เราจะเห็นได้ว่าพอร์ตเหล่านี้

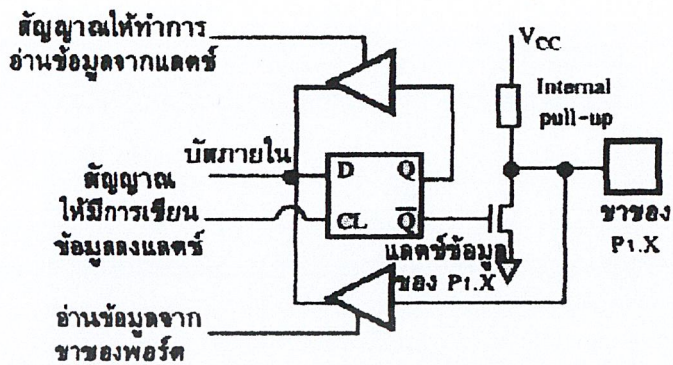


ภาพที่ 2.28 แสดงแผนผัง ทาง ลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต PO

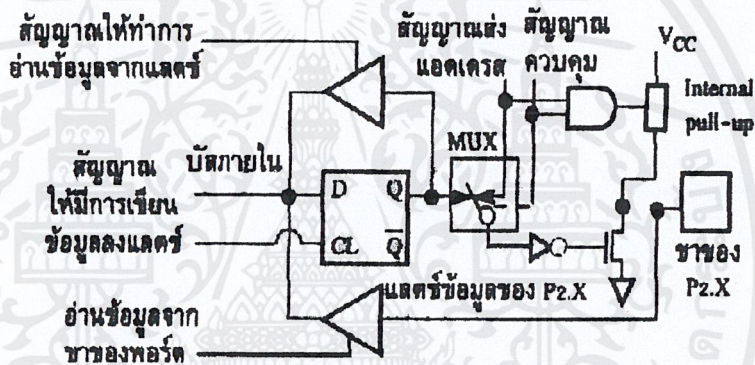
มีคุณสมบัติทางลอจิกทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อย พอร์ตแต่ละตัวจะมีแลตซ์ข้อมูล ซึ่ง จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เข้าหรือออกจากพอร์ต โดยแลตซ์ข้อมูลนี้สามารถที่จะนำข้อมูลจากขาของ พอร์ตหรือจากบัสข้อมูลของไมโคร โปรเซสเซอร์เข้ามาเก็บได้ และแลตซ์ข้อมูลนี้ยังสามารถทำการ ส่งข้อมูล ไปยังบัสข้อมูลของไมโคร โปรเซสเซอร์ด้วย

เราจะเห็นได้ว่าบิตในพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มี คอนโทรล พูล-อัฟ ซึ่งรูปแบบการ ทำงานของมันจะขึ้นอยู่กับ โหมดการทำงานของพอร์ต

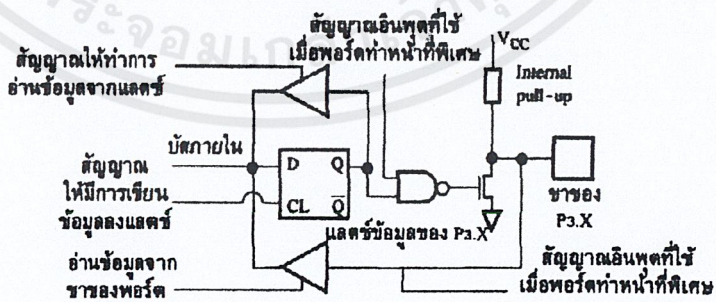
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.29 แสดงแผนผัง ทางลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P1



ภาพที่ 2.30 แสดงแผนผัง ทางลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P2



ภาพที่ 2.31 แสดงแผนผังทาง ลอจิก สำหรับบิตหนึ่งๆ ในพอร์ต P3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีการเชื่อมต่อ 8051 กับหน่วยความจำภายนอก (ซึ่งอาจเป็น ROM หรือ RAM) เราจะนำพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มาใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสที่ใช้อ้างอิงหน่วยความจำนี้ นอกจากนี้เรายังจะนำพอร์ตเบอร์ 0 มาใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำนี้ด้วย ซึ่งหมายความว่าพอร์ตเบอร์ 0 จะมีถึง สองหน้าที่ หน้าที่แรกของพอร์ตเบอร์ 0 คือ ทำการส่งค่าไบต์ล่างของแอดเดรสขนาด 16 บิต (ที่เป็นตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการอ้างอิง) หน้าที่ที่สองคือ ทำการรับข้อมูลจากหน่วยความจำหรือส่งข้อมูลไปยังหน่วยความจำที่อ้างอิง

พอร์ตเบอร์ 0 เพียงตัวเดียวสามารถทำงานทั้งสองพร้อมกันได้อย่างได้อย่างไร เราทราบดีว่าไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถจะทำการอ้างอิงหน่วยความจำในไซเคิลแรก และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำในไซเคิลที่ 2 ของการทำงาน เพราะฉะนั้น การอ้างอิงหน่วยความจำและการส่งข้อมูลจะเกิดในเวลาที่แตกต่างกัน เราจึงสามารถกำหนดให้บัสที่เชื่อมต่อกับพอร์ตเบอร์ 0 ทำหน้าที่เป็นบัสข้อมูลในเวลาหนึ่งและเป็นบัสแอดเดรสในอีกเวลาหนึ่งได้ การทำงานแบบสลับหน้าที่นี้เรียกว่า มัลติเพลกซ์และเราเรียกบัสที่ทำงานเช่นนี้ว่า มัลติเพลกซ์แอดเดรสค่าบัส (multiplex address data bus)

โดยในตอนแรกนั้นจะนำค่าแอดเดรสขนาด 16 บิต ที่ใช้ในการอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกไปให้กับ ไบต์บนและ ไบต์ล่างของบัสแอดเดรส ต่อมาเราจะนำค่าแอดเดรสไบต์ล่างขนาด 8 บิตไปเก็บลงในแลตช์ข้อมูล (ที่เป็น RAM ภายนอก) และในช่วง ไซเคิลที่ 2 ของการทำงานเราก็จะนำ 8 บิตล่างของ บัส แอดเดรส นี้มาใช้เป็นบัสข้อมูลเพื่อใช้ในการโอนย้ายข้อมูล

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีบัสแบบบัสแอดเดรสข้อมูลรวมจะใช้สัญญาณ ALE (address latch enable) ในการบอกกับแลตช์แอดเดรส (address latch) ว่าให้มันทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิตล่างที่อยู่ในพอร์ตเบอร์ 0 (ที่เชื่อมต่อกับบัสแบบบัสแอดเดรสข้อมูลรวมซึ่งทำหน้าที่เป็นบัสแอดเดรสในเวลานั้น) และหลังจากที่แลตช์แอดเดรสได้ทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิตล่างลงในหน่วยความจำแล้ว 8 บิตล่างของบัสก็จะเปลี่ยนหน้าที่เป็นบัสข้อมูล แต่บัสแอดเดรส 8 บิตบนที่เชื่อมต่อกับพอร์ตเบอร์ 2 จะไม่ถูกเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเราไม่มีการนำบัสแอดเดรส 8 บิตบนนี้ไปทำหน้าที่เป็นบัสข้อมูล ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิตบนนี้

เราจะพบว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 8085 ของบริษัทอินเทล ได้นำบัสแอดเดรสข้อมูลรวมนี้มาใช้เช่นเดียวกัน เทคนิคนี้จะช่วยลดจำนวนขาที่ต้องใช้สำหรับบัสแอดเดรสและบัสข้อมูลได้

ตารางที่ 2.12 แสดงหน้าที่พิเศษของขาต่างๆในพอร์ตเบอร์ 3

เบอร์ขาของพอร์ต	หน้าที่ปกติ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	บิต 0	RXD (พอร์ตอนุกรมที่ทำหน้าที่รับข้อมูล)
P3.1	บิต 1	TXD (พอร์ตอนุกรมที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูล)
P3.2	บิต 2	(INT0)' (สัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกเบอร์ 0)
P3.3	บิต 3	(INT1)' (สัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกเบอร์ 1)
P3.4	บิต 4	T0 (สัญญาณอินพุตเบอร์ 0 ที่ป้อนให้กับเคาน์เตอร์ไทมเมอร์)
P3.5	บิต 5	T1 (สัญญาณอินพุตเบอร์ 1 ที่ป้อนให้กับเคาน์เตอร์ไทมเมอร์)
P3.6	บิต 6	(WR)' (สัญญาณให้ทำการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำภายนอกที่ใช้เก็บข้อมูล)
P3.7	บิต 7	(RD)' (สัญญาณให้ทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกที่ใช้เก็บข้อมูล)

เราสามารถนำพอร์ตเบอร์ 3 มาทำงานเป็นพอร์ต I/O สองทิศทางแบบขนานได้ตั้งพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 และเรายังสามารถนำพอร์ตเบอร์ 3 นี้มาใช้งานในหน้าที่พิเศษอื่นๆ ได้ด้วย ดังตารางด้านล่างแสดงหน้าที่ต่างๆของแต่ละบิตในพอร์ตเบอร์ 3 ในโหมดการทำงานปกติและโหมดการทำงานพิเศษ

ขา 2 ของพอร์ตเบอร์ 3 จะถูกนำมาใช้งานร่วมกับพอร์ตเบอร์ 0 และ พอร์ตเบอร์ 2 เมื่อ 8051 มีการใช้หน่วยความจำภายนอกซึ่งได้แก่ ขา P3.6 โดยขานี้จะเป็นขาส่งสัญญาณให้ทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอก (ขา (WR)') และขา P3.7 โดยขานี้เป็นขาส่งสัญญาณให้ทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก (ขา (RD)') เราจะไม่นำขาทั้งสองนี้มาใช้ถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็นหน่วยความจำ สำหรับเก็บ โปรแกรม เนื่องจากว่าเราไม่สามารถเขียนข้อมูลลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำประเภทนี้ แต่เราจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมนี้ได้โดยใช้ สัญญาณควบคุม (PSEN)'

ขาอื่นๆในพอร์ตเบอร์ 3 จะถูกนำมาใช้ในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม (ขา P3.0 และ ขา P3.1) รับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอก (ขา INTO และ INT1 และป้อนสัญญาณอินพุต จากภายนอกไปให้กับเคาน์เตอร์ไทมเมอร์ ขนาด 16 บิต (ขา T0 และ T1) จากรูปที่ 6 เราจะพบว่า พอร์ตเบอร์ 1 มีคอนโทรล พูล-อัพ (Controlled Pull-up) ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกใช้ในการโอนย้าย ข้อมูลแบบขนานทีละ 8 บิต

จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราจะเห็นได้ว่าไม่มีรีจิสเตอร์ ควบคุมการทำงานพอร์ต I/O แต่ละตัวเลย พอร์ต I/O เหล่านี้จะมีรูปร่างอย่างไรว่ามันต้องทำงานใน โหมดอ่านหรือเขียนข้อมูล คำตอบคือ คำสั่งที่ใช้งานพอร์ต I/O จะเป็นตัวกำหนดการทำงานของ พอร์ต เช่น คำสั่งอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O (ที่อ่านข้อมูลที่ละบิตหรือทีละไบต์) จะทำให้ 8051 ทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O และคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ในพอร์ตส่ง ข้อมูลออกจะ เป็นการเขียนข้อมูลลงในพอร์ตส่งข้อมูลออกของ I/O

เนื่องจากพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มี controlled pull-up ดังนั้นก่อนที่จะให้พอร์ตทำ การรับข้อมูล เราจะต้องทำการเปลี่ยนค่าในบิตต่างๆ ของพอร์ตนั้นให้มีความเป็น 1 จากนั้นอุปกรณ์ ภายนอกที่จะส่งข้อมูลไปยังพอร์ตก็จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าในบิตเหล่านี้ให้เป็น 0 หรือคงค่าเดิม ไว้ และเมื่อเราทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ตเราก็จะได้ข้อมูลที่ถูกลงจากอุปกรณ์ภายนอก

มีคำสั่ง 2 ชนิดที่เราสามารถใช้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O คำสั่งชนิดแรกจะทำการ อ่านข้อมูลจากแลตซ์ข้อมูล ซึ่งเราสามารถใส่คำสั่งนี้ในการอ่านข้อมูลจากแลตซ์ข้อมูลเปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่อ่านได้ (ถ้าจำเป็น) และเก็บข้อมูลลงในแลตซ์ข้อมูลตามเดิมได้ คำสั่งชนิดนี้มีชื่อว่า read-modify-write

คำสั่งอีกชนิดที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O จะทำการอ่านข้อมูลจากขาของพอร์ต โดยตรง เหตุผลที่เราใส่คำสั่งในการอ้างอิง I/O ถึง 2 ชนิด เนื่องจากคำสั่งแบบ read-modify-write ที่ ทำการอ้างอิงข้อมูลจากแลตซ์ ข้อมูลนั้นสามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลที่อาจ เกิดขึ้นเนื่องจากระดับศักดาไฟฟ้าที่ขาของพอร์ตได้ เช่น ถ้าเรานำบิตหนึ่งของพอร์ตมาเชื่อมต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่ง โดยทรานซิสเตอร์จะทำงานเมื่อเรากำหนดให้บิตนั้นมีค่าทาง ทรรกะเป็น 1 เมื่อ 8051 ใช้คำสั่งที่ทำการอ่านค่าจากขาของพอร์ตโดยตรง ค่าที่อ่านได้จะมีค่าทาง ทรรกะเป็น 0 เนื่องจากข้อต่อระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ (base-emitter junction) ของ ทรานซิสเตอร์ที่เป็นการไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด (forward bias) จะไม่ให้ระดับศักดาไฟฟ้าที่ขาของ พอร์ตมีขนาดเกิน 0.7 โวลต์ แต่ถ้าเราใส่คำสั่งที่อ่านค่าของบิตนี้จากแลตซ์ข้อมูลในพอร์ตเราจะ ได้ ค่าทางทรรกะเป็นหนึ่ง

พอร์ตอนุกรมของ 8051

คุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งของ 8051 คือ พอร์ตแบบอนุกรมที่มีอยู่ในตัวชิพ 8051 ในไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การเพิ่มพอร์ตอนุกรมจะต้องเพิ่ม UART และวงจรควบคุมไอซีที่สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความซับซ้อนและมีราคาค่อนข้างสูง

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของ 8051 นั้นเป็นแบบ ฟูลดูเพลก (full duplex) ซึ่งหมายความว่ามันสามารถทำการรับ และส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน การเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้จะมีการพักข้อมูลที่รับเข้ามา (Receive-Buffered) ซึ่งนั่นก็หมายความว่าก่อนที่ข้อมูลชิ้นแรกจะถูกส่งออกไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ พอร์ตอนุกรมจะสามารถรองรับข้อมูลอนุกรมชิ้นที่สองได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลชิ้นแรกจะต้องถูกส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ก่อนที่ข้อมูลชิ้นที่สองที่รับเข้ามาจะถูกนำไปเก็บในแลตช์ข้อมูล มิฉะนั้นข้อมูลชิ้นแรกที่อยู่ในนั้นจะถูกเขียนทับ

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้มีการใช้รีจิสเตอร์ 2 ตัว ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล เราคิดต่อกับรีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ได้โดยการอ้างอิงรีจิสเตอร์พิเศษตัวหนึ่งที่มีชื่อว่า SBUF ถ้าเราทำการเขียนข้อมูลลง SBUF แสดงว่าเราได้เขียนข้อมูลลงรีจิสเตอร์ส่งข้อมูล แต่ถ้าเราทำการอ่านข้อมูลจาก SBUF แสดงว่าเราอ่านข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์รับข้อมูล จะเห็นได้ว่ารีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลทั้งสองนี้มีค่าแอดเดรสค่าเดียวกัน

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม (serial port control register :SCON) จะเก็บข้อมูลที่ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

SM1	SM2	SM3	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

ตารางที่ 2.13 แสดงโหมดการทำงาน

SM0 SCON.7	กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม
SM1 SCON.6	กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม
SM2 SCON.5	บิตนี้จะถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวในโหมดการทำงานที่ 2 และ 3 สำหรับในโหมด 2 หรือโหมด 3 นี้ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 1 บิต RI จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง หากค่าในบิตที่ 9 ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 0 สำหรับในโหมด 1 ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 1 บิต RI จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าเกิดการรับบิตสตอปผิด สำหรับในโหมด 0 บิต SM2 จะมีค่าเป็น 0
REN SCON.4	บิตนี้จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยโปรแกรมเพื่อทำการรับ/ไม่รับข้อมูล

TB8 SCON.3	บิตที่ 9 ในข้อมูลอนุกรมที่จะถูกส่งไป
RB8 SCON.2	บิตนี้จะมีค่าเท่ากับบิตที่ 9 ในข้อมูลอนุกรมที่รับเข้ามาในโหมดที่ 2 และโหมดที่ 3 สำหรับในโหมดที่ 1 ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 0 บิต RB8 จะมีค่าเท่ากับค่าในบิตสตอปของข้อมูลที่รับเข้ามา สำหรับในโหมด 0 บิต RB8 จะไม่ถูกนำมาใช้งาน
TI SCON.1	แฟล็ก ทรานมิตชันอินเตอร์รัพต์ จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ หลังจากได้มีการเลื่อนข้อมูลขนาด 8 บิตออกในโหมด 0 หรือเมื่อได้ทำการส่งข้อมูลจนพบบิตสตอปในโหมดอื่น หลังการส่งข้อมูลแบบอนุกรมค่าในบิตนี้จะถูกเคลียร์โดยซอฟต์แวร์
RI SCON.0	แฟล็ก รีซีพอินเตอร์รัพต์ จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ หลังจากได้มีการเลื่อนข้อมูลขนาด 8 บิตเข้ามาในโหมด 0 หรือที่จุดครึ่งทางของช่องบิตสตอปในโหมดอื่น (ยกเว้นกรณี SM2 มีค่าเป็น 1) หลังการรับข้อมูลแบบอนุกรมค่าในบิตนี้จะถูกเคลียร์โดยซอฟต์แวร์

SM0	SM1	โหมดการทำงาน ของพอร์ตอนุกรม	รายละเอียด	baud rate
0	0	0	รีจิสเตอร์ที่เลื่อนค่าได้	ความถี่ออสซิลเลเตอร์ /12 เปลี่ยนแปลงได้
0	1	1	UART ขนาด 8 บิต	ความถี่ออสซิลเลเตอร์ /64
1	0	2	UART ขนาด 9 บิต	หรือความถี่ออสซิลเลเตอร์ /32
1	1	3	UART ขนาด 9 บิต	เปลี่ยนแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 การอินเทอร์รัพท์ และการออกแบบ (Interrupt and Design)

บทนำ

การอินเทอร์รัพท์ คือ การติดต่อเพื่อรับส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ภายนอกต่างๆของคอมพิวเตอร์ เช่น จอภาพ, แป้นพิมพ์, เครื่องพิมพ์, เมาส์และอื่นๆ กับ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะมีการติดต่อกันอยู่เสมอๆ การที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นก็คือ การมีการติดต่อหรือการอินเทอร์รัพท์ที่คืบเนื่อง

การอินเทอร์รัพท์

ในระบบที่มีอุปกรณ์ต่างๆหลายชนิดนั้น บางครั้งเราอาจจะสงสัยว่าในขณะที่นาฬิกาของเครื่องเดินไปได้ตลอดเวลาพร้อมกับที่เราใช้งานอย่างอื่นโดยที่เวลาเดินไปอย่างไม่ผิดพลาด หรือว่าเครื่องได้อ่านแผ่นดิสก์อยู่ ในขณะที่เดียวกับที่เราพิมพ์ข้อมูลผ่านทางแป้นพิมพ์ได้ ซึ่งเสมือนว่าเครื่องสามารถทำงานได้หลายๆอย่างในเวลาเดียวกัน ซึ่งการที่จะทำได้เช่นนี้นั้น ซีพียูจำเป็นต้องมีวิธีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีหนึ่งก็คือ ให้ซีพียูใช้เวลาส่วนใหญ่ในการทำโปรแกรมหลัก และหันมาสนใจอุปกรณ์ภายนอกก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ภายนอกส่งสัญญาณ เข้ามาขัดจังหวะการทำงานที่ซีพียูทำอยู่ในขณะนั้น ซึ่งซีพียูมีสิทธิที่จะยอมรับหรือปฏิเสธการขัดจังหวะนั้นก็ได้ อาจเปรียบได้ว่าเรากำลังเขียนรายงานอยู่ แล้วมีเสียงโทรศัพท์ดังขึ้นมา เราก็จะต้องตัดสินใจว่าสิ่งใดมีความสำคัญมากกว่ากัน หากคิดว่าโทรศัพท์สำคัญกว่า ก็หยุดการเขียนรายงานและไปรับโทรศัพท์ก่อน แล้วจึงกลับมาเขียนรายงานต่อ ดังนั้นในลักษณะนี้ หากว่าซีพียูยอมรับการขัดจังหวะนั้น ซีพียู จะหยุดจากการทำงานในโปรแกรมหลักและไปทำงานในโปรแกรมน้อยซึ่งอุปกรณ์นั้นๆร้องขอมา เมื่อเสร็จแล้ว ซีพียูก็จะกลับมาทำโปรแกรมเดิมที่ หยุดไปต่อ ไป ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การอินเทอร์รัพท์ (Interrupt)

ประเภทของการอินเทอร์รัพท์

การอินเทอร์รัพท์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้คือ

1. นอน-แมสเคเบิล อินเทอร์รัพท์ (Non-maskable Interrupt; NMI) คือการอินเทอร์รัพท์ที่ซีพียูไม่สามารถปฏิเสธได้ หากมีการอินเทอร์รัพท์ประเภทนี้มาซีพียูต้องหยุดการทำงานของโปรแกรมที่ทำอยู่ในขณะนั้น โดยไม่มีข้อแม้และเปลี่ยนไปทำงานให้การอุปกรณ์ที่มีการส่งอินเทอร์รัพท์เข้ามา

2. แมสเคเบิล อินเทอร์รัพท์ (Maskable Interrupt; INT) คือ การอินเทอร์รัพท์ที่ซีพียูสามารถปฏิเสธได้ โดยปรกติ ซีพียูจะมีการกำหนดว่าในขณะที่นั้น ซีพียูจะอยู่ในภาวะ ดิสซาเบิลอินเทอร์รัพท์ (DI) หรือ อินาเบิล(EI) ถ้าหากว่า ในขณะที่มีการอินเทอร์รัพท์เข้ามานั้น ซีพียูอยู่ในภาวะ ดิสซาเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเทอร์เน็ตแล้ว การอินเทอร์เน็ตนั้นก็ได้รับการปฏิเสธไป แต่ถ้าเป็นอินเทอร์เน็ต การอินเทอร์เน็ตนั้นก็ได้รับการสนองตอบ

นอกจากนี้ การอินเทอร์เน็ตยังมีการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละอินเทอร์เน็ตที่เข้ามาอีก ด้วย คงจะกล่าวในหัวข้อถัดไปนี้

2.7.4.1 การจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์เน็ต

ถึงแม้ว่าจะมีวงจรจากอุปกรณ์ภายนอกมากมายที่สามารถสร้าง และส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมาให้ซีพียูได้ แต่ซีพียูก็สามารถที่จะแยกแยะได้ ว่าวงจรใดเป็นผู้สร้างสัญญาณอินเทอร์เน็ตนั้นๆ ขึ้นมาได้ เนื่องจากแต่ละวงจรจะให้อินเทอร์เน็ตเวกเตอร์ที่ต่างกัน ทำให้ซีพียูกระโดดไปทำงานในอินเทอร์เน็ตเซิร์ฟเวอร์ที่ต่างกัน โคนที่แต่ละ โปรแกรมก็ถูกเขียนให้ทำงานบริการแก่อุปกรณ์นั้นๆ

แม้ว่าซีพียูจะสามารถแยกแยะได้ว่าอุปกรณ์ใดเป็นผู้ส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตแล้วก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อมีอุปกรณ์มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ต้องการจะติดต่อกับซีพียูพร้อมๆกัน ปัญหาว่าซีพียูจะติดต่อกับอุปกรณ์ใดก่อนก็จะเกิดขึ้น จึงต้องมีการจัดให้ความสำคัญต่ออุปกรณ์ไม่เท่ากัน (Priority Arbitration)

อุปกรณ์ภายนอกจะไม่ได้ต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตของคนเข้า โดยตรงกับซีพียู แต่จะต่อผ่านวงจรจัดลำดับความสำคัญ ถ้ามีอุปกรณ์หลายตัวต้องการ ที่จะส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ต (INT) เข้าซีพียูพร้อมๆกัน วงจรจัดลำดับความสำคัญจะส่งผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตและ อินเทอร์เน็ตเวกเตอร์ ของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ (Priority) สูงสุด < WBR > ไปยังซีพียู ซีพียูจะตอบรับ และให้บริการอุปกรณ์ที่ส่งอินเทอร์เน็ตนั้นมาให้เสร็จสิ้นเสียก่อน แล้วจึงเริ่มให้ความสนใจแก่อินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญรองลงไปตามลำดับ

การจัดระบบอินเทอร์เน็ตไม่ว่าจะเป็นกลไกการกระโดด , การตอบรับ หรือกลไกการเก็บสถานะ การจัดระบบของซีพียู ดังกล่าวนี้ก็จะแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ว่าบริษัทผู้ผลิตจะออกแบบตัวไมโคร โปรเซสเซอร์มาเช่นไร ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานที่จะนำซีพียูตัวนั้นๆ ไปใช้

2.7.4.2 การควบคุมอินเทอร์เน็ต

การควบคุมการอินเทอร์เน็ต คือ การควบคุมซีพียูว่าจะให้ตอบรับอินเทอร์เน็ตหรือไม่ เนื่องจากในบางขณะที่ซีพียูกำลังทำงานที่ต่อเนื่องอยู่ เช่น โปรแกรมนาฬิกา ซึ่งหากมีการอินเทอร์เน็ตเข้ามาก็จะก่อให้เกิดความผิดพลาดของนาฬิกา ดังนั้นจึงต้องมีการบังคับไม่ให้มีการสนองตอบต่อการร้องขออินเทอร์เน็ตเข้ามา เมื่อโปรแกรมนาฬิกาเสร็จแล้ว จึงอนุญาตให้มีการตอบสนองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่ใช้ในการเซตหรือรีเซตแฟล็กอินเตอร์รัพท์นั้นเรียกว่า คำสั่งอินเตอร์รัพท์ ซึ่งได้แก่

- DI ซึ่งย่อมาจาก Disable Interrupt เป็นการเซตให้ซีพียูอยู่ในภาวะไม่ตอบสนอง
- EI ซึ่งย่อมาจาก Enable Interrupt ใช้เพื่อรีเซตแฟล็กให้อยู่ในภาวะตอบสนอง

2.7.4.3 หลักการทำงานของอินเตอร์รัพท์

ในไมโครโปรเซสเซอร์แทบจะทุกประเภทนั้น การอินเตอร์รัพท์จะเกิดขึ้นโดยอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทได้ส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เพื่อไปเปลี่ยนระดับสัญญาณที่ขา IC < WBR > ขาหนึ่งของไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งขานั้นจะถูกเรียกว่า ขาอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Pin) เพื่อเป็นการแจ้งแก่ไมโครโปรเซสเซอร์ถึงการอินเตอร์รัพท์ โดยจะมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

- 1.) วงจรภายนอกส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์มายังซีพียู
- 2.) หากซีพียูอยู่ในสถานะอินาเบิล (EI) ก็จะตอบรับการอินเตอร์รัพท์ด้วยการส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์แอก โนว์เลดจ์ (Interrupt Acknowledge) กลับไปยังวงจรภายนอก
- 3.) เซ็ตซีพียูให้อยู่ในสถานะ คิสซาเบิลอินเตอร์รัพท์ (DI) เพื่อป้องกันการอินเตอร์รัพท์ซ้อน
- 4.) หยุดการทำงานในโปรแกรมหลัก
- 5.) วงจรภายนอกส่งอินเตอร์รัพท์เวกเตอร์มาให้ซีพียูเพื่อบอกตำแหน่งที่จะให้ซีพียูกระโดดไป
- 6.) ซีพียูส่งค่าในรีจิสเตอร์ PC และรีจิสเตอร์ทั่วไป ไปเก็บไว้ในสแต็ค
- 7.) ไปทำงานในโปรแกรมย่อยเพื่อบริการอุปกรณ์ที่ส่งอินเตอร์รัพท์เข้ามาจนเสร็จ
- 8.) รับค่าที่ไปเก็บไว้ในสแต็คคืนสู่อีจิสเตอร์ PC และ รีจิสเตอร์ทั่วไปตามเดิม
- 9.) เซ็ตซีพียูให้กลับสู่สถานะ อินาเบิลอินเตอร์รัพท์(EI)
- 10.) ทำงานในโปรแกรมหลักที่ค้างอยู่ต่อไป

2.7.4.4 ตำแหน่งของโปรแกรมน้อยในการอินเตอร์รัพท์

การที่ซีพียูจะรู้ว่าโปรแกรมน้อยจากการอินเตอร์รัพท์ จะมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในหน่วยความจำนั้นส่วนแรกขึ้นอยู่กับชนิดของไมโครโปรเซสเซอร์นั้นๆ ผู้ผลิตไมโครโปรเซสเซอร์แต่ละชนิดหรือแต่ละรายก็จะมีกำหนดลักษณะการอ้างถึงตำแหน่งแตกต่างกันออกไป

โดยอาจจะกำหนดดังนี้

- ผู้ผลิตจะกำหนดไว้ว่าโปรแกรมน้อยของการอินเตอร์รัพท์จะต้องเก็บไว้ในที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งตลอดทั้งโปรแกรม

- เขียนเป็นเพียงคำสั่งกระโดดเพียงคำสั่งเดียวเพื่อกระโดดไปยังตำแหน่งอื่นที่เก็บโปรแกรมน้อยไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์เพื่อจัดตำแหน่งที่เก็บ โปรแกรมย่อยการอินเตอร์รัพท์ในหน่วยความจำ ซึ่งอาจเก็บไว้ที่ใดก็ได้

วิธีที่สองเป็นที่นิยมใช้ทั้งนี้เพราะการใช้วิธีนี้จะทำให้สามารถกำหนดช่วงของตำแหน่งได้กว้างกว่า ในขณะที่วิธีสตูค < WBR > ง่ายเป็นวิธีที่เร็วกว่า แต่เป็นการสิ้นเปลืองฮาร์ดแวร์

2.7.4.5 การอินเตอร์รัพท์จากหลายอุปกรณ์

ในซีพียูจะมีขาที่ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์อยู่เพียงขาเดียว ดังนั้นในกรณีที่มี อุปกรณ์หลายๆ อุปกรณ์ร้องขอการอินเตอร์รัพท์เข้ามา ทุกๆ อุปกรณ์ก็จะต้องทำการบิอนสัญญาณอินเตอร์รัพท์ให้แก่ซีพียูที่ขาเดียวกันนี้ จึงมีปัญหาเกิดขึ้นคือ เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้น ซีพียูจะจำแนกได้อย่างไรว่า < WBR > สัญญาณที่เข้ามานั้นมาจากอุปกรณ์ตัวใด วิธีการจำแนกสามารถทำได้หลายวิธี แต่แบ่งวิธีที่สำคัญออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีซอฟต์แวร์ เรียกว่า การโพล (Polling) และวิธีฮาร์ดแวร์ซึ่งต้องต้องต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย

- การโพล หมายถึงการที่ซีพียูจะตรวจสอบการเปลี่งการขออินเตอร์รัพท์ของหน่วยรับส่งข้อมูลเข้าออกที่ต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวตามลำดับเพื่อหาว่าสัญญาณนั้นส่งมาจากอุปกรณ์ใด เมื่อตรวจสอบแล้วก็ทำตามขั้นตอนของอินเตอร์รัพท์ต่อ คือบิอนค่าจากรีจิสเตอร์ต่างๆภายในซีพียูไปเก็บไว้ที่สแต็ค จากนั้นไปทำงานตาม โปรแกรมย่อยเพื่อให้บริการแก่อุปกรณ์ที่ขออินเตอร์รัพท์เข้ามา เมื่อจบแล้วก็บิอนค่าต่าง ๆ จากสแต็คกลับสู่รีจิสเตอร์ตามเดิม และกลับไปทำงานของโปรแกรมหลักที่ค้างไว้การ โพลจะช่วยค้นหาอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์

และในขณะเดียวกันก็จะจัดลำดับความสำคัญก่อนหลัง (Priority) ของอินเตอร์รัพท์จากอุปกรณ์ต่างๆที่ร้องขอมา เพื่อในกรณีที่การอินเตอร์รัพท์เข้ามาพร้อมๆกัน

- วิธีฮาร์ดแวร์ วิธีฮาร์ดแวร์จะมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มเติมเพื่อช่วยค้นหาว่าสัญญาณอินเตอร์รัพท์ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ไหน เพื่อซีพียูได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (INT) ก็จะส่งสัญญาณตอบสนองอินเตอร์รัพท์ (INTA = Interrupt Acknowledge) ผ่านกลับไปให้แต่ละอุปกรณ์ เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ใดเป็นผู้ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์มา เมื่อตรวจสอบแล้วอุปกรณ์นั้นก็จะส่งตำแหน่งที่เก็บ โปรแกรมย่อยของการอินเตอร์รัพท์นั้นให้แก่ซีพียู สัญญาณตอบสนองที่ซีพียูส่งออกไปนั้นจะอ่านอุปกรณ์ที่ละตัวตามลำดับก่อนหลังที่ได้กำหนดไว้ จนกว่าจะพบว่าอุปกรณ์ใดเป็นผู้ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์มา วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาต่อเพิ่มเติมนั้นจะเป็นไอซีเฉพาะกิจที่บริษัทผู้ผลิต ไมโคร โปรเซสเซอร์ผลิตออกมาจำหน่ายด้วย

บทที่ 3

การออกแบบและวงจร

3.1 การออกแบบ

3.1.1 สัญญาณกระตุ้น (Excitation)

3.1.1.1 รูปคลื่นไซน์ (Sine wave)

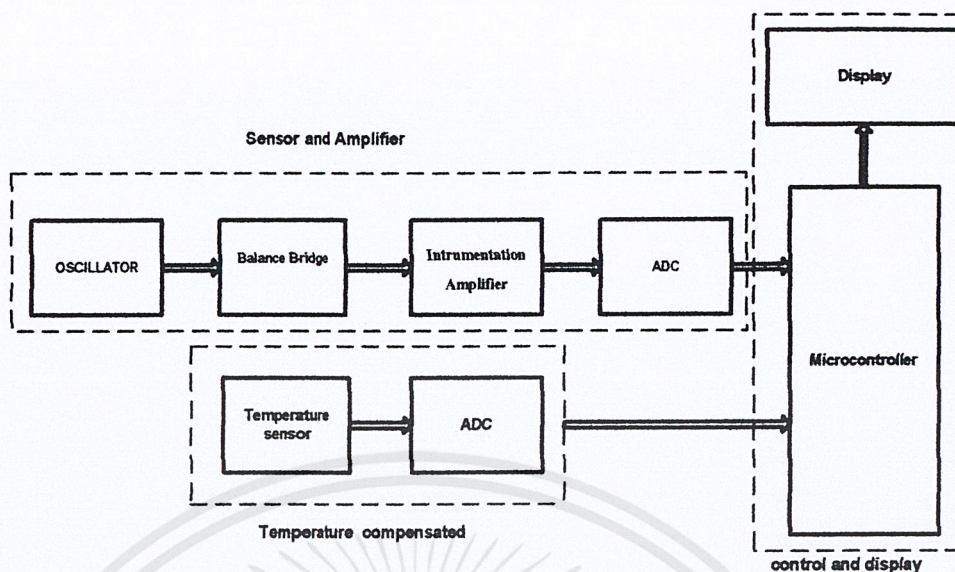
สัญญาณรูปคลื่นไซน์ส่วนมากแล้วจะใช้ในย่านความถี่สูง ๆ (ตั้งแต่เมกะเฮิรตซ์ ขึ้นไป) ระบบจะสามารถวัดค่า ที่มีค่าต่ำ ๆ ได้และได้รับความนิยมเพราะเมื่อนำไปใช้ในวงจรจะมีความเที่ยงตรงสูง ดังนั้นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะเป็นปัจจัยสำคัญของวงจรไฮเกนบริดจ์ (high gain bridge) แต่จะมีข้อเสียตรงที่การจะทำให้เกิดสัญญาณ รูปคลื่นไซน์ ที่ความถี่สูง ๆ เป็นเรื่องที่ยากลำบากและควบคุมยาก อีกทั้งยังมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับวงจรรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3.1.1.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave)

สัญญาณ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม สามารถทำได้ง่ายโดยใช้อุปกรณ์เพียงไม่กี่ตัว และค่าที่ได้ก็มีความแรงดันทางเอาต์พุตที่สูงพอสมควร เหมาะสมที่จะใช้กับวงจรที่ค่าความถี่ไม่สูงมากนักและจะให้สัญญาณที่ค่อนข้างเที่ยงตรง แต่เมื่อนำไปใช้ในย่านความถี่สูง ๆ เมื่อมีสัญญาณรบกวนหรือฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) ก็จะทำให้สัญญาณที่ได้ผิดเพี้ยนไป แต่สัญญาณรูปคลื่นไซน์ สามารถแก้ไขได้โดยวงจรฟิลเตอร์

3.1.2 บล็อกไดอะแกรม

บล็อกไดอะแกรมนี้เห็นได้แสดงถึง วงจรรวมทั้งหมดของเครื่องมือวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก ประกอบไปด้วยวงจรหลัก 3 วงจรคือ วงจรตรวจวัดและขยายสัญญาณ , วงจรชดเชยอุณหภูมิ และวงจรประมวลผลและแสดงผล ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 บล็อก ไดอะแกรมของเครื่องมือวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก

3.2 วงจร (Circuits)

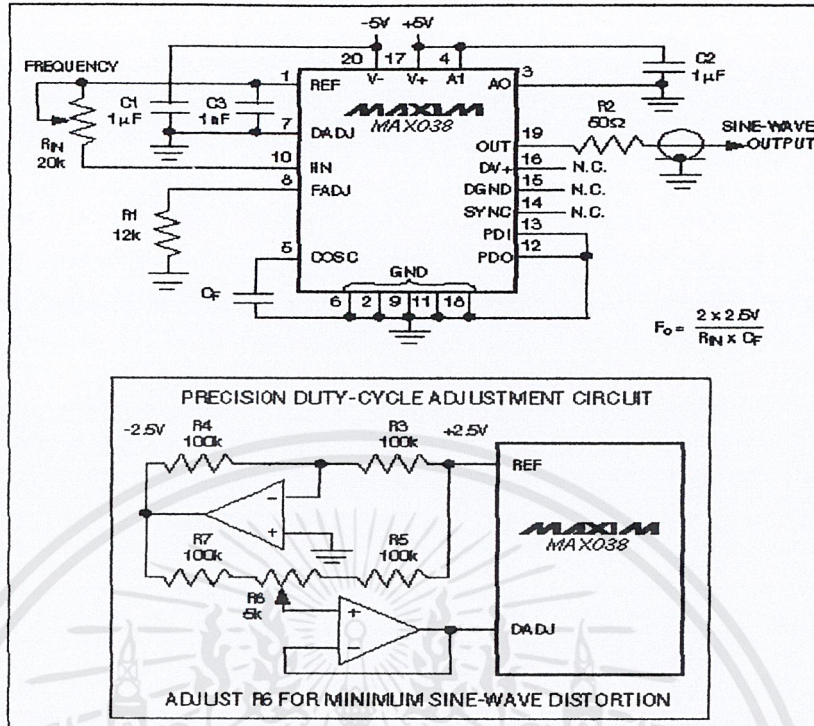
วงจรที่เกี่ยวข้องสำหรับเครื่องมือวัดค่าความชื้นข้าวเมล็ดข้าวเปลือกนั้นก็มีหลัก ๆ ทั้งหมด 3 วงจร คือวงจรภาคตรวจวัดและขยายสัญญาณ วงจรภาคชดเชยอุณหภูมิ และวงจรภาคประมวลผลและแสดงผล

3.2.1 ภาคตรวจวัดและขยายสัญญาณ

จะประกอบไปด้วยวงจรย่อยคือ วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ วงจรสมมูลบริดจ์แบบขนาน (Parallel bridge balance) และวงจรภาคขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier)

3.2.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์

การใช้ค่าคาปาซิแตนซ์ ในการวัดนั้นจำเป็นต้องใช้วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่วงจรในที่นี้ใช้ไอซีสำเร็จรูปในการกำเนิดสัญญาณขึ้นมา ไอซีที่ใช้คือ MAX038 เป็นของบริษัท MAXIM ซึ่ง ไอซีชนิดนี้เป็น ไอซีที่สามารถผลิตความถี่ได้ในย่านที่กว้าง 0.1 เฮิร์ตซ์ถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์และแรงดันทางเอาต์พุตของรูปคลื่นสัญญาณจะมีระดับอยู่ที่ 2 โวลต์ พีก-ทู-พีก จากการที่มีคุณสมบัติทางเอาต์พุต อิมพีแดนซ์ต่ำทำให้สามารถขับกระแสออกทางเอาต์พุตได้สูงถึง ± 20 มิลลิแอมป์ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งานว่าจะใช้งานที่ความถี่เท่าใด ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การต่อใช้งานออสซิลเลเตอร์ของไอซี MAX338

คุณสมบัติของ MAX338

- 1.) กำหนดรูปคลื่นสัญญาณความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1 เฮิรตซ์ ถึง 20 เมกะเฮิรตซ์
- 2.) สามารถผลิตรูปคลื่นได้หลายแบบทั้ง สัญญาณ ไซน์, สี่เหลี่ยม, พัลส์ หรือสามเหลี่ยม
- 3.) ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้เอง
- 4.) สามารถปรับเลือกค่าความถี่และค่าความถี่ไซเคิลได้
- 5.) ปรับค่าความถี่ไซเคิลได้ในช่วง 15-85 เปอร์เซ็นต์
- 6.) มีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ
- 7.) ที่ค่าความถี่รูปไซน์มีความเพี้ยนต่ำที่ 0.75 เปอร์เซ็นต์
- 8.) มีความเปลี่ยนแปลงของรูปสัญญาณต่ออุณหภูมิต่ำ (200 ppm/°C)

การเลือกรูปคลื่นเอาต์พุต

MAX338 สามารถที่จะกำหนดรูปคลื่นสัญญาณได้ถึงสามรูปคลื่นและสำคัญต่อการใช้งานมากสำหรับรูปคลื่นทั้งสาม และที่ขาแอดเดรส A_0 และ A_1 จะต้องเป็นขาที่ไต่ระดับ หรือสัญญาณลอจิกควมคุม โดยลักษณะการเซตลอจิกควมคุมขาแอดเดรสทั้งสองจะเป็นดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การต่อเชื่อมของไอซี MAX038

A0	A1	Waveform
X	1	Sine wave
0	0	Square wave
1	0	Triangle wave

(X = Don't care)

โดย X ในที่นี้ไม่สนใจว่าในขณะนั้นขา A_0 จะเป็นระดับลอจิกใดก็ตามจะมีผลเฉพาะระดับลอจิกที่ขา A_1 เท่านั้น ในตำแหน่งคลื่นไซน์

ค่าความถี่เอาต์พุต

ค่าความถี่ทวงเอาต์พุตนั้นจะได้จากการแบ่งส่วนของกระแสที่ไหลเข้าไปยังขา I_{IN} ร่วมกับค่าความจุของตัวเก็บประจุ C_F ต่ออยู่กับขา C_{OSC} เทียบกับกราวด์ และร่วมกับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขา $V_{FADJ} = 0$ โวลต์ ค่าความถี่เริ่มต้นหรือค่าความถี่มูลฐาน (F_O) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$F_O = \frac{I_{IN}}{C_F} \quad (3.1)$$

โดยที่ F_O = ค่าความถี่มูลฐาน (เมกะเฮิร์ตซ์)

I_{IN} = ค่ากระแสที่ขา I_{IN} (ไมโครแอมป์)

C_F = ค่าความจุที่ต่อกับขา C_{OSC} (พิโกฟารัด)

ในอันดับต่อมาค่าของคาบเวลา (t_O) ของความถี่หาได้จากสมการ

$$t_O = \frac{C_F}{I_{IN}} \quad \text{ไมโครวินาที} \quad (3.2)$$

โดยที่ I_{IN} = ค่ากระแสที่ขา I_{IN} ค่าตั้งแต่ 2-270 ไมโครแอมป์

C_F = ค่าความจุที่ต่อกับขา C_{OSC} กับกราวด์ค่าตั้งแต่ 20 พิโกฟารัดถึงมากกว่า 100 ไมโครฟารัด

ในกรณีที่ต้องคิดค่ากระแสกับวงจรขยายภายในแบบรูปปิดระหว่าง C_{OSC} กับกราวด์และแรงดันออฟเซตทางอินพุตที่น้อยกว่า เมื่อใช้แรงดันมาอนุกรมกับตัวต้านทาน สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ก็ต้องเปลี่ยนไป และได้สมการใหม่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_o = \frac{V_{IN}}{(R_{IN} \times C_F)} \quad (3.3)$$

และคาบเวลาก็จะได้เป็น

$$t_o = \frac{(C_F \times R_{IN})}{V_{IN}} \quad (3.4)$$

โดยที่ F_o = ค่าความถี่มูลฐาน (เมกะเฮิร์ตซ์)

I_{IN} = ค่ากระแสที่ขา I_{IN} (ไมโครแอมป์)

C_F = ค่าความจุที่ต่อกับขา C_{OSC} (พิโกฟารัด)

R_{IN} = ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับขา I_{IN} (โอห์ม)

t_o = คาบเวลา (ไมโครวินาที)

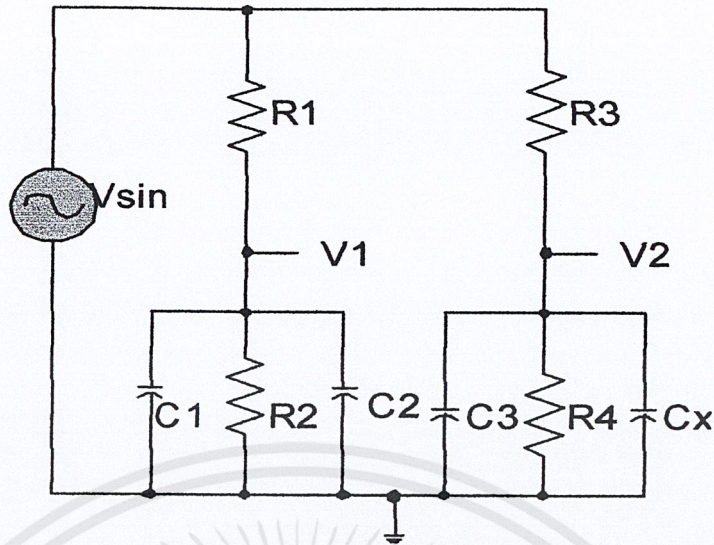
เช่น เมื่อต้องการความถี่ 1 MHz

$$F_o = \frac{5V}{R_m \times C_f}$$

ใช้ค่า $C_f = 0.1 \mu F$ และค่า $R_m = 25 \Omega$

3.2.1.2 วงจรบริดจ์สมดุลแบบขนาน (Parallel Bridge Balance)

โดยที่กล่องใส่เมตซ์ข้าวเปลือก เพื่อวัดค่าความชื้นของเมตซ์ข้าวเปลือกนั้นจะมีค่าเสมือนตัว Capacitor ตัวหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 วงจรบริดจ์สมดุลแบบขนาน

โดยที่ค่า C_x เป็นกล่องที่ใช้ใส่เมตซ์ข้าวเปลือก ในที่นี้ไม่แสดงค่าความต้านทานเนื่องจากค่าความต้านทานมีค่าสูงมาก มีค่าหลายเมกะ โอห์มเมื่อนำมาขนานกับค่าความต้านทาน R_4 ค่าที่ได้จึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทาน R_4 จากการตั้งค่าเริ่มต้นเพื่อให้ค่าของวงจรอยู่ในสภาวะที่สมดุลจะวัดที่กล่องอยู่ในสภาวะที่ค่า รีเลทีฟไดอิเล็กทริกคอนสแตนต์ (relative dielectric constant ; ϵ_r) เป็นอากาศซึ่งค่าของ ϵ_r มีค่าประมาณ 1 ดังนั้นเมื่อนำเมตซ์ข้าวเปลือก มาใส่ในกล่องจะทำให้ค่า C_x เปลี่ยนแปลงค่าตามความชื้นภายในเมตซ์ข้าวเปลือก ซึ่งค่าประจุ C_x จะมีอยู่สองค่าด้วยกันคือ ค่าประจุที่มีค่ารีเลทีฟไดอิเล็กทริกคอนสแตนต์ ; ϵ_r เป็นของอากาศ และค่าค่ารีเลทีฟไดอิเล็กทริกคอนสแตนต์เป็นของเมตซ์ข้าวเปลือก โดยค่าประจุทั้งสองนี้จะอนุกรมกันอยู่ทำให้วงจรอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุล แต่เมื่อค่าอยู่ในสภาวะสมดุลหรือสภาวะก่อนทำการนำเมตซ์ข้าวเปลือก มาใส่ในกล่องหรือช่อง ค่าต่างๆจะได้สมการดังนี้

$$Z_1 = R_1 \quad ; \quad Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} - \frac{1}{jX_{c2}}}$$

$$Z_3 = R_3 \quad ; \quad Z_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_4} - \frac{1}{jX_{c4}}}$$

$$\text{โดยที่} \quad X_{c1} = \frac{1}{2\pi f (c_1 + c_2)} \quad ; \quad X_{c4} = \frac{1}{2\pi f (c_3 + c_x)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแรงดันที่ V_1 และ V_2 ก็จะเท่ากัน แต่เมื่อนำเมล็ดข้าวเปลือก มาใส่ลงในกล่องวัด ค่าของ C_x จะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นทำให้ค่า V_1 และ V_2 ไม่เท่ากัน

3.2.1.3 วงจร ขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrument Amplifier)

เป็นวงจรผสมกันระหว่าง วงจรขยายไม่กลับเฟส(Non-Inverting Amplifier) และ วงจรขยายค่าความต่าง (Differential Amplifier) ดังแสดงในภาพที่ 3.4 หลักการทำงานของวงจรมีดังนี้คือ เมื่อแรงดัน V_1 และ V_2 จากวงจรบริดจ์สมดุล (Balance Bridge) เข้าสู่ออปแอมป์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ดังแสดงผังรูป โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 นั้นจะเป็น วงจรขยายไม่กลับเฟส มีอัตราขยายคงสมการ

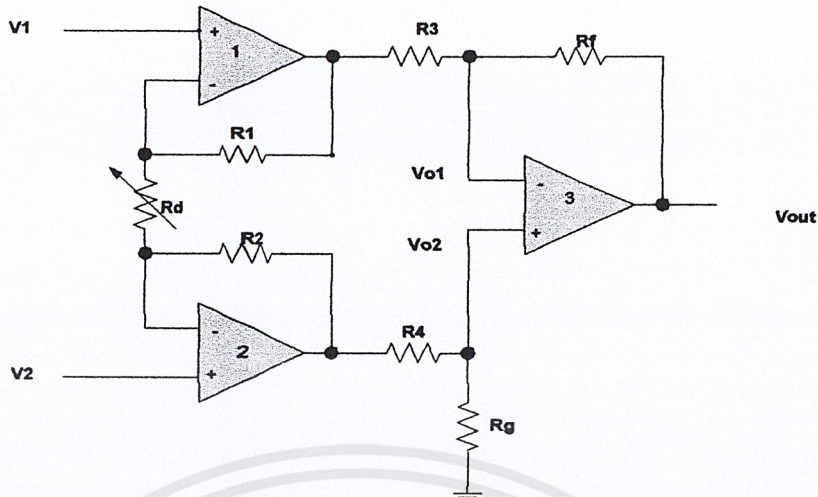
$$\frac{V_o}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_1}{R_d} \quad (3.4)$$

และที่ออปแอมป์ตัวที่ 2 ก็เช่นเดียวกันกับออปแอมป์ตัวที่ 1 ตัวต้านทาน R_d เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ มีประโยชน์ในการที่จะปรับค่าให้แรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 มีค่าเท่ากันในสถานะที่เริ่มแรก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นตัวปรับอัตราขยายของออปแอมป์ทั้งสองตัวพร้อมกัน เมื่ออัตราขยายตัวหนึ่งลด อีกตัวหนึ่งจะเพิ่มนั่นเอง ส่วนออปแอมป์ตัวที่ 3 เป็นออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจร ดิฟเฟอเรนเชียล แอมพลิฟายเออร์ มีสมการดังนี้

$$V_o = \frac{R_f}{R_3} (V_2 - V_1) \quad (3.5)$$

เมื่อ $R_3 = R_4 = R_g$

ดังนั้นเมื่อเกิดผลต่างของแรงดัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันทางเอาต์พุตเป็นแรงดันที่เกิดจากแรงดันอินพุต V_2 ลบกับแรงดันอินพุต V_1 นั่นเอง



ภาพที่ 3.4 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์

ดังนั้นสมการของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ คือ

$$V_{O1} = V_1 + \left(\frac{V_1 - V_2}{R_1} \right) R_d$$

$$V_{O2} = V_2 - \left(\frac{V_1 - V_2}{R_2} \right) R_d$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_3} (V_{O1} - V_{O2})$$

$$\text{เมื่อ } R_3 = R_4 ; R_f = R_g$$

(3.6)

3.2.1.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์ในส่วนประมวลผล

โดยในส่วนประมวลผลนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S8252 ของบริษัท ATMEL มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์ จึงไม่ต้องต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติม และมีพอร์ตใช้งาน 4 พอร์ต คือ P0, P1, P2 และ P3 โดยรายละเอียดการต่อใช้งานมีดังนี้

พอร์ต 0 ใช้เป็นพอร์ตแสดงผล (LCD)

พอร์ต 1 ต่อร่วมกับไอซีเบอร์ PCF8591 ใ้รับค่าสัญญาณดิจิทัล ที่ได้รับการแปลงจากอนาลอกเป็นดิจิทัลแล้วจาก PCF8591 เข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ พอร์ต 1.0 (P1.0) และพอร์ต 1.1 (P1.1)

พอร์ต 2 ใช้เป็นอินพุตพอร์ต โดยต่อร่วมกับไอซีเบอร์ DS1820 ใช้พอร์ต 2.7 เป็นตัวติดต่อกับ DS1820

พอร์ต 3 ใช้เป็นพอร์ตควบคุมการทำงาน โดยใช้พอร์ต 3.2 (INT0) เป็นพอร์ตที่ใช้ควบคุมการแสดงผลค่าความชื้น และใช้พอร์ต 3.2 (INT1) เป็นพอร์ตที่ใช้ควบคุมการแสดงผลค่าอุณหภูมิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

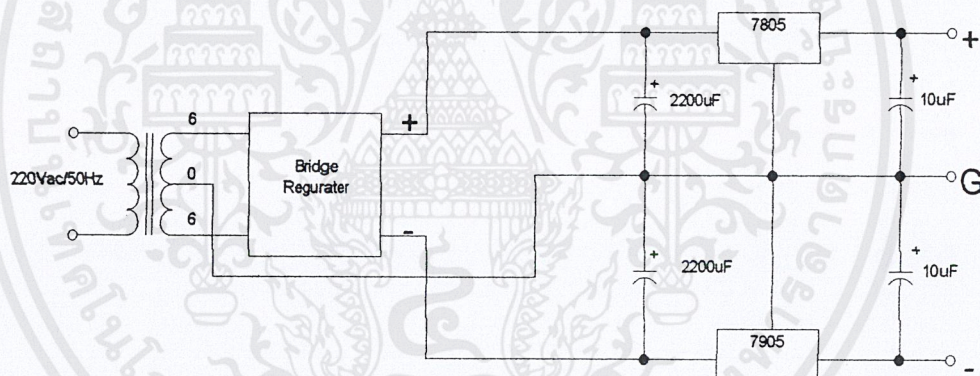
- ส่วนวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ใช้ไอซี PCF8591

ไอซีเบอร์ PCF8591 เป็นไอซีที่มีความสามารถสูง เนื่องจากในตัวมันมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอปพริอซิเมชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกอีก 1 ช่องระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น

- ส่วนแสดงผลเลือกใช้ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัดแสดงผล (16×1) ใช้คอนโทรลเลอร์เบอร์ HD44750 เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยต่อขา R/W ลงกราวด์ ขา E ต่อเข้ากับพอร์ต 3.6 ของ AT89S8252 และขา RS ต่อเข้ากับพอร์ต 3.7 ของ AT89S8252 ส่วนขาข้อมูลของ LCD ต่อเข้ากับ พอร์ต 0 ของ AT89S8252

3.2.1.5 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง

แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยวงจรนี้ใช้ไฟตรง +5 โวลต์, -5 โวลต์ และกราวด์ โดยใช้อิซีเบอร์ 7805 และ 7905 เป็นตัวกรองแรงดัน +5 โวลต์และ -5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้สูง 1 แอมป์ขณะไม่มีโหลด กราวด์ซึ่งได้มาจากหม้อแปลงแบบเซนเตอร์แทป



ภาพที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟตรง ± 5 โวลต์

บทที่ 4

การทดลอง

การทดสอบของชุดควบคุมต่างๆ ที่ได้ออกแบบส่วนต่างๆ ในบทที่ 3 แล้ว โดยแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้ การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล , การทดสอบวงจรส่วนแปรเปลี่ยนค่าแรงดันตามความชื้น

4.1 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

4.1.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของชุด ADC

4.1.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.1.2.1 ชุดคอนโทรลเลอร์

4.1.2.2 ชุด ADC และชุดแสดงผล

4.1.2.3 ชุดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

4.1.2.4 มัลติมิเตอร์

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.1.3.1 ทำการจ่ายแหล่งแรงดันเข้าที่ชุด ADC โดยค่อยๆ เพิ่มค่าแรงดันขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 5 โวลต์

4.1.3.2 คูณค่าที่ได้จากชุดแสดงผลและบันทึกผลลงตารางบันทึกผล

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

อนาลอกอินพุต (Volt)	ดิจิตอลเอาต์พุต (Hex)
0.0	00H
0.1	05H
0.2	0BH
0.3	0FH
0.4	14H
0.5	19H
0.6	1EH
0.7	23H
0.8	28H

0.9	2EH
1.0	33H
1.1	38H
1.2	3DH
1.3	42H
1.4	47H
1.5	4CH
1.6	51H
1.7	57H
1.8	5CH
1.9	61H
2.0	66H
2.1	6BH
2.2	70H
2.3	75H
2.4	7AH
2.5	80H
2.6	85H
2.7	8AH
2.8	8FH
2.9	94H
3.0	99H
3.1	9EH
3.2	A3H
3.3	A8H
3.4	AEH
3.5	B3H
3.6	B8H
3.7	BDH
3.8	C2H
3.9	C7H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.0	CCH
4.1	D1H
4.2	D7H
4.3	DCH
4.4	E1H
4.5	E6H
4.6	EBH
4.7	F0H
4.8	F5H
4.9	FAH
5.0	FFH

4.2 ทดสอบวงจรส่วนแปรเปลี่ยนค่าแรงดันตามความชื้น

4.2.1 วัตถุประสงค์

-เพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของวงจร ส่วนแปรเปลี่ยนค่าแรงดันตามความชื้น ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันกับความชื้นที่ได้เป็นอย่างไร

4.2.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.2.2.1 วงจรส่วนแปรเปลี่ยนค่าแรงดันตามความชื้น

4.2.2.2 เครื่องข้งละเอียด

4.2.2.3 บีกเกอร์

4.2.2.3 ตู้อบแห้ง

4.2.2.4 มัลติมิเตอร์

4.2.2.4 ขี้วเปลือกที่ผ่านการพรมน้ำ และหมักทิ้งไว้ 1 คืน

4.2.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นของเมล็ดข้าวนั้นมีความยุ่งยากเพราะมีหลายขั้นตอนและต้องมีค่าที่ต้องให้คงที่หลายค่า นั่นก็คือ

1.เมล็ดข้าวที่ต้องนำมาวัดต้องเป็นเมล็ดพันธุ์เดียวกัน เพื่อค่าที่ได้ในแต่ละครั้งจะใกล้เคียง

กัน โดยก่อนจะการวัดต้องนำเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออกเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำหนักของข้าวในการวัดแต่ละครั้งต้องเท่ากันและจำเป็นต้องเครื่องชั่งที่มีความละเอียด จึงจำเป็นต้องชั่งทุกครั้งก่อนนำไปเทในกล่อง น้ำหนักที่ใช้ในการชั่งคือ 100 กรัม เพราะเมื่อนำข้าวที่ชั่งแล้วไปทำการอบ น้ำหนักของข้าวเมื่ออบจนแห้งเหลือเท่าใด น้ำหนักที่หายไปนั้นก็คือค่าความชื้นของข้าว

3. อุณหภูมิที่ทำการวัดแต่ละครั้งต้องเท่ากันหรืออุณหภูมิต้องคงที่นั่นเอง ในที่นี้จะใช้ อุณหภูมิคงที่ที่ 30°C เหตุผลที่ใช้ค่าคงที่ค่านี้เพราะว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิในประเทศไทยมีอุณหภูมิที่ไม่คงที่ ในฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำมากบางปีอาจต่ำกว่า 10°C ส่วนฤดูร้อนอุณหภูมิอาจสูงมากกว่า 40°C แต่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ $25-35^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นจึงเลือกที่จะทำการวัดที่อุณหภูมิ 30°C

4. การอบเมล็ดข้าวต้องอบในเตาอบที่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิต้องสูงพอประมาณ ในการอบข้าว เพื่อไม่ให้ความชื้นหลงเหลืออยู่ก่อนนำไปชั่งอีกครั้ง ดังนั้นค่าความชื้นข้าว เท่ากับ น้ำหนักเมล็ดข้าวก่อนทำการอบลบน้ำหนักของเมล็ดข้าวหลังทำการอบ เช่น น้ำหนักก่อนทำการอบเท่ากับ 100 กรัม และน้ำหนักหลังทำการอบเท่ากับ 85 กรัม ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำภายในเมล็ดข้าวหรือ เปอร์เซ็นต์ของความชื้นนั่นเอง

4.2.4 วิธีการอบข้าว

วิธีการอบข้าวนั้นมีอยู่ 2 วิธีคือ

1. การอบแบบธรรมดา คือการใช้เมล็ดข้าวเปลือกไปอบในเตาอบที่ระบายอากาศ โดยใช้ อุณหภูมิในการอบที่ 70°C ใช้ระยะเวลาเกิน 48 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วต้องรอให้เย็น โดยไม่ให้โดนอากาศภายนอกเพื่อไม่ให้โดนความชื้นอีก

2. การอบแบบพิเศษ คือ การอบเมล็ดข้าวโดยการนำเมล็ดข้าวเปลือกนั้น ไปอบในเครื่องอบที่ไม่ทำให้เกิดความร้อนเพื่อให้เมล็ดข้างเปลือกแตกก่อนนำไปอบในเตาอบระบายอากาศที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วิธีนี้ใช้เวลาน้อยแต่ก็มีความยุ่งยากในการหาเครื่องอบ

4.2.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเมล็ดข้าวเปลือกมาที่เตรียมไว้มาคัดเมล็ดที่ลีบและเสียออกให้หมด แล้วนำน้ำฉีดพรมให้ทั่วพองหมด จากนั้นนำไปใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นเพื่อกันไม่ให้ไอน้ำระเหยออกทิ้งไว้นาน หนึ่ง คืนเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกดูดซึมน้ำอย่างทั่วถึง

2. เมื่อทิ้งเมล็ดข้าวเปลือกไว้นาน 1 คืน แล้วนำออกมผึ่งให้รับอากาศภายนอก หลังจากนั้นนำข้าวนั้นไปชั่ง โดยชั่งทีละ 100 กรัม แล้วนำมาวัดหาค่าต่าง ๆ

3. เมล็ดข้าวเปลือกที่เหลือก็ทำการผึ่งต่อไปเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกนั้นมีค่าความชื้นลดลง

4. ทิ้งช่วงการวัดข้าวแต่ละครั้งประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วนำเมล็ดข้าวมาชั่งให้ได้ 100 กรัม วัดค่าต่าง ๆ ทำอย่างนี้ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง เพื่อที่จะได้รู้ค่าความชื้นที่แตกต่างกันเมื่อเวลาที่ต่างกัน
5. ทำซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าที่ได้เป็นค่าความชื้นที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
6. นำข้าวที่ทำการวัดเสร็จแล้ว เข้าเตาอบเพื่อให้ข้าวแห้งสนิท แล้วนำข้าวที่อบเสร็จแล้วไปทำการชั่งอีกครั้งแล้วนำมาหักลบกัน ก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดข้าวนั้น ๆ
7. จากนั้นก็ทำการวัดที่อุณหภูมิที่ต่างกันไป เพื่อให้ทราบค่าความชื้นที่อุณหภูมิต่างกัน
8. ทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นต่าง ๆ กัน เพื่อที่จะทำให้ค่าผิดพลาดคลดน้อยลงตามไปด้วย

4.2.6 บันทึกผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1

วันที่ 28 มกราคม 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 ก่อนเข้าตู้อบ

จุดที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	11.30	100	0.6	27
2	11.45	100	0.65	27
3	12.00	100	0.55	27
4	12.15	100	0.6	27
5	12.30	100	0.55	27

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 หลังเข้าตู้อบ

ถุงที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	86.7	0.158	32	13.3
2	86.6	0.158	32	13.4
3	87.1	0.158	32	12.9
4	87.4	0.155	32	12.6
5	87	0.153	32	13

การทดลองครั้งที่ 2

วันที่ 28 มกราคม 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 ก่อนเข้าตู้อบ

ถุงที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	13.30	100	1.55	29.5
2	14.00	100	1.45	29.5
3	14.30	100	1.35	29.5
4	15.00	100	1.35	29.5
5	15.30	100	1.3	29.5

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 หลังเข้าตู้อบ

ถุงที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	85.6	0.155	32	14.4
2	85.4	0.155	32	14.6
3	85.8	0.155	32	14.2
4	85.5	0.155	32	14.5
5	88.9	0.155	32	11.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 3

วันที่ 30 มกราคม 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 31 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 ก่อนเข้าตู้อบ

ถุงที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	13.30	100	1.45	29
2	14.00	100	1.25	29
3	14.30	100	1.15	28
4	15.00	100	1.00	28.5
5	15.30	100	0.85	29
6	16.00	100	0.70	29
7	16.30	100	0.60	29
8	16.45	100	0.55	28.5
9	17.00	100	0.55	29.5
10	17.15	100	0.44	29.5
11	17.30	100	0.4	29
ข้าวธรรมดา	16.30	100	0.45	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 หลังเข้าคู่อบ

จุดที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	73.6	0.395	31	26.4
2	81.8	0.39	31	18.2
3	81.6	0.40	31	18.4
4	81.8	0.40	31	18.2
5	82.9	0.39	31	17.1
6	84.5	0.39	31	15.5
7	81.6	0.38	31	18.4
8	81.7	0.38	31	13.3
9	86.5	0.395	31	13.5
10	89.2	0.395	31	10.8
11	88.3	0.39	31	11.7
ค่าเฉลี่ยรวม	87.4	0.40	31	12.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 4

วันที่ 31 มกราคม 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 29.5 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 ก่อนเข้าสู่อบ

จุดที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	11.00	100	1.05	28
2	11.30	100	0.95	27.5
3	12.00	100	0.85	27.5
4	12.30	100	0.75	27.5
5	13.00	100	0.7	28
6	13.30	100	0.68	29
7	14.00	100	0.625	29
8	14.30	100	0.6	29.5
9	15.00	100	0.5	29.5
10	15.30	100	0.45	30
11	16.00	100	0.425	31
ข้าวธรรมดา	16.30	100	0.4	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่4 หลังเข้าสู่อบ

ถุงที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	83	0.40	31	17
2	82.5	0.40	31	17.5
3	83.3	0.39	31	16.5
4	84.1	0.39	31	15.9
5	83	0.39	31	17
6	84.5	0.39	31	15.5
7	85.9	0.385	31	14.1
8	85.5	0.385	31	14.5
9	88.5	0.385	31	11.5
10	88.7	0.385	31	11.3
11	89.3	0.38	31	10.7
ข้าวธรรมดา	90.9	0.38	31	9.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 5

วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 22 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 ก่อนเข้าสู่อบ

จุดที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	12.15	100	1.15	25
2	12.45	100	1.025	24
3	13.15	100	1.00	23
4	13.45	100	0.90	23
5	14.15	100	0.75	23
6	14.45	100	0.75	23
7	15.15	100	0.75	23
8	15.45	100	0.65	23
9	16.15	100	0.65	24
10	16.45	100	0.5	24
ข้าวธรรมดา	17.15	100	0.4	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 หลังเข้าสู่อบ

ถุงที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	83.2	0.15	34	16.8
2	83.1	0.15	34	16.9
3	83.5	0.15	34	16.5
4	83.3	0.15	34	16.7
5	84.3	0.15	34	15.7
6	84.1	0.15	34	15.9
7	84.1	0.15	34	15.9
8	84.8	0.15	34	15.2
9	85.1	0.15	34	14.9
10	85.5	0.15	34	14.5
ค่าเฉลี่ย	89.7	0.15	34	10.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 6

วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.12 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 ก่อนเข้าสู่อบ

ถุงที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	12.30	100	1.60	25.5
2	13.00	100	1.20	25
3	13.30	100	1.20	25
4	14.00	100	1.20	25
5	14.30	100	1.15	25
6	15.00	100	1.10	25
7	15.30	100	0.85	25
8	16.00	100	0.80	25
9	16.30	100	0.75	26
10	17.00	100	0.70	26
ข้าวธรรมดา	17.30	100	0.4	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 หลังเข้าสู่ือบ

จุดที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	81.2	0.15	33.5	18.8
2	81.5	0.15	33.5	18.5
3	81.9	0.15	33	18.1
4	82.3	0.15	34	17.7
5	82.6	0.15	34	17.4
6	82.7	0.15	33.5	17.3
7	83.3	0.15	33.5	16.7
8	83.8	0.15	34	16.2
9	84.5	0.15	34	15.5
10	84.6	0.15	34	15.4
ค่าเฉลี่ยรวม	89.8	0.15	34	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 7

วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2546 ที่อุณหภูมิห้อง 22.5 องศาเซลเซียส น้ำหนักของข้าว 100 กรัม

ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 ก่อนเข้าสู่อบ

จุดที่	เวลา (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลท์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	12.45	100	1.045	25.5
2	13.15	100	1.025	24
3	13.45	100	0.85	23
4	14.15	100	0.75	22
5	14.45	100	0.65	22
6	15.15	100	0.60	22
7	15.45	100	0.55	23
8	16.15	100	0.50	23
9	16.45	100	0.45	22
10	17.15	100	0.45	23
11	17.45	100	0.45	23
ข้าวธรรมดา	16.45	100	0.4	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 หลังเข้าตู้อบ

ถุงที่	น้ำหนัก (กรัม)	แรงดัน (โวลต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)
1	86	0.15	33	14
2	86.1	0.15	34	13.9
3	86.4	0.15	34	13.6
4	86.8	0.15	34	13.2
5	86.7	0.15	34	13.3
6	87	0.15	34	13
7	86.7	0.15	34	13.3
8	87.2	0.15	34	12.8
9	87.4	0.15	34	12.6
10	87.2	0.15	34	12.8
11	87.4	0.15	34	12.6
ข้าวธรรมดา	89.8	0.15	34	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การนำผลการทดลองมาออกแบบตัวประมวลผล

ทำการเปรียบเทียบสเกลระหว่างค่าความชื้น,ค่าแรงดันและสัญญาณดิจิทัล

ตารางที่ 4.16 แสดงเปรียบเทียบสเกลระหว่างค่าความชื้น,ค่าแรงดันและสัญญาณดิจิทัล

ความชื้น (%)	ค่าแรงดัน(โวลต์)	สัญญาณดิจิทัล(เลขฐานสิบ)
0	0	0
10	0.5	26
20	1	51
30	1.5	77
40	2	102
50	2.5	128
60	3	153
70	3.5	179
80	4	204
90	4.5	230
100	5	255

จากการทดลองจะพบว่าค่าความชื้นที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 10- 20% โดยประมาณ ซึ่งค่าแรงดันที่ได้จะอยู่ในช่วง 0.5- 1.3 โวลต์ โดยประมาณ ดังนั้นจึงจะขยายช่วง 0.5- 1.3 โวลต์ ให้กว้างมากขึ้น เพื่อวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแสดงได้ละเอียดมากขึ้น ค่าที่วัดได้จะเหลือไว้เล็กน้อยเป็น 0- 2 โวลต์ แล้วนำมาขยายเป็น 0-4 โวลต์ ช่วงความชื้น 10 – 20% แล้วนำเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเมื่อนำมาประมวลผลช่วงความชื้น 10 – 20% จะมีความละเอียดมากขึ้น

สาเหตุที่ใช้ช่วงแรงดัน 0 – 2 โวลต์ นี้ เพราะแรงดันที่ได้จากการวัดจะไม่เกินจากนี้ เพราะในการทดลองได้ใช้ขั้วเปลือกซึ่งฉีดย้ำน้ำหมักไว้ทั้งคืน เพื่อหาความชื้นสูงสุด ซึ่งแรงดันที่วัดได้จะมีค่าไม่เกิน 2 โวลต์

นำค่าที่ได้จากการทดลอง จากตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.15 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และนำค่าจากตารางที่ 4.16 และการแสดงผลทศนิยม 1 ตำแหน่ง ของความชื้น 10- 20% มาพิจารณาเป็นช่วงแรงดันใหม่

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความชื้น,ค่าแรงคั้นและสัญญาณดิจิตอลจากตารางนำค่า ช่วงแรงคั้นใหม่ที่ได้ นำไปเปรียบเทียบค่าสเกลความชื้นในช่วง 10 – 20 % ใหม่ ได้ดังนี้

ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ยแรงคั้น (โวลต์)	ช่วงแรงคั้นใหม่(0-4) (โวลต์)
10 – 11	10.2	0.418	0.836
11 – 12	11.4	0.51	1.02
12 – 15	12.7	0.622	1.244
15 – 16	15.6	0.84	1.68
16 – 17	16.6	0.95	1.9
17 – 18	17.3	1.01	2.02
18 – 19	18.4	1.1	2.2
19 – 20	19.5	1.206	2.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดค่าความชื้น ทำให้เกิดความยากลำบากในการปฏิบัติงาน เนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวแปรที่มาเกี่ยวข้อง ตัวแปรเหล่านั้นสามารถแยกเป็นประเด็นได้ดังนี้

1.) ส่วนประกอบภายในของเมล็ดข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวเปลือกที่มีทั่วไปจะมีส่วนประกอบไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะเป็นพันธุ์เดียวกันแต่ปริมาตรหรือขนาดของเมล็ดก็แตกต่างกันได้ ดังนั้นก่อนทำการทดลองแต่ละครั้งต้องนำเมล็ดข้าวมาคัดเอาเมล็ดที่เสียออกให้มากที่สุด เพื่อให้ค่าปริมาตรใกล้เคียงกันที่ค่าความชื้นเท่ากัน

2.) เครื่องมือวัดอ้างอิง

เครื่องมือวัดอ้างอิงนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะทำให้เครื่องมือวัดที่ทำการสร้างขึ้นมามีความเที่ยงตรงเพียงใด จากการศึกษาก็พบว่าค่าอ้างอิงของการวัดค่าความชื้นที่ดีที่สุดคือน้ำหนัก ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีเครื่องชั่งที่มีความเที่ยงตรงสูง อีกทั้งยังต้องใช้เตาอบที่สามารถระบายอากาศหรือดูดเอาอากาศข้างในเตาอบออกข้างนอกเพื่อที่จะสามารถรู้ค่าความชื้นต่างๆ ในส่วนนี้ก็ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาพืชไร่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ เครื่องชั่งและเตาอบในการทดลอง

เครื่องมืออ้างอิงอีกอย่างคือออสซิลโลสโคป เพราะต้องใช้วัดหาค่าความถี่ที่ใช้ในวงจร อีกทั้งยังต้องวัดค่าความถี่ทางด้านเอาต์พุต เพื่อนำไปหาค่าคาปาซิแตนซ์ของค่าความชื้นต่างๆ แต่ออสซิลโลสโคปที่มีค่าความเที่ยงตรงและสามารถวัดค่าความถี่สูงๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถบันทึกค่าที่ทำการทดลอง แต่ออสซิลโลสโคปถึงแม้จะมีแต่ก็ไม่สามารถนำออกจากห้องได้ เช่นเดียวกับเครื่องชั่งซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ดังนั้นค่าบางค่าที่ต้องการทราบจึงไม่สามารถทดลองได้

3.) สภาพแวดล้อม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อคุณสมบัติของค่าคาปาซิแตนซ์ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น ค่าเหล่านี้มีผลต่อค่าที่จะทำการทดลองทั้งสิ้น แต่ในการทำการทดลองไม่สามารถหาห้องที่มีอุณหภูมิ ความดันคงที่ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วจึงต้องมีตัวชดเชยอุณหภูมิ ส่วนความดันนั้นจากการศึกษาจะมีผลต่อค่าความชื้นไม่มากนัก และจากการศึกษาเครื่องมือวัดเครื่องมือที่อยู่ในปัจจุบันและจากการทดลองก็สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาทดลอง สามารถนำไปสร้างเครื่องมือวัดค่าความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก โดยที่เครื่องวัดนี้สามารถวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกได้ตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดประมาณ 0.5 – 1.5 เปอร์เซ็นต์ ผลจากความผิดพลาดนี้มีสาเหตุหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเมื่อต้องการวัดค่าที่เที่ยงตรงยิ่งขึ้น จะต้องมีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่พร้อมและเวลาศึกษาเกี่ยวกับพันธะซ้ำ อีกทั้งต้องมีสภาพแวดล้อมที่อยู่ในสภาวะปกติหรือนิ่งเพื่อสามารถวัดค่าได้อย่างเที่ยงตรง

สรุปสุดท้ายนี้คือ เครื่องวัดค่าความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกนี้ยังอยู่ในขั้นทำการทดลองและหาค่าตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าความชื้น ถ้าได้รับการพัฒนาให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้นแล้ว ก็จะสามารถนำไปใช้งานในสภาพหรือการใช้งานจริงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Larry K. Baxter. , Capacitive Sensors. , IEEE Press. , Inc 1997

William H.Hayt,JR. , Engineering Electromagnatics. , McGraw-Hill Book Co. , 1989

โครงการตำราเรียน Phsics Center. ออปแอมป์. หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. ชัยวัฒน์ ลี้พรจิตรวิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์
MCS-51. อินโนเวทีฟ เอ็ดเซอร์ริเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
; Program      : AT89S8252
; For          : MCS-51 Microcontroller Training System
; Filename     : Project2
; Assembler    : RAD51
; Copyright (C) 2000 Innovative Experiment Co.,Ltd.
;*****

;-----;
; Define Port&Pin Name
;-----;
SDA      BIT      P1.0    ; SDA I2C Bus
SCL      BIT      P1.1    ; SCL I2C Bus
ONEWIRE  BIT      P2.7    ; 1-Wire Interface (DS1820 Temp. Se
INT0_PIN BIT      P3.2
INT1_PIN BIT      P3.3

LCD_EN   BIT      P3.6    ; LCD Module Enable (Active High : Level)
LCD_RS   BIT      P3.7    ; LCD Module Register Select

;-----;
; Define User Register
;-----;
FLAG     EQU      02FH    ; User FLAG
BUSY     BIT      FLAG.0  ; Define BUSY as bit
I2C_ACK  BIT      FLAG.0  ; Define I2C Acknowledge as bit

;-----;
; Define User Register
;-----;
LCD_ADDR EQU      030H    ; For keep LCD Address
LCD_DATA EQU      031H    ; For keep LCD Data
LCD_PTR  EQU      032H    ; For keep LCD 3 Cha.r Pointer
I2C_ADDR EQU      033H    ; For keep I2C Address
I2C_DATA EQU      034H    ; For keep I2C Data
CONTROL  EQU      035H    ; For keep I2C PCF8591 Control Byte
AD_DATA  EQU      036H    ; For keep I2C A/D Data
ONEWIRE_DATA EQU      038H ; For keep ONEWIRE Data
TEMP     EQU      039H    ; For keep Temp. Data (Temp L only)
BUFFER   EQU      040H    ; Buffer

;-----;
; Define I2C Slave Address
;-----;
PCF8591_ID EQU      10010000B ; PCF8591:000 Slave Address

;-----;
; Main Program.
;-----;

                ORG      0000H          ; Reset Vector
                AJMP     INITIAL

                ORG      0003H
                LJMP     INT_0

                ORG      0013H
                LJMP     INT_01

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 INITIAL: MOV P0, #00000000B ; Clear Databus
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB    SDA                ; CLear I2C bus
SETB    SCL                ;
SETB    ONEWIRE            ; Clear Onewire bus

```

MAIN:

```

LCALL   INIT_LCD           ; Call LCD Initial subroutine
MOV     LCD_ADDR,#000H     ; Set Address 00H
LCALL   SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE_2     ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL   WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL   DELAY_1s          ; Delay

```

```

LCALL   INIT_LCD           ; Call LCD Initial subroutine
MOV     LCD_ADDR,#000H     ; Set Address 00H
LCALL   SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE_21    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL   WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL   DELAY_1s          ; Delay

```

MAIN_1:

```

MOV     R1,#BUFFER
MOV     A,#01000001B       ; Add Channel to Control Byte
MOV     CONTROL,A         ; Set Control 4 input , Analog Out E)
n.
LCALL   PCF8591_WR        ; Write PCF8591
LCALL   PCF8591_RD        ; Read PCF8591           ; Repeat Read to
LCALL   PCF8591_RD        ; Read PCF8591           ; Get Previos Da)
ta
MOV     @R1,AD_DATA       ; Read A/D Data to @R1
MOV     IE,#10000101B
LJMP   MAIN_1

```

```

;-----)
;
; COMPARE TO SHOW %
;-----)

```

INT_0:

```

CLR     IP.0
SETB    IP.2

```

READ_STORE:

```

LCALL   DS1820_RD
MOV     A,ONEWIRE_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
COM_TEMP: CLR C
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SUBB    A,#0FH
        JNC     COM_TEMP1
        LJMP    LOW_HIGH

COM_TEMP1:  CLR     C
            SUBB    A,#10H
            JNC     COM_TEMP2
            MOV     TEMP,#15
            AJMP    SUBB

COM_TEMP2:  CLR     C
            SUBB    A,#11H
            JNC     COM_TEMP3
            MOV     TEMP,#14
            AJMP    SUBB

COM_TEMP3:  CLR     C
            SUBB    A,#12H
            JNC     COM_TEMP4
            MOV     TEMP,#13
            AJMP    SUBB

COM_TEMP4:  CLR     C
            SUBB    A,#13H
            JNC     COM_TEMP5
            MOV     TEMP,#12
            AJMP    SUBB

COM_TEMP5:  CLR     C
            SUBB    A,#14H
            JNC     COM_TEMP6
            MOV     TEMP,#11
            AJMP    SUBB

COM_TEMP6:  CLR     C
            SUBB    A,#15H
            JNC     COM_TEMP7
            MOV     TEMP,#10
            AJMP    SUBB

COM_TEMP7:  CLR     C
            SUBB    A,#16H
            MOV     TEMP,#9
            AJMP    ADD

COM_TEMP8:  CLR     C
            SUBB    A,#17H
            JNC     COM_TEMP9
            MOV     TEMP,#8
            AJMP    ADD

COM_TEMP9:  CLR     C
            SUBB    A,#18H
            JNC     COM_TEMP10
            MOV     TEMP,#7
            AJMP    ADD

COM_TEMP10: CLR     C
            SUBB    A,#19H
            JNC     COM_TEMP11
            MOV     TEMP,#6
            AJMP    ADD
    
```

```

COM_TEMP11:   CLR     C
               SUBB    A,#1AH
               JNC     COM_TEMP12
               MOV     TEMP,#5
               AJMP    ADD

COM_TEMP12:   CLR     C
               SUBB    A,#1BH
               JNC     COM_TEMP13
               MOV     TEMP,#4
               AJMP    ADD

COM_TEMP13:   CLR     C
               SUBB    A,#1CH
               JNC     COM_TEMP14
               MOV     TEMP,#3
               AJMP    ADD

COM_TEMP14:   CLR     C
               SUBB    A,#1DH
               JNC     COM_TEMP15
               MOV     TEMP,#2
               AJMP    ADD

COM_TEMP15:   CLR     C
               SUBB    A,#1EH
               JNC     COM_TEMP16
               MOV     TEMP,#1
               AJMP    ADD

COM_TEMP16:   CLR     C
               SUBB    A,#1FH
               JNC     COM_TEMP17
               MOV     TEMP,#0
               AJMP    ADD

COM_TEMP17:   CLR     C
               SUBB    A,#20H
               JNC     COM_TEMP18
               MOV     TEMP,#1
               AJMP    SUBB

COM_TEMP18:   CLR     C
               SUBB    A,#21H
               JNC     COM_TEMP19
               MOV     TEMP,#2
               AJMP    SUBB

COM_TEMP19:   CLR     C
               SUBB    A,#22H
               JNC     COM_TEMP20
               MOV     TEMP,#3
               AJMP    SUBB

COM_TEMP20:   CLR     C
               SUBB    A,#23H
               JNC     COM_TEMP21
               MOV     TEMP,#4
               AJMP    SUBB

COM_TEMP21:   CLR     C
               SUBB    A,#24H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับ COM_TEMP22 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        AJMP     SUBB

COM_TEMP22:  CLR     C
             SUBB   A,#25H
             JNC   COM_TEMP23
             MOV   TEMP,#6
             AJMP  SUBB

COM_TEMP23:  CLR     C
             SUBB   A,#26H
             JNC   COM_TEMP22
             MOV   TEMP,#7
             AJMP  SUBB

LOW_HIGH:   CLR     C
             SUBB   A,#26H
             JC    TEMP_LOW
             MOV   TEMP,#15
             AJMP  ADD

ADD:        MOV   A,@R1
             ADD   A,TEMP
             AJMP  SET

TEMP_LOW:   MOV   TEMP,#8
             AJMP  SUBB

SUBB:       MOV   A,@R1
             SUBB  A,TEMP

SET:        CJNE  A,#33H,SET1
             MOV   LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
             LCALL SET_ADDR_LCD ;
             MOV   DPTR,#TITLE1 ; Index Pointer ROM to Show LCD
             LCALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
             LCALL DELAY_1s ; Delay
             LJMP  HOME

SET1:       CJNE  A,#34H,SET2
             MOV   LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
             LCALL SET_ADDR_LCD ;
             MOV   DPTR,#TITLE2 ; Index Pointer ROM to Show LCD
             LCALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
             LCALL DELAY_1s ; Delay
             LJMP  HOME

SET2:       CJNE  A,#35H,SET3
             MOV   LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
             LCALL SET_ADDR_LCD ;
             MOV   DPTR,#TITLE3 ; Index Pointer ROM to Show LCD
             LCALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
             LCALL DELAY_1s ; Delay
             LJMP  HOME

SET3:       CJNE  A,#36H,SET4
             MOV   LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
             LCALL SET_ADDR_LCD ;
             MOV   DPTR,#TITLE4 ; Index Pointer ROM to Show LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET4:   CJNE   A,#37H,SET5
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE5   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET5:   CJNE   A,#38H,SET6
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE6   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET6:   CJNE   A,#39H,SET7
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE7   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET7:   CJNE   A,#3AH,SET8
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE8   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET8:   CJNE   A,#3BH,SET9
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE9   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET9:   CJNE   A,#3CH,SET10
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE10  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET10:  CJNE   A,#3DH,SET11
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE11  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET11:  CJNE   A,#3EH,SET12
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE12  ; Index Pointer ROM to Show LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET12:  CJNE   A,#3FH,SET13
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE13  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET13:  CJNE   A,#40H,SET14
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE14  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET14:  CJNE   A,#41H,SET15
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE15  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET15:  CJNE   A,#42H,SET16
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE16  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET16:  CJNE   A,#43H,SET17
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE17  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET17:  CJNE   A,#44H,SET18
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET18:  CJNE   A,#45H,SET19
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE19  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET19:  CJNE   A,#46H,SET20
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE20  ; Index Pointer ROM to Show LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET20:  CJNE     A,#47H,SET21
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE21  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET21:  CJNE     A,#48H,SET22
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE22  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET22:  CJNE     A,#49H,SET23
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE23  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET23:  CJNE     A,#4AH,SET24
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE24  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET24:  CJNE     A,#4BH,SET25
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE25  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET25:  CJNE     A,#4CH,SET26
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE26  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET26:  CJNE     A,#4DH,SET27
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE27  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s       ; Delay
        LJMP     HOME

SET27:  CJNE     A,#4EH,SET28
        MOV      LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD   ;
        MOV      DPTR,#TITLE28  ; Index Pointer ROM to Show LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET28:  CJNE   A,#4FH,SET29
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE29  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET29:  CJNE   A,#50H,SET30
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE30  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET30:  CJNE   A,#51H,SET31
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE31  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET31:  CJNE   A,#52H,SET32
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE32  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET32:  CJNE   A,#53H,SET33
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE33  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET33:  CJNE   A,#54H,SET34
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE34  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET34:  CJNE   A,#55H,SET35
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;
        MOV    DPTR,#TITLE35  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET35:  CJNE   A,#56H,SET36
        MOV    LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD   ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     DPTR,#TITLE36      ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET36:  CJNE    A,#57H,SET37
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE37    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET37:  CJNE    A,#58H,SET38
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE38    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET38:  CJNE    A,#59H,SET39
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE39    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET39:  CJNE    A,#5AH,SET40
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE40    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET40:  CJNE    A,#5BH,SET41
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE41    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET41:  CJNE    A,#5CH,SET42
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE42    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET42:  CJNE    A,#5DH,SET43
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE43    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET43:  CJNE    A,#5EH,SET44
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเท่านั้น และผู้ยืมให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     DPTR, #TITLE44    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET44:  CJNE    A, #5FH, SET45
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE45    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET45:  CJNE    A, #60H, SET46
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE46    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET46:  CJNE    A, #61H, SET47
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE47    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET47:  CJNE    A, #62H, SET48
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE48    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET48:  CJNE    A, #63H, SET49
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE49    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET49:  CJNE    A, #64H, SET50
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE50    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET50:  CJNE    A, #65H, SET51
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR, #TITLE51    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD        ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET51:  CJNE    A, #66H, SET52
MOV     LCD_ADDR, #000H   ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     DPTR,#TITLE52      ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET52:  CJNE   A,#67H,SET53
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE53    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET53:  CJNE   A,#68H,SET54
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE54    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET54:  CJNE   A,#69H,SET55
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE55    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET55:  CJNE   A,#6AH,SET56
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE56    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET56:  CJNE   A,#6BH,SET57
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE57    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET57:  CJNE   A,#6CH,SET58
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE58    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

SET58:  CJNE   A,#6DH,SET59
MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
MOV     DPTR,#TITLE59    ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD         ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s          ; Delay
LJMP   HOME

```

SET59: เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 MOV LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE60    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET60:   CJNE   A,#6FH,SET61
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE61    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET61:   CJNE   A,#70H,SET62
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE62    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET62:   CJNE   A,#71H,SET63
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE63    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET63:   CJNE   A,#72H,SET64
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE64    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET64:   CJNE   A,#73H,SET65
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE65    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET65:   CJNE   A,#74H,SET66
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE66    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET66:   CJNE   A,#75H,SET67
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE67    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP    HOME

SET67:   CJNE   A,#76H,SET68
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE68    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET68:  CJNE    A,#77H,SET69
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE69    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET69:  CJNE    A,#78H,SET70
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE70    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET70:  CJNE    A,#79H,SET71
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE71    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET71:  CJNE    A,#7AH,SET72
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE72    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET72:  CJNE    A,#7BH,SET73
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE73    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET73:  CJNE    A,#7CH,SET74
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE74    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET74:  CJNE    A,#7DH,SET75
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL   SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE75    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL   DELAY_1s       ; Delay
        LJMP   HOME

SET75:  CJNE    A,#7EH,SET76
        MOV     LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE76    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET76:   CJNE    A,#7FH,SET77
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE77    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET77:   CJNE    A,#80H,SET78
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE78    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET78:   CJNE    A,#81H,SET79
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE79    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET79:   CJNE    A,#82H,SET80
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE80    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET80:   CJNE    A,#83H,SET81
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE81    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET81:   CJNE    A,#84H,SET82
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE82    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

SET82:   CJNE    A,#85H,SET83
        MOV     LCD_ADDR,#000H    ; Set Address 00H
        LCALL    SET_ADDR_LCD    ;
        MOV     DPTR,#TITLE83    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL    WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL    DELAY_1s        ; Delay
        LJMP    HOME

```

SET83: เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 MOV LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL  SET_ADDR_LCD      ;
        MOV    DPTR,#TITLE84    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET84:  CJNE   A,#87H,SET85
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE85    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET85:  CJNE   A,#88H,SET86
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE86    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET86:  CJNE   A,#89H,SET87
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE87    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET87:  CJNE   A,#8AH,SET88
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE88    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET88:  CJNE   A,#8BH,SET89
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE89    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET89:  CJNE   A,#8CH,SET90
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE90    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

SET90:  CJNE   A,#8DH,SET91
        MOV    LCD_ADDR,#000H   ; Set Address 00H
        LCALL  SET_ADDR_LCD     ;
        MOV    DPTR,#TITLE91    ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL  WRLINE_LCD       ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
        LCALL  DELAY_1s        ; Delay
        LJMP   HOME

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

SET91: CJNE A,#8EH,SET92
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE92 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET92:  CJNE   A,#8FH,SET93
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE93 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET93:  CJNE   A,#90H,SET94
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE94 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET94:  CJNE   A,#91H,SET95
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE95 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET95:  CJNE   A,#92H,SET96
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE96 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET96:  CJNE   A,#93H,SET97
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE97 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET97:  CJNE   A,#94H,SET98
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE98 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

SET98:  CJNE   A,#95H,SET99
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE99 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 SET99: CJNE A,#95H,SET100
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE100 ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

```

```

SET100: CLR     C
        SUBB   A,#96H
        JC     SHOW_GAIN_LOW
MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE_HIGH ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay
LJMP   HOME

```

```

SHOW_GAIN_LOW: MOV     LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
LCALL  SET_ADDR_LCD ;
MOV     DPTR,#TITLE_LOW ; Index Pointer ROM to Show LCD
LCALL  WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
LCALL  DELAY_1s ; Delay

```

```

HOME:   MOV     IP,#0
        CLR     F0
        RETI

```

```

INT_01: PUSH   ACC
        SETB   IP.0
        CLR     IP.2
        ACALL  MAIN1
        POP    ACC
        MOV     IP,#0
        CLR     F0

```

```

BACK1:  RETI

```

```

;----->
; HEX Code to show LCD
; I/P: LCD_DATA
;-----

```

```

HEX2LCD: PUSH   ACC ; Push ACC.
        MOV    A,LCD_DATA ; Get Data
        MOV    B,#16 ;
        DIV    AB ; Divide by 16
        ADD    A,#030H ; Convert to ASCII
        MOV    LCD_DATA,A ;
        ACALL  HEX_CHK ; Check A-F
        ACALL  WRCHAR_LCD ; Write Higher HEX Code
        MOV    A,B ; Get Remainder
        ADD    A,#030H ; Convert to ASCII
        MOV    LCD_DATA,A ;
        ACALL  HEX_CHK ; Check A-F
        ACALL  WRCHAR_LCD ; Write Lower HEX Code
        POP    ACC ; Pop ACC.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นเป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RET ; Return
```

```
HEX_CHK: MOV A,LCD_DATA ; Get Data
          CJNE A,#03AH,CHK_OTHER ; Check Data Equal or Greater than
```

A

```
CHK_OTHER: JNC CONV_2_ALPHA ; If Equal or Greater than => A-F
           RET ; Return
```

```
CONV_2_ALPHA: ADD A,#7 ; Add 7 to Alphabel
              MOV LCD_DATA,A ; Save Data
              RET ; Return
```

```
----->
----->
```

```
; SHOW TEMP >
```

```
----->
----->
```

```
MAIN1: ACALL INIT_LCD ; Call LCD Initial subroutine
        MOV LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
        ACALL SET_ADDR_LCD ;
        MOV DPTR,#SCR_TEMP ; Index Pointer ROM to Show LCD
        ACALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H(Increase automatic)
```

```
LOOP: ACALL DS1820_RST ; DS1820 Reset
        ACALL DS1820_PRES ; DS1820 Presence
        MOV ONEWIRE_DATA,#0CCH ; Write Skip ROM
        ACALL DS1820_WR ;
        MOV ONEWIRE_DATA,#044H ; Write Convert Command
        ACALL DS1820_WR ;
        SETB BUSY ; Set bit BUSY
```

```
PRES_CHK_LOOP: ACALL DS1820_RST ; DS1820 Reset
                ACALL DS1820_PRES ; DS1820 Presence
                JB BUSY,PRES_CHK_LOOP ; Wait for Busy
                NOP ; Delay
                NOP ;
                NOP ;
                NOP ;
                ACALL DS1820_RST ; DS1820 Reset
                ACALL DS1820_PRES ; DS1820 Presence
                MOV ONEWIRE_DATA,#0CCH ; Write Skip ROM
                ACALL DS1820_WR
                MOV ONEWIRE_DATA,#0BEH ; Write Read Scratchpad Command
                ACALL DS1820_WR
                ACALL DS1820_RD ; Read DS1820
                MOV TEMP,ONEWIRE_DATA ; Get First Byte as TEMP (L)
                ACALL DS1820_RST ; DS1820 Reset
                ACALL DS1820_PRES ; DS1820 Presence
                MOV LCD_ADDR,#040H ; Set Address 40H
                ACALL SET_ADDR_LCD ;
                MOV A,TEMP ; Get Temp. Data
                CLR C ; Clear Carry Flag
                RRC A ; Rotate ACC. to Right with Carry
                MOV LCD_DATA,A ; Write Temp. in 3 Decimal Digits
                ACALL HEX2LCD1 ;
                MOV LCD_ADDR,#044H ; Set Address 44H
                ACALL SET_ADDR_LCD ;
                MOV A,TEMP ; Get Temp. Data
                JNB ACC.0,WRITE_0C ; Check LSB was set?
                MOV LCD_DATA,#'5' ; Set => Load '5'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        AJMP    WRITE_NEXT      ; Jump to write LCD
WRITE_OC:  MOV    LCD_DATA,#'0'  ; Not set => Load '0'
WRITE_NEXT: ACALL  WRCHAR_LCD    ; Write to LCD
          ACALL  DELAY_1s        ; Delay
          RET
          AJMP    LOOP           ; Jump to loop

```

```

;-----)
; HEX Code to show LCD
; I/P:    LCD_DATA
;-----)

```

```

HEX2LCD1:  PUSH   ACC            ; Push ACC.
          MOV    A,LCD_DATA      ; Get Data
          MOV    B,#100          ;
          DIV   AB              ; Divide by 100
          ADD   A,#030H         ; Convert to ASCII
          CJNE  A,#030H,HEX2_LCD_NX ; Check x100 = 0 ?
          MOV   A,' '           ; 0 => Write Space

```

```

HEX2_LCD_NX: MOV    LCD_DATA,A      ;
          ACALL  WRCHAR_LCD      ; Write x100
          MOV    A,B             ;
          MOV    B,#10           ;
          DIV   AB              ; Divide by 10
          ADD   A,#030H         ; Convert to ASCII
          MOV   LCD_DATA,A      ;
          ACALL  WRCHAR_LCD      ; Write Lower HEX Code
          MOV   A,B             ; Get Remainder x1
          ADD   A,#030H         ; Convert to ASCII
          MOV   LCD_DATA,A      ;
          ACALL  WRCHAR_LCD      ; Write Lower HEX Code
          POP   ACC             ; Pop ACC.
          RET                    ; Return

```

```

;-----)
; DS1820 Data Read
;-----)

```

```

DS1820_RD:  MOV    R4,#8         ; Set loop 8 times
          CLR    A              ; Clear ACC.

DS1820_RD_LOOP: CLR    ONEWIRE    ; Clear ONEWIRE
          NOP                    ; Delay
          NOP                    ;
          SETB   ONEWIRE        ; Set ONEWIRE
          NOP                    ; Delay
          NOP                    ;
          NOP                    ;
          NOP                    ;
          MOV    C,ONEWIRE      ; Get ONEWIRE to Carry Flag
          ACALL  ONEWIRE_DELAY  ; Delay 75 us
          RRC    A              ;
          DJNZ  R4,DS1820_RD_LOOP ; Do until 8 times
          MOV    ONEWIRE_DATA,A ; Move ACC. to ONEWIRE_DATA
          RET                    ; Return

```

```

;-----)
; DS1820 Data Write
;-----)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 DS1820_WR: MOV R4,#8 ; Set loop 8 times
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,ONEWIRE_DATA ; Get ONEWIRE_DATA
DS1820_WR_LOOP: RRC      A ; Rotate ACC. with Carry Flag
JNC      DS1820_WR_L ; Carry Flag was set ?
CLR      ONEWIRE ; Set => TX high
NOP ; Delay
NOP ;
NOP ;
NOP ;
SETB     ONEWIRE ; Set ONEWIRE
ACALL    ONEWIRE_DELAY ; Delay 75 us
AJMP     DS1820_WR_NX ; Jump to next write
DS1820_WR_L: CLR      ONEWIRE ; Clear => TX Low
ACALL    ONEWIRE_DELAY ; Delay 75 us
SETB     ONEWIRE ; Set ONEWIRE
NOP ; Delay
NOP ;
NOP ;
NOP ;
DS1820_WR_NX: DJNZ     R4,DS1820_WR_LOOP ; Do until 8 times
RET ; Return

```

; DS1820 Reset

```

DS1820_RST: CLR      ONEWIRE ; Clear ONEWIRE
ACALL    DELAY_1ms ; Delay
SETB     ONEWIRE ; Set ONEWIRE
MOV      R4,#8 ; Delay
DJNZ     R4,$ ;
RET ; Return

```

; DS1820 Receive Presence Pulse

```

DS1820_PRES: MOV      R4,#8 ; Set Loop wait 1
DS1820_PRES_1: MOV     R3,#0 ; Set Loop wait 2
DS1820_PRES_2: JNB     ONEWIRE,DS1820_PRES_3 ; Check ONEWIRE was clear?
DJNZ     R3,DS1820_PRES_2 ; Wait loop check 2
DJNZ     R4,DS1820_PRES_1 ; Wait loop check 1
RET ; Return
DS1820_PRES_3: JNB     ONEWIRE,$ ; Wait until ONEWIRE set
MOV      R4,#8 ; Delay
DJNZ     R4,$ ;
CLR      BUSY ; Clear BUSY Flag
RET ; Return

```

; Dummy Delay time ONEWIRE_DELAY, LCD_DELAY, 50u, 100u, 1m, 10m, 100m, 1s

```

ONEWIRE_DELAY: MOV      R6,#012H ; Each loop = 75 us
ONEWIRE_DELAY_1: NOP
NOP
DJNZ     R6,ONEWIRE_DELAY_1
RET
I2C_DELAY: MOV      R6,#00CH ; Each loop = 50 us
I2C_DELAY_1: NOP
NOP
DJNZ     R6,I2C_DELAY_1
RET

```

```

LCD_DELAY: MOV      R7,#002 ; Do 2 times
LCD_DELAY_1: MOV     R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms

```

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_DELAY_2:    NOP
                NOP
                DJNZ    R6,LCD_DELAY_2
                DJNZ    R7,LCD_DELAY_1
                RET

DELAY_50us:    MOV     R6,#00CH      ; Each loop = 50 us
DELAY_50us_1:  NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_50us_1
                RET

DELAY_100us:   MOV     R6,#017H     ; Each loop = 100 us
DELAY_100us_1: NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_100us_1
                RET

DELAY_1ms:     MOV     R6,#0E6H     ; Each loop = 1 ms
DELAY_1ms_1:   NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_1ms_1
                RET

DELAY_10ms:    MOV     R7,#010     ; Do 10 times
DELAY_10ms_1:  MOV     R6,#0E6H     ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2:  NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_10ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_10ms_1
                RET

DELAY_100ms:   MOV     R7,#100     ; Do 100 times
DELAY_100ms_1: MOV     R6,#0E6H     ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2: NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_100ms_1
                RET

DELAY_1s:      MOV     R5,#100     ; Do 100 times
DELAY_1s_1:    ACALL   DELAY_10ms
                DJNZ    R5,DELAY_1s_1
                RET

;-----
; LCD Initialize
;-----

INIT_LCD:      ACALL   DELAY_100ms    ; Delay
                CLR     LCD_RS        ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00111000B ; 8bit Mode
                ACALL   LCD_CLK       ; Pulse LCD Clock
                ACALL   DELAY_10ms   ; Delay
                MOV     P0,#00111000B ; 8bit Mode
                ACALL   LCD_CLK       ; Pulse LCD Clock
                ACALL   LCD_OFF       ; Display Off
                ACALL   LCD_CLR       ; Clear Display
                MOV     P0,#00000110B ; Entry Mode
                ACALL   LCD_CLK       ; Pulse LCD Clock
                ACALL   LCD_HOME      ; Return Home Display
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; LCD Clear Display
```

```
-----
LCD_CLR:      CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
              MOV      P0,#0000001B ; Display Clear
              ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
              RET
```

```
; LCD Return Home
```

```
-----
LCD_HOME:    CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
              MOV      P0,#00000010B ; Return Home
              ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
              RET
```

```
; LCD Display Off
```

```
-----
LCD_OFF:     CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
              MOV      P0,#00001000B ; Display Off
              ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
              RET
```

```
; LCD Clk
```

```
-----
LCD_CLK:     SETB     LCD_EN      ; Pulse Clock to LCD_EN
              ACALL   LCD_DELAY
              CLR      LCD_EN
              ACALL   LCD_DELAY
              RET
```

```
; LCD Display On
```

```
-----
LCD_ON:      CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
              MOV      P0,#00001100B ; Display On
              ACALL   LCD_CLK
              RET
```

```
; Set LCD Address
```

```
; I/P:      LCD_ADDR
```

```
-----
SET_ADDR_LCD: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
              MOV      A,LCD_ADDR  ; Move LCD_ADDR to ACC.
              SETB     ACC.7        ; Set bit ACC.7
              MOV      P0,A        ; Move to DATABUS
              ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
              RET
```

```
; Write Character to show LCD
```

```
; I/P:      LCD_DATA
```

```
-----
WRCHAR_LCD: SETB     LCD_RS      ; Set LCD_RS Pin
              MOV      P0,LCD_DATA ; Move LCD_DATA to DATABUS
```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
ACALL LCD_ON ; Display On
RET

```

```

;-----
; Write Line of 16 Character from ROM
; I/P: DPTR : Locate ROM Address
;-----

```

```

WRLINE_LCD: MOV R0,#0 ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1: SETB LCD_RS ; Set LCD_RS Pin
CLR A ; Clear ACC.
MOVC A,@A+DPTR ; Move data from @DPTR to ACC.
MOV P0,A ; Move ACC. to DATABUS
ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
INC DPTR ; Increase Pointer
INC R0 ; Increase loop counter
CJNE R0,#8,WRLINE_LCD_1 ; Do until 8 times

```

```

MOV LCD_ADDR,#040H ; Set Later 8 Char. Address
ACALL SET_ADDR_LCD

```

```

WRLINE_LCD_2: SETB LCD_RS ; Set LCD_RS Pin
CLR A ; Clear ACC.
MOVC A,@A+DPTR ; Move data from @DPTR to ACC.
MOV P0,A ; Move ACC. to DATABUS
ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
INC DPTR ; Increase Pointer
INC R0 ; Increase loop counter
CJNE R0,#16,WRLINE_LCD_2 ; Do until 8+8 times
ACALL LCD_ON ; Display On
RET

```

```

;-----
; I2C PCF8591 Read
;-----

```

```

PCF8591_RD: MOV I2C_ADDR,#PCF8591_ID+1 ; Set PCF8591 as I2C Read Slave
ve ACALL I2C_SLAVE ; Connect Slave
ACALL I2C_DATA_RD ; Read Data from Slave
MOV AD_DATA,I2C_DATA ; Read Data to A/D Data
ACALL I2C_NACK_BIT ; Send Not Acknowledge
ACALL I2C_STOP ; Send Stop Condition
RET ; Return

```

```

;-----
; I2C PCF8591 Write
;-----

```

```

PCF8591_WR: MOV I2C_ADDR,#PCF8591_ID ; Set PCF8591 as I2C Write Slave
ACALL I2C_SLAVE ; Connect Slave
MOV I2C_DATA,CONTROL ; Write CONTROL to Slave
ACALL I2C_DATA_WR ; Write Data to Slave
ACALL I2C_DATA_WR ; Write Data to Slave
ACALL I2C_STOP ; Send Stop Condition
RET ; Return

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; I2C Data Write
; I/P:      I2C_DATA
; Reserve:  R5
;-----

```

```

I2C_DATA_WR:    PUSH    ACC                ; Push ACC.
                SETB    I2C_ACK          ; Set ACK. bit
                MOV     A,I2C_DATA       ; Get Data
                MOV     R5,#008         ; Set loop 8 times
I2C_DATA_WR_1:  RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with Carry
                MOV     SDA,C           ; Move Carry Flag to SDA
                ACALL   I2C_CLK         ; Pulse I2C Clock
                DJNZ   R5,I2C_DATA_WR_1 ; Do until 8 times
                SETB    SDA             ; Set SDA
                ACALL   I2C_DELAY       ; Delay
                SETB    SCL             ; Set SCL
                ACALL   I2C_DELAY       ; Delay
                JB     SDA,I2C_DATA_WR_2 ; Check Acknowledge from Slave
                CLR     I2C_ACK         ; Clear ACK. bit
I2C_DATA_WR_2:  CLR     SCL             ; Clear SCL
                POP     ACC             ; Pop ACC.
                RET                     ; Return
;-----

```

```

; I2C Data Read
; O/P:      I2C_DATA
; Reserve:  R5
;-----

```

```

I2C_DATA_RD:    PUSH    ACC                ; Push ACC.
                CLR     A                ; Clear ACC.
                MOV     R5,#008         ; Set loop 8 times
I2C_DATA_RD_1:  ACALL   I2C_DELAY       ; Delay
                SETB    SCL             ; Set SCL
                ACALL   I2C_DELAY       ; Delay
                MOV     C,SDA           ; Get SDA to Carry Flag
                RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with Carry
                CLR     SCL             ; Clear SCL
                DJNZ   R5,I2C_DATA_RD_1 ; Do until 8 times
                MOV     I2C_DATA,A      ; Move Data to I2C_DATA
                POP     ACC             ; Pop ACC.
                RET                     ; Return
;-----

```

```

; I2C Slave Connect
; I/P:      I2C_ADDR
; O/P Flag: I2C_ACK
; Reserve:  R5
;-----

```

```

I2C_SLAVE:      PUSH    ACC                ; Push ACC.
                SETB    I2C_ACK          ; Set ACK. bit
                MOV     A,I2C_ADDR      ; Get Slave Address
                ACALL   I2C_START       ; Send Start Condition
                MOV     R5,#008         ; Set loop 8 times
I2C_SLAVE_1:    RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with Carry
                MOV     SDA,C           ; Move Carry Flag to SDA
                ACALL   I2C_CLK         ; Pulse I2C Clock
                DJNZ   R5,I2C_SLAVE_1  ; Do until 8 times
;-----

```

```

                SETB    SDA             ; Set SDA
                ACALL   I2C_DELAY       ; Delay
                SETB    SCL             ; Set SCL
                ACALL   I2C_DELAY       ; Delay

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                JB      SDA,I2C_SLAVE_2 ; Check Acknowledge from Slave
                CLR      I2C_ACK      ; Clear ACK.
I2C_SLAVE_2:   CLR      SCL          ; Clear SCL
                POP      ACC          ; Pop ACC.
                RET      ; Return

```

```

;-----
; I2C Start Condition
;-----

```

```

I2C_START:     JNB      SCL,I2C_START_1 ; Check current SCL set?
                CLR      SCL          ; Clear SCL

```

```

I2C_START_1:   SETB     SDA          ; Set SDA
                SETB     SCL          ; Set SCL

```

```

                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                CLR      SDA          ; Clear SDA during SCL set
                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                CLR      SCL          ; Clear SCL
                RET      ; Return

```

```

;-----
; I2C Stop Condition
;-----

```

```

I2C_STOP:      JNB      SCL,I2C_STOP_1 ; Check current SCL set?
                CLR      SCL          ; Clear SCL

```

```

I2C_STOP_1:    CLR      SDA          ; Clear SDA
                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                SETB     SCL          ; Set SCL
                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                SETB     SDA          ; Set SDA during SCL set
                RET      ; Return

```

```

;-----
; I2C Clock
;-----

```

```

I2C_CLK:       ACALL    I2C_DELAY    ; Pulse SCL
                SETB     SCL          ;
                ACALL    I2C_DELAY    ;
                CLR      SCL          ;
                RET      ; Return

```

```

;-----
; I2C Acknowledge
;-----

```

```

I2C_ACK_BIT:   CLR      SDA          ; Clear SDA
                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                ACALL    I2C_CLK     ; Pulse I2C Clock
                SETB     SDA          ;
                RET      ; Return

```

```

;-----
; I2C Not Acknowledge
;-----

```

```

I2C_NACK_BIT:  SETB     SDA          ; Set SDA
                ACALL    I2C_DELAY    ; Delay
                ACALL    I2C_CLK     ; Pulse I2C Clock
                SETB     SCL          ;

```

RET ; Return

;Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >

;
0123456789ABCDEF
SCR_TEMP: DB ' . ',0DFH,'C '

;Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >

;
0123456789ABCDEF
TITLE_2: DB ' MOISTER METER '
TITLE_21: DB ' FOR GAIN '

TITLE1:	DB	'	10.0%	'
TITLE2:	DB	'	10.1%	'
TITLE3:	DB	'	10.2%	'
TITLE4:	DB	'	10.3%	'
TITLE5:	DB	'	10.4%	'
TITLE6:	DB	'	10.5%	'
TITLE7:	DB	'	10.6%	'
TITLE8:	DB	'	10.7%	'
TITLE9:	DB	'	10.8%	'
TITLE10:	DB	'	10.9%	'
TITLE11:	DB	'	11.0%	'
TITLE12:	DB	'	11.1%	'
TITLE13:	DB	'	11.2%	'
TITLE14:	DB	'	11.3%	'
TITLE15:	DB	'	11.4%	'
TITLE16:	DB	'	11.5%	'
TITLE17:	DB	'	11.6%	'
TITLE18:	DB	'	11.7%	'
TITLE19:	DB	'	11.8%	'
TITLE20:	DB	'	11.9%	'
TITLE21:	DB	'	12.0%	'
TITLE22:	DB	'	12.1%	'
TITLE23:	DB	'	12.2%	'
TITLE24:	DB	'	12.3%	'
TITLE25:	DB	'	12.4%	'
TITLE26:	DB	'	12.5%	'
TITLE27:	DB	'	12.6%	'
TITLE28:	DB	'	12.7%	'
TITLE29:	DB	'	12.8%	'
TITLE30:	DB	'	12.9%	'
TITLE31:	DB	'	13.0%	'
TITLE32:	DB	'	13.1%	'
TITLE33:	DB	'	13.2%	'
TITLE34:	DB	'	13.3%	'
TITLE35:	DB	'	13.4%	'
TITLE36:	DB	'	13.5%	'
TITLE37:	DB	'	13.6%	'
TITLE38:	DB	'	13.7%	'
TITLE39:	DB	'	13.8%	'
TITLE40:	DB	'	13.9%	'
TITLE41:	DB	'	14.0%	'
TITLE42:	DB	'	14.1%	'
TITLE43:	DB	'	14.2%	'
TITLE44:	DB	'	14.3%	'
TITLE45:	DB	'	14.4%	'
TITLE46:	DB	'	14.5%	'
TITLE47:	DB	'	14.6%	'

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TITLE48:	DB	'	14.7%	'
TITLE49:	DB	'	14.8%	'
TITLE50:	DB	'	14.9%	'
TITLE51:	DB	'	15.0%	'
TITLE52:	DB	'	15.1%	'
TITLE53:	DB	'	15.2%	'
TITLE54:	DB	'	15.3%	'
TITLE55:	DB	'	15.4%	'
TITLE56:	DB	'	15.5%	'
TITLE57:	DB	'	15.6%	'
TITLE58:	DB	'	15.7%	'
TITLE59:	DB	'	15.8%	'
TITLE60:	DB	'	15.9%	'
TITLE61:	DB	'	16.0%	'
TITLE62:	DB	'	16.1%	'
TITLE63:	DB	'	16.2%	'
TITLE64:	DB	'	16.3%	'
TITLE65:	DB	'	16.4%	'
TITLE66:	DB	'	16.5%	'
TITLE67:	DB	'	16.6%	'
TITLE68:	DB	'	16.7%	'
TITLE69:	DB	'	16.8%	'
TITLE70:	DB	'	16.9%	'
TITLE71:	DB	'	17.0%	'
TITLE72:	DB	'	17.1%	'
TITLE73:	DB	'	17.2%	'
TITLE74:	DB	'	17.3%	'
TITLE75:	DB	'	17.4%	'
TITLE76:	DB	'	17.5%	'
TITLE77:	DB	'	17.6%	'
TITLE78:	DB	'	17.7%	'
TITLE79:	DB	'	17.8%	'
TITLE80:	DB	'	17.9%	'
TITLE81:	DB	'	18.0%	'
TITLE82:	DB	'	18.1%	'
TITLE83:	DB	'	18.2%	'
TITLE84:	DB	'	18.3%	'
TITLE85:	DB	'	18.4%	'
TITLE86:	DB	'	18.5%	'
TITLE87:	DB	'	18.6%	'
TITLE88:	DB	'	18.7%	'
TITLE89:	DB	'	18.8%	'
TITLE90:	DB	'	18.9%	'
TITLE91:	DB	'	19.0%	'
TITLE92:	DB	'	19.1%	'
TITLE93:	DB	'	19.2%	'
TITLE94:	DB	'	19.3%	'
TITLE95:	DB	'	19.4%	'
TITLE96:	DB	'	19.5%	'
TITLE97:	DB	'	19.6%	'
TITLE98:	DB	'	19.7%	'
TITLE99:	DB	'	19.8%	'
TITLE100:	DB	'	19.9%	'

TITLE_HIGH:	DB	'	GAIN HIGH	'
TITLE_LOW:	DB	'	GAIN LOW	'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Versatile Waveform Generator Operates from 0.1Hz to 20MHz

As a single-chip source of high-frequency waveforms, the MAX038 can serve both as the core of a moderate-performance waveform generator, and as a card-level waveform source for electronic systems in which the cost of a dedicated waveform generator may be prohibitive.

The MAX038 is a precision, high-frequency function generator that produces accurate sine, square, triangle, sawtooth, and pulse waveforms with a minimum of external components. The internal 2.5V reference (plus an external capacitor and potentiometer) lets you vary the signal frequency from 0.1Hz to 20MHz. An applied $\pm 2.3V$ control signal varies the duty cycle between 10% and 90%, enabling the generation of sawtooth waveforms and pulse-width modulation.

A second frequency-control input—used primarily as a VCO input in phase-locked-loop applications—provides $\pm 70\%$ of fine control. This capability also enables the generation of frequency sweeps and frequency modulation. The frequency and duty-cycle controls have minimal interaction with each other.

All output amplitudes are $2V_{p-p}$, symmetrical about ground. The low-impedance output terminal delivers as much as $\pm 20mA$, and a two-bit code applied to the TTL-compatible A0 and A1 inputs selects the sine, square, or triangle output waveform:

A0	A1	Waveform
X	1	Sine wave
0	0	Square wave
1	0	Triangle wave

(X = Don't care)

To synchronize MAX038 operation with other devices in the system, the internal oscillator produces a TTL-compatible SYNC output, whose duty cycle remains constant at 50% regardless of the duty cycle set for the output waveform. The MAX038's internal phase detector enables such synchronization as well. It also enables the demodulation of frequency-modulated signals.

Details of Operation

By alternately charging and discharging an external capacitor, the MAX038's relaxation oscillator produces simultaneous square and triangle waves. An internal sine-shaping circuit converts the triangle to a low-distortion, constant-amplitude sinewave. The sine, square, and triangle waves are applied to an internal multiplexer that lets you select the

output waveform according to the state of address lines A0 and A1. The output amplitude remains constant at $\pm 1V$ regardless of wave shape or frequency (Figure 1).

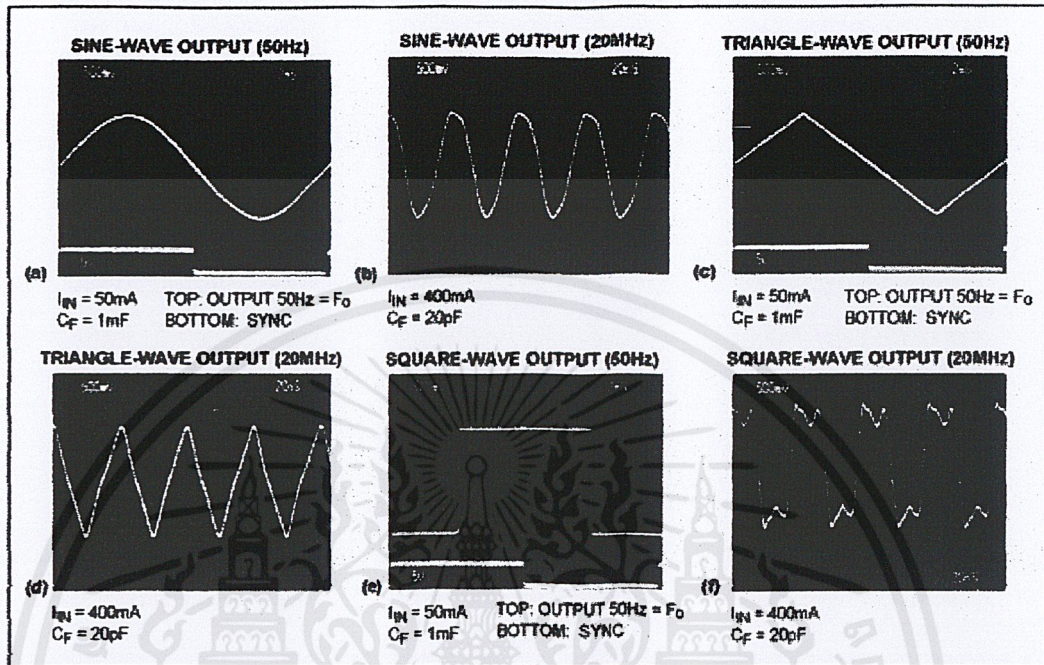
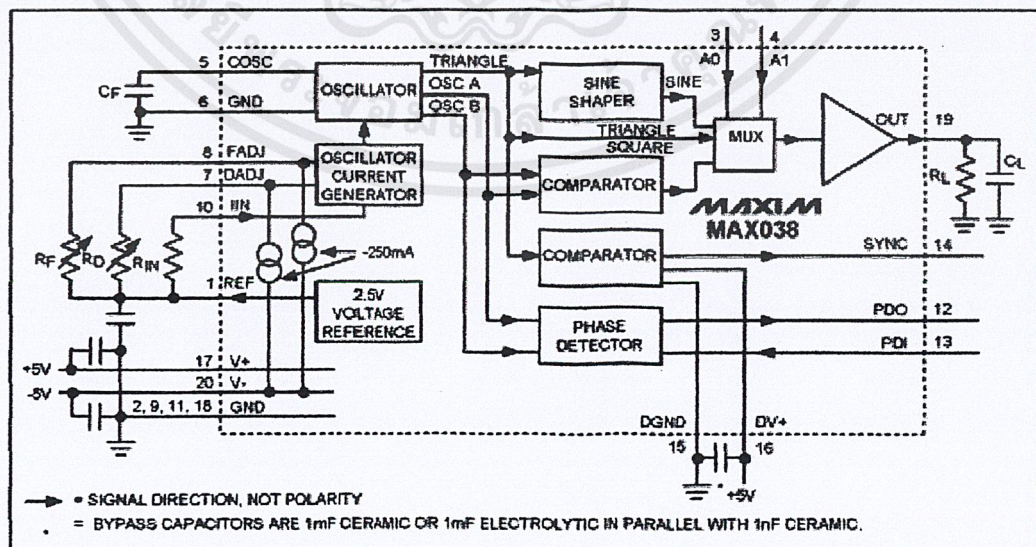


Figure 1. Among waveforms available at the MAX038 output are the sine (a, b), triangle (c, d), and square (e, f).

See Figure 2 for the MAX038's block diagram and operating circuit. Powered from $\pm 5V$, the device consumes 400mW and has a nominal output frequency set by the oscillator capacitor C_F . Coarse deviations from that frequency are made by varying the I_{IN} current from $2\mu A$ to $750\mu A$, a range of 375:1 (Figure 3). As shown, the I_{IN} current can be derived using the on-board 2.5V reference and an external fixed or variable resistor.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2. This figure combines the block diagram and basic operating circuit for the MAX038 0.1Hz-to-20MHz waveform generator.

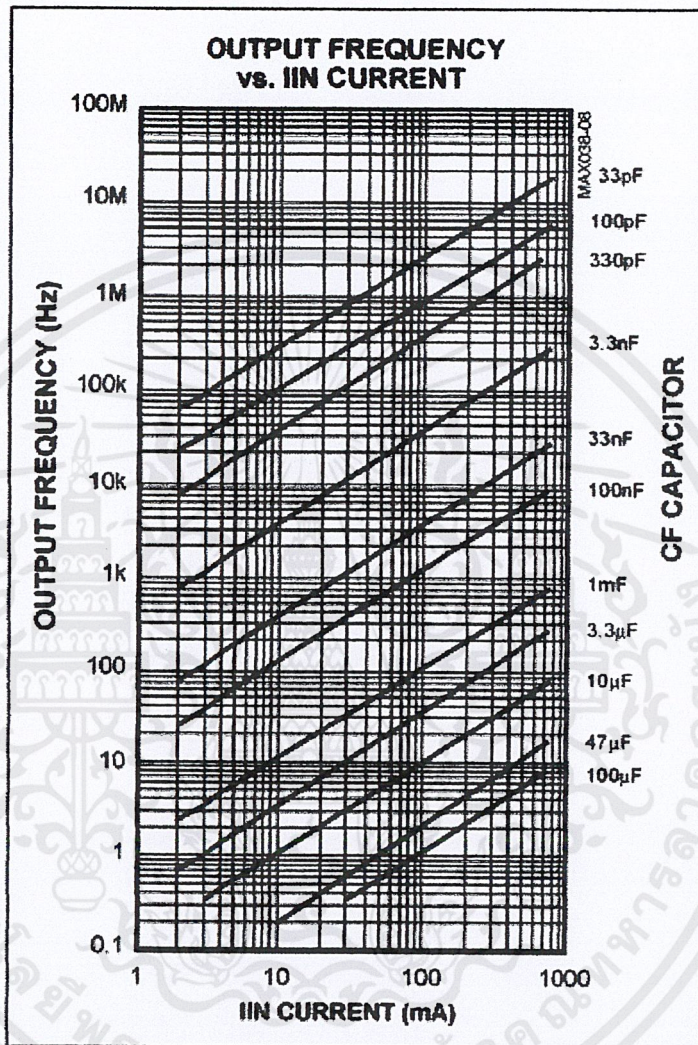


Figure 3. The output frequency in Figure 2 varies with current into IIN and the value of C_F .

To adjust the frequency digitally, connect a voltage-output DAC to IIN via a series resistor (Figure 4). The converter output ranges from 0V at zero to 2.5(255/256)V at full-scale. Current injected by the converter into IIN, therefore, ranges from 0µA to 748µA. The 2.5V reference and 1.2MΩ resistor inject a constant 2µA, so (by superposition) the net current into IIN ranges from 2µA (at a code of 0000 0000) to 750µA (at 1111 1111). The quad-DAC IC operates from 5V or ±5V. As described below, it can also provide digital control of FADJ and DADJ.

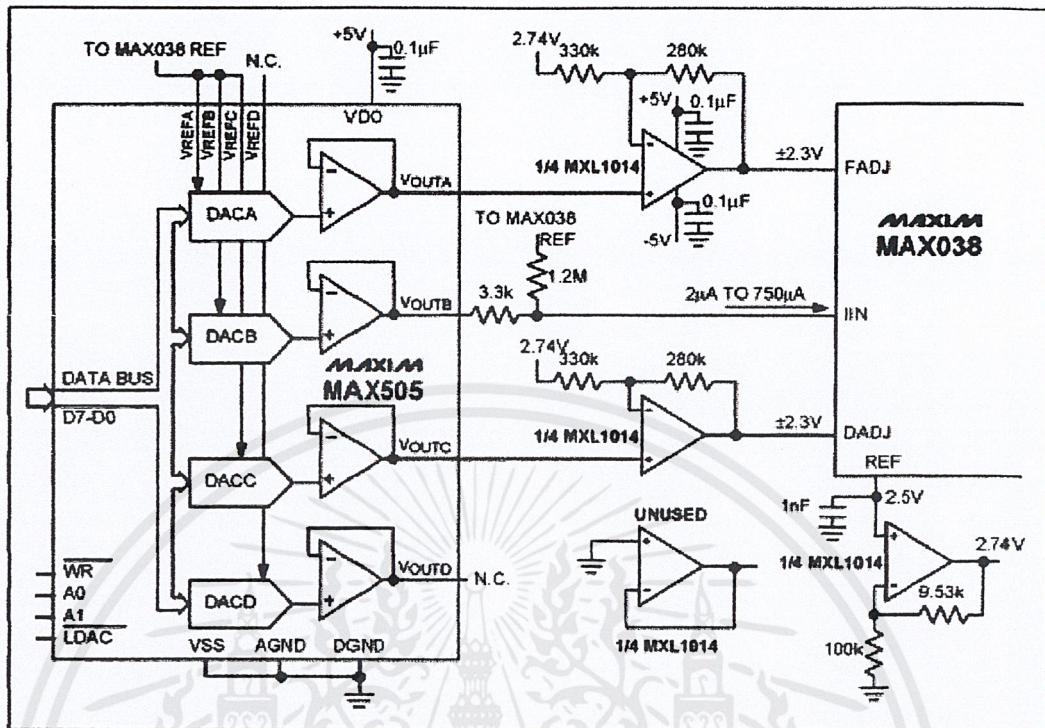


Figure 4. Three 8-bit D/A converters easily provide digital control of the two frequency-adjust inputs (IIN and FADJ) and the duty-cycle-adjust input (DADJ).

For fine adjustments ($\pm 70\%$), apply a control voltage in the range $\pm 2.3\text{V}$ to the frequency adjust (FADJ) terminal (Figure 5). Both FADJ and IIN have wide bandwidths that allow the output frequency to be modulated at a maximum rate of about 2MHz (Figure 6). As the more linear input, IIN is preferred for open-loop frequency control. As the voltage input, FADJ is better suited for use in a phase-locked loop. For digital control of FADJ, configure a DAC and external op amp (as in Figure 4) to produce an output ranging from -2.3V (0000 0000) to 2.3V (1111 1111).

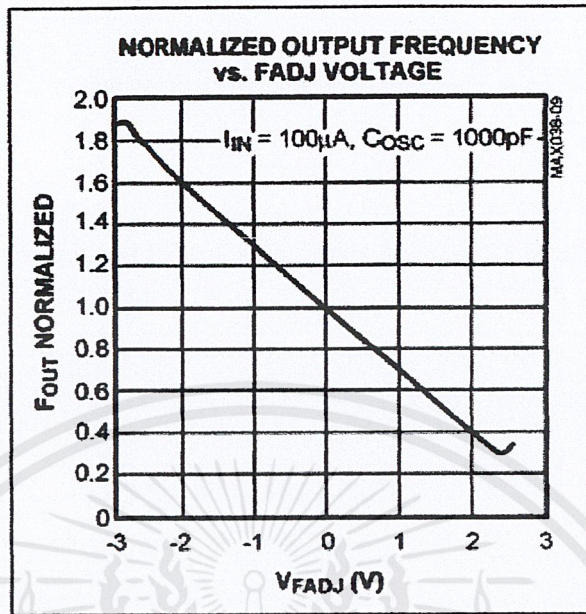


Figure 5. For fine control of the output frequency, apply a control voltage in the range $\pm 2.3V$ to FADJ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

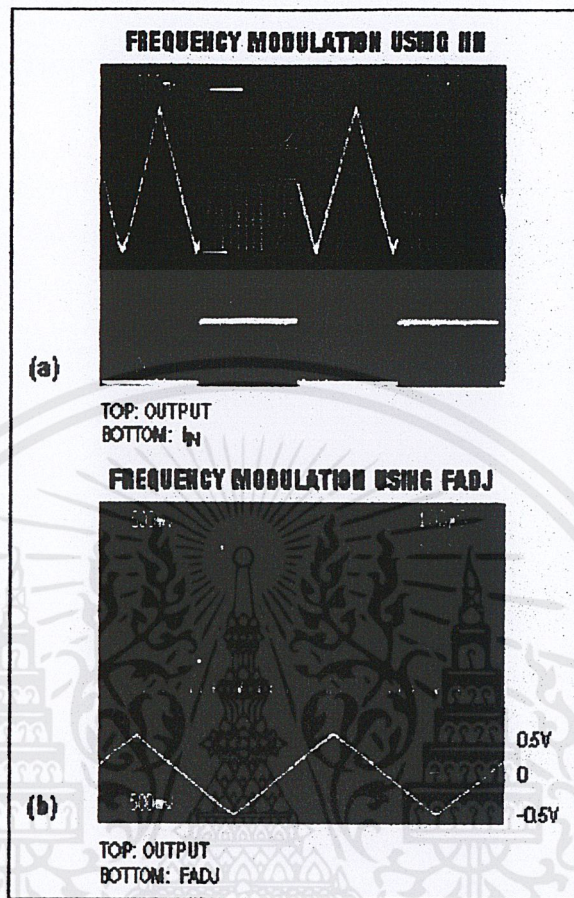


Figure 6. The MAX038 inputs IIN and FADJ allow gross (a) and fine (b) adjustments of output frequency.

Duty cycle (the percentage of time that the output is positive) can be adjusted in the range 10% to 90% by applying a $\pm 2.3\text{V}$ control signal to the duty-cycle-adjust terminal DADJ (Figure 7a). This signal changes the ratio of charge current to discharge current for the CF capacitor while maintaining a nearly constant output frequency (Figure 7b).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

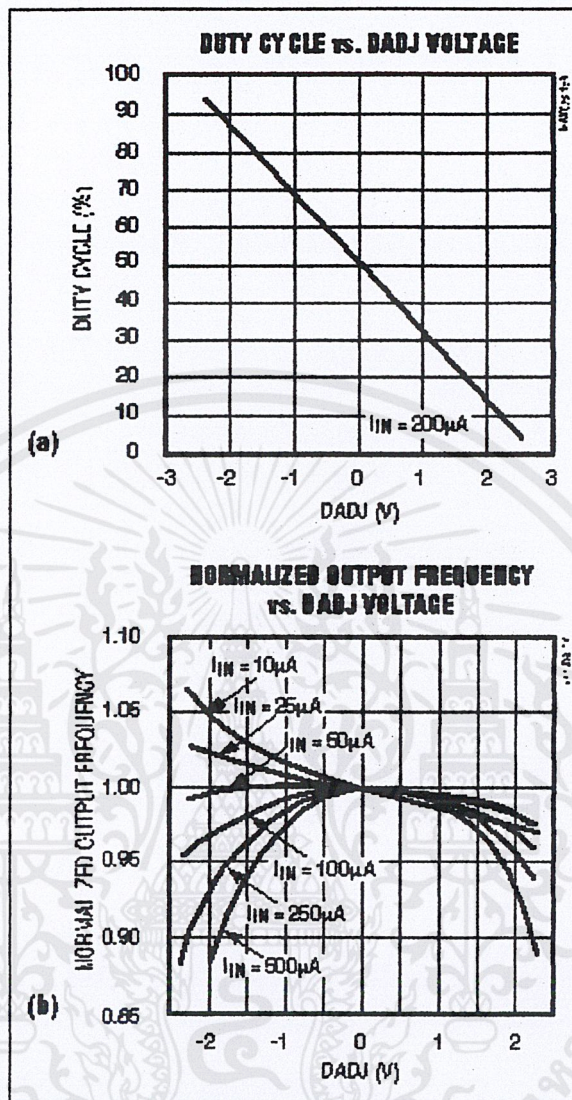


Figure 7. An independent DADJ control voltage in the range $\pm 2.3V$ adjusts the duty cycle (a) with little effect on frequency (b).

The DADJ input also lets you minimize distortion in the output sine wave. Minimum distortion occurs at a duty cycle of exactly 50%, but the typical duty cycle (with $V_{DADJ} = 0V$) is $50\% \pm 2\%$. By applying a small control voltage (typically less than $\pm 100mV$) to DADJ, therefore, you can set the exact 50% symmetry that minimizes distortion (see insert, Figure 8).

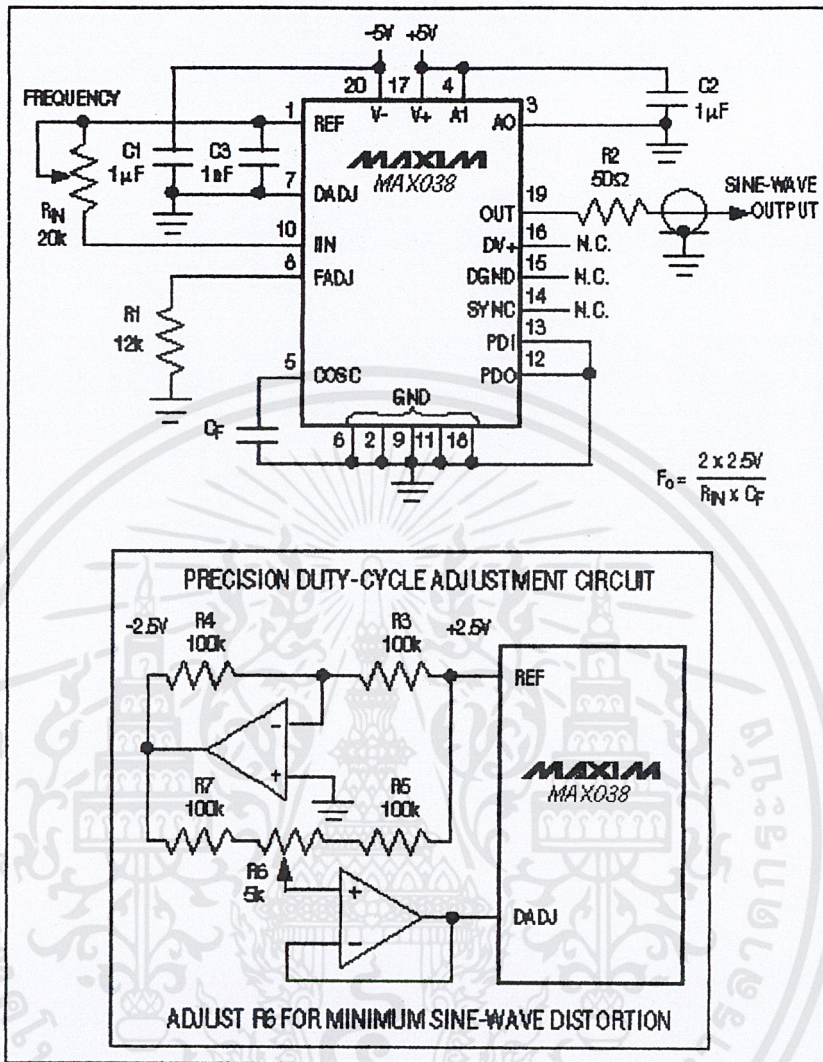


Figure 8. This circuit lets you adjust for the minimum sine-wave distortion available at a 50% duty cycle.

The source driving DADJ must supply a constant 250µA (see Figure 2). The temperature coefficient of this internal current sink is unimportant for op amps and other low-impedance sources, but is significant when using a variable resistor as shown. Thus, variable resistors suit manual operation only, in which the operator can correct errors through readjustment. Like FADJ, DADJ has a 2MHz bandwidth and ±2.3V range. It can be digitally controlled with an identical circuit (Figure 4). Figure 9 shows the duty-cycle modulation that results when a triangle wave is applied to DADJ.

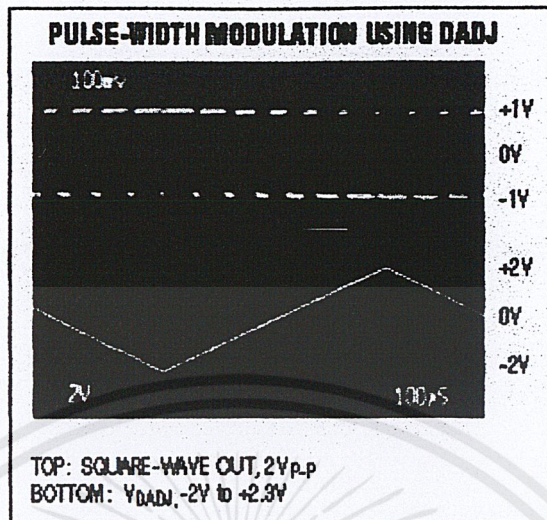


Figure 9. A triangle wave applied to DADJ provides linear variations in the duty cycle.

Phase-locked Operation

The MAX038's internal phase detector is intended primarily for use in phase-locked-loop (PLL) configurations. In Figure 10a, for example, the phase detector in IC2 enables that device to synchronize its operation with that of IC1. You connect the applied reference signal to IC2's TTL/CMOS-compatible phase-detector input (PDI) and connect the phase-detector output (PDO) to the input (FADJ) of the internal voltage-controlled oscillator. PDO is the output of an exclusive-OR gate—a mixer—which produces rectangular current waveforms at frequencies equal to the sum and difference of the PDI frequency and the MAX038 output frequency. These waveforms are integrated by CPD to form a triangle-wave voltage output at PDO (Figure 10b). The $10\Omega/100\text{pF}$ pair at PDI limits that pin's rate of rise to 10ns.

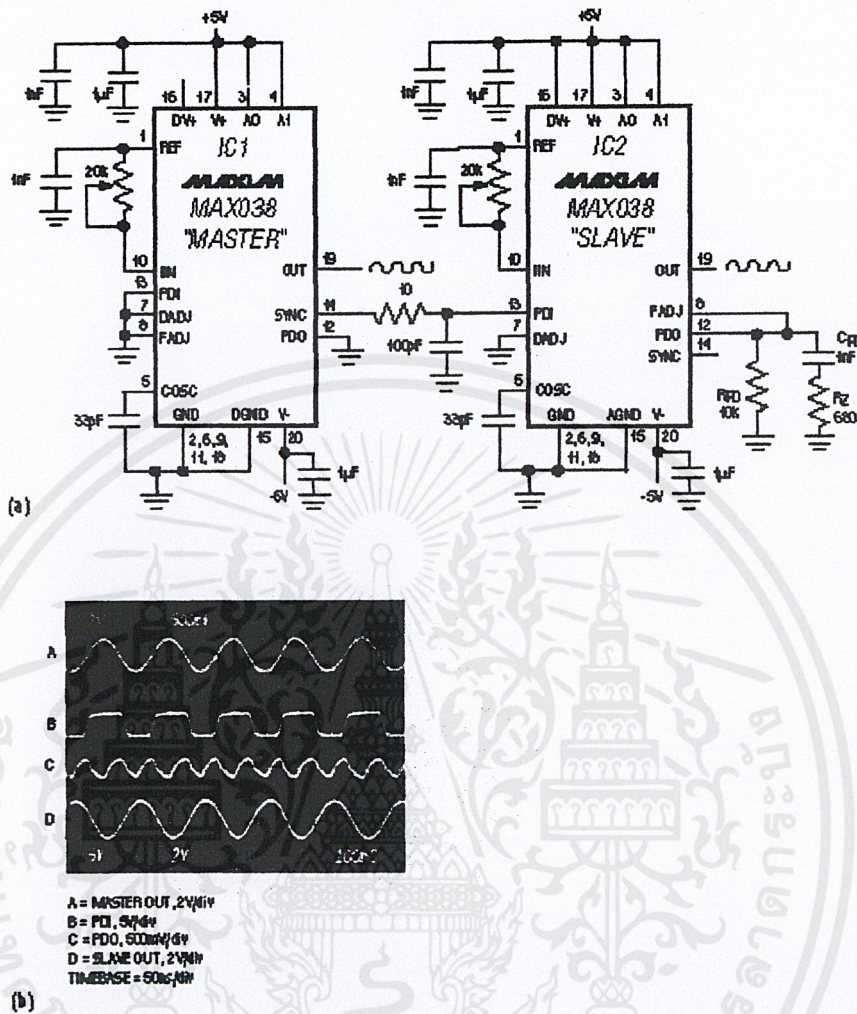


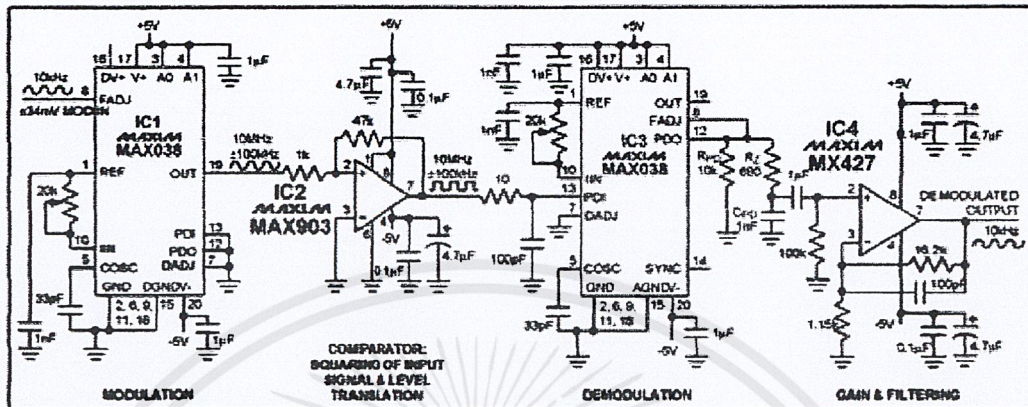
Figure 10. The SYNC output lets you synchronize one MAX038 to another.

The PDO current-pulse levels are $0\mu\text{A}$ and $500\mu\text{A}$, with a duty cycle that approaches 50% when PDI and the output are in phase quadrature (90° out of phase). Otherwise, the duty cycle approaches 100% when the phase difference approaches 180° , and 0% when the phase difference approaches 0° . RPD, CPD, and RZ comprise a filter that determines the PLL frequency response.

At the SYNC output is a square wave of fixed 50% duty cycle, whose rising edge coincides with the rising edge of an output sine or triangle wave as it passes through zero volts. If the output is a square wave, SYNC's rising edge occurs at the mid-point of the positive portion, causing SYNC to lead the output by 90° .

SYNC lets you slave one MAX038 to another by providing a TTL-compatible square wave at the phase-detector input (PDI), as required by the slaved device (IC2). On the other hand, SYNC isn't available if a MAX038 is synchronized with sine or triangle

waves from other sources. For those cases, the PDI input must be driven by a comparator (as shown in Figure 11) to square up the signal and provide the appropriate level shifting.



[Click for Larger Image](#)

Figure 11. This circuit modulates a 10MHz carrier with 10kHz, and then recovers the modulating signal.

The internal phase detector can also demodulate frequency-modulated signals (Figure 11). In this circuit, the output of one MAX038 is being frequency modulated with a 10kHz sine wave. The $\pm 34\text{mV}$ signal at FADJ of IC1 causes a $\pm 1\%$ variation in the output frequency ($\pm 100\text{kHz}$), and the rate of variation is 10kHz. The comparator assures a proper square wave for IC3's PDI input as mentioned above. The two MAX038s are set to the same center frequency.

The frequencies at IC3's phase-detector output are the sum and difference of the frequencies at PDI and OUT. Thus, with appropriate cutoff frequency and gain, the lowpass filter (IC4) passes only the original 10kHz signal to the demodulated output. The pole for this filter is set by the 16.2k Ω and 100pF components. As in Figure 10a, the frequency response for IC3's PLL is set by RPD, CPD, and RZ (see Sidebar).

When the loop is in lock, PDI is in approximate phase quadrature with the output signal. Also when in lock, the duty cycle at PDO is 50%, and PDO's average output current is 250 μA . The current sink at FADJ demands a constant 250 μA , so PDO outputs above and below that level develop a bipolar error voltage across RPD that drives the FADJ voltage input. Note-the MAX038's internal phase detector is a phase-only detector, producing a PLL whose frequency-capture range is limited by the bandwidth of its loop filter. For wider-range applications, consider an external phase-frequency detector.

To gain the advantages of a wider capture range and an optional $\div N$ circuit (which allows the PLL to lock onto arbitrary multiples of the applied frequency), you can introduce an external frequency-phase detector such as the 74HC4046 or the discrete-gate version shown in Figure 12. Unlike phase detectors that may lock to harmonics of the applied signal, the frequency-phase detector locks only to the fundamental. In the absence of an applied frequency, its output assumes a positive dc voltage (logic "1") that drives the RF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

output to the lower end of its range as determined by resistors R4-R6. These resistors also determine the frequency range over which the PLL can achieve lock. Again, R4-R6, C4, and RZ determine the PLL's dynamic performance.

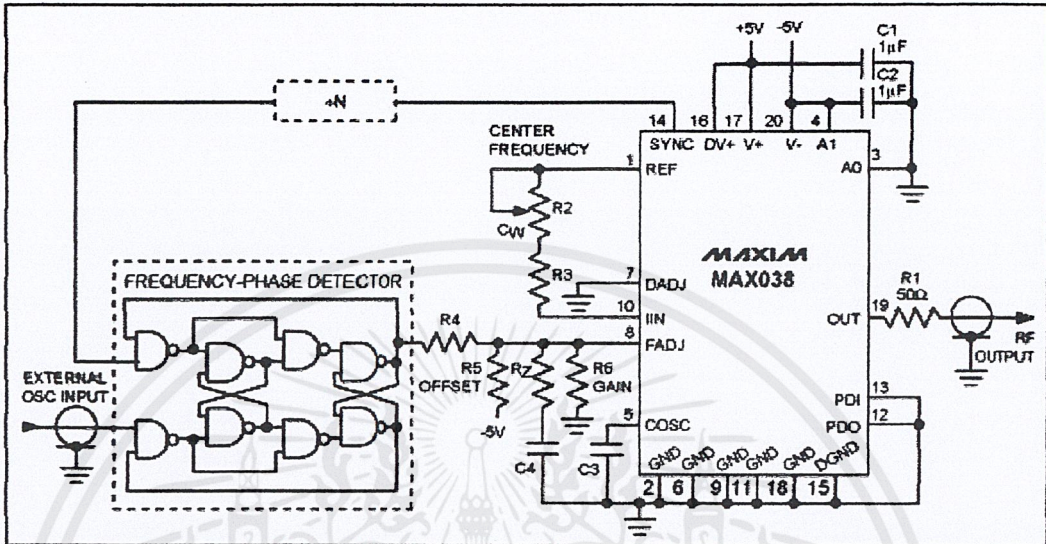
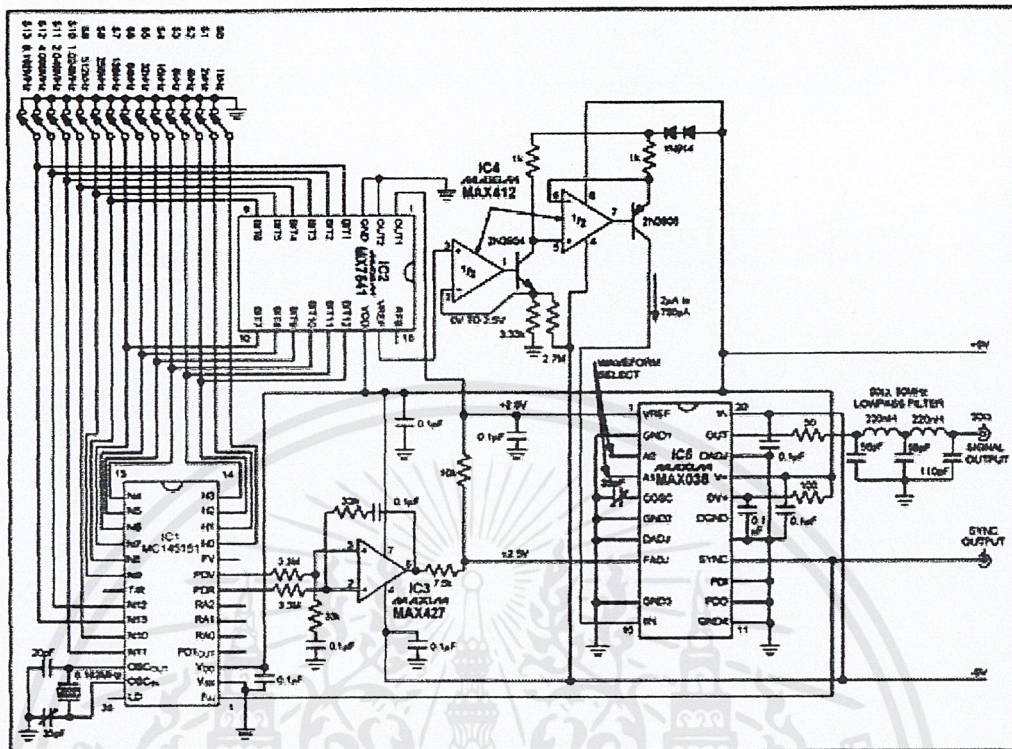


Figure 12. This discrete-gate frequency-phase detector allows use of an external + N circuit, and assures that the PLL will lock only to the fundamental (not a harmonic) of the applied frequency.

Frequency Synthesizer

The MAX038 and four other ICs can form a crystal-controlled, digitally programmed frequency synthesizer that produces accurate sine, square, or triangle waves in 1kHz increments over the range 8kHz to 16.383MHz (Figure 13). Each of the 14 manual switches (when open) makes the listed contribution to output frequency: opening only S0, S1, and S8, for example, produces an output of 259kHz.



[Click For Larger Image](#)

Figure 13. This manually programmed digital frequency synthesizer can step from 8kHz to 16.383MHz in 1kHz increments.

The switches generate a 14-bit digital word that is applied in parallel to the D/A converter (IC2) and a $\pm N$ circuit in IC1. IC1 also includes a crystal-controlled oscillator and high-speed phase detector, which form a phase-locked loop with the voltage-controlled oscillator in IC5.

The DAC and dual op amp (IC4) produce a $2\mu\text{A}$ -to- $750\mu\text{A}$ current that forces a coarse setting of the IC5 output frequency-sufficient to bring it within capture range of the PLL. This loop, in which the phase detector in IC1 compares IC5's SYNC output with the crystal-oscillator frequency divided by N, produces differential-phase information at PDV and PDR. IC3 then filters and converts this information to a $\pm 2.5\text{V}$ single-ended signal, which, when summed with an offset and applied to FADJ, forces the SIGNAL OUTPUT frequency to the exact value set by the switches.

Applying coarse frequency control with the DAC and the IIN terminal of IC5 (pin 10) gives the fine-control input (FADJ) a reasonably fast response to switch changes. The 50MHz, 50Ω lowpass output filter passes 16MHz sine, square, and triangle waves with reasonable fidelity, while blocking high-frequency noise generated by the $\pm N$ circuit.

The MAX038 is priced at \$10.37 (100 pcs, FOB USA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked-loop analysis

The following discussion borrows heavily from Chapter 2 of "Phaselock Techniques," 2nd Edition, 1979, by Floyd M. Gardner.

Phase-locked loops such as those operating in Figures 10a and 11 can be modeled by a phase detector, loop filter, and voltage-controlled oscillator (VCO) as shown in Figure A. The input-signal phase is $\phi_i(t)$ and the VCO-output phase is $\phi_o(t)$. Assuming that the loop is locked, the phase detector is linear, and the phase detector's output current (i_d) is proportional to the phase difference between its inputs, then:

$$(1) \quad i_d = K_d(\phi_i - \phi_o),$$

where K_d , called the phase-detector gain factor, is measured in units of amperes per radian. For the MAX038, $K_d = 3.18 \times 10^{-4}$ A/rad.

The loop filter determines dynamic performance for the loop. It transforms the phase-detector error current (i_d) into an error voltage (v_e) that determines the VCO's output frequency. The VCO's deviation from center frequency (f_o) is:

$$(2) \quad \Delta f = \frac{K_o v_e}{2\pi},$$

where K_o is the VCO gain factor, and has units of rad/sec-V. For the MAX038, $K_o = 0.2915\omega_o$, where $\omega_o = 2\pi f_o$. Since frequency is the derivative of phase, the VCO's operation may be described as:

$$(3) \quad \frac{d\phi_o}{dt} = K_o v_e.$$

Taking the Laplace transform of equation 3:

$$(4) \quad L\left[\frac{d\phi_o(t)}{dt}\right] = s\phi_o(s) = K_o V_e(s).$$

Therefore:

$$(5) \quad \phi_o(s) = \frac{K_o V_e(s)}{s}.$$

Thus, the VCO output phase is linearly related to the integral of the control voltage. Taking the Laplace transform of equation 1:

$$(6) \quad I_d(s) = K_d[\phi_i(s) - \phi_o(s)]$$

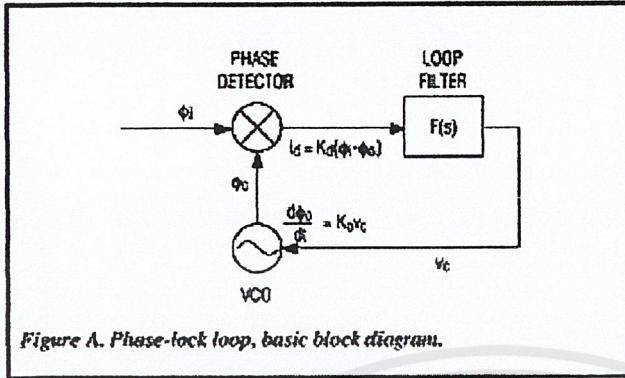


Figure A. Phase-lock loop, basic block diagram.

And from Figure A:

$$(7) V_c(s) = F(s)I_d(s),$$

where $F(s)$ is the transfer function for the loop filter (Figure B). Combining the equations 5, 6, and 7 gives the loop equations 8, 9, and 10:

$$(8) H(s) = \frac{\phi_o(s)}{\phi_i(s)} = \frac{K_o K_d F(s)}{s + K_o K_d F(s)}$$

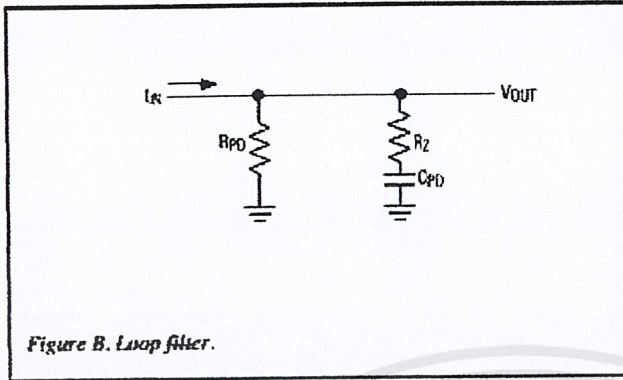
$$(9) \frac{\phi_i(s) - \phi_o(s)}{\phi_i(s)} = \frac{\phi_e(s)}{\phi_i(s)} = \frac{s}{s + K_o K_d F(s)} = 1 - H(s),$$

$$(10) V_c(s) = \frac{s K_d F(s) \phi_i(s)}{s + K_o K_d F(s)} = \frac{s \phi_i(s)}{K_o} H(s),$$

where $H(s)$ is the closed-loop transfer function and $\phi_e(s)$ is the phase error. The transfer function for the loop filter (Figure B) is $F(s)$:

$$(11) F(s) = \frac{V_{OUT}(s)}{I_{IN}(s)} = \frac{R_{PD}(sC_{PD}R_Z + 1)}{sC(R_{PD} + R_Z) + 1} = \frac{R_{PD}(s\tau_2 + 1)}{s\tau_1 + 1},$$

where $\tau_1 = (R_{PD} + R_Z)C_{PD}$, and $\tau_2 = R_Z C_{PD}$.



Substituting the $F(s)$ expression into equation 8 gives:

$$(12) H(s) = \frac{K_o K_d R_{PD} (s\tau_2 + 1)}{s^2 + \frac{s(1 + K_o K_d R_{PD} \tau_2)}{\tau_1} + \frac{K_o K_d R_{PD}}{\tau_1}}$$

which can be written as:

$$(13) H(s) = \frac{s \left(\zeta \omega_n - \frac{\omega_n^2}{K_o K_d R_{PD}} \right) + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$

where ω_n is the loop's natural frequency and ζ is its damping factor:

$$\omega_n = \left(\frac{K_o K_d R_{PD}}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(\frac{K_o K_d R_{PD}}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\tau_2 + \frac{1}{K_o K_d R_{PD}} \right)$$

As in conventional 2nd-order systems, ζ should be greater than 0.707.