

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ  
CAPACITIVE HUMIDITY METER



โดย

นายชาญยุทธ สันนุกิจ

นายทรรัตน์ ดุงจามุทส์

ว/นค.  
ร.๑๑๓๓  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....62568

วัน,เดือน,ปี...19 ส.ค. 2549

b.....11๕262๖4
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ

CAPACITIVE HUMIDITY METER

ผู้จัดทำ

นายชาญยุทธ สันนุกิจ 46015299

นายทรงสิน ดุจจานุทัศน์ 46015305

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ วรรณดี เพชรรัตน์ล้ำค่า )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ

## Capacitive Humidity Meter

โดย

นายชาญยุทธ                      สันนุกิจ                      46015299

นายทรงศิน                        คุงจานุทัศน์                      46015305

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบเครื่องวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ โดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุ ที่แปรผันไปกับค่าความชื้น เพื่อให้เครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถวัดค่าความชื้นได้ถูกต้อง ซึ่งเครื่องวัดความชื้นได้ประกอบขึ้นด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนภาคส่ง ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ ที่มีค่าความถี่สอดคล้องกับค่าความชื้นที่วัด และภาครับทำหน้าที่แสดงผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ในย่าน 0 – 100 เปอร์เซ็นต์ ที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลว โดยการประมวลผลได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวประมวลผลค่าความถี่

เครื่องวัดความชื้นนี้สามารถวัดค่าความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเคลื่อนย้ายได้สะดวก ทั้งภาคส่งและภาครับ รวมถึงสามารถส่งข้อมูลระหว่างภาครับกับภาคส่งได้ในระยะใกล้และไกล ซึ่งสะดวกในการวัดค่าความชื้น ณ จุดต่าง ๆ ได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Capacitive Humidity Meter

Mr. Chanyut Sannukit 46015299

Mr. Tussin Dujjanatud 46015305

Advisor

Miss Wandee Petchmaneelumka

### ABSTRACT

This project presents the design process of the capacitive humidity meter based on the principle that value of humidity for humidity meter can detect qualitatively humidity value get touch. Which humidity meter composed of two parts are transmitter parts does duty to generate the pulse signal corresponding with the humidity and receiver parts does duty the result was displayed capacitive humidity value in range 0 – 100 percent at the monitor with the LCD by the processor part used the micro controllers for codify result frequency value.

This humidity meter can detect qualitatively humidity value improved unit it can work efficiency and move convenient entire transmitter parts and receiver parts include can data was sent between transmitter parts and receiver parts in distance near and far. Which convenient for detect qualitatively humidity value at various according to desire by user.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากอาจารย์  
วรรณดี เพชรณิล้ำค่า, อาจารย์รัชชชัย คำศรี ในการให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำโครงการ  
ในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ที่ช่วยในการแก้ไข  
ข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี และขอขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาระบบระบบควบคุมทุกท่านที่เป็น  
เสมือนที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้โดยดีเสมอมา  
ผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาของโครงการนี้	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการทำโครงการนี้	2
1.5 รายละเอียดของแต่ละบทในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	
2.1 ความชื้น	3
2.1.1 ความชื้นสัมบูรณ์	3
2.1.2 ความชื้นจำเพาะ	3
2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์	3
2.2 อุปกรณ์วัดค่าความชื้น	4
2.2.1 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบ เทอร์มอลคอนดักทีวิตี	4
2.2.2 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบริชีสตีฟ	6
2.2.3 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบคาปาซิตีฟ	8
2.3 วิธีวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า	11
2.3.1 การเลื่อนเฟส	11
2.3.2 วงจรเฟสล็อกกลูป	14
2.3.3 การมอดูเลตทางความถี่	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	17
2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51	18
2.4.2 การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51	18
2.4.3 การสื่อสารข้อมูลแบบบัสไอสมควร์ซี (I <sup>2</sup> C)	20
2.5 ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	22
2.5.1 การจัดหาสัญญาณของ PCF8591	22
2.6 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว	24
2.6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโมดูล LCD	24
2.6.2 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล	24
2.7 วงจรอะอสเตเบิล	24
2.8 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า	27
2.8.1 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอย	27
2.8.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดกราวนด์	29
2.8.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดขนาดสูง	30
2.9 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	31
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	
3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ	33
3.2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ	34
3.2.1 ส่วนภาคส่ง	34
3.2.2 ส่วนภาครับ	38
3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองในส่วนของวงจรตรวจวัดความชื้น	42
4.2 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	44
4.3 การทดลองการส่งข้อมูล	45
4.3.1 การทดลองการส่งข้อมูลแบบบัสไอส์แควร์ซี	45
4.3.2 การทดลองการส่งข้อมูลแบบกระแสไฟฟ้าตามสายส่ง	47
4.3.2.1 การทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า	47
4.3.2.2 การทดลองวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	49
4.3.2.3 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของอินพุตและเอาต์พุต	50
4.4 การทดลองวัดค่าความชื้นจากเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น	53
4.5 สรุปผลการทดลอง	54
<b>บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
5.1 สรุปผล	55
5.2 บทวิจารณ์	55
<b>ภาคผนวก A โฟล์วชาร์ตการทำงานในส่วนภาครับและแสดงผล</b>	57
โฟล์วชาร์ตการทำงานในส่วนการวัดความชื้น	58
<b>ภาคผนวก B คู่มือไอซี</b>	59
<b>ภาคผนวก C โค้ดโปรแกรมส่วนภาครับและแสดงผล</b>	59
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ VI ศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักทีวิตี	4
2.2 ในตัวหัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักทีวิตี	5
2.3 แสดงกราฟเอาต์พุตของหัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักทีวิตี	6
2.4 แสดงหัววัดแบบปริซิทีฟ	6
2.5 แสดงกราฟการตอบสนองของหัววัดชนิดปริซิทีฟต่ออุณหภูมิ $0^{\circ}\text{C}$ , $25^{\circ}\text{C}$ และ $85^{\circ}\text{C}$	7
2.6 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบคาปาซิทีฟรูปทรงต่างๆ	8
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และค่าความจุไฟฟ้า	9
2.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่	11
2.9 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรการเลื่อนเฟส	12
2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาต์พุตกับค่าประจุของวงจรการเลื่อนเฟส	13
2.11 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรเฟสล็อกกลุ๊ป	14
2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าประจุของวงจรเฟสล็อกกลุ๊ป	14
2.13 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรการมอดูเลตทางความถี่	15
2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต กับค่าประจุไฟฟ้าของวงจรการ มอดูเลตทางความถี่	16
2.15 โครงสร้างภายในของ MCS-51 เบอร์ AT89C51	17
2.16 การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 AT89C5x	19
2.17 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัสไอสมแควร์ซี	20
2.18 การต่อตัวต้านทานพูลอัพบนสายสัญญาณบัสไอสมแควร์ซี	21
2.19 วงจรส่วนเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัสไอสมแควร์ซี	22
2.20 การต่อตัวต้านทาน $R_s$ เพื่อลดสัญญาณรบกวนในบัสไอสมแควร์ซี	22
2.21 แสดงลักษณะการจัดขาสัญญาณของ PCF8591	23
2.22 วงจรภายในไอซี 555	25
2.23 วงจรอะสเตเบิล	25
2.24 ลักษณะรูปคลื่นของวงจรอะสเตเบิล $\frac{V_{cc}}{3}$	26

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอยแบบไม่กลับเฟส	27
2.26 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอยแบบกลับเฟส	27
2.27 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสแก่โหลดกราวนด์	29
2.28 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสขนาดโหลดสูง	30
2.29 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	31
3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดความชื้นแบบตัวเก็บประจุ	33
3.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของหัววัดความชื้น รุ่น HS1101	34
3.3 กราฟแสดงคุณสมบัติของความจุไฟฟ้าต่อความชื้นสัมพัทธ์ของหัววัดความชื้น	34
3.4 วงจรวัดความชื้น(วงจรอะสเตเบิล)	35
3.5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง	36
3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่งกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก	37
3.7 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก	37
3.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	38
3.9 ลำดับขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ	39
3.10 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ	40
3.11 แสดงส่วนจอแสดงผล	41
4.1 วงจรอะสเตเบิลที่ใช้งานจริง	42
4.2 วงจรส่งข้อมูลแบบบัสไอสนแควร์ซี	45
4.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง	49
4.4 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง	49
4.5 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าคู่ร่วมกับ วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	50
4.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและจากค่าที่ได้เทียบกับกราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับความชื้น	55

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองวัดค่าความถี่โดยแปรค่าตัวเก็บประจุของวงจรอะสตเบิ้ล	43
4.2 ผลการทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก	44
4.3 ผลการทดลองการส่งข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซี	46
4.4 ผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า	48
4.5 ผลการทดลองวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	49
4.6 ผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าต่อร่วมกับ วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	51
4.7 ผลการทดลองการวัดค่าความชื้น	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานIXการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมและทางเกษตรกรรม เช่น ข้าวเปลือก ถั่วเขียว ข้าวสาร อาหารแห้ง เป็นต้น ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเก็บรักษาต้องมีความชื้นที่ไม่มากเกินไป และไม่น้อยเกินไป จึงจะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้อย่างปลอดภัย การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพไปได้อย่าง ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์เพื่อทำการวัดค่าต่างๆเหล่านี้เพื่อสามารถกำหนด ความชื้น หรือความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปเครื่องวัดความชื้นมีอยู่มากมายหลายแบบ และส่วนมากนั้นเป็นเรื่องวัดเครื่องวัดความชื้นที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง บางครั้งเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศจะมีขนาดใหญ่ทำให้เคลื่อนย้ายมีความลำบาก คณะผู้จัดทำจึงได้เห็นถึงความสำคัญของผู้ที่ศึกษาทางด้านอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องทำการศึกษานี้เนื้อหาต่างๆ ทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติเพื่อช่วยเสริมทักษะ และความรู้ทางด้าน สาขาช่างอุตสาหกรรม จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องมือวัดค่าความชื้น แบบค่าประจู่ สามารถใช้งานได้ไม่ซับซ้อนและเคลื่อนย้ายได้สะดวก

### 1.1 ที่มาของโครงการนี้

เนื่องจากความชื้นมีผลกระทบต่อสิ่งต่างๆรอบๆตัวเรา จึงต้องมีการศึกษาและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นขึ้นเพื่อให้ทราบค่าความชื้น อันเป็นแนวทางที่จะสามารถนำค่าความชื้นที่ได้นั้นไปใช้หรือทำการควบคุมความชื้นให้มีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม โดยทั่วไปเครื่องวัดความชื้นมีอยู่มากมายหลายแบบ และส่วนมากนั้นเป็นเรื่องวัดเครื่องวัดความชื้นที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง บางครั้งเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศจะมีขนาดใหญ่ทำให้เคลื่อนย้ายมีความลำบาก

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. สร้างเครื่องมือวัดความชื้นและสามารถนำไปใช้งานได้
2. เพื่อศึกษาเซนเซอร์ที่ใช้วัดความชื้น
3. เพื่อศึกษาวจรต่างๆที่ใช้ในการวัดความชื้น

### 1.3 ขอบเขตโครงการ

1. สร้างเครื่องมือวัดความชื้น
2. สามารถทำการวัดค่าความชื้นและนำมาแสดงผลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการทำโครงการนี้

1. เพิ่มความรู้ความเข้าใจในเชิงวิเคราะห์และออกแบบชิ้นงาน
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป
3. เพิ่มทักษะการแก้ปัญหาเฉพาะทางอาชีพวิศวกรรม
4. เรียนรู้การจัดการและการดำเนินงานร่วมกับเพื่อนร่วมงานได้ดี

#### 1.5 รายละเอียดของแต่ละบทในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้

เนื้อหาได้รวบรวมจากการศึกษาทดลองตลอดหนึ่งภาคการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดโครงการ วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

บทที่ 3 การออกแบบ การทดลองและผลการทดลอง จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองในส่วนต่างๆของโครงการนี้

บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป จะเป็นการสรุปภาพรวมที่ได้ทำมา ปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไข พร้อมทั้งแนวทางในการพัฒนาต่อ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของความชื้น อุปกรณ์วัดค่าความชื้น วิธีวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ การใช้งานของไอซีPCF 8591 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว และการใช้งานไอซี 555 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ที่จะนำมาใช้ในโครงการ ดังมีรายละเอียดและข้อมูลต่างๆดังนี้

#### 2.1 ความชื้น

ความชื้น คือ ปริมาณไอน้ำในอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อนน้ำจะเปลี่ยนจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่าการระเหย อากาศชื้นหรืออากาศแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณละอองน้ำในอากาศ อากาศจะได้รับไอน้ำได้มากหรือน้อยอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศมี 3 แบบ คือ

2.1.1 ความชื้นสัมบูรณ์ คือ น้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริง ในปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ หรือว่าความชื้นสัมบูรณ์ คือ ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศหน่วยคิดเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์} = \frac{\text{มวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ}}{\text{ปริมาตรของอากาศ}}$$

2.1.2 ความชื้นจำเพาะ คือ น้ำหนักหรือความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักไอน้ำ ในอากาศเป็นกรัมต่อน้ำหนักในอากาศ 1 กิโลกรัม

$$\text{ความชื้นจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของไอน้ำที่อากาศชื้น}}{\text{น้ำหนักของไอน้ำที่อากาศชื้น+น้ำหนักของอากาศ}}$$

ความชื้นจำเพาะของอากาศจะมีค่าคงที่เมื่ออากาศขยายหรือหดตัว โดยที่ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงยังมีค่าคงเดิมแม้ว่าปริมาตรของอากาศจะขยายตัวหรือหดตัวก็ตาม

2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของความชื้นในอากาศขณะนั้นกับความชื้นจริงของอากาศในภาวะอิ่มตัว

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่มีในอากาศ}}{\text{ปริมาณไอน้ำที่มีในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100\%$$

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นวิธีวัดความชื้นในอากาศที่ใช้มากที่สุด ความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงและถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงใช้ความชื้นสัมพัทธ์มาเป็นความชื้นที่ใช้ตรวจวัดในการสร้างเครื่องวัดความชื้นนี้

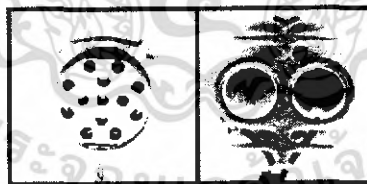
## 2.2 อุปกรณ์วัดค่าความชื้น

หัววัดวัดค่าความชื้น (Humidity Sensor) ที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรม มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ เทอร์มอล คอนดักติวิตี (Thermal Conductivity) , รีซิสทีฟ (Resistive) และคาพาซิทีฟ (Capacitive) ซึ่งมีข้อดี และข้อด้อยของหัววัดแต่ละชนิด

### 2.2.1 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบ เทอร์มอลคอนดักติวิตี (Thermal Conductivity)

หัววัดแบบนี้เป็นชนิดเดียวที่วัดค่าความชื้นสมบูรณ์ โดยอาศัยการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนของอากาศแห้ง กับการนำความร้อนของอากาศที่มีไอน้ำอยู่ โดยเมื่ออากาศหรือก๊าซแห้ง มันจะมีความสามารถที่จะรับความจุความร้อนสูง

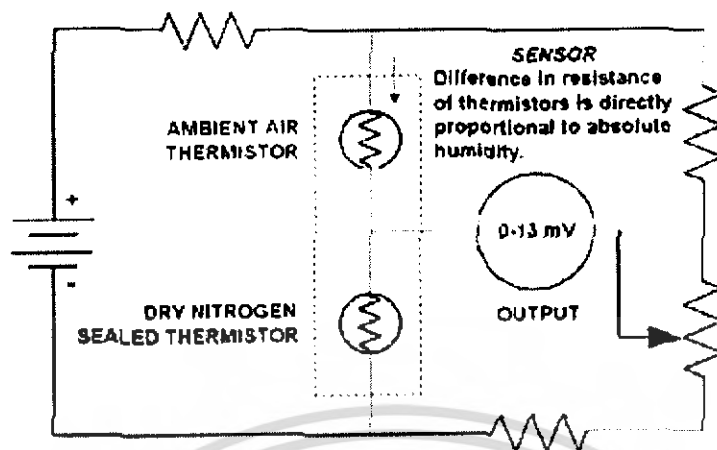
หัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักติวิตี หรือหัววัดความชื้นสมบูรณ์ (Absolute Humidity Sensor) ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ 2 ตัว ค่อยอยู่ในวงจรบริดจ์โดยเทอร์มิสเตอร์ตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในแคปซูลที่มีก๊าซไนโตรเจน และเทอร์มิสเตอร์อีกตัวหนึ่งถูกวางอยู่ในบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงหัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักติวิตี

การทำงานของหัววัดแบบเทอร์มอลคอนดักติวิตี เมื่อกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านเทอร์มิสเตอร์ทั้งสอง ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงขึ้นในตัวเทอร์มิสเตอร์มากกว่า  $200^{\circ}\text{C}$  และความร้อนที่กระจายออกจากเทอร์มิสเตอร์ในแคปซูลจะมากกว่าเทอร์มิสเตอร์ที่อยู่ในบรรยากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ทั้งสองนี้ เป็นความต่างของการนำความร้อนของไอน้ำเทียบเก็บไนโตรเจนแห้ง ความแตกต่างของค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จึงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความชื้นสมบูรณ์

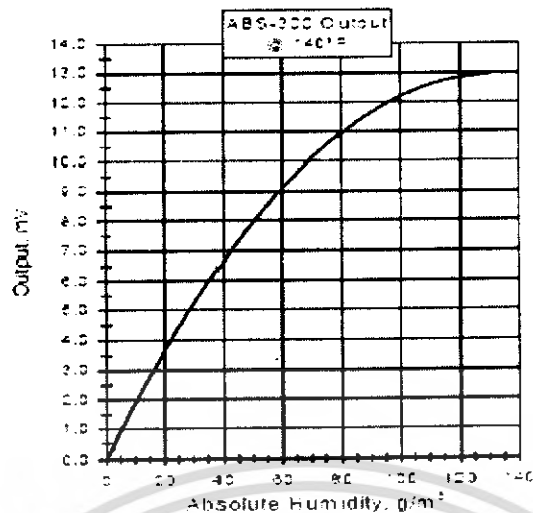
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ในตัวหัววัดแบบ Thermal Conductivity

จากรูปที่ 2.2 จะมีเทอร์มิสเตอร์ที่เหมือนกัน 2 ตัว ต่ออยู่ในวงจรบริดจ์หัววัดตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในก๊าซไนโตรเจนแห้ง และอีกตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในอากาศ แรงดันในวงจรบริดจ์จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความชื้นสัมบูรณ์ นอกจากนี้จะใช้วงจรบริดจ์แล้วยังมีการใช้เครือข่ายความต้านทานเพื่อสร้างแรงเคลื่อน ไฟฟ้าได้เท่ากับย่านความชื้น 0-130 G/m<sup>3</sup> ที่อุณหภูมิ 60°C การสอบเทียบหัววัดแบบนี้ จะใช้การวางหัววัดในอากาศหรือไนโตรเจน ที่ไม่มีความชื้นจากนั้นจะปรับให้เอาต์พุตเป็นศูนย์ หัววัดแบบเทอร์โมลคอนดักติวิตี

หัววัดแบบเทอร์โมลคอนดักติวิตี มีความทนทานสูงและทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงถึง 300°C และยังสามารถใช้โระเหยสารเคมีได้เป็นอย่างดีจากคุณสมบัติที่ดีของวัสดุโครงสร้างเครื่องที่ไม่มีปฏิกิริยาทางสารเคมี เช่น แก้ว สารกึ่งตัวนำ ที่ใช้สร้างเทอร์มิสเตอร์พลาสติกทนอุณหภูมิสูงหรืออะลูมิเนียม โดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้งานหัววัดแบบ เทอร์โมล คอนดักติวิตี ในงานอุตสาหกรรมอบผ้าทั้งแบบที่ใช้ไมโครเวฟ หรือแบบที่ใช้ไอน้ำ รวมทั้งอุตสาหกรรมอบไม้ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ และการผลิตสารเคมีต่าง ๆ ทั้งนี้หัววัดแบบนี้มีความละเอียดที่ดีกว่าหัววัดแบบอื่น ที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 200°F นอกจากนี้ก็อาจมีการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำระดับ  $\pm 3\text{g/m}^3$  ซึ่งเมื่อแปลงไปเป็นค่าความชื้นจะได้เท่ากับ  $\pm 5\%RH$  ที่ 40°C และ  $\pm 0.5\% RH$  ที่ 100°C ซึ่งแสดงดังกราฟรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟเอาต์พุตของหัววัดแบบเทอร์โมสคอนดักทีวิตี

### 2.2.2 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบรีซิสตีฟ ( Resistive Humidity Sensor )

หัววัดความชื้นแบบความต้านทาน จะวัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าของตัว กลาง ความชื้น (Hygroscopic Medium) อย่างเช่น โพลีเมอร์ เกลือ หรือสารสังเคราะห์ ซึ่งอิมพีแดนซ์ ที่เปลี่ยน จะแปรผันกับค่าความความชื้น ในลักษณะของกราฟเอกซ์โปเนนเชียลกลับด้าน ดังในรูป ที่ 2.4

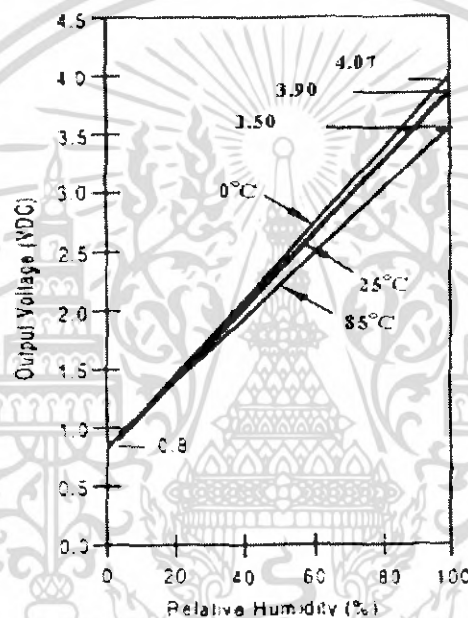


รูปที่ 2.4 แสดงหัววัดแบบ Resistive Humidity

โครงสร้างของหัววัดรีซิสตีฟ ประกอบด้วยอิเล็กโตรดโลหะ 2 ส่วนวางอยู่บนฐานด้วย เทคนิคการวางแบบโฟโตรีซิส (Photo resist) อิเล็กโตรดอาจมีขดลวดพันรอบ (Wire-wound Electrodes) ใช้แกนเป็นพลาสติกหรือแท่งแก้วทรงกระบอกในส่วนของฐานนั้นถูกเคลือบด้วย เกลือ (Salt) หรือโพลีเมอร์ (Conductive Polymer) การทำงานของหัววัดก็คือดูดซับไอน้ำและ ไอออนที่แตกตัว เป็นผลให้ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลางเพิ่มขึ้น โดยช่วงเวลาการตอบสนองของ หัววัดอยู่ในช่วง 10 ถึง 30 วินาทีสำหรับการเปลี่ยนแปลงในช่วง 63% โดยย่านของอิมพีแดนซ์ที่ เปลี่ยนแปลงของหัววัดแปรเปลี่ยน 1 kW ถึง 100 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัววัดแบบรีซีทีฟจะใช้วงจรวัดแบบสมมาตร (Symmetrical) ซึ่งใช้แปลงกำเนิดกระแส สลับกระตุ่นอย่างเช่นวงจรถัด (Bridge) และสาเหตุที่ทำให้ใช้กระแสตรงก็เพื่อป้องกันการเกิดขั้ว ศักย์ไฟฟ้าขึ้นนั่นเอง เมื่อความต้านทานเปลี่ยนตามการเปลี่ยนของความชื้นเป็นผลให้เกิดกระแส ไฟฟ้าไหลในวงจรวัด กระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันกระแสตรงเพื่อการส่งผ่าน ไปยังวงจรถ่ายย่านวัด วงจรถ่ายแรงดัน วงจรปรับเชิงเส้น และวงจรแปลงสัญญาณ อนาคตเป็นดิจิทัลต่อไป ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วจะทำให้หัววัดและ Resistive มีการ ตอบสนองต่ออุณหภูมิได้ดี หัววัดความชื้นแบบรีซีทีฟนี้ จะมีข้อจำกัดทางอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ไปดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟการตอบสนองของหัววัดชนิดรีซีทีฟต่ออุณหภูมิ 0°C, 25°C และ 85°C

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงเป็นกราฟการตอบสนองระหว่างแรงดัน ไฟฟ้าเอาต์พุต และค่าความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าในการวัดค่าความชื้น ณ จุดที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าแรงดันที่พุดของหัววัดแปรผันตามไปด้วย

ข้อดีของหัววัดแบบรีซีทีฟ ก็คือ หากตัวใดเสีย ก็สามารถนำอีกตัวหนึ่งมาแทนได้ โดย ผ่านการสอบเทียบด้วยการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งก็ทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน  $\pm 2\%RH$  ข้อควรจำอย่างหนึ่งของการใช้หัววัดแบบรีซีทีฟ คืออ่านอุณหภูมิใช้งาน อยู่ในช่วง  $-40^{\circ}C$  ถึง  $100^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานในสถานที่ที่มีไอระเหยของสารเคมี หรือน้ำมันทำให้อายุการใช้งานของหัววัดก็จะสั้นลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอายุการใช้งานของหัววัดอยู่ในช่วง 5 ปี ข้อด้อยอีกอย่างของหัววัดความต้านทานก็คือ มีการเบี่ยงเบนเมื่อเกิดสภาวะควบแน่น หัววัดแบบรีซิทิฟ จะทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีการผันแปรของอุณหภูมิไม่เกิน  $100^{\circ}\text{F}$  หากเกินนี้ อุณหภูมิก็จะส่งผลให้อ่านค่าความชื้นได้เพี้ยนไป จากคุณสมบัติต่างๆจึงทำให้หัววัดความชื้นแบบรีซิทิฟนี้เหมาะใช้ในงานควบคุม อุปกรณ์แสดงผลในอุตสาหกรรม และใช้ในเครื่องใช้ต่าง ๆ ตามบ้าน

### 2.2.3 หัววัดวัดค่าความชื้นแบบคาปาซิทิฟ (Capacitive Humidity Sensor)

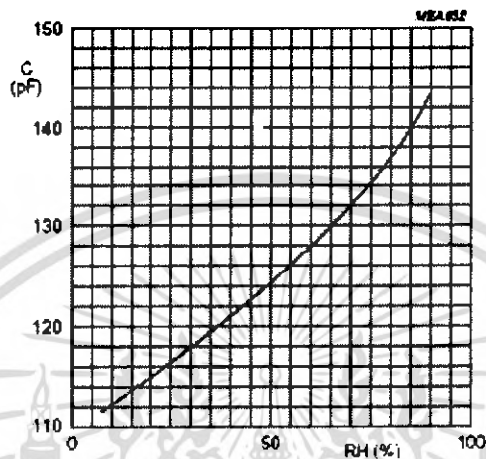
หัววัดวัดค่าความชื้นแบบนี้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) มีรูปร่างหน้าตา ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เสิ่งพาณิชย์ งานวิจัยหรือทดลองทางฟิสิกส์

รูปที่ 2.6 หัววัดวัดค่าความชื้น Capacitive รูปทรงต่าง ๆ

หัววัดแบบนี้ มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์ หรือ เมทัลออกไซด์ (Metal Oxide) ถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง โดยพื้นผิวของฟิล์มบางดังกล่าว ถูกเคลือบด้วยอิเล็กโตรดโลหะแบบมีรูพรุน เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปัญหาจากแสงแดด หัววัดแบบคาปาซิทิฟ สามารถตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมได้เกือบจะเป็นเชิงเส้น หรือมีการตอบสนองได้อย่างเป็นสัดส่วนที่คตินั้นเอง โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ก็จะเปลี่ยนไป  $0.2\text{ pF}$  ถึง  $0.5\text{ pF}$

หัววัดแบบคาปาซิทิฟถูกกำหนดให้มีคุณลักษณะเฉพาะ คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ทำงานได้ดี แม้อุณหภูมิสูงถึง  $200^{\circ}\text{C}$  การกลับสู่สภาวะเดิมจากสภาวะการควบแน่น และยังทนต่อไอระเหยของสารเคมีอีกด้วย ในขณะที่ช่วงเวลากการตอบสนองของหัววัดคือ 30 ถึง 60 วินาที สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วง 63 เปอร์เซ็นต์

หัววัดแบบคาปาซิทีฟที่มีช่วงของการครีฟต์ (Drift) และฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis) น้อยที่สุด หัววัดแบบคาปาซิทีฟที่ใช้แผ่นฟิล์มบางนี้ บางรุ่นมีการติดตั้งวงจรแปลงสัญญาณเข้าไว้ด้วย เพื่อช่วยสร้างเอาต์พุตแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกือบเป็นเชิงเส้นตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น ดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และค่าความจุไฟฟ้า

ข้อด้อย ซึ่งเริ่มจากความผิดพลาดเท่ากับ  $\pm 2\%RH$  ในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น 5% ถึง 95%RH) นอกจากนี้หัววัดยังถูกจำกัดความสามารถ ด้วยระยะระหว่างชั้นส่วนตรวจจับความชื้น กับวงจรแปลงสัญญาณ เพราะหากใกล้กันมากจะทำให้เกิดผลกระทบของค่าความจุไฟฟ้า และในทางปฏิบัติจะต้องน้อยกว่า 10 ฟุต

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของหัววัดแบบค่าความจุก็คือ จุดความร้อนที่น้ำค้างเริ่มจับจุดน้ำค้าง (DewPoint) เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ สอดคล้องกับค่าความชื้นที่เปลี่ยนไป แม้จะเปลี่ยนแปลงไปน้อย ๆ ก็ตาม และค่าครีฟต์ (Drift) ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี แต่ถ้าค่าความชื้นที่เปลี่ยนไป ต่ำกว่าในระดับที่กำหนดแล้ว หัววัดก็เริ่มที่จะทำงานไม่เป็นเชิงเส้น คุณลักษณะดังกล่าวนี้ นำไปสู่การพัฒนาาระบบวัด จุดความร้อนที่น้ำค้างเริ่มจับจุดน้ำค้างติดตั้งร่วมกับหัววัด และอ่านมิระบบไมโคร โปรเซสเซอร์ช่วยเก็บข้อมูลการปรับเทียบค่าเอาไว้ในหน่วยความจำ เพื่อการชดเชยค่าได้อย่างแม่นยำขึ้นด้วย

คุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมา หัววัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ จึงได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างเครื่องวัดความชื้นนี้ ค่าคาปาซิทีฟที่หัววัดความชื้นวัดได้นั้นก็คือ ค่าประจุหรือค่าตัวเก็บประจุ นั่น

เอง จากกฎของเกาส์สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานคือ  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  เมื่อ  $\sigma$  คือความหนาแน่นประจุต่อหน่วยพื้นที่ซึ่ง  $\sigma = \frac{q}{A}$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$V = \frac{qd}{\epsilon_0 A} \quad (2.3)$$

และ

$$C = \frac{q}{V} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2.5)$$

จากสมการ

$E$  คือค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

$q$  คือประจุ

$V$  คือความต่างศักย์ไฟฟ้า

$A$  พื้นที่ของแผ่นตัวนำภายในตัวเก็บประจุ

$d$  คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

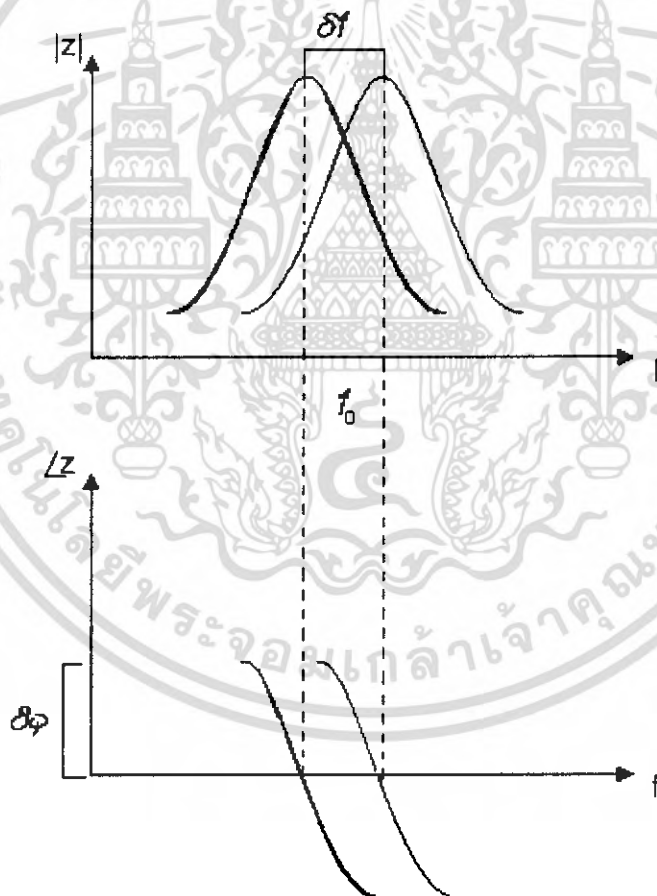
$C$  คือค่าความจุไฟฟ้า

## 2.3 วิธีวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ในการวัดค่าความถี่ที่เปรียบได้กับค่าตัวเก็บประจุ การวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีวิธีในการวัด 3 วิธี ได้แก่

### 2.3.1 การเลื่อนเฟส

เป็นวิธีในการนำวงจรกรองความถี่ LC แบบง่าย ๆ ซึ่งวงจร LC จะเกิดสัญญาณคกคร่อมสูงสุดที่ความถี่ใดๆเพียงความถี่เดียว หรือที่เราเรียกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้ที่ความถี่ดังกล่าวจะเกิดการลดทอนของสัญญาณต่ำสุด และไม่เกิดการเลื่อนเฟส ซึ่งนั่นหมายถึงว่าการเลื่อนเฟสมีค่าเป็นศูนย์ที่ความถี่เรโซแนนซ์การเพิ่มค่ารีแอคแตนซ์ค่าน้อยๆ เช่นการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุในขณะที่คงความถี่เดิมไว้ แต่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้เปลี่ยนไปจากเดิมแล้ว จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้น และสิ่งสำคัญคือ เกิดการเลื่อนเฟสดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นกราฟที่เป็นเชิงเส้นที่บ่งจะเป็นผลตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์เดิม เส้นบางเกิดจากการเลื่อนเฟส โดยการเพิ่มค่ารีแอกแตนซ์ขนาดน้อยๆ เข้าไปสำหรับการเลื่อนเฟสเพียงน้อยๆ ค่าการลดทอนทางแรงดันที่เปลี่ยนแปลงก็จะน้อยมากเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าผลตอบสนองบริเวณด้านบนของกราฟผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่จะค่อนข้างโค้งมน ดังนั้นเราจะใช้ค่าการเลื่อนเฟสมาทำการวัดค่าความจุแทนการใช้ขนาดแรงดัน เพราะว่าจะให้ความแม่นยำในการวัดดีกว่าโดยใช้สมการต่อไปนี้ช่วย

ความถี่เรโซแนนซ์

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.6)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าตามตัวเก็บประจุ ( $df$ ) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ ( $dc$ ) ดังนี้

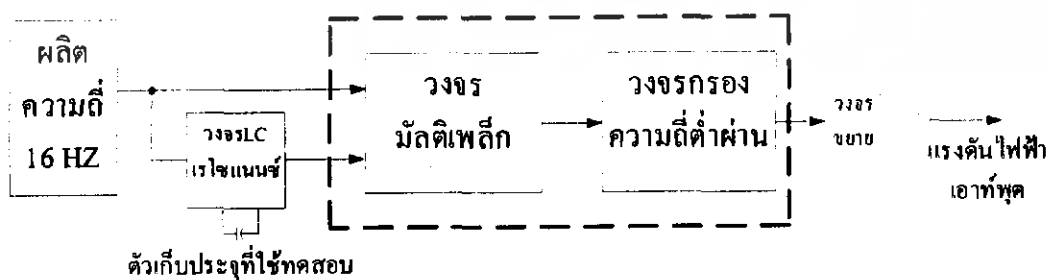
$$df = dc \times \frac{f_0}{2c} \quad (2.7)$$

และการเปลี่ยนแปลงเฟส ( $d\phi$ ) หาได้จาก

$$\frac{d\phi}{dc} = -\omega^2 LC \quad (2.8)$$

ในสมการ  $\omega$  มีค่าเท่ากับ  $2\pi f$  และ  $Q$  คือค่าตัวประกอบ  $Q$  ( $Q$ -factor) ของขดลวดมีค่าเท่ากับ  $\omega L/r$  ซึ่งตัวแปร  $r$  คือค่าความต้านทานภายในของขดลวด

การเปลี่ยนแปลงเฟสจะเป็นเชิงเส้นกับค่าตัวเก็บประจุ สำหรับการเปลี่ยนแปลงเฟสน้อยๆ และการเพิ่มขึ้นของขนาดสัญญาณตามการเพิ่มความถี่และการเพิ่มค่าตัวประกอบ  $Q$  ทำการวัดเฟสโดยใช้วงจรตรวจจับเฟส ซึ่งอาจจะเป็นวงจรคูณแบบอนาล็อกหรือวงจรมิกเซอร์ทั่วๆ ไป ตามด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter : LPF) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โคออดิเนตการทำงานของวงจรการเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีสัญญาณ 2 สัญญาณ

$$V_1 = A \cos(\omega t + \Phi_1) \quad (2.9)$$

และ

$$V_2 = A \sin(\omega t + \Phi_2) \quad (2.10)$$

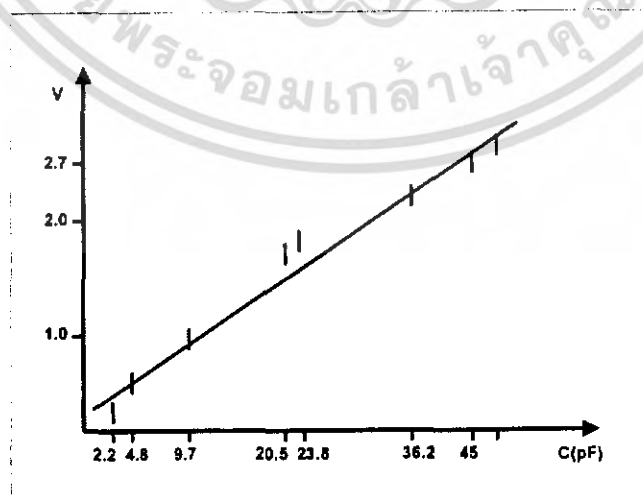
เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมาคูณกัน จะได้ดังนี้

$$V_1 \times V_2 = \frac{A^2}{4} \cos(2\omega t + \Phi_1 + \Phi_2) + \frac{A^2}{4} \sin(\Phi_1 + \Phi_2) \quad (2.11)$$

(หมายเหตุ : ค่า  $\pm$  ในสมการข้างต้นควรจะเป็น -)

เทอมแรก จะมีค่าความถี่เป็นสองเท่าของสัญญาณทดสอบ โดยมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นตัวกรองความถี่สูงออก ส่วนเทอมที่ 2 จะประกอบด้วยค่าไฟฟ้ากระแสตรงที่แปรผันตามการเลื่อนเฟสของสัญญาณขาเข้า สำหรับมุมแคบๆ สัญญาณขาเข้าจะเท่ากับมุมในหน่วยเรเดียนดังนั้นจะได้แรงดันที่แปรผันตามการเลื่อนเฟสนั้น หมายความว่าแรงดันนี้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวเก็บประจุแต่จะวัดได้เฉพาะการเลื่อนเฟสน้อยๆ เท่านั้น

ผลจากการทำงานที่ได้จะเห็นว่าความเป็นเชิงเส้นจะไม่ดีดังแสดงในรูป 2.10 ถ้าต้องการความเป็นเชิงเส้นสูง สามารถทำได้โดยการกำหนดย่านการวัดในมุมแคบๆ โดยทำการปรับค่าขดลวดและทริมเมอร์ร่วมกันไปด้วย เพื่อให้ได้ย่านในการวัดตามที่ต้องการกำหนดค่าในย่านวัด และถ้าหากว่าต้อง การย่านวัดที่กว้างขึ้น สามารถใช้วิธีการต่อสวิตช์ร่วมกับขดลวดเพื่อเพิ่มย่านในการวัดโดยใช้สวิตช์ หรืออาจจะใช้วิธีการเปลี่ยนความถี่แทนก็ได้



**รูปที่ 2.10** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาต์พุตกับค่าประจุของวงจรการเลื่อนเฟส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

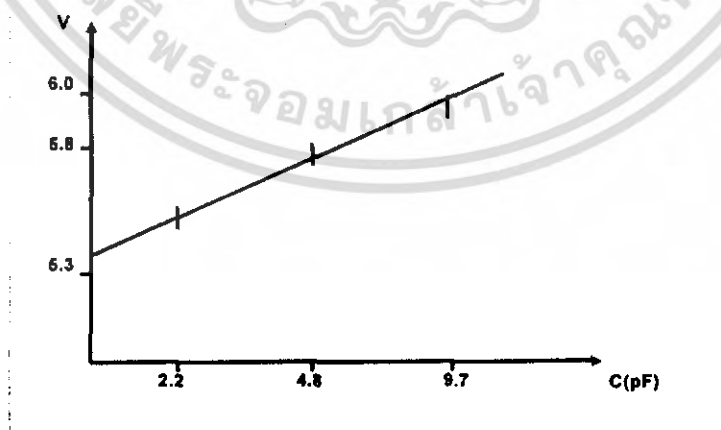
### 2.3.2 วงจรเฟสล็อกกลุ่

จากรูปที่ 2.11 จะใช้ไอซีเบอร์ NE564 ซึ่งเป็นไอซีเฟสล็อกกลุ่ ภาคเปรียบเทียบเฟส ( phase comparator ) จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของความถี่และเฟส ระหว่างสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณที่ได้จาก VCO จากนั้นสัญญาณจะถูกกรองความถี่สูงทิ้งด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังนั้นหลังภาคขยายสัญญาณเราจะได้สัญญาณความต่างเฟสในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะถูกป้อนกลับเพื่อไปควบคุมความถี่ VCO ให้มีความถี่เท่ากับวงจรกำเนิดความถี่ขนาด 16 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งในสภาวะนี้เรียกว่าวงจรเกิดการล็อกความถี่



รูปที่ 2.11 โค้ดแกรมการทำงานของวงจรเฟสล็อกกลุ่

สัญญาณความต่างเฟสหรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือค่าที่กำหนดค่าตัวเก็บประจุที่นำมาวัด ผลจากการทำงานของวงจรจะได้กราฟดังในรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นสูง ย่นในการวัดของวิธีนี้ จะถูกจำกัดโดยย่านความถี่ในการล็อกของไอซีเฟสล็อกกลุ่ (Capture Frequency)



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าประจุของวงจรเฟสล็อกกลุ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่ในการล็อกของไอซีเฟสล็อกจะเป็นย่านความถี่รอบๆ ความถี่ของ VCO ที่ส่งไปภาคเปรียบเทียบเฟสแล้วไอซีจะเกิดสภาวะล็อกความถี่ ย่านความถี่นี้สามารถขยายได้แต่วงจรมันจะต้องมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

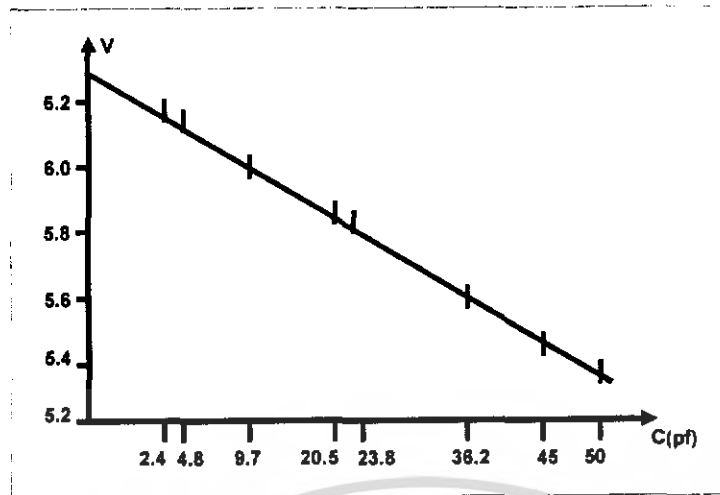
อัตราขยายในวงจรมันจะเป็นตัวย่านความถี่ในการล็อกอีกชั้นหนึ่ง ในวงจรรออัตราขยายนี้จะถูกกำหนดโดยค่าความต้านทาน VR1 และถ้าปรับให้มีย่านความถี่ในการล็อกกว้างมากๆ สัญญาณรบกวนอาจจะทำให้ไอซีเฟสล็อกไม่สามารถล็อกความถี่ได้ การทำงานของวงจรมันก็จะไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

### 2.3.3 การมอดูเลตทางความถี่

จากรูปที่ 2.13 วิธีนี้จะใช้ค่าตัวเก็บประจุที่ต้องการวัดมาทำการเบี่ยงเบนหรือว่าเลื่อนความถี่จากนั้นทำการคิมอดูเลตสัญญาณที่ได้ เพื่อหาค่าเฟสที่เลื่อนไปจากสัญญาณในรูปสัญญาณ ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถใช้วงจรมอดูเลตทางความถี่ทั่วไปมาทำก็ได้ แต่จะใช้การมอดูเลตทางความถี่และคิมอดูเลตด้วยไอซีเฟสล็อก โดยจะปรับให้วงจรมอดูเลตทางความถี่ทำการ ล็อกที่ความถี่เดียวกันกับวงจรมอดูเลตความถี่ ซึ่งเมื่อความถี่เบี่ยงเบนไปเนื่องจากตัวเก็บประจุที่ต้องการจะวัดจะเกิดสัญญาณเบี่ยงเบนทางเอาต์พุต ของวงจรมอดูเลตทางความถี่ซึ่งทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะเบี่ยงเบนไปโดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เบี่ยงเบนไปนี้จะแปรผันไปตามการเลื่อนของความถี่



รูปที่ 2.13 โคอะแกรมการทำงานของวงจรมอดูเลตทางความถี่



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าประจุไฟฟ้า  
ของวงจรการมอดูเลตทางความถี่

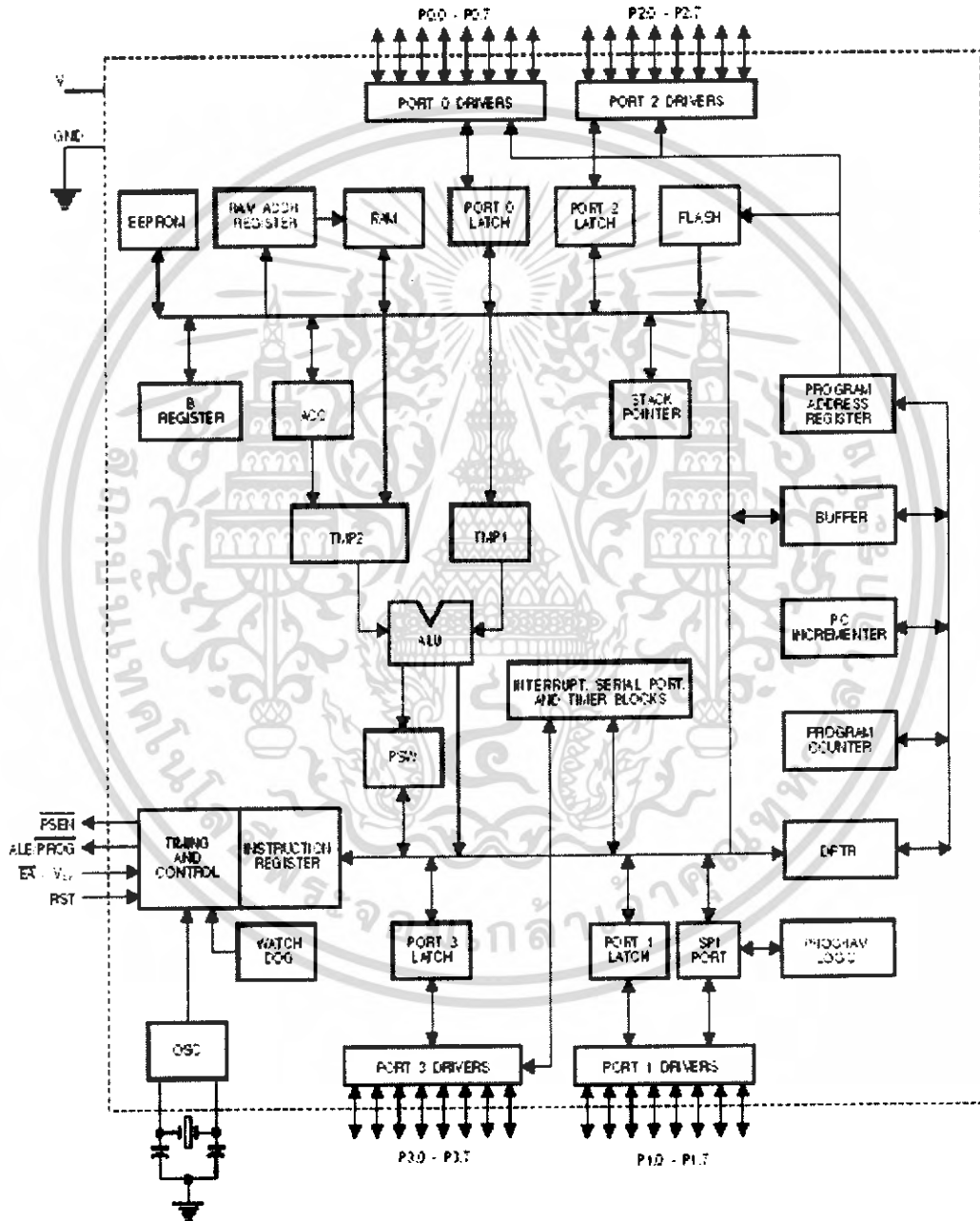
จากรูปที่ 2.14 เป็นผลการทำงานของวงจรวัดค่าตัวเก็บประจุ โดยใช้วิธีการมอดูเลตทางความถี่ ซึ่งมีความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ต่อค่าประจุไฟฟ้ามากกว่าสองวิธีแรก รวมทั้งสามารถทำการวัดในย่านที่กว้างด้วย เหมาะที่จะนำไปใช้ในการสร้างเครื่องวัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)

การทำงานของเครื่องมีวัตถุประสงค์ความขึ้นในโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 ของ Atmel เป็นตัวประมวลผลทั้งในส่วนของภาคส่งและภาครับ ดังมีรายละเอียดของข้อมูล ดังมีรายละเอียดของข้อมูลและหลักการการทำงานต่างดังต่อไปนี้

Block Diagram



รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของ MCS-51 เบอร์ AT89C51

การควบคุมการทำงานของโครงงานนี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งมีหน่วยความจำเป็นแฟลช (flash memory) ของ Atmel Corporation โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ ซีพียู (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการทำงานอย่างอิสระ โดยสามารถแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.15

#### 2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายครั้ง มีหน่วยความจำเป็นแบบแรม ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง ใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบพูลดูเพล็กซ์ ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 อย่างน้อย 2 ตัว รองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท ขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และมีวงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกาในตัว

#### 2.4.2 การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51

การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 นี้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.16 และมีรายละเอียดของขาต่างๆดังนี้

ขา Vcc ไฟเลี้ยง +5 โวลต์

ขา GND เป็นขาราวด์ (ground)

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ และยังใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์ (multiplex) ช่วยเพื่อสลับการทำงาน

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตนั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตได้ ซึ่งจะถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขากำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการ ทำให้ขาพอร์ตนั้นมียินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ ซึ่งขาพอร์ตนี้ยังมีหน้าที่การใช้งานพิเศษ มีดังต่อไปนี้

- P3.0 เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD
- P3.1 เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา  $\overline{\text{INT0}}$
- P3.3 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา  $\overline{\text{INT1}}$
- P3.4 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0
- P3.5 เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1
- P3.6 เป็นขาสัญญาณ  $\overline{\text{WR}}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 เป็นขาสัญญาณ  $\overline{\text{RD}}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.16** การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 AT89C51  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณรีเซตต้องมีช่วงสัญญาณอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเคิล โดยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องตามปกติ

ขา  $\overline{\text{ALE}}/\text{PROG}$  (Address Latch Enable / Program pulse input) ใช้ในการควบคุมการเลขต์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก

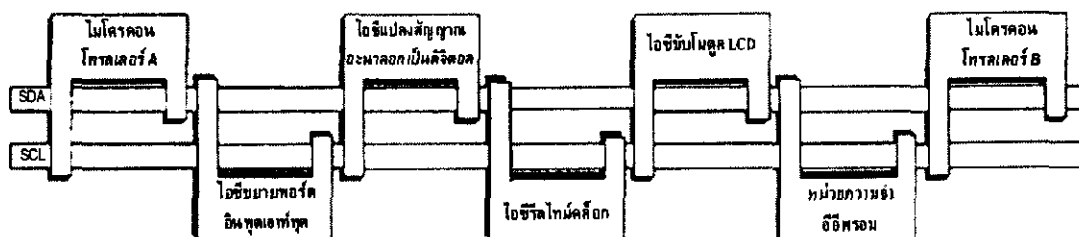
ขา  $\overline{\text{PSEN}}$  (Program Store Enable) ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ โปรแกรมภายนอกตัวก็จะส่งสัญญาณออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซินไซเคิล ถ้าติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีสัญญาณใดๆออกมา

ขา  $\overline{\text{EA}}/\text{Vpp}$  (External Access Enable / Programming voltage input) ใช้เลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ถ้าเป็น "1" เป็นการเลือกให้ติดต่อกับหน่วยความจำภายใน

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาที่ใช้ต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 2.4.3 การสื่อสารข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซี (I<sup>2</sup>C)

สื่อสารข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซีได้พัฒนาขึ้นจากฟิลิปส์(Philips) เพื่อต้องการให้อิซีสามารถติดต่อ ส่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น คือสายสัญญาณข้อมูล และสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน ซึ่งการต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัสไอสแควร์ซีนั้นทำได้โดยการต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานเข้าด้วยกัน โดยส่วนของการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งของอุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสของข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว ดังมีแผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัสไอสแควร์ซีดังรูปที่ 2.17

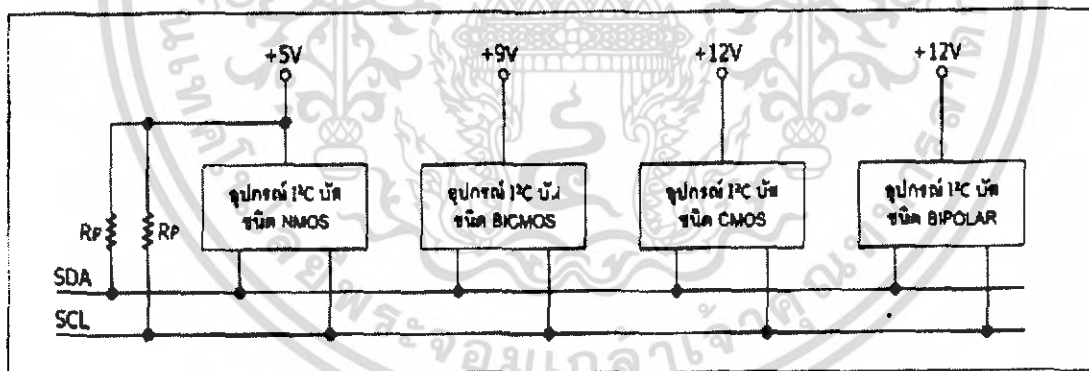


รูปที่ 2.17 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัสไอสแควร์ซี

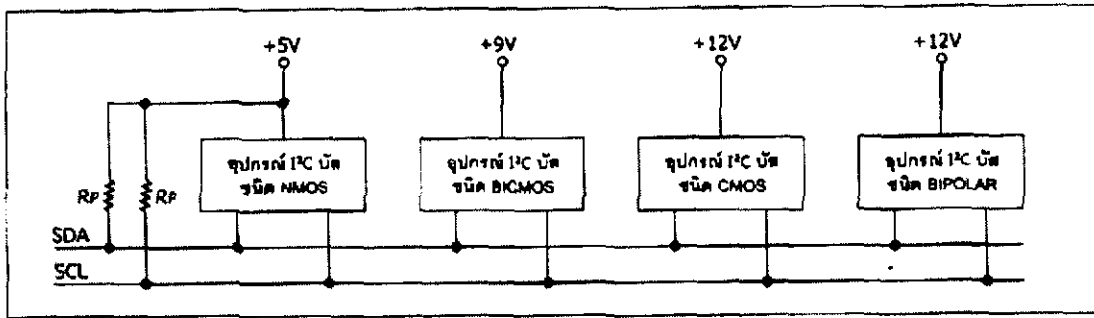
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูเอตเห็นใบโฆษณาด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ทำกรเชื่อมต่อบนบัสไอสแควร์ซีมีมากมายไม่ว่าจะเป็น ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต(I/O Expander), ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (DAC), ไอซีรีลไทม์คล็อก (RTC), ไอซีขับ โมดูล LCD, หน่วยความจำอีอีโรม และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสายข้อมูลบนบัสไอสแควร์ซีคือ สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาคือ สายสัญญาณนาฬิกา (Serial Clock line)

อัตราการถ่ายเทข้อมูลบนบัสไอสแควร์ซีในโหมดปกติเท่ากับ 100 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดความเร็วสูงเท่ากับ 400 กิโลบิตต่อวินาที อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัสไอสแควร์ซี ต้องมีค่า ความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสายสัญญาณข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัสไอสแควร์ซี จะใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 คำคือ 7 บิต (7-bit addressing) และ 10 บิต (10-bit addressing) โดยในโครงการซึ่งสายสัญญาณข้อมูลอนุกรม และสายสัญญาณ นาฬิกา เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง โดยมีการต่อตัวต้านทานพูลอัป( $R_p$ ) กับแรงดัน +5V ไว้ตลอด เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน และช่วย ป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะ มีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง ดังมีลักษณะของการต่อตัวต้านทานพูลอัปในรูปที่ 2.18 โดยวงจร เอาท์พุทของอุปกรณ์ที่ต้องต่ออยู่บนบัสไอสแควร์ซี ต้องมีลักษณะเป็นวงจรทรานซิสเตอร์เปิด (open-drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด(open-collector)ดังในรูปที่ 2.19

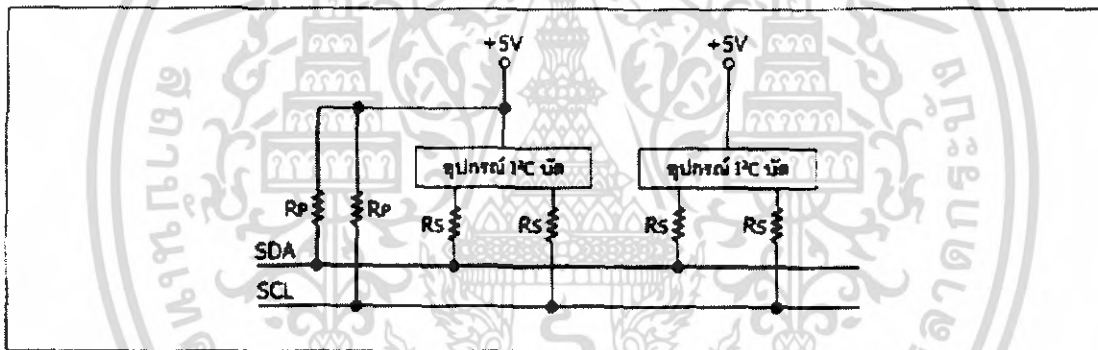


รูปที่ 2.18 การต่อตัวต้านทานพูลอัปบนสายสัญญาณบัสไอสแควร์ซี



รูปที่ 2.19 วงจรส่วนเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัสไอสแควร์ซี

และเพื่อป้องกันแรงดัน ไฟฟ้าเกิน ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์บนบัสไอสแควร์ซีเสียหายได้ จึงต้องตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับสายอุปกรณ์ที่สายข้อมูลอนุกรม และสายสัญญาณนาฬิกาซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.20



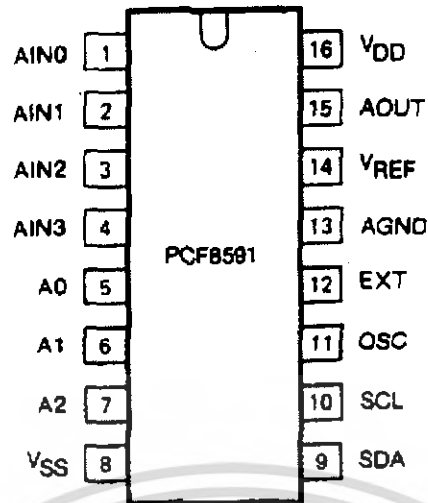
รูปที่ 2.20 การต่อตัวต้านทานRs เพื่อลดสัญญาณรบกวนในบัสไอสแควร์ซี

### 2.5 ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Analog to Digital Converter and Digital to Analog Converter)

ในโครงการนี้ จะใช้ไอซี เบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และยังมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก และมีการติดต่อสื่อสารแบบบัส ไอสแควร์ซีด้วย ดังมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.5.1 การจัดหาสัญญาณของ PCF8591

สำหรับลักษณะรูปร่างของไอซี PCF8591 นั้น จะมี 16 ขาสัญญาณดังรูปที่ 2.21 และมีรายละเอียดของขาต่างๆดังนี้



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการจึกขาสัญญาณของ PCF8591

ขา AIN0-AIN3 เป็นขาสัญญาณแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีจำนวน 4 ช่อง โดยสามารถรับสัญญาณอนาล็อกได้ 0-5V

ขา A0-A2 เป็นขาสัญญาณแอดเดรสใช้กำหนดตำแหน่งของไอซี PCF8591

ขา VSS เป็นขากราวน์ ของวงจรดิจิทัล

ขา SDA เป็นขาข้อมูล แบบ 2 ทิศทาง ของการใช้งานบัสไอสแควร์ซี ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่าง PCF8591 และอุปกรณ์ภายนอก โดยจะทำหน้าที่เป็นอินพุตเอาต์พุต ในการรับข้อมูลและส่งข้อมูลดิจิทัลจากอุปกรณ์ภายนอก

ขา SCL เป็นขาสัญญาณนาฬิกาอินพุตของการใช้งานบัสไอสแควร์ซี ใช้สำหรับควบคุมการรับและส่งหรืออ่านเขียนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอก

ขา OSC เป็นขาสัญญาณนาฬิกา Input/Output

ขา EXT เป็นขาสำหรับเลือกสัญญาณนาฬิกาเป็น Input หรือ Output

ขา VREF เป็นขาสัญญาณแรงดันอ้างอิงวงจร A/D และ D/A

ขา AOUT เป็นขาสัญญาณ อานาลอก Output ของวงจร D/A

ขา VDD เป็นขาสัญญาณแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของ PCF8591

## 2.6 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Module)

ในการแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (0-100 % RH) โดยได้เลือกใช้จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ซึ่งสามารถที่จะแสดงข้อความตัวอักษร นอกเหนือจากข้อความตัวเลขได้ เช่นข้อความของวันที่ เดือน ปี เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดและหลักการทำงานของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ดังนี้

### 2.6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโมดูล LCD

จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวสามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ซึ่งจะต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงบนจอ LCD

ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก มาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ โดยตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะชิปที่นิยมใช้ คือ เบอร์ HD44780 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษรระส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุม มาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด โดยชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259

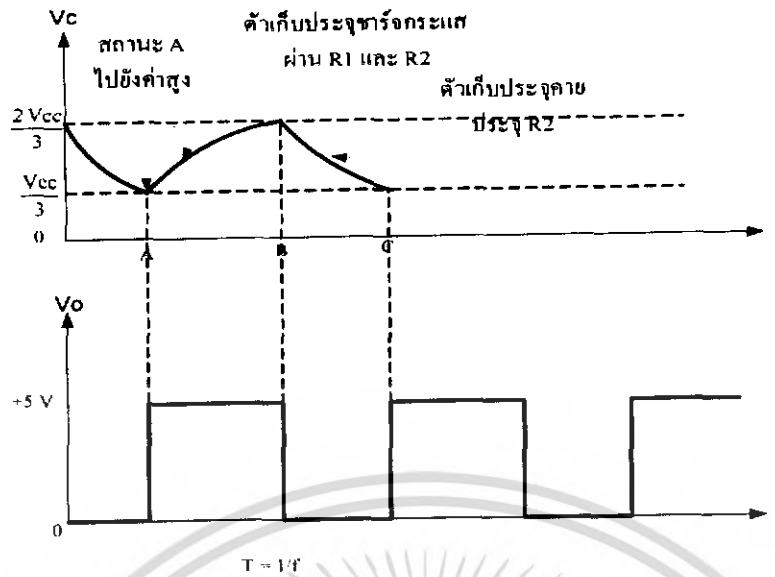
### 2.6.2 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

การติดต่อกับ โมดูล LCD ต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เพราะต้องรอให้คอนโทลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่ง และทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน แล้วจึงค่อยรับข้อมูล ในการใช้โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อม จากนั้นก็กำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาทีเพื่อให้คอนโทลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่ามีข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นก็จะส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขึ้นต่อไปจะส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูล โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้นจากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที ซึ่งจะเป็นขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD โดยจะมีโปรแกรมย่อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมอินิเชียล LCD โปรแกรมหน่วงเวลาและโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล

## 2.7 วงจรอะตเตเบิล

วงจรอะตเตเบิลเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีค่าความสัมพันธ์กับค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งได้เลือกใช้ไอซี 555 ซึ่งมีวงจรรายในดั่งรูป 2.22 นำมาต่อเป็นวงจรอะตเตเบิลดังแสดงในรูปที่ 2.23 วงจรอะตเตเบิลนั้นสามารถกำหนดความถี่ด้วยการกำหนดค่า C และค่าความต้านทาน  $R_1+R_2$  ซึ่งวงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.24 ลักษณะรูปคลื่นของวงจรออสซิลเลเตอร์  $\frac{V_{cc}}{3}$

การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์ คือแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่มีค่า “สูง” ระหว่างที่ตัวเก็บประจุ C ชาร์จขึ้นจาก  $V_{cc}/3$  ถึง  $2V_{cc}/3$  สามารถคำนวณหาช่วงเวลาดังกล่าวได้ดังนี้

$$t_{high} = 0.695(R_1 + R_2)C \tag{2.12}$$

และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำกว่าระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คายประจุจาก  $2V_{cc}/3$  ถึง  $V_{cc}/3$  ดังสมการ

$$t_{low} = 0.695(R_2)C \tag{2.13}$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมหรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695(R_1 + 2R_2)C \tag{2.14}$$

ซึ่งจะได้ความถี่ เท่ากับ

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \tag{2.15}$$

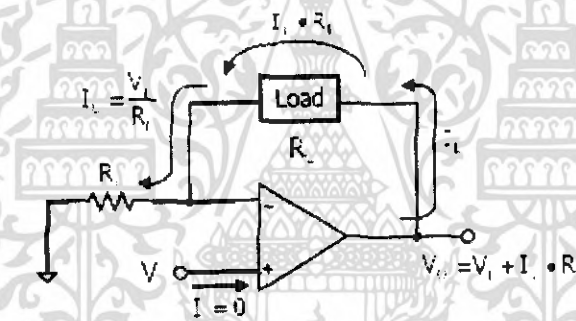
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า(Voltage to current Converter Circuit)

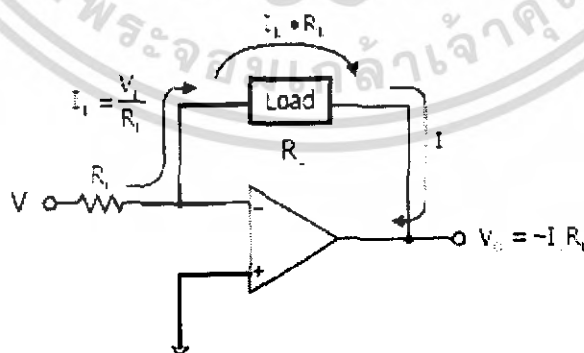
วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า ( Voltage to current Converter) สามารถใช้ใน งานอิเล็กทรอนิกส์ได้มากมาย เช่น ในวงจรตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้ทำโวลต์มิเตอร์ หรือแอมป์มิเตอร์

### 2.8.1 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอย (Voltage to current Converter for floating loads)

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอย คือ วงจรที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตให้เป็นกระแสไฟฟ้าจ่ายให้เอาต์พุตที่มีโหลดลอย จะไม่มีขาข้างใดของโหลดต่อกับกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 โดยเป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอยแบบไม่กลับเฟส ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายอินพุต ส่วนในรูปที่ 2.26 เป็นแบบกลับเฟส โดยจะมีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแหล่งจ่ายอินพุต



รูปที่ 2.25 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอยแบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 2.26 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดลอยแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.25 เราจะได้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ( $I_L$ ) จาก

$$I_L = \frac{V_i}{R_i} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) เห็นได้ว่าค่ากระแส  $I_L$  นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าโหลด ( $R_L$ ) เลยโดยมันจะขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต  $V_i$  และ/หรือ  $R_i$  เท่านั้น ซึ่งถ้ากำหนด  $R_i$  ให้มีค่าคงที่  $I_L$  จะขึ้นอยู่กับ  $V_i$  เท่านั้น จึงถูกเรียกว่า วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า ( $V_i$ ) เป็นกระแสไฟฟ้า ( $I_L$ ) หรือ วงจรแรงดันไฟฟ้าควบคุมแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Voltage Controlled Current Source, VCCS) คือสามารถควบคุมขนาดของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ( $I_L$ ) ได้จากแรงดันไฟฟ้าอินพุต ( $V_i$ ) นั่นเอง

ส่วนวงจรใน รูปที่ 2.26 มีลักษณะการทำงานเหมือนกับวงจรในรูปที่ 2.25 เพียงแต่มีขั้วตรงข้ามกันเท่านั้น คือ

$$I_L = -\frac{V_i}{R_i} \quad (2.17)$$

#### ข้อดีและข้อเสีย

วงจรวจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า แบบไม่กลับเฟส ดังรูปที่ 2.25 จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุต  $V_i$  สามารถสร้างได้จากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ปรับค่าได้ปกติ โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องความต้านทานอินพุต แต่  $V_o$  จะขึ้นอยู่กับ  $V_i$  ด้วยตามสมการ (2.18)

$$V_o = V_i + I_L R_L \quad (2.18)$$

ในกรณีของวงจรแบบไม่กลับเฟส จะได้ขอบเขตของกระแส  $I_L$  น้อยลง เพราะถูกจำกัดด้วย  $V_o$  เพราะ  $V_o$  มีค่าได้มากที่สุด คือ แรงดันอิมิตัวด้านบวกและด้านลบ ( $\pm V_{sat}$ ) เท่านั้น

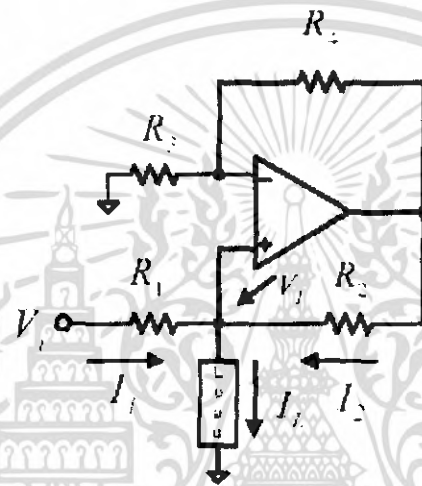
ส่วนวงจรแบบกลับเฟส ในรูปที่ 2.26 มีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแหล่งจ่ายอินพุตด้วย ทำให้จะต้องใช้วงจรตามแรงดันไฟฟ้าต่อกัน แต่วงจรนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_o$  ตามสมการที่ (2.19)

$$V_o = -I_L R_L \quad (2.19)$$

$V_o$  จะไม่ขึ้นอยู่กับ  $V_i$  จะได้ค่า  $I_L$  มากกว่าเมื่อเทียบกับ วงจร V to I แบบไม่กลับเฟส ในกรณีที่  $R_L$  เท่ากัน จะได้ขอบเขตของ  $R_L$  กว้างขึ้น เมื่อเทียบกับค่า  $I_L$  ที่เท่ากัน

### 2.8.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่โหลดกราวนด์ (Voltage to current converter for grounded loads)

วงจร V to I เป็นวงจรที่แปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตให้เป็นกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเพื่อจ่ายให้โหลดที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งต่ออยู่กับกราวนด์ ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสแก่โหลดกราวนด์

จากวงจรในรูปที่ 2.27 ถ้ากำหนดให้

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (2.20)$$

จะได้

$$I_1 = \frac{V_i - V_L}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_o - V_L}{R_2}$$

$$I_L = I_1 + I_2 = \frac{V_i - V_L}{R_1} + \frac{V_o - V_L}{R_2}$$

$$I_L = \frac{V_i}{R} - \frac{V_L}{R} + \frac{V_o}{R} - \frac{V_L}{R} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากวงจรจะเห็นว่า

$$V_o = 2V_L$$

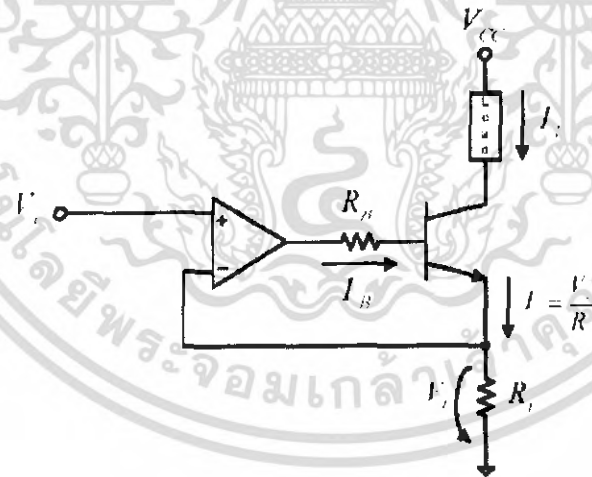
จะได้ว่า

$$I_L = \frac{V_L}{R} \quad (2.22)$$

จะเห็นได้ว่าค่า  $V_L$  ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน  $R_L$  แต่จะเปลี่ยนตามแรงดัน  $V_i$  ถ้า  $V_i$  คงที่ กระแส  $I_L$  ก็จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามโหลด  $R_L$

### 2.8.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าเกือหลดขนาดสูง (Voltage to high current converters)

ออปแอมป์เมื่อนำมาต่อเป็นวงจร จะจ่ายกระแสได้เพียง 4 – 20 mA เท่านั้น ถ้าหากต้องการกระแสที่สูงกว่านี้ สามารถทำได้โดยการต่อทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อ (Bipolar Junction Transistor, BJT) ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสขนาดโหลดสูง

จากวงจรในรูปที่ 2.28 เมื่อมีการป้อนแรงดันอินพุต  $V_i$  เข้าที่ขา (+) ของออปแอมป์ จะส่งผลให้แรงดันที่ขา (-) เท่ากับ  $V_i$  ด้วย เนื่องจากเป็นการใช้งานออปแอมป์แบบลูปปิดและจะมีกระแส  $I_L$  ไหลผ่านโหลด  $R_L$  ตามสมการ (2.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L \approx I = \frac{V_i}{R_i} \quad (2.23)$$

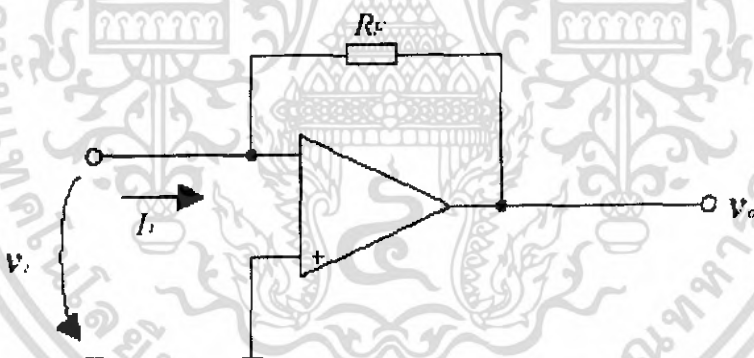
ส่วน  $I_B$  ซึ่งเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ ในทางปฏิบัติมีค่าน้อยมาก เนื่องจากอัตราขยายกระแสของ BJT ( $\beta$ ) มีค่าสูงมากนั่นเอง โดย  $I_B$  สามารถหาได้จากสมการ (2.24)

$$I_B = \frac{I_L}{\beta + 1} \quad (2.24)$$

ถ้าใช้ BJT ที่มีค่า  $\beta$  เท่ากับ 50 กระแส  $I_L$  ก็จะมีค่าสูงถึง  $(5 \text{ ถึง } 10 \text{ mA}) \times 50 = 250 \text{ ถึง } 500 \text{ mA}$  จะพบว่า กระแส  $I_L$  เพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องมาจากการขยายของ BJT

โดยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแก่อัลตราซาวด์ชนิดนี้ดังรูปที่ 2.28 จะเป็นวงจรที่นำมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องวัดความชื้นในส่วนของ การส่งสัญญาณข้อมูลแบบกระแส

## 2.9 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ( Current to voltage Converter Circuit)



รูปที่ 2.29 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จะแปรผันตรงกับ กระแสไฟฟ้าอินพุต โดยที่

$$V_o = \frac{V_o}{A_{ol}} = \frac{-I_i \cdot R_f}{A_{ol}} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนความต้านทานอินพุต

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{R_F}{A_{ol}} \quad (2.26)$$

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของวงจรนี้ ยังเป็นอิสระต่อโหลดอีกด้วย จากวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ต้องการพิสูจน์ว่า

$$V_o = \frac{-I_i R_F}{1 + (1/A_{ol})}$$

หรือ

$$V_o = -I_i R_F \quad \text{เมื่อ} \quad A_{ol} \gg 1$$

และ

$$R_i = \frac{R_F}{1 + R_F/A_{ol}} \approx \frac{R_F}{A_{ol}} \quad \text{เมื่อ} \quad A_{ol} \gg 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



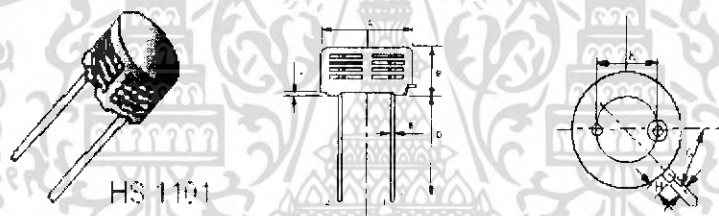
### 3.2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ

จากรูปที่ 3.1 จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่เลือกใช้พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของส่วนต่างๆดังนี้

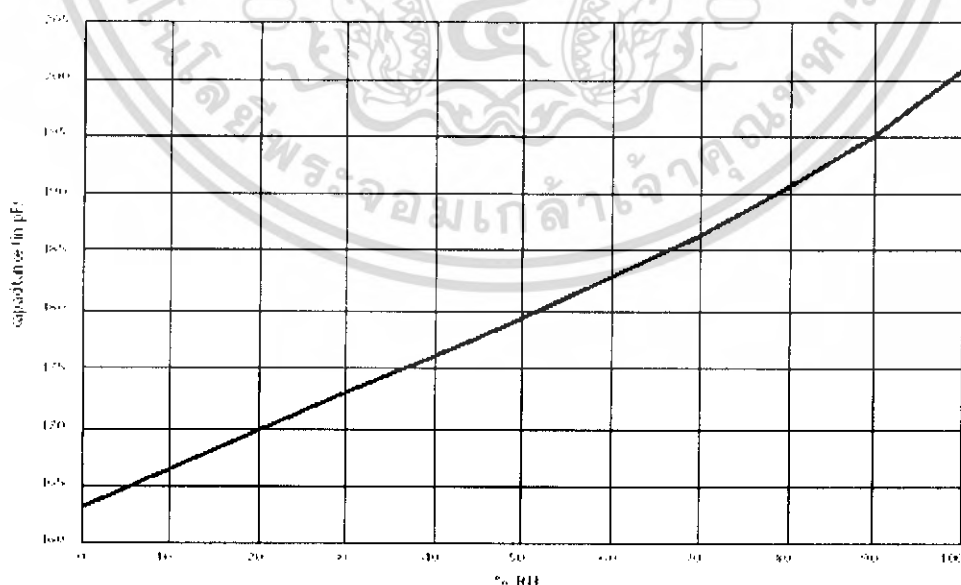
#### 3.2.1 ส่วนภาคส่ง

ในส่วนภาคส่งได้ประกอบขึ้นด้วย วงจรตรวจวัดความชื้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก และวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งจะทำหน้าที่วัดค่าความชื้น ประมวลผลข้อมูลและส่งข้อมูลให้กับภาครับ โดยมีรายละเอียดในการเลือกใช้อุปกรณ์และหลักการทำงานในส่วนภาคส่งดังนี้

**หัววัดความชื้น :** อุปกรณ์วัดที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยในการออกแบบนั้น ได้ใช้หัววัดความชื้นเป็นหัววัดชนิดคาปาซิทีฟของ Humirel รุ่น HS1101 ดังรูปที่ 3.2 เป็นหัววัดที่ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยในการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น(%RH) การทำงานของหัววัดอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในอากาศทำให้ค่าประจุไฟฟ้าภายในหัววัดเปลี่ยนแปลงตาม ค่าความชื้นที่วัดได้ดังที่กล่าวมาแล้วดังสมการที่ (2.5) ค่าที่ทำการวัดได้จะมีความสัมพันธ์ต่อค่าประจุไฟฟ้าของหัววัดดังแสดงดังกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 3.3



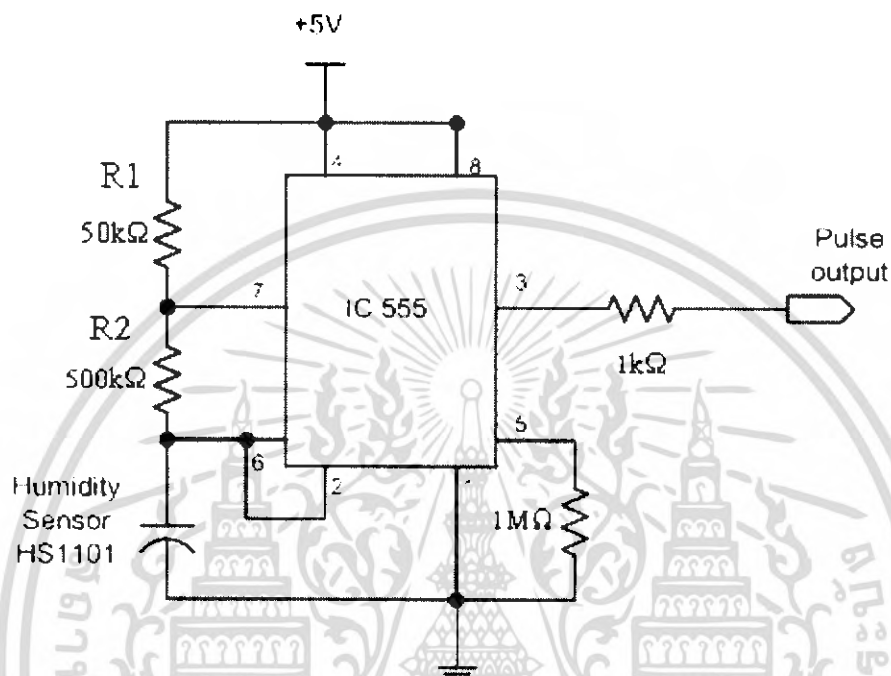
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของหัววัดความชื้น รุ่น HS1101



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงคุณสมบัติของความจุไฟฟ้าต่อความชื้นสัมพัทธ์ของหัววัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจระอสเตเบิ้ล : เป็นวงจรซึ่งมีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ การต่อวงจระอสเตเบิ้ลเพื่อใช้การวัดความชื้นแสดงดังรูปที่ 3.4 สัญญาณความถี่ในการออกแบบวงจรวัดความชื้นที่สามารถสร้างได้ จะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 6.6-8.5 MHz โดยคำนวณจากสมการที่ 2.15 ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้งานจะอ้างอิงจากกราฟรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 วงจรวัดความชื้น(วงจระอสเตเบิ้ล)

จากวงจรในรูปที่ 3.4 สามารถคำนวณหาค่าความถี่ (  $f$  ) ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรวัดความชื้น

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

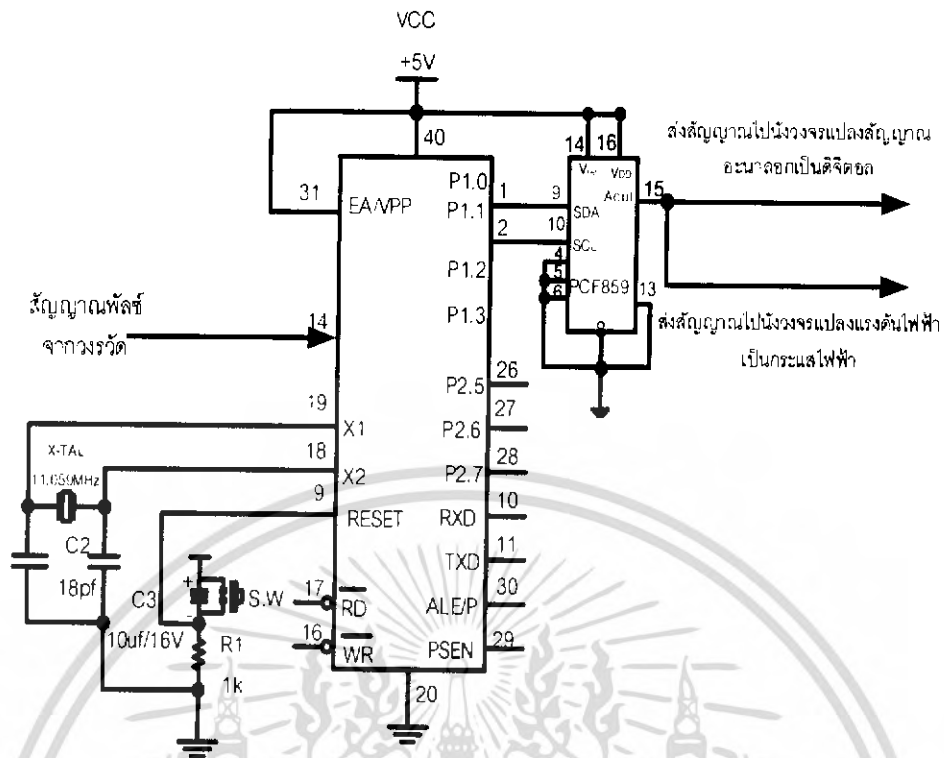
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง : ทำหน้าที่ตามลำดับขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.3 และลักษณะของการต่อวงจรที่ใช้งานจริงแสดงในรูปที่ 3.6



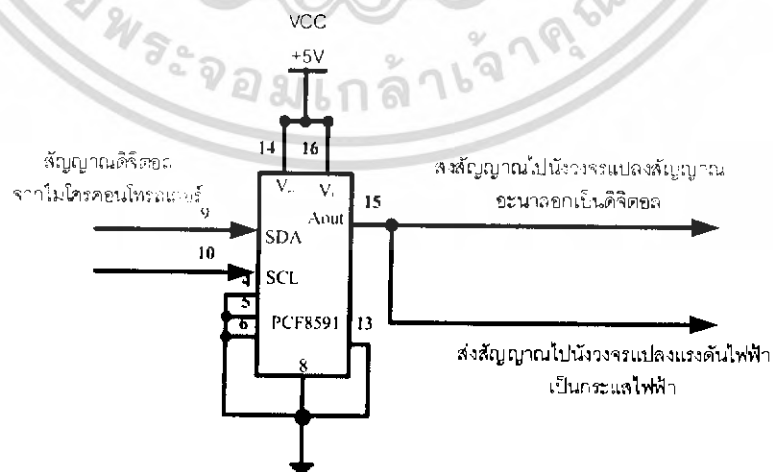
รูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่งกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก

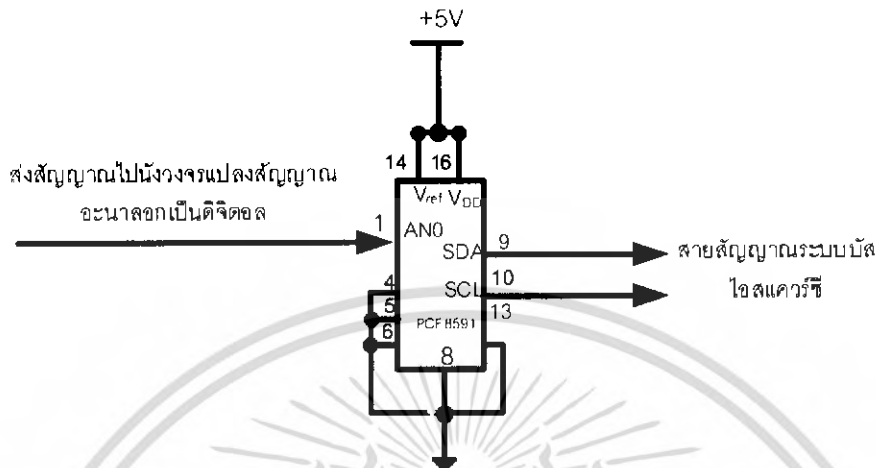
วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า การต่อวงจรใช้งานดังแสดงดังรูปที่ 3.7 และสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้จะใช้ในการส่งข้อมูลให้กับภาครับ โดยรายละเอียดของวงจรที่ใช้งานจริงจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.4



รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสัญญาณดิจิทัลนี้จะส่งไปตามสายส่งสัญญาณแบบบัสไอสแควร์ซี มีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

สวิทช์เลือก 2 ทิศทาง : สวิตช์นี้จะต่อใช้งานสำหรับเลือกวิธีการส่งสัญญาณ 2 แบบคือการส่งสัญญาณแบบกระแส และส่งสัญญาณแบบบัสไอสแควร์ซี

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า : วงจรนี้มีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า อยู่ในช่วงกระแสที่ 4-20 mA ไปตามสายส่งสัญญาณ โดยรายละเอียดของวงจรได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.4. และรูปวงจรที่ใช้งานจริงแสดงในรูปที่ 2.4.3

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า : วงจรนี้จะอยู่ในส่วนภาครับ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่มาจากสายส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-5 โวลต์ ซึ่งรายละเอียดของวงจรที่ใช้งานจริงได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.9

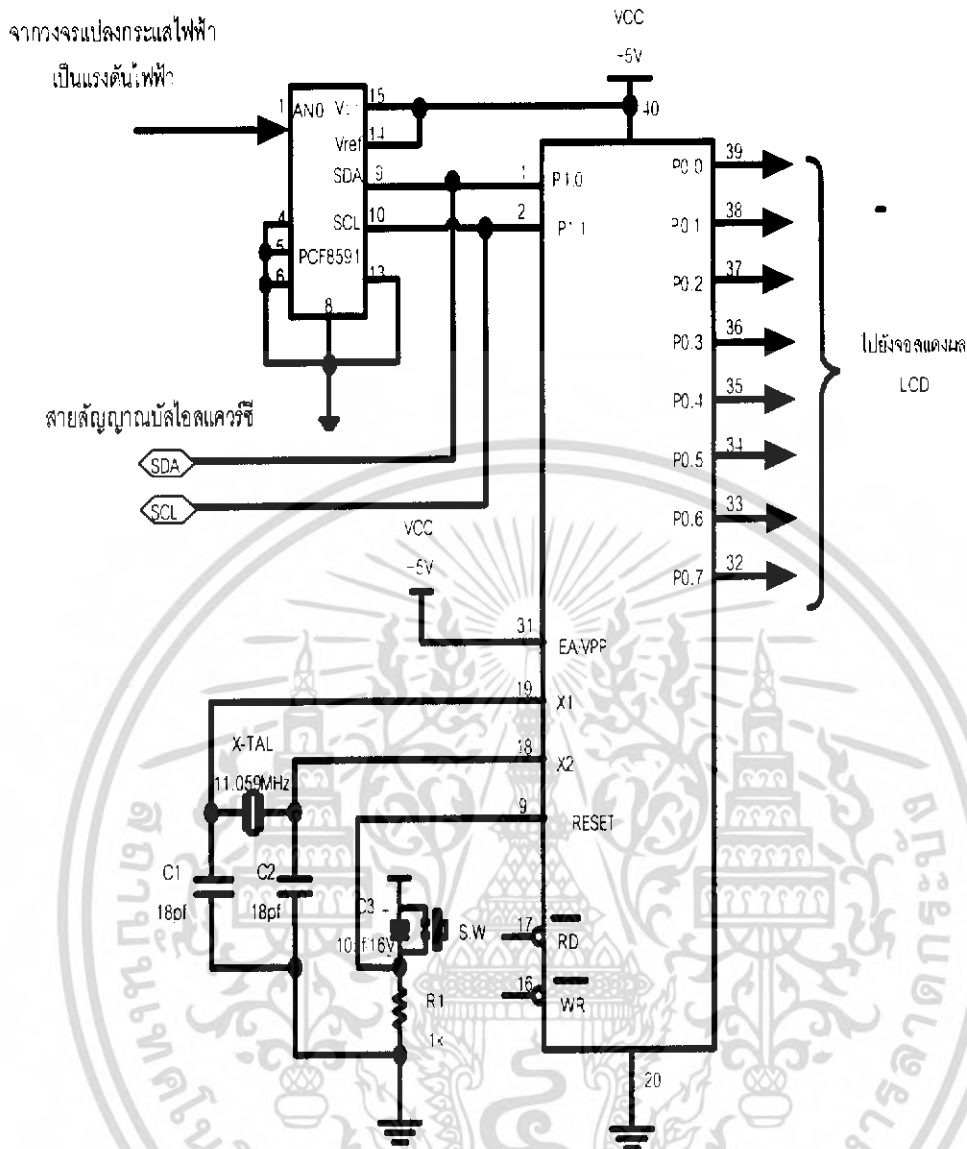
### 3.2.2 ส่วนภาครับ

ในส่วนนี้ภาคส่งได้ประกอบขึ้นด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ วงจรแปลงวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล และจอแสดงผลค่าความชื้น ในส่วนนี้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและส่งข้อมูลให้กับภาครับ โดยมีรายละเอียดในการเลือกใช้อุปกรณ์และหลักการทำงานในส่วนภาคส่งดังนี้

**ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ** :ทำหน้าที่ตามลำดับขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.3 และลักษณะของการต่อวงจรที่ใช้งานจริงแสดงในรูปที่ 3.10



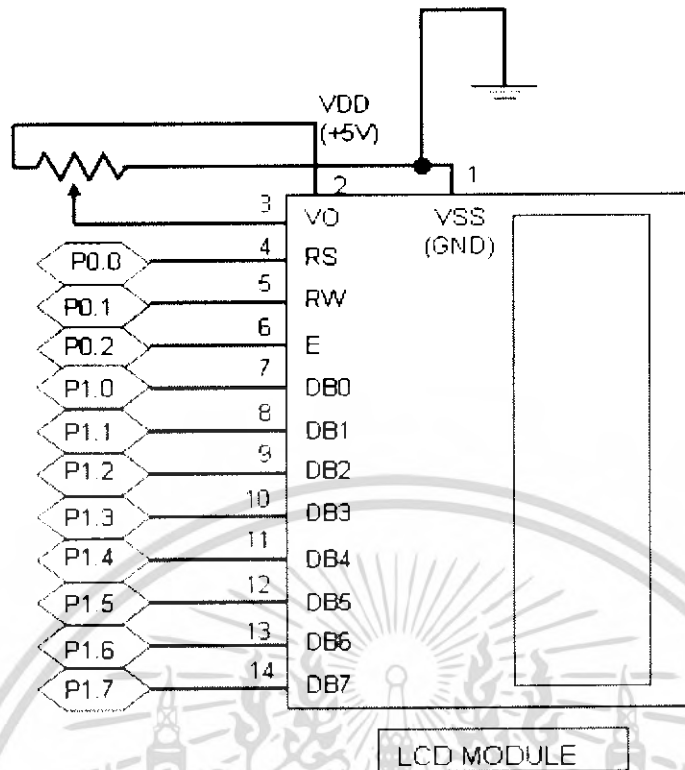
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ

จอตแสดงค่าความชื้น : ในส่วนนี้จะทำหน้าที่แสดงค่าความชื้น ที่ได้ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ ซึ่งได้เลือกใช้จอแสดงผลแบบผลึกเหลว 16 อักขระ 2 บรรทัดโดยรายละเอียดของจอแสดงผลได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ และข้อความที่เป็นอักษรว่า "Humidity Seners " และแสดงผลค่าความชื้นเป็น เปอร์เซ็นความชื้นตั้งแต่ 0 - 100 % RH ซึ่งมีลักษณะในการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงส่วนจอแสดงผล

### 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของภาคส่งและภาครับนั้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งเป็นเบอร์เดียวกัน ในส่วนทั้งภาคส่งและภาครับ เหตุผลในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

- ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอิมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

- บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง

- ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถการป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

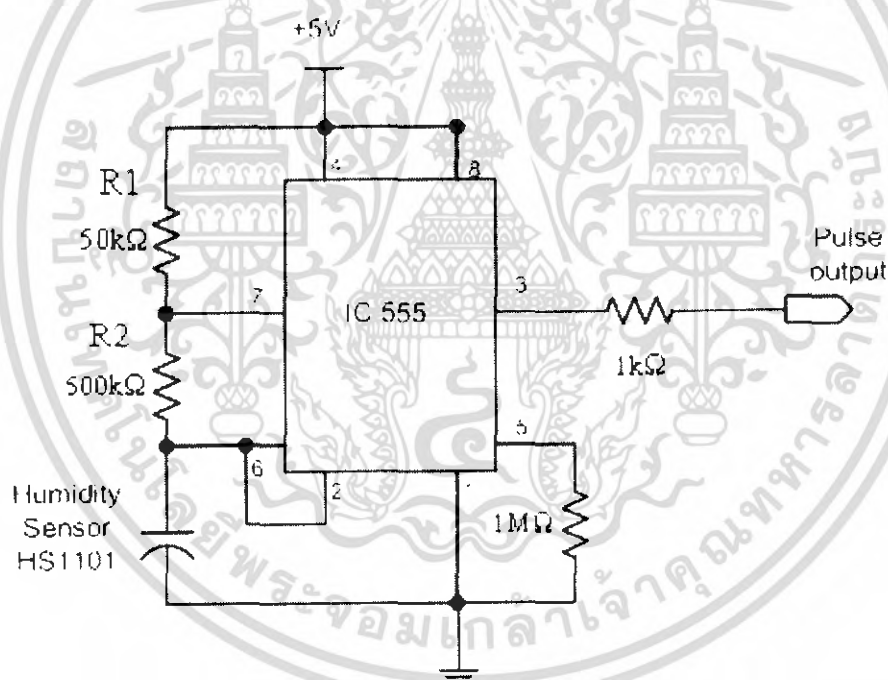
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองการทำงานของเครื่องวัดความชื้นแบบตัวเก็บประจุ ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งในส่วนของการวัดความถี่ ส่วนประมวลผลภาคส่ง ส่วนประมวลผลภาครับ และส่วนแสดงผล ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### 4.1 การทดลองในส่วนของวงจรตรวจวัดความชื้น

ในส่วนนี้เป็นการทดลองของวงจรอะอสซิลเลเตอร์ที่ใช้งานจริงดังรูปที่ 4.1 โดยการแปรค่าตัวเก็บประจุ (Capacitive Sensor) แล้วทำการวัดค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต (Pulse Output) และเป็นผลการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุจากค่าความถี่ที่วัดซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรอะอสซิลเลเตอร์ที่ใช้งานจริง

จากวงจรในรูปที่ 4.1 สามารถคำนวณหาค่าความถี่ ( $f$ ) ของสัญญาณพัลส์เอาต์พุตและคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitive Sensor) ได้โดย

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \text{ HZ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)f} F$$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่าความถี่โดยแปรค่าตัวเก็บประจุของวงจรอะสเตเบิล

ค่าตัวเก็บประจุ (pF) จากการคำนวณ	ความถี่(kHz) จากการคำนวณ	ค่าตัวเก็บประจุ (pF) จากการวัด	ความถี่(kHz) จากการวัด	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาด
160	8.571	162.2	8.45	1.39
165	8.311	167.1	8.21	1.21
170	8.067	171.9	7.97	1.11
175	7.836	177.0	7.75	1.14
180	7.619	182.1	7.53	1.12
185	7.413	186.8	7.34	0.97
190	7.218	192.0	7.14	1.05
195	7.032	197.1	6.95	1.07
200	6.857	202	6.61	1.00

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ โดยค่าตัวเก็บประจุนี้เปรียบเสมือนค่าความถี่ของวงจรอะสเตเบิลที่ใช้เป็นวงจรวัดความถี่ จากตารางเมื่อค่าประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่เอาต์พุตของวงจรอะสเตเบิลลดลง และการทดลองเปรียบเทียบค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าจากการวัดจะมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.39 เปอร์เซ็นต์

## 4.2 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

การทดลองนี้เป็นการทดลองการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  สัญญาณอนาล็อกสามารถคำนวณได้จาก

$$V_{out} = \frac{\text{Digital}}{256} V$$

ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

ข้อมูลดิจิทัล (เลขฐานสิบ)	การทดลอง $V_{out}$ (V)	การคำนวณ $V_{out}$ (V)	ค่าความแตกต่าง
0	0.003	0	0
30	0.587	0.585	0.08
60	1.173	1.171	0.17
90	1.76	1.757	0.11
105	2.052	2.05	0.09
120	2.345	2.343	0.08
135	2.637	2.636	0.04
150	2.931	2.929	0.07
165	3.225	3.222	0.09
180	3.519	3.515	0.11
195	3.811	3.808	0.02
210	4.102	4.101	0.02
225	4.396	4.394	0.05
240	4.69	4.687	0.06
255	4.983	4.98	0.06

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  ที่ได้จากการทดลองนั้น มีค่าความผิดพลาดน้อยมาก ทำให้การนำไปต่อร่วมกับวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าได้ดี โดยค่าผิดพลาดจากการคำนวณสูงสุดอยู่ที่ 0.17 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

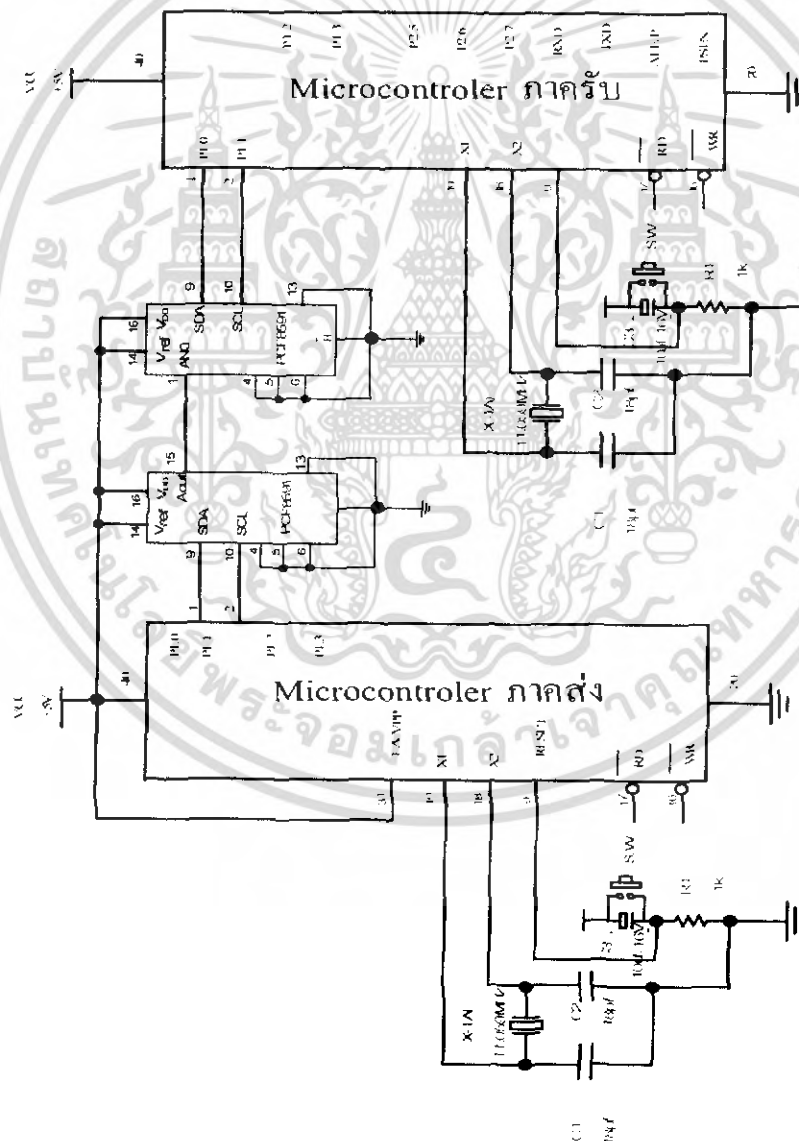
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองการส่งข้อมูล

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่ง ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับโดยใช้วิธีในการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ การส่งข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซี และการส่งข้อมูลแบบกระแสไฟฟ้าตามสายส่ง ดังการทดลองและผลการทดลองต่อไปนี้

#### 4.3.1 การทดลองการส่งข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซี

ในส่วนนี้เป็นการส่งข้อมูลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคส่งเป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ โดยส่งผ่านสายสัญญาณ 2 เส้น คือสายสัญญาณข้อมูล(SDA)และสายสัญญาณนาฬิกา(SCL) ซึ่งมีผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3เพื่อหาค่าดิจิทัลในการส่งข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซีและการต่อวงจรที่ใช้งานจริง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรส่งข้อมูลแบบบัสไอสแควร์ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าดิจิทัลจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำได้จาก

$$\text{ค่าดิจิทัล} = \frac{V_{AN}}{V_{LSB}} \quad (3.2)$$

โดยที่

$V_{AN}$  = แรงดันไฟฟ้าอินพุต และ  $V_{LSB}$  = ระดับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Step Size) จะได้ว่า

$$V_{LSB} = \frac{V_R}{256} \quad (3.3)$$

$V_R$  = แรงดันอ้างอิง จากตารางแรงดันอ้างอิงคือ +5 V และใช้จำนวนบิตคือ 8 บิต ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_{LSB} = 0.019$$

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการส่งข้อมูลแบบบัสไอส์แควร์ซี

แรงดันไฟฟ้า (V)	ค่าดิจิทัล
0	00H
1	34H
1.3	44H
1.5	4EH
1.7	59H
1.9	64H
2.1	6EH
2.3	79H
2.6	88H
2.8	93H
3	9DH
5	FFH

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่แปลงเป็นค่าดิจิทัล ค่าได้จากการทดลองมีค่ามากขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้า  $V_{in}$  มากขึ้น ค่าดิจิทัลมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเชิงเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การทดลองการส่งข้อมูลแบบกระแสไฟฟ้าตามสายส่ง

ในการส่งข้อมูลด้วยแรงดันไฟฟ้า จะประสบปัญหาแรงดันไฟฟ้าจากภาคส่งไปยังภาครับ จะมีการสูญเสียของแรงดันไฟฟ้าที่สายส่งสัญญาณ ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้านั้นสายและแรงดันไฟฟ้าปลายสายเกิดความแตกต่างกัน จึงได้ส่งข้อมูลแบบกระแสเพื่อไม่ให้เกิดการตกคร่อมของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายส่ง และทำให้ระยะทางของการส่งข้อมูลไกลขึ้น ซึ่งได้ออกแบบวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าและวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง แสดงดังรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 โดยเนื้อหาของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.8.3 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ในงานจริงกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.9 และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่คู่ร่วมกับวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 4.4

#### 4.3.2.1 การทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า

ในส่วนนี้เป็นการทดลองของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในงานจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยการทำงานของทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนสวิตช์ (เปิด-ปิด) เมื่อมีกระแสไหลผ่านขา B (Base) ไปยังขา E (Emitter) โดยกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต  $I_{out}$  สามารถคำนวณได้โดยกระแสเอาต์พุตที่ ออปแอมป์ตัวที่ 1

$$I_{out1} \text{ (mA)} = \frac{V_{in} \text{ (V)}}{312.5(\Omega)} \quad (4.1)$$

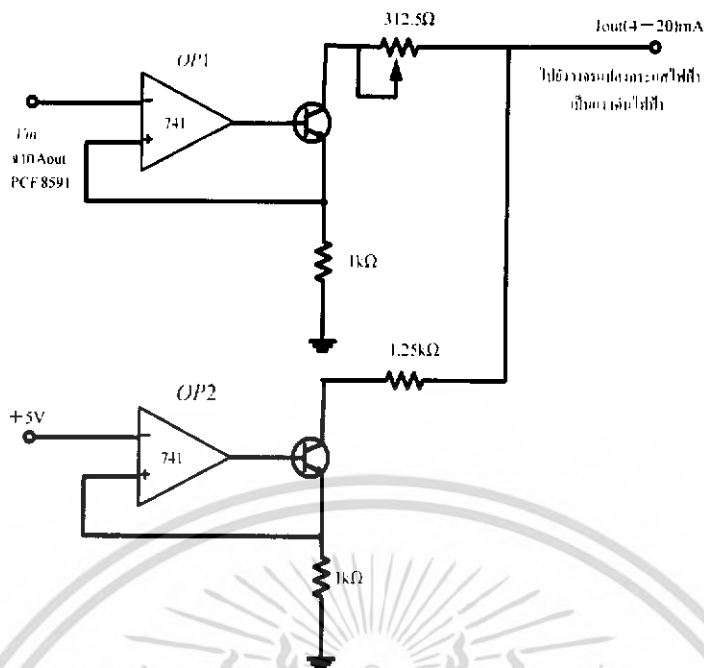
กระแสเอาต์พุตที่ ออปแอมป์ตัวที่ 2

$$I_{out2} \text{ (mA)} = \frac{5 \text{ (V)}}{1.25 \text{ (k}\Omega\text{)}} \quad (4.2)$$

นำสมการที่(4.1)และ(4.2)รวมกันจะได้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต  $I_{out}$  ดังสมการ

$$I_{out \text{ รวม}} \text{ (mA)} = 3.2V_{in} + 4 \quad (4.3)$$

ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง

จากรูปวงจรที่ 4.3 ได้ทำการทดลองโดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{in}$  จาก 0 ถึง 5 โวลต์ แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเอาท์พุท ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า

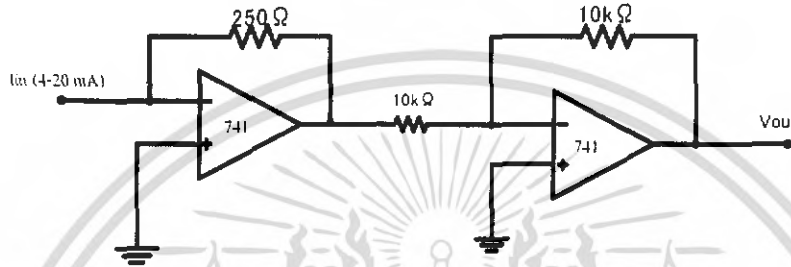
แรงดันไฟฟ้า $V_{in}$ ( V )	การทดลอง $I_{out}$ (mA)	การคำนวณ $I_{out}$ (mA)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
0	4.01	4	0.25
0.5	5.82	5.6	3.5
1	7.32	7.2	2.9
1.5	9.02	8.8	2.5
2	10.61	10.4	2.0
2.5	12.29	12	2.4
3	13.93	13.6	2.4
3.5	15.52	15.2	2.1
4	17.13	16.8	1.9
4.5	18.71	18.4	1.7
5	20.23	20	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{out}$  จากการทดลองมีค่ามากขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้า  $V_{in}$  มากขึ้น ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{out}$  ที่วัดได้ มีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งค่าผิดพลาดสูงสุดในการวัดค่ากระแสคือ 3.5 เปอร์เซ็นต์

4.3.2.2 การทดลองวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนนี้เป็นการทดลองวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริง

จากรูปที่ 4.4 ได้ทำการทดลองโดยการแปรค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{in}$  จาก 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้า  $I_{out}$  ที่ได้จากรวมวงจรในรูปที่ 4.2 แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{out}$  ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$V_{out} = -250I_{in} \times \left(-\frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) \text{ V} \tag{4.4}$$

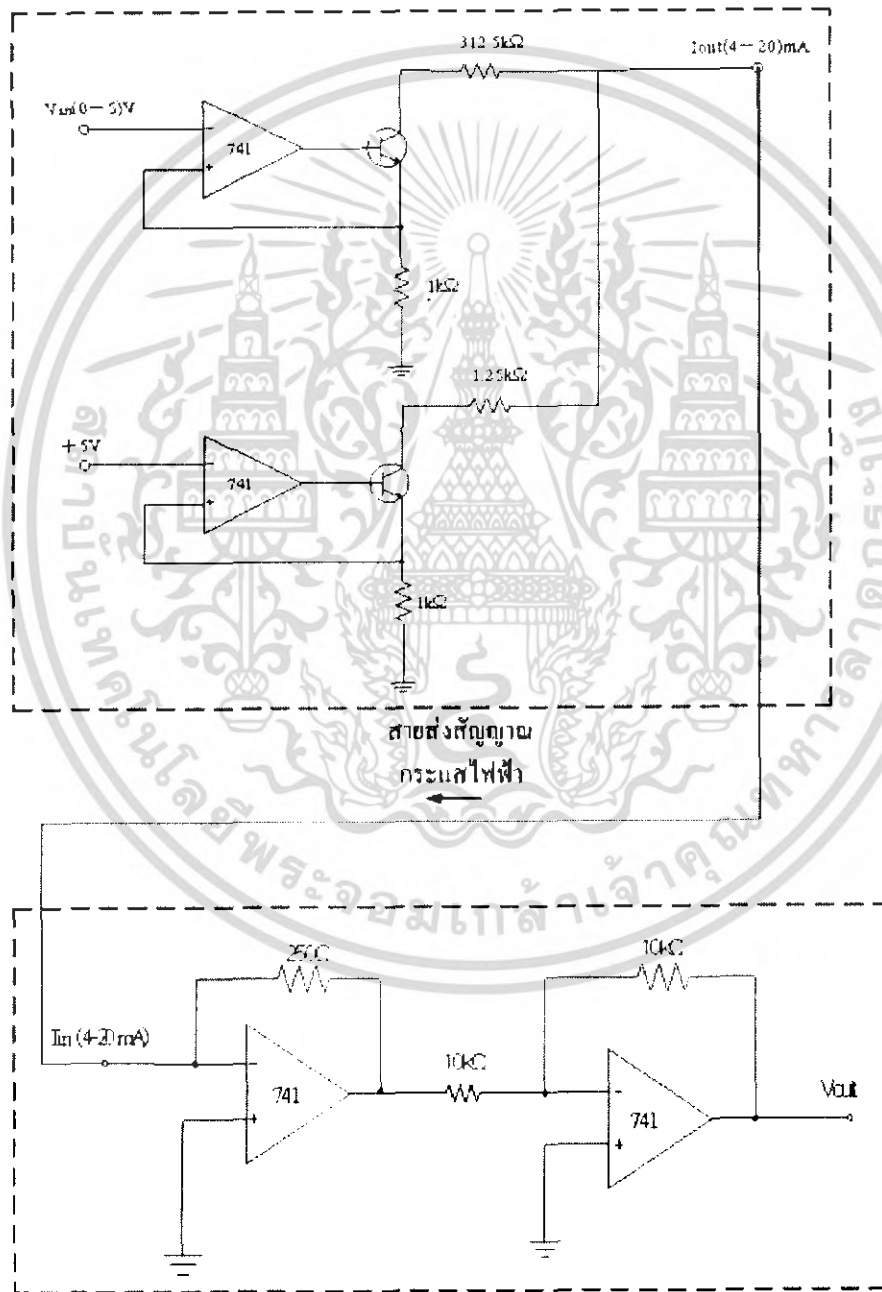
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า $I_{in}$ (mA)	การทดลอง $V_{out}$ (V)	การคำนวณ $V_{out}$ (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	1.03	1	3
6	1.53	1.5	2
8	1.98	2	1
10	2.52	2.5	0.8
12	3.03	3	1
14	3.48	3.5	0.7
16	4.03	4	0.8
18	4.52	4.5	0.6
20	5.03	5	0.6

จากตารางที่ 4.5 เห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  เพิ่มมากขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้า  $I_{in}$  เพิ่มมากขึ้น และค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ มีความเป็นเชิงเส้น โดยมีค่าผิดพลาดในการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์

#### 4.3.2.3 การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของอินพุตและเอาต์พุต

ในส่วนนี้เป็นการนำเอาวงจรจากรูปที่ 4.3 และ 4.4 มาต่อรวมกัน เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ป้อนได้วงจรแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าต่อรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ได้ทำการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่นำไปใช้ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ภาครับ โดยการทดลองป้อนอินพุต  $V_{in}$  จาก 0 ถึง 5 โวลต์ แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\text{จากสมการที่ 4.3} \quad I_{in} = 3.2V_{in} + 4 \text{ mA}$$

$$\text{จากสมการที่ 4.4} \quad V_{out} = 250I_{in} \text{ (V)}$$

แทนค่า  $I_{in}$  จากสมการ 4.3 ในสมการ 4.4 จะได้ว่า

$$V_{out} = 250(3.2V_{in} + 4) \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad V_{out} = 0.8V_{in} + 1 \text{ V} \quad (4.5)$$

ซึ่งได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าต่อร่วมกับ วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้า $V_{in}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{out}$ (V)	การคำนวณ $V_{out}$ (V)	ค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
0	1.04	1	3.5
0.5	1.45	1.4	4.1
1	1.86	1.8	3.8
1.5	2.27	2.2	3.2
2	2.68	2.6	3.0
2.5	3.09	3	3.0
3	3.44	3.4	2.7
3.5	3.89	3.8	2.7
4	4.31	4.2	2.7
4.5	4.7	4.6	2.3
5	5.12	5	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 เห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  เพิ่มมากขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุต  $V_{in}$  เพิ่มมากขึ้น และค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{out}$  ที่วัดได้ มีความเป็นเชิงเส้น จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าผิดพลาดจากการทดลองวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า เป็นกระแสไฟฟ้าต่อร่วมกับ วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.1 เปอร์เซ็นต์

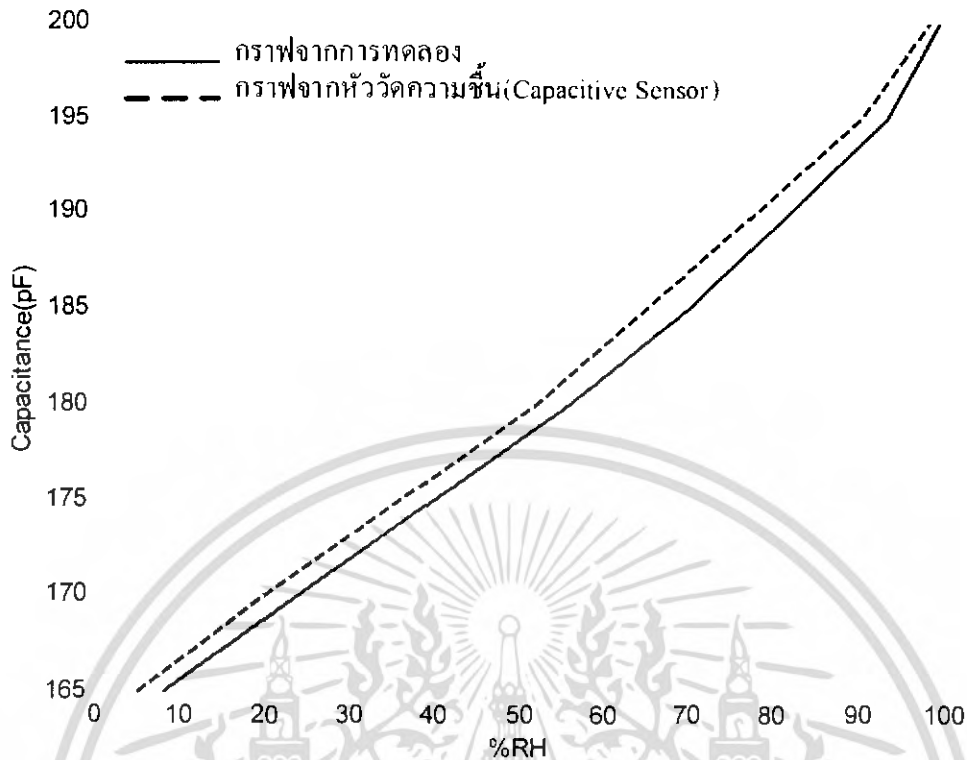
#### 4.4 การทดลองวัดค่าความชื้นจากเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น

ในส่วนนี้ได้้นำเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้นมาทำการวัดค่าความชื้นซึ่งได้ทำการทดลองโดยค่าจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่สอดคล้องกับค่าความชื้นจากกราฟรูปที่ 3.3 โดยทดลองดังตารางที่ 4.7 และจากตารางที่ 4.7 นำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง ระหว่างค่าที่ได้จากหัววัดกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการวัดค่าความชื้น

ค่าความจุของเซนเซอร์ ความชื้น(pF)	ค่าความชื้นของหัววัด จากกราฟ(%RH)	ค่าความชื้นจากเครื่อง วัด(%RH)	ค่าความผิดพลาด (%RH)
165	5	8	3
170	20	24	4
175	36	39	3
180	52	55	3
185	65	68	3
190	78	81	3
195	90	93	3

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดความชื้นสามารถวัดค่าความชื้นได้ใกล้เคียงกับค่าความชื้นที่ได้จากกราฟในรูปที่ 3.3 จะมีค่าผิดพลาดไปก็เพียงเล็กน้อย โดยมีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และจากข้อมูลของตารางนี้ได้นำไปพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและจากค่าที่ได้เทียบกับกราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับความชื้น

จากรูปที่ 4.6 ค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีค่าผิดพลาดอยู่บ้างเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากหัววัดแบบคาปาซิทีฟ เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้า (pF) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของหัววัดความชื้น ซึ่งแสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.3 ไม่เป็นกราฟเชิงเส้น จึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดอยู่บ้างแต่ถือได้ว่าค่อนข้างน้อย และรวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดความชื้นในโครงนี้ก็ยังมีความไม่เที่ยงตรงซึ่งเป็นผลทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดเช่นกัน

#### 4.5 สรุปผลการทดลอง

จะเห็นว่าผลการทดลองในส่วนต่างๆที่ผ่านมาข้างต้นนั้นจะมีค่าความผิดพลาดบ้างในทุกวงจรส่วนต่างๆ แต่ถือได้ว่าค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากจากอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการนี้ ยังมีค่าที่ผิดพลาดของตัวอุปกรณ์อยู่ โดยส่วนสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดให้เครื่องวัดความชื้นมีค่าผิดพลาดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรวัดค่าความชื้น เนื่องจากเป็นวงจรในส่วนที่แปรค่าความชื้นเป็นค่าความถี่ที่ส่งให้กับวงจรต่างๆของเครื่องวัดความชื้น รวมไปถึงในส่วนของการประมวลผลของเครื่องวัดความชื้นได้ทำการประมาณค่าจากกราฟในรูปที่ 3.3 ให้เป็นเชิงเส้น จึงเป็นทำให้ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าความผิดพลาดเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลและบทวิจารณ์

### 5.1 สรุปผล

โครงการเครื่องวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ เป็นการออกแบบและทดสอบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่าความชื้นที่มีผลต่อค่าประจุไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งประกอบด้วยภาคส่งและภาครับ สำหรับวิธีการวัดความชื้นใช้วิธีสร้างสัญญาณความถี่ที่สอดคล้องกับค่าความชื้นที่วัดได้ ในส่วนของภาคส่งทำหน้าที่แปลงความถี่ดังกล่าวเพื่อสร้างสัญญาณติดต่อกับภาครับ โดยภาครับนั้นจะแสดงค่าความชื้นที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าตั้งแต่ 0-100% RH

การส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับมีด้วยกัน 2 วิธี เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งวิธีแรกเป็นการส่งสัญญาณข้อมูลกระแสไฟฟ้า เพื่อลดการสูญเสียของแรงดันไฟฟ้าที่สายส่งเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และวิธีการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านระบบบัสไอส์ควอร์ซีเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อแบบบัสไอส์ควอร์ซีได้ ตัวอย่างเช่น ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Expander), ไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC), ไอซีรีลไทม์คล็อก (RTC), หน่วยความจำอีอีโรมและไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการทดสอบนั้น เครื่องวัดความชื้นแบบตัวเก็บประจุ สามารถวัดค่าความชื้นได้ดีซึ่งจะมีค่าผิดพลาดในการวัดอยู่บ้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่นั่งอยู่ในจุดที่ยอมรับได้

### 5.2 บทวิจารณ์

จากการทดลองวงจรและการออกแบบวงจร ในการวัดความชื้นด้วยหัววัดแบบคาปาซิทีฟ ต้องแปลงค่าประจุไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณความถี่ อีกทั้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าประจุไฟฟ้ากับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของหัววัดที่ใช้ในโครงการนี้มีความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งในการประมวลผลของเครื่องวัดความชื้น ได้ประมาณความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเชิงเส้น ทำให้ค่าความชื้นที่วัดได้ มีความผิดพลาด จึงต้องประมาณความสัมพันธ์ข้างต้น ให้ใกล้เคียงกับความสัมพันธ์เดิมมากกว่านี้

ปัญหาที่สำคัญสำหรับโครงการในส่วนนี้ก็คือ ค่าความชื้นที่เกิดจากการจำลองค่าตัวเก็บประจุที่ผิดพลาด ซึ่งเราไม่สามารถสร้างห้องทดลองที่สามารถควบคุมค่าของความชื้นได้ ดังนั้นจึงต้องปรับแต่งใช้ค่าอุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้

เครื่องวัดความชื้นแบบตัวเก็บประจุในโครงการนี้ ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในระดับหนึ่ง คือสามารถวัดค่าความชื้นได้ถูกต้องแม่นยำในระดับหนึ่ง แนวทางในการพัฒนาโครงการนี้ โดยนำส่วนภาคส่งไปใช้งานเป็นกับอุปกรณ์ที่รองรับการติดต่อแบบบัสไอส์แควร์ซีเพื่อประโยชน์ในการควบคุมระบบความชื้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลีพรจิตรวิไล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช**, กรุงเทพมหานคร
- [2] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **สนุกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ฉบับ MCS-51**, กรุงเทพมหานคร  
พิมพ์ที่ บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเซอร์เมนส์ จำกัด
- [3] ชีรวัฒน์ ประกอบผล, **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร  
พิมพ์ที่ บริษัท แซทไฟร์ พรินติ้ง จำกัด, 2541
- [4] อุดม จีนประดับ, **ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**, กรุงเทพมหานคร, 2541
- [5] นิกร สุขุมคันทิ, **การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร, 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





## ภาคผนวก ข

## คู่มืออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงาน

## ข.1 อุปกรณ์ในส่วนวงจรวัดความชื้น

## หัววัดวัดค่าความชื้นแบบตัวเก็บประจุ



## RELATIVE HUMIDITY SENSOR

Based on a unique capacitive cell, these relative humidity sensors are designed for high volume, cost sensitive applications such as **office automation, automotive cabin air control, home appliances, and industrial process control systems**. They are also useful in all applications where humidity compensation is needed.

## FEATURES

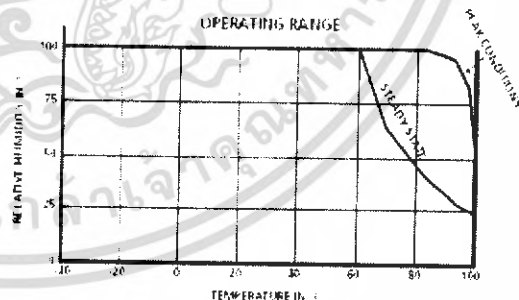
- Full interchangeability with no calibration required in standard conditions
- Instantaneous desaturation after long periods in saturation phase
- Compatible with automatized assembly processes, including wave soldering, reflow and water immersion (1)
- High reliability and long term stability
- Patented solid polymer structure
- Suitable for linear voltage or frequency output circuitry
- Fast response time
- Individual marking for compliance to stringent traceability requirements

(1) Soldering temperature profiles available on request



## MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C unless otherwise noted):

Operating Temperature	To	-40 to 100	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 to 125	°C
Supply Voltage	Vs	10	VDC
Humidity Operating Range	RH	0 to 100	% RH
Soldering @ T = 260°C	t	10	s



รูปที่ ข.1 หัววัดวัดความชื้นของ HUMIREL รุ่น HS 1101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

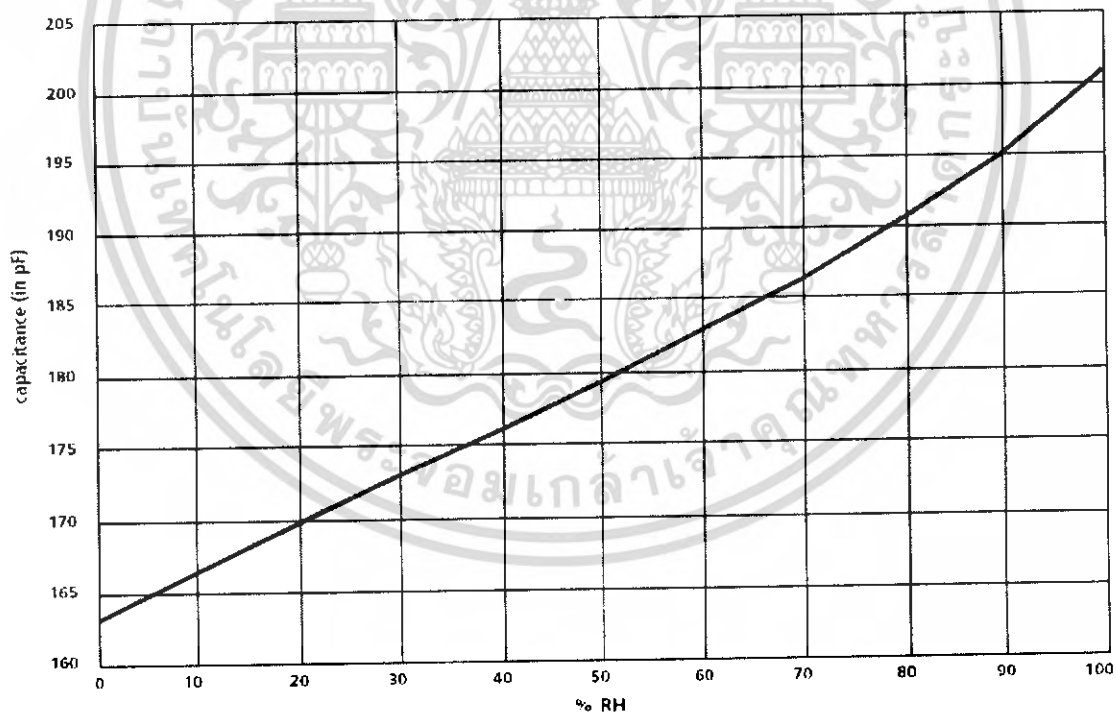
# CHARACTERISTICS

( $T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , measurement frequency @ 10kHz unless otherwise noted)

Humidity measuring range	RH	1	99	%	
Supply voltage	$V_s$	5	10	V	
Nominal capacitance @ 55% RH*	C	177	180	183	pF
Temperature coefficient	$T_{cc}$		0.04	pF/ $^{\circ}\text{C}$	
Averaged Sensitivity from 33% to 75% RH	$\Delta C/\%RH$		0.34	pF/ $\%RH$	
Leakage current ( $V_{cc} = 5\text{ Volts}$ )	$I_x$		1	nA	
Recovery time after 150 hours of condensation	$t_r$		10	s	
Humidity Hysteresis			+/- 1.5	%	
Long term stability			0.5	$\%RH/yr$	
Response time (33 to 76 % RH, still air @ 63%)	$t_0$		5	s	
Deviation to typical response curve (10% to 90% RH)			+/- 2	% RH	

*Tighter specification available on request*


## Typical response curve of HS 1100/HS 1101 in humidity



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงคุณสมบัติของหัววัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์สร้างความถี่ในไอซี NE555




**NE555**  
**SA555 - SE555**

**GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS**

---

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF  $\pm 0.05\%$  PER  $^{\circ}\text{C}$



**DESCRIPTION**

The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.

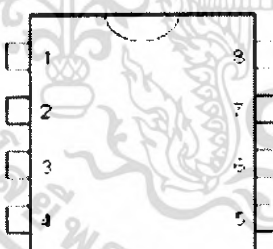
**ORDER CODES**

Part Number	Temperature Range	Package
NE555	$0^{\circ}\text{C}$ to $70^{\circ}\text{C}$	• •
SA555	$-40^{\circ}\text{C}$ to $85^{\circ}\text{C}$	• •
SE555	$-55^{\circ}\text{C}$ to $125^{\circ}\text{C}$	• •

8  
DIP8  
(Plastic Package)

8  
SO8  
(Plastic Micropackage)

**PIN CONNECTIONS (top view)**



1 - GND

2 - Trigger

3 - Output

4 - Reset

5 - Control voltage

6 - Threshold

7 - Discharge

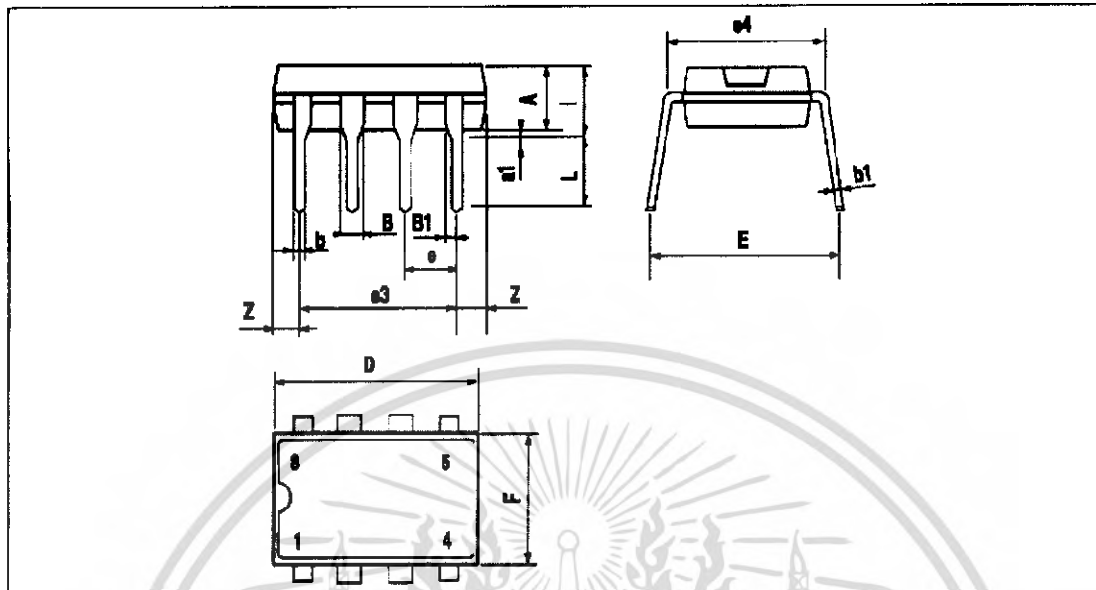
8 - VCC

July 1988 1/10

รูปที่ ข.3 ไอซี NE555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
8 PINS - PLASTIC DIP



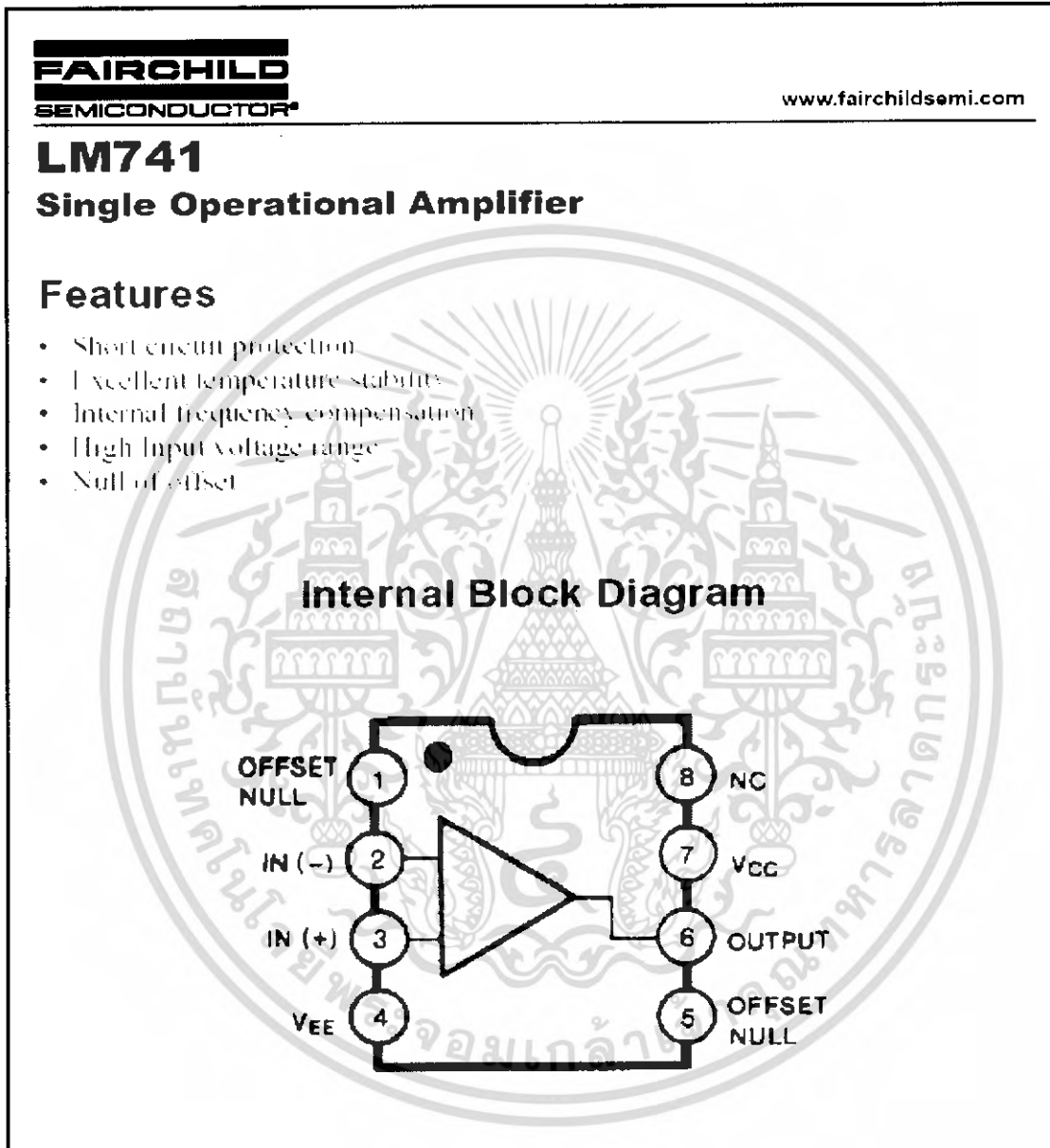
Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
L			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

รูปที่ ข.4 โครงสร้างไอซี NE555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณในโครงการนี้ได้ใช้ไอซี LM741 ซึ่งประกอบอยู่ในวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ ข.5 ไอซี LM741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ข.4 อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

ในโครงงานนี้ใช้ไอซี DAC และ ADC ขนาด 8 บิต เป็นส่วนประกอบในวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งรายละเอียดของไอซีได้แสดงดังรูปที่ ข.6

Philips Semiconductors

Product specification

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	
AIN1	2	analog inputs
AIN2	3	(A/D converter)
AIN3	4	
A0	5	
A1	6	hardware address
A2	7	
V <sub>SS</sub>	8	negative supply voltage
SDA	9	I <sup>2</sup> C-bus data input/output
SCL	10	I <sup>2</sup> C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V <sub>REF</sub>	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V <sub>DD</sub>	16	positive supply voltage

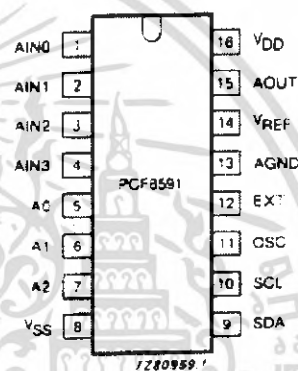


Fig.2 Pinning diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

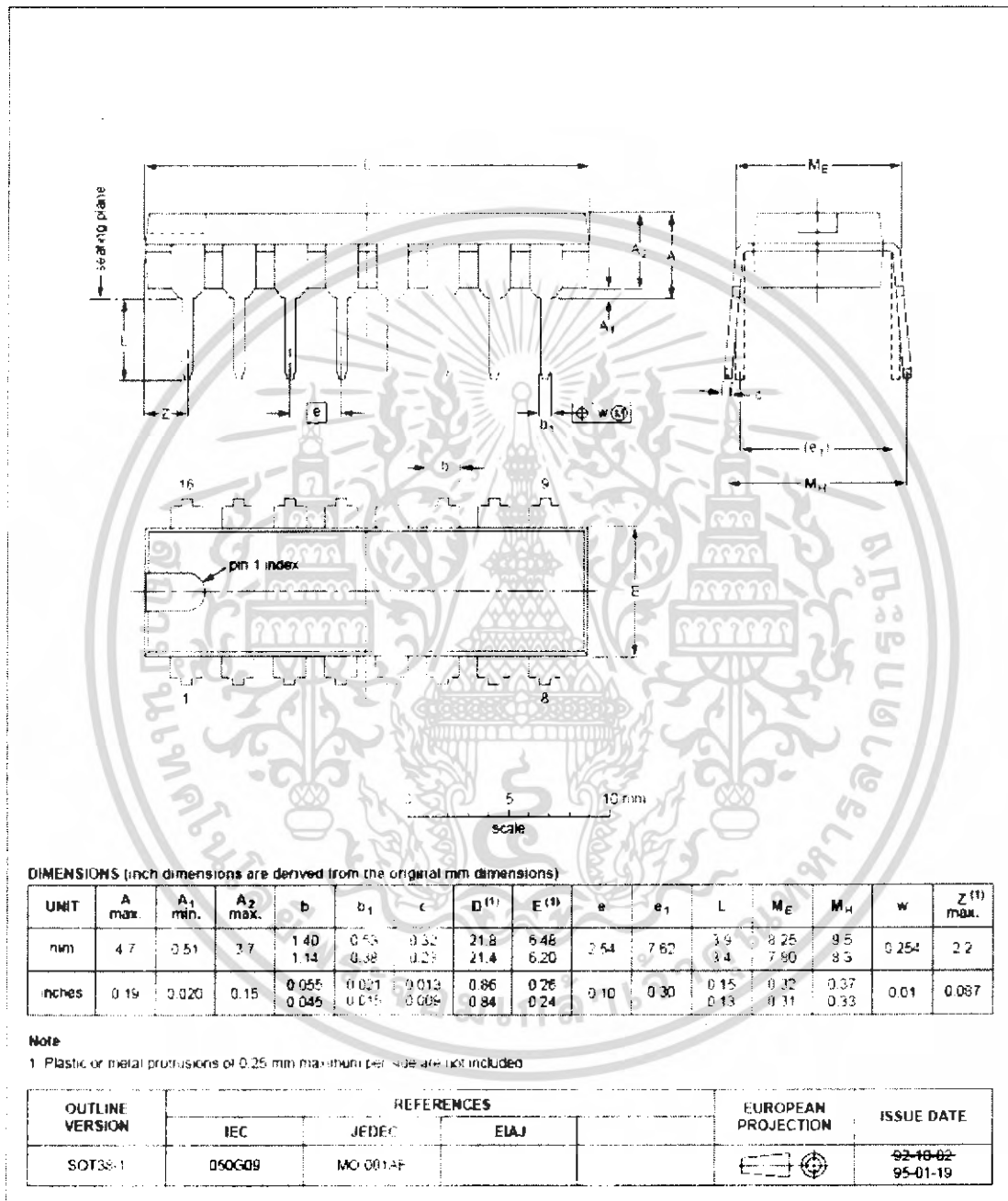
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body

SOT38-1



รูปที่ ข.6 ไอซี PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### โค้ดโปรแกรมส่วนภาครับและแสดงผล

```
/*กำหนด port ที่ใช้ในโปรแกรม*****;/
LCD_EN      BIT      P3.6
LCD_RS      BIT      P3.7
SDA         BIT      P0.0
SCL         BIT      P0.1
PCF8591_ID  EQU      10010000B

*****/
**/
/*ประกาศตัวแปรต่างๆที่ใช้ในโปรแกรม*****;/
: Define User Register
FLAG        EQU      02FH
OVER        BIT      FLAG.0
I2C_ACK     BIT      FLAG.0

LCD_ADDR    EQU      030H
LCD_DATA    EQU      031H
I2C_ADDR    EQU      033H
I2C_DATA    EQU      034H
CONTROL     EQU      035H
DA_DATA     EQU      036H
CHANNEL     EQU      037H
AD_DATA     EQU      038H
BUFFER      EQU      039H
BUFF        EQU      03AH

*****/

;โปรแกรมหลัก*****/
ORG         0000H          : Reset Vector
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INITIAL:

```
MOV P0,#00000000B
MOV P3,#00011111B
SETB SDA
SETB SCL
MAIN: ACALL INIT_LCD
MOV LCD_ADDR,#000H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#TITLE_1
ACALL WRLINE_LCD1
```

```
ACALL DELAY_1s
ACALL DELAY_1s
MAIN_LOOP:
MOV LCD_ADDR,#040H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#SCR_RUN
ACALL WRLINE_LCD2
LCALL MAIN_LOOP_ADC
MOV LCD_ADDR,#04aH
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV B,AD_DATA
MOV A,#160
SUBB A,B
MOV BUFF,A
CLR C
MOV B,#150
SUBB A,B
JC MAIN_1
LJMP OVER_S
```

/\*นับสัญญาณพัลส์ (pulse output) จากที่ได้จากวงจรวัดความถี่\*\*\*\*\*\*/

```
MAIN_1: MOV LCD_DATA,BUFF
ACALL HEX2LCD
ACALL DELAY_1s
JMP MAIN_LOOP
OVER_S: MOV LCD_ADDR,#040H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL SET_ADDR_LCD
MOV DPTR,#OVERS
ACALL WRLINE_LCD2
LCALL DELAY_1s
SJMP MAIN_LOOP
/กำหนดการรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับค่าความชื้น PCF8591*****/
MAIN_LOOP_ADC:
MOV NNEL,#0
CONVERSION_LOOP:
MOV A,#01000000B
MOV CONTROL,A
ACALL PCF8591_WR
ACALL PCF8591_RD
Previos Data
RET

```

```

/*ฟังก์ชันการแสดงผลจอ LCDในการแสดงค่าความชื้น*****/

```

```

HEX2LCD: PUSH ACC
MOV A,LCD_DATA
MOV B,#100
DIV AB
ADD A,#030H
CJNE A,#030H,HEX2_LCD_NX
MOV A,#' '
HEX2_LCD_NX: MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
MOV A,B
MOV B,#10
DIV AB
ADD A,#030H
MOV LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV  A,B
ADD  A,#030H
MOV  LCD_DATA,A
ACALL WRCHAR_LCD
POP  ACC
RET
INIT_LCD:ACALL  DELAY_100ms
CLR  LCD_RS
MOV  P1,#00111000B
ACALL LCD_CLK
ACALL DELAY_10ms
MOV  P1,#00111000B
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV  P1,#00000110B
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_HOME

LCD_CLR:CLR  CD_RS
MOV  P1,#00000001B
ACALL LCD_CLK
RET
LCD_HOME:CLR LCD_RS
MOV  P1,#00000010B
ACALL LCD_CLK
RET
LCD_OFF:CLR  LCD_RS
MOV  P1,#00001000B
ACALL LCD_CLK
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_CLK:SETB LCD_EN
ACALL LCD_DELAY
CLR LCD_EN
ACALL LCD_DELAY
RET
LCD_ON: CLR LCD_RS
MOV P1,#00001100B
ACALL LCD_CLK
RET
SET_ADDR_LCD: CLR LCD_RS
MOV A,LCD_ADDR
SETB ACC.7
MOV P1,A
ACALL LCD_CLK
RET
WRCHAR_LCD: SETB LCD_RS
MOV P1,LCD_DATA
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_ON
RET
WRLINE_LCD1: MOV R0,#0
WRLINE_LCD1_1: SETB LCD_RS
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV P1,A
ACALL LCD_CLK
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#8,WRLINE_LCD1_1

MOV LCD_ADDR,#008H
ACALL SET_ADDR_LCD

WRLINE_LCD1_2: SETB LCD_RS
CLR A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVC A,@A+DPTR
MOV P1,A
ACALL LCD_CLK
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#16,WRLINE_LCD1_2
ACALL LCD_ON
RET

```

```

WRLINE_LCD2: MOV R0,#0
WRLINE_LCD2_1: SETB LCD_RS
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV P1,A
ACALL LCD_CLK
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#8,WRLINE_LCD2_1
MOV LCD_ADDR,#048H
ACALL SET_ADDR_LCD
WRLINE_LCD2_2: SETB LCD_RS
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV P1,A
Move ACC. to DATA BUS
ACALL LCD_CLK
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#16,WRLINE_LCD2_2
ACALL LCD_ON
RET

```

/ฟังก์ชันการอ่านข้อมูลของ PCF 8591\*\*\*\*\*/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PCF8591_RD:MOV      I2C_ADDR,#PCF8591_ID+1
ACALL I2C_SLAVE
ACALL I2C_DATA_RD
MOV   AD_DATA.I2C_DATA ; Read Data to A/D Data
ACALL I2C_NACK_BIT
ACALL I2C_STOP
RET

```

```

/*****
*****:

```

```

/ฟังก์ชันการเขียนข้อมูลของ PCF 8591 *****/

```

```

PCF8591_WR:MOV      I2C_ADDR,#PCF8591_ID
ACALL I2C_SLAVE
MOV   I2C_DATA.CONTROL
ACALL I2C_DATA_WR

MOV   I2C_DATA.DA_DATA
ACALL I2C_DATA_WR
ACALL I2C_STOP
RET

```

```

/ฟังก์ชันการเขียนข้อมูลของบัสไอสแควร์ซี *****/

```

```

I2C_DATA_WR: PUSH  ACC
SETB  I2C_ACK
MOV   A,I2C_DATA
MOV   R5,#008
I2C_DATA_WR_1:  RLC   A
MOV   SDA,C
ACALL I2C_CLK
DJNZ  R5,I2C_DATA_WR_1
SETB  SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB  SCL
ACALL I2C_DELAY
JB    SDA,I2C_DATA_WR_2
CLR   I2C_ACK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I2C\_DATA\_WR\_2: CLR SCL

POP ACC : Pop ACC.

RET : Return

/ฟังก์ชันการเขียนข้อมูลของบัสไอสแควร์ซี\*\*\*\*\*

I2C\_DATA\_RD: PUSH ACC

CLR A

MOV R5,#008

I2C\_DATA\_RD\_1: ACALL I2C\_DELAY

SETB SCL

ACALL I2C\_DELAY

MOV C,SDA

RLC A

CLR SCL

DJNZ R5,I2C\_DATA\_RD\_1

MOV I2C\_DATA,A

POP ACC

RET

/ฟังก์ชันการรับข้อมูลของบัสไอสแควร์ซีของตัวสถาปัตยกรรม\*\*\*\*\*

I2C\_SLAVE: PUSH ACC

SETB I2C\_ACK

MOV A,I2C\_ADDR

ACALL I2C\_START

MOV 5,#008

I2C\_SLAVE\_1: RLC A

MOV SDA,C

ACALL I2C\_CLK

DJNZ R5,I2C\_SLAVE\_1

SETB SDA

ACALL I2C\_DELAY

SETB SCL

ACALL I2C\_DELAY

JB SDA,I2C\_SLAVE\_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR    I2C_ACK
I2C_SLAVE_2:CLR    SCL
POP    ACC
RET

```

ฟังก์ชันการสร้างสภาวะต่างๆเพื่อติดต่อบัส I2C ไลน์แควรี่ \*\*\*\*\*

```

I2C_START:JNB    SCL,I2C_START_1
CLR    SCL
I2C_START_1: SETB    SDA
SETB   SCL
ACALL  I2C_DELAY
CLR    SDA
ACALL  I2C_DELAY
CLR    SCL
RET

```

```

I2C_STOP:JNB    SCL,I2C_STOP_1
CLR    SCL
I2C_STOP_1:CLRSDA
ACALL  I2C_DELAY
SETB   SCL
ACALL  I2C_DELAY
SETB   SDA
RET

```

```

I2C_NACK_BIT : SETB    SDA
ACALL  I2C_DELAY
ACALL  I2C_CLK
SETB   SCL
RET

```

```

I2C_ACK_BIT : CLR    SDA
ACALL  I2C_DELAY
ACALL  I2C_CLK
SETB   SDA
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

I2C_CLK:      ACALL I2C_DELAY          SETB  SCL
ACALL I2C_DELAY
CLR  SCL
RET

```

\*\*\*\*\*

LCD\_DELAY\*\*\*\*\*;

```

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

```

```

LCD_DELAY_1:MOV  R6,#0E6H

```

```

LCD_DELAY_2: NOP

```

```

NOP

```

```

DJNZ  R6,LCD_DELAY_2

```

```

DJNZ  R7,LCD_DELAY_1

```

```

RET

```

```

DELAY_10ms:MOV  R7,#010

```

```

DELAY_10ms_1:MOV  R6,#0E6H      DELAY_10ms_2: NOP

```

```

NOP

```

```

DJNZ  R6,DELAY_10ms_2

```

```

DJNZ  R7,DELAY_10ms_1

```

```

RET

```

```

DELAY_100ms: MOV  R7,#100

```

```

DELAY_100ms_1:  MOV  R6,#0E6H

```

```

DELAY_100ms_2:  NOP

```

```

NOP

```

```

DJNZ  R6,DELAY_100ms_2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DJNZ R7,DELAY_100ms_1
RET
```

```
DELAY_250ms: MOV R7,#250
DELAY_250ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_250ms_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_250ms_2
DJNZ R7,DELAY_250ms_1
RET
```

```
DELAY_1s: MOV R5,#100
DELAY_1s_1: ACALL DELAY_10ms
DJNZ R5,DELAY_1s_1
RET
```

```
*****
```

```
กำหนดรูปแบบในการแสดงผลของจอ LCD*****
```

```
TITLE_1: DB 'Humunity SenserS'
SCR_RUN: DB 'Humunity: %'
OVERS: DB 'Humunity: ERROR'
```

### โค้ดโปรแกรมส่วนภาคส่วนการวัดความชื้น

```
/*กำหนด port ที่ใช้ใน โปรแกรม*****
```

```
TO_PIN BIT P3.4
LCD_ENBIT P3.6
LCD_RS BIT 3.7
SDA BIT P0.0
SCL BIT P0.1
PCF8591_ID EQU 10010000B
```

```
*****
```

```
*****,
```

```
/*ประกาศตัวแปรต่างๆที่ใช้ใน โปรแกรม*****
```

```
FLAG EQU 02FH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OVER          BIT    FLAG.0
I2C_ACK       BIT    FLAG.0

LCD_ADDR      EQU    030H
LCD_DATA      EQU    031H
I2C_ADDR      EQU    033H
I2C_DATA      EQU    034H
CONTROL       EQU    035H
DA_DATA       EQU    036H
CHANNEL       EQU    037H
AD_DATA       EQU    038H
BUFFER        EQU    039H

```

/\*ฟังก์ชันนับสัญญาณพัลส์ (pulse output) จากที่ได้จากวงจรวัดความถี่\*\*\*\*\*\*/

```

: Main Program.

```

```

ORG 0000H
AJMP INITIAL
ORG 0003H
RETI
ORG 000BH
SETB OVER
RETI
ORG 0013H
RETI

ORG 001BH
RETI
ORG 0023H
RETI
ORG 002BH
RETI

INITIAL:    MOV    0,#00000000B
MOV    P3,#00011111B
SETB    SDA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB  SCL
MAIN:  ACALL INIT_LCD
MOV   LCD_ADDR,#000H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV   DPTR,#TITLE 1
ACALL WRLINE_LCD1
ACALL DELAY_1s
ACALL DELAY_1s
MAIN_LOOP : MOV   LCD_ADDR,#040H
ACALL SET_ADDR_LCD
MOV   DPTR,#SCR_RUN
ACALL WRLINE_LCD2
MOV   TMOD,#00100110B
MOV   BUFFER,#123
SETB  EA
FREQ_LOOP MOV   TH0,#000H
MOV   TL0,#000H
CLR   OVER
SETB  ET0
SETB  TR0
GATE_EN:  MOV   R7,#50
GATE_EN_1: MOV   R6,#1
GATE_EN_2: MOV   R5,#0E6H
GATE_EN_3: NOP
NOP
DJNZ  R5,GATE_EN_3
DJNZ  R6,GATE_EN_2
DJNZ  R7,GATE_EN_1
CLR   TR0
CLR   ET0
LCALL MAIN_DAC
LCALL DELAY_10ms
AJMP  FREQ_LOOP

```

-----  
: Main PCF  
-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/ฟังก์ชันการแปลงค่าความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าของ PCF 8591\*\*\*\*\*/

MAIN\_DAC: Clear D/A Data

MOV A,#01000000B

MOV CONTROL.A

MOV DA\_DATA.TLD

ACALL PCF8591\_WR

RET

: HEX Code to show LCD

: I/P: LCD\_DATA

HEX2LCD: PUSH ACC

MOV A,LCD\_DATA

MOV B,#100

DIV AB

ADD A,#030H

CJNE A,#030H,HEX2\_LCD\_NX

MOV A,#'

HEX2\_LCD\_NX: MOV LCD\_DATA.A

ACALL WRCHAR\_LCD

MOV A.B

MOV B,#10

DIV AB

ADD A,#030H

MOV LCD\_DATA.A

ACALL WRCHAR\_LCD

MOV A.B

ADD A,#030H

MOV LCD\_DATA.A

ACALL WRCHAR\_LCD

POP ACC

RET

: LCD Initialize

INIT\_LCD: ACALL DELAY\_100ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR LCD_RS
MOV PI.#00111000B
ACALL LCD_CLK
CALL DELAY_10ms
MOV PI.#00111000B
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV PI.#00000110B
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_HOME

```

-----  
: LCD Clear Display  
-----

```

LCD_CLR : CLR LCD_RS
MOV PI.#00000001B
ACALL LCD_CLK
RET

```

-----  
: LCD Return Home  
-----

```

LCD_HOME:CLR LCD_RS
MOV PI.#0000010B
ACALL LCD_CLK
RET

```

-----  
: LCD Display Off  
-----

```

LCD_OFF : CLR LCD_RS
MOV PI.#0001000B
ACALL LCD_CLK
RET

```

-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: LCD Clk

---

```
LCD_CLK : SETB    LCD_EN
ACALL LCD_DELAY
CLR    LCD_EN
ACALL LCD_DELAY
RET
```

---

: LCD Display On

---

```
LCD_ON : CLR LCD_RS
MOV  P1.#00001100B
ACALL LCD_CLK
RET
```

---

: Set LCD Address

: I/P: LCD\_ADDR

---

```
SET_ADDR_LCD: CLR LCD_RS
MOV  A.LCD_ADDR
SETB ACC.7
MOV  P1.A
ACALL LCD_CLK
RET
```

---

: Write Character to show LCD

: I/P: LCD\_DATA

---

```
WRCHAR_LCD : SETB LCD_RS
MOV  P1.LCD_DATA
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_ON
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

: Write Line of 16 Character from ROM

: I/P: DPTR : Locate ROM Address

WRLINE\_LCD1: MOV R0,#0

WRLINE\_LCD1\_1: SETB LCD\_RS

CLR A

MOVC A,@A+DPTR

MOV P1,A

ACALL LCD\_CLK

INC DPTR

INC R0

CJNE R0,#8,WRLINE\_LCD1\_1

MOV LCD\_ADDR,#008H

ACALL SET\_ADDR\_LCD

WRLINE\_LCD1\_2: SETB LCD\_RS

CLR A

MOVC A,@A+DPTR

MOV A

ACALL LCD\_CLK

INC DPTR

INC R0

CJNE R0,#16,WRLINE\_LCD1\_2

ACALL LCD\_ON

RET

WRLINE\_LCD2: MOV R0,#0

WRLINE\_LCD2\_1: SETB LCD\_RS

CLR A

MOVC A,@A+DPTR

MOV P1,A

ACALL LCD\_CLK

INC DPTR

INC R0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE R0,#8,WRLINE_LCD2_1
MOV LCD_ADDR,#048H
ACALL SET_ADDR_LCD
WRLINE_LCD2_2: SETB LCD_RS
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV P1,A
ACALL LCD_CLK
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#16,WRLINE_LCD2_2
ACALL LCD_ON
RET

```

ฟังก์ชันการเขียนข้อมูลของ PCF

8591ผ่านระบบบัสไอสมควร์ซี\*\*\*\*\*;

```

PCF8591_WR : MOV I2C_ADDR,#PCF8591_ID
ACALL I2C_SLAVE
MOV I2C_DATA,CONTROL
ACALL I2C_DATA_WR
MOV I2C_DATA,DA_DATA
ACALL I2C_DATA_WR
ACALL I2C_STOP
RET

```

\*\*\*\*\*;

ฟังก์ชันการเขียนข้อมูลของบัสไอสมควร์ซี\*\*\*\*\*/I2C\_DATA\_WR:

```

PUSH ACC
SETB I2C_ACK
MOV A,I2C_DATA
MOV R5,#008
I2C_DATA_WR_1: RLC A
MOV SDA,C
ACALL I2C_CLK
DJNZ R5,I2C_DATA_WR_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
JB SDA.I2C_DATA_WR_2
CLR I2C_ACK
I2C_DATA_WR_2: CLR SCL
POP ACC
RET

```

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*;

/ฟังก์ชันการรับข้อมูลของบัสไอสแควร์ซีของตัวสลาฟ\*\*\*\*\*/

```

I2C_SLAVE : PUSH ACC
SETB I2C_ACK
MOV A,I2C_ADDR
ACALL I2C_START
MOV R5,#008
I2C_SLAVE_1: RLC A
MOV SDA,C
ACALL I2C_CLK
DJNZ R5,I2C_SLAVE_1
SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
JB SDA.I2C_SLAVE_2
CLR I2C_ACK
I2C_SLAVE_2 : CLR SCL
POP ACC
RET

```

/ฟังก์ชันการสร้างสถานะต่างๆเพื่อติดต่อบัสไอสแควร์ซี\*\*\*\*\*/

```

I2C_START:JNB SCL,I2C_START_1
CLR SCL

```

```

I2C_START_1: SETB SDA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB   SCL
ACALL  I2C_DELAY
CLR    SDA
ACALL  I2C_DELAY
CLR    SCL
RET
I2C_STOP:JNB  SCL,I2C_STOP_1
CLR    SCL
I2C_STOP_1:CLRSDA
ACALL  I2C_DELAY
SETB   SCL
ACALL  I2C_DELAY
SETB   SDA
RET
I2C_NACK_BIT :SETB   SDA
ACALL  I2C_DELAY
ACALL  I2C_CLK
SETB   SCL
RET
I2C_ACK_BIT :CLR    SDA
ACALL  I2C_DELAY
ACALL  I2C_CLK
SETB   SDA
RET
I2C_CLK:      ACALL  I2C_DELAY      SETB   SCL
ACALL  I2C_DELAY
CLR    SCL
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้