

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

TEMPERATURE AND HUMIDIFIERS CONTROL SYSTEM



T119370



นางสาวฐิติรัตน์ ชำกฤษ

นายจิรยุทธ์ ศรีทรานนท์

นายชัยรัช เกียรติธนาภา

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....119370  
วัน,เดือน,ปี.....- 7 S.ค. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TEMPERATURE AND HUMIDIFIERS CONTROL SYSTEM



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF**

**THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูและนิสิตเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น  
TEMPERATURE AND HUMIDIFIERS CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ นางสาวฐิติรัตน์ خاکฤษ 50010226  
นายจิรยุทธ์ ศรีทรานนท์ 50010246  
นายชัยรัช เกียรติธรรมาภา 50010347

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ คมวัชรระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

โดย

นางสาวฐิติรัตน์ จำภูษ 50010226

นายจิรยุทธ ศรีทรานนท์ 50010246

นายชัยรัช เกียรติธนาภา 50010347

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ

ปีการศึกษา 2553

## บทคัดย่อ

โครงการระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนนี้ได้นำเสนอการวางโรงเรือนจำลองเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน มีจุดประสงค์เพื่อให้สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเหมาะแก่กระบวนการผลิต การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ การปลูกพืชแต่ละประเภท โดยใช้ PIC16F877A ในการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการควบคุมอุณหภูมิระบบจะใช้พัดลมระบายอากาศและการเป่าอากาศเย็นเข้าไปในโรงเรือนเป็นตัวลดอุณหภูมิ ภายในโรงเรือนจำลอง และในการควบคุมความชื้นใช้เครื่องทำหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศ มีการแสดงผลของอุณหภูมิและความชื้นทางหน้าจอ LCD ลักษณะของโรงเรือนจำลองจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TEMPERATURE AND HUMIDIFIERS CONTROL SYSTEM

Miss ThitiratKhamkrit

Mr. JerayutSritranon

Mr. ChairatKiattanapa

Thesis Advisor

Assoc.Dr.KiattisakKumwachara

Academic Year 2010

## Abstract

This project has an objective to control temperature and humidifiers in greenhouse for making environment that suitable for production , store and kind of pant. Appropriate temperature and humidifiers are control variable that are brought to microcontroller in order to control condition of this greenhouse. Exhaust fan and dry-ice are used to decrease temperature and fan-in is use to increase raltive humidity in the greenhouse. LCD module display temperature and humidifiers value in the greenhouse continually.

The greenhouse is 40 cm. Long, 40 cm. Wide, and 40 cm. High and covered by acililik which can prevent the greenhouse from heat and ultraviolet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ทางผู้จัดทำขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจ รวมถึงขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อนในคณะที่คอยให้การช่วยเหลือด้านคำแนะนำ และ วัสดุอุปกรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เกียรติศักดิ์ คมวัชระ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ พร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้จัดทำ



ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	4
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	<b>5</b>
2.1 Microcontroller PIC 16F877A	5
2.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC 16F877A	5
2.1.3 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม	7
2.1.4 ความเร็วของ PIC	8
2.1.5 หน่วยความจำของ PIC	8
2.1.6 สถาปัตยกรรมของ PIC	8
2.1.7 ชนิดของ PIC	9
2.2 ส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ SHT 15	9
2.3 ส่วนแสดงผลทาง LCD Module	14
2.4 Keypad หรือ สวิตช์เมตริกซ์ 4 x 4	14
2.5 ตัวทำความชื้นชนิดหัวพ่นหมอก (Fogger)	15
2.6 Heater	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	17
3.1 โครงสร้างโรงเรือน	17
3.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	18
3.3 หลักการทำงานของโครงการเบื้องต้น	19
3.4 วงจรควบคุม Heater	24
3.5 วงจรควบคุมตัวทำความชื้น	25
3.6 วงจรควบคุมพัดลมดูดความชื้นและพัดลมระบายอากาศ	26
3.7 วงจรควบคุมพัดลมเป่าอากาศ	27
3.8 การใช้งานโปรแกรมควบคุม	28
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>29</b>
4.1 การทดลองที่ 1	29
4.2 การทดลองที่ 2	29
4.3 การทดลองที่ 3	29
4.4 การทดลองที่ 4	30
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	<b>35</b>
5.1 ปัญหาและอุปสรรค	35
5.2 การแก้ไขและปรับปรุง	35
5.3 แนวทางการพัฒนา	35
5.4 สรุปและวิจารณ์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 IC SHT 15	9
2.2 แสดงลักษณะของ SHT 15	9
2.3 แสดงการต่อ SHT 15 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	11
2.4 แสดง Timing Diagram ในช่วงการส่งข้อมูลของ SHT 15	11
2.5 แสดงคุณสมบัติของ Timing Diagram ของสัญญาณ DATA และ SCK ของ SHT 15	12
2.6 จอ LCD	13
2.7 Keypad	14
2.8 ตัวทำความชื้น	15
2.9 Heater	15
3.1 การออกแบบโรงเรือนจำลอง ด้านบน	16
3.2 การออกแบบโรงเรือนจำลอง ด้านหน้า	17
3.3 แผนผังควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน	19
3.4 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน(ต่อ)	20
3.5 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิ	21
3.6 แผนผังแสดงการควบคุมความชื้น	22
3.7 วงจร Heater	23
3.8 วงจรทำความชื้น	24
3.9 วงจรควบคุมพัลลวมอุณหภูมิ และ พัลลวมระบายอากาศ	25
3.10 วงจรควบคุมพัลลวมเป่าอากาศ	26

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการวางแผนทำงาน	3
2.1 แสดงขาสัญญาณของ SHT 15	10
2.2 แสดงคุณสมบัติ DC ของ SHT 15	10
2.2 ตารางทดลองตอนที่ 1	31
2.2 ตารางทดลองตอนที่ 2	32
2.2 ตารางทดลองตอนที่ 3	33
2.2 ตารางทดลองตอนที่ 4	34



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในระบบเกษตรกรรมและระบบอุตสาหกรรมการผลิตในบางขั้นตอนสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงทั้งกับการบวนการผลิตในระบบอุตสาหกรรมและการทำการเกษตรกรรมเนื่องมาจากการผลิตและการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นในระบบเกษตรกรรมหรือระบบอุตสาหกรรมในบางขั้นตอนจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง เพื่อให้เกิดความสมดุลและความเหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆ เช่น การเกษตร เครื่องอุปโภค บริโภคหลายๆชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารสด หรืออาหารสำเร็จรูปต่างๆ หรือพืชหลายๆชนิด ซึ่งในรูปแบบโครงการนี้ ได้มีการจำลองสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามต้องการโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมปัจจัยต่างๆ ลักษณะของการควบคุมอัตโนมัติมีการป้อนข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่างที่เหมาะสม ตามที่ต้องการ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานทั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมความชื้น และระบบควบคุมความเข้มของแสงสว่าง อีกทั้งยังมีการแสดงผลของของอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่างในห้องจำลองการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่างภายในห้องผ่านหน้าจอLCD และแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง ผ่านทางหลอดLED เพื่อแสดงสถานการณ์ทำงาน

### 1.2 ขอบเขตการศึกษา

- 1 ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และความเข้มของแสงสว่าง ภายในห้องจำลองโดยใช้ Microcontroller ประเภท PIC เบอร์ 16F877A
- 2 ศึกษาวงจรการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสงสว่าง รวมถึงศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น (SHT15)
- 3 ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อใช้ในการควบคุม Microcontroller (PIC 16F877A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การศึกษาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในห้องปิด เป็นการศึกษาถึงแบบจำลองที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบการผลิตและการจัดเก็บเป็นอย่างมาก ต้องมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามคุณลักษณะที่ต้องการ ซึ่งจากขอบเขตของการศึกษาโครงการแบบจำลองนี้ สามารถเพิ่มและลดอุณหภูมิได้ตามต้องการ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการควบคุมอุณหภูมิในโซนการผลิต หากต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อให้เข้ากับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย จะต้องมีการปรับตั้งค่า zero , span ของตัวเซนเซอร์ และต้องสั่งให้ตัวทำอุณหภูมิ สามารถทำอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการซึ่งมีความยุ่งยากและเสียเวลาเป็นอย่างมาก หรือแม้แต่การควบคุมความชื้นซึ่งสามารถเพิ่มหรือลดได้ตามต้องการ เป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมที่ต้องมีความควบคุมความชื้นที่แม่นยำ เช่น อุตสาหกรรมการส่งออกข้าวเปลือก กล้วยไม้ เห็ด เป็นต้น หากมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ดี จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมสภาพแวดล้อมทั้งในด้านการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ที่อยู่ในระบบปิดรวมทั้งปัจจัยและผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมในระบบปิด ค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในโครงการ เช่น ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวเซนเซอร์ แผงปุ่มกด และ ตัวแสดงผล
2. จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ในการทำโครงการ และศึกษาทำความเข้าใจของอุปกรณ์แต่ละตัว พร้อมทั้งทดสอบการทำงานเพื่อพร้อมที่จะนำมาใช้งาน เช่น ทดสอบตัวหน้าจอดีแสดงผล การป้อนค่าที่แผงปุ่มกด เป็นต้น
3. วางแผนงาน และออกแบบวงจร hardware ของโครงการ
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรม เพื่อไปควบคุมตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
5. เขียนโปรแกรม software ของการควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตาม Flowchart ที่ได้มีการวางแผน
6. ทดสอบการทำงานของโครงการทั้ง hardware และ software เพื่อทำงานได้อย่างสมบูรณ์
7. ทดสอบการทำงานของโครงการ บันทึกผล และสรุปผลการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2				
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.กำหนดขอบเขต และปัญหาของโครงการ	↔								
2.ศึกษา วางแผน และทำความเข้าใจเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในโครงการ		↔							
3.เลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับระบบ			↔						
4.ศึกษาภาษาซีที่ใช้ในการดำเนินการเขียนโปรแกรม			↔						
5.ศึกษาติดต่อและควบคุมระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ผ่าน Microcontroller PIC16F877A				↔					
6.ศึกษาวิธีการการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15			↔						
7.เขียนโปรแกรม Sensor SHT15 สามารถตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นและนำไปแสดงผลที่จอLCD					↔				
8.เขียนโปรแกรมให้Microcontroller สามารถสั่งการควบคุมอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิและความชื้นได้โดยอัตโนมัติตามค่าที่ต้องการตั้งไว้			↔						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 รายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

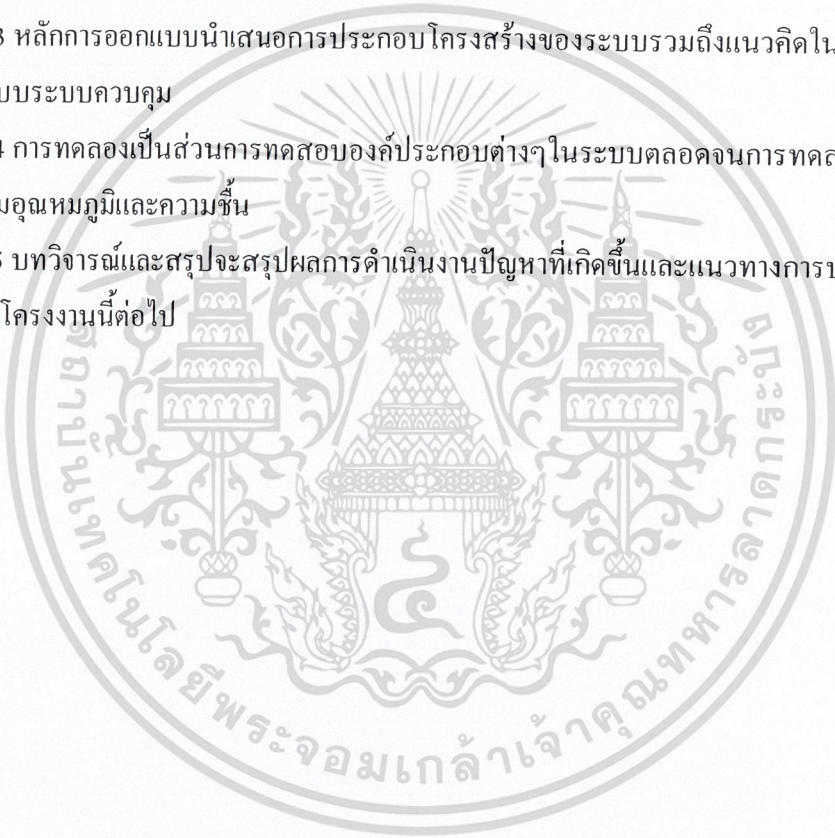
บทที่ 1 บทนำกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักการใหม่ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการพร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการประมวลผลภาพการใช้งานพอร์ตขานานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องและนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 หลักการออกแบบนำเสนอการประกอบโครงสร้างของระบบรวมถึงแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม

บทที่ 4 การทดลองเป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่างๆในระบบตลอดจนการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปจะสรุปผลการดำเนินงานปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงการนี้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎี

### 2.1 Microcontroller (PIC 16F877A)

PIC คือ Microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง Concept ของ Microcontroller ตัวนี้ คือ พยายามรวมทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, PWM, A/D โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวนี้เองทีเดียว

#### 2.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A

ส่วนประกอบหลักคือ ซีพียู หน่วยความจำข้อมูล ส่วนติดต่อพอร์ต ส่วนจัดการสัญญาณ นาฬิกาของระบบ วงจรรีเซตหลัก ส่วนควบคุมการตอบสนองอินเทอร์รัปต์และส่วนจัดการด้านไฟเลี้ยง แต่จะมีโมดูลพิเศษเพิ่มเข้ามาอีกพอสมควร เพื่อช่วยให้ PIC 16F877A มีความสามารถสูงมากขึ้น ได้แก่ วงจรบรรเทาเอาต์รีเซต, ส่วนแก้ไขข้อมูลส่วนวงจรหรือดีบั๊กเกอร์, วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ, Timer ที่มีมากถึง 3 ตัว, วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต, โมดูลสื่อสารอนุกรมและโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ-วงจร โมดูลเลื่อนความกว้างของพัลส์หรือ PWM นอกจากนี้ในอนุกรม PIC 16F877A จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน Analog และ โมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามาอีกด้วย

#### 2.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC 16F877A

คุณสมบัติหลัก

- ซีพียูแบบ RISC มีคำสั่งใช้งานเพียง 3 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีอีเอส จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของ Microcontroller
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีเพาเวอร์ออฟไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สแตร์ทออฟไทมเมอร์ (OST)
- มีวงจรตรวจจับเวลา (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกรหัสคีย์ข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 v ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยระบบกระบวนการ ICD (In Circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 v
- กระแสซิงค์และซอร์สของพอร์ต 25 mA
- Timer3 ตัว คือ Timer0 ขนาด 8 บิต มีพรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว Timer1 ขนาด 16 บิต พร้อมพรีสเกลเลอร์ และ Timer2 ขนาด 16 บิต มีพรีสเกลเลอร์ โปสต์สเกลเลอร์ และ รีจิสเตอร์คาบเวลา ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดย ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital 10 บิต (5 ช่องสำหรับ 28 ขา และ 8 ช่องสำหรับ 40 ขา)
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (Brown-out Detection) เพื่อการรีเซตซีพียู (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

PIC 16F877A มีหน่วยความจำข้อมูลแรมสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ มีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 54 ตัวหรือ 56 ตัว แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่มีการใช้งานจริงในแต่ละแบงก์ต่างกัน โดยในแต่ละแบงก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F

แอดเดรส 0x00-0x1F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์

แอดเดรส 0x20-0x7F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0xFF

แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แอดเดรส 0xF0-0xFF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x110-0x11F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x120-0x16F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0x170-0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

แอดเดรส 0x180-0x18F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x190-0x19F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16ไบต์

แอดเดรส 0x1A0-0x1EF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80ไบต์

แอดเดรส 0x1F0-0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

#### 2.1.4 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25  $\mu$ s แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีบริษัทอื่น ได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วมากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

#### 2.1.5 หน่วยความจำของ PIC

ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คือ อยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีที่ท่าว่าสามารถขยายได้ขึ้นเรื่อย ๆ ในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 บิต ดังนั้นเราจะเรียก 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 บิต เช่น PIC 16F877A ระบุว่ามีความจำ 1K ซึ่งหมายถึง 1 K word ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 ไบท์ = 8 บิต จะได้ว่า  $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$  บิต ดังนั้นก็คือ  $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75$  K ไบท์นั่นเอง

#### 2.1.6 สถาปัตยกรรมของ PIC

ตอนนี้มี 3 สายหลัก ๆ สมัยก่อนมีแค่สอง คือ ขึ้นต้นด้วย 16xxx , 17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากที่สุดคือ 16->17->18 คำสั่ง assembly ของ 17 และ 18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า ราคาจะสูงกว่าด้วยแต่ที่เป็นที่นิยม ก็คือตระกูล 16xxx ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว PIC 16 จะยึดถือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบว่าที่ว่ารวมทุกอย่างไว้ในตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใด ๆ เพิ่มเติม ผลที่ตามมา ก็คือแผ่นวงจรที่มีขนาดเล็กและอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียว โดยไม่ต้องใช้ chip อื่นมาต่อเพิ่มเลย นี่ก็คือคุณสมบัติพิเศษของ PIC ซึ่งปัจจุบันหลายบริษัทที่ผลิตก็จะเริ่มหันมาเลียนแบบแนวทางนี้ แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจากคอนเซปที่จะรวมทุกอย่างไว้ในตัวเดียวทำให้หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลไม่สามารถขยายโดยใช้หน่วยความจำภายนอกได้ (ในทางทฤษฎีของจริงทำได้ แต่ต้องใช้เทคนิคเล็กน้อย ซึ่งไม่นิยม) PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็ก ๆ ไม่ใช่งานใหญ่ที่จะต้องใช้การคำนวณและหน่วยความจำมากมาย

### 2.1.7 ชนิดของ PIC

MCU ในตระกูล PIC ถ้าแบ่งออกตามชนิดของหน่วยความจำโปรแกรม แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

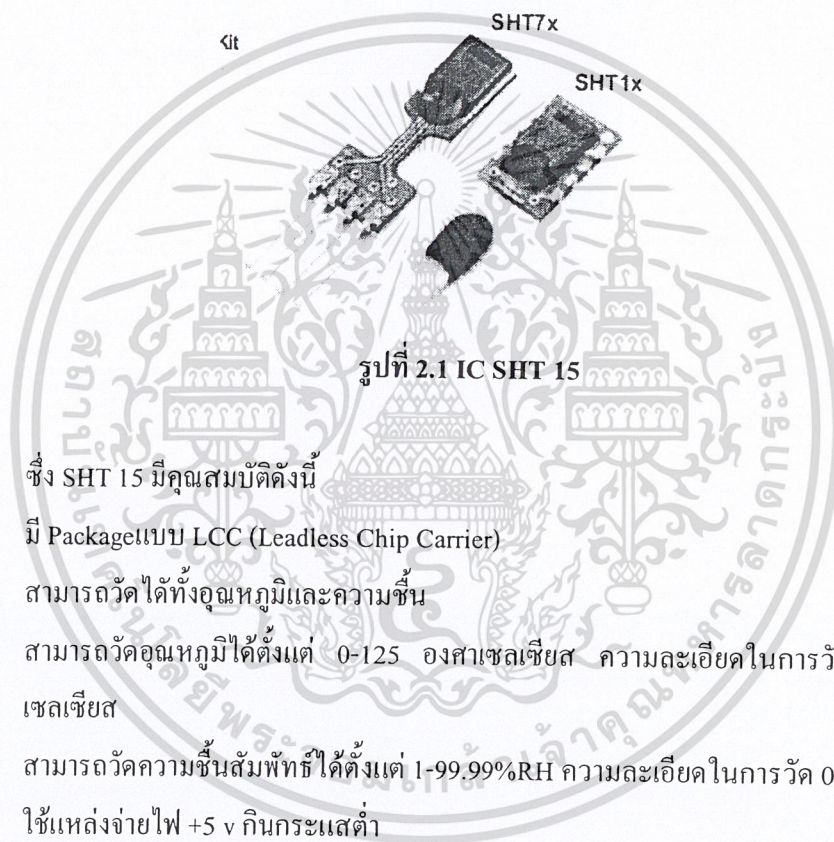
2.1.7.1 OTP (One Time Programmable) OTP เป็น chip ที่มีราคาถูกที่สุดในสามประเภท เนื่องจากสามารถทำการ โปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจาก chip ได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถ โปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก จึงนิยมใช้กับงานที่มีการพัฒนาโปรแกรมจนกระทั่ง ไม่มีจุดบกพร่องแล้ว เพราะจะมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับตัวอื่น จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัวเช่น 16C84, 16C74

2.1.7.2. EPROM (Erasable Programmable ROM) EPROM เป็น chip ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเมื่อเขียนเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ได้อีกด้วยการลบโปรแกรมตัวเดิมโดยใช้แสง UV ส่องผ่านเข้าไปในตัว chip ประมาณ 5-10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของ chip จะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV ผ่านเข้าไปในตัว chip แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกัน เมื่อลบโปรแกรมมาก ๆ เข้าตัว chip ก็จะหมดอายุเร็วขึ้น

2.1.7.3 EEPROM / Flash (Electrically Erasable Programmable ROM) เป็นตัวที่ออกมาไม่นาน สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่กี่วินาที และสามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุด 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอกเช่น 16F877A

## 2.2 ส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT 15

ส่วนวัดผลทางอุณหภูมิและความชื้นจะวัดค่าโดยใช้เซนเซอร์ SHT 15 เป็นเซนเซอร์ที่วัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น และมีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อก ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลภายในตัว SHT 15 เป็นอุปกรณ์ที่ให้ค่าเอาต์พุตเป็นข้อมูลดิจิทัล ค่าที่ได้ต้องนำมาผ่านสมการคำนวณตามสมการมาตรฐานของอุปกรณ์จึงจะได้ค่าเอาต์พุตที่แท้จริงเป็นค่าของอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 2.1 IC SHT 15

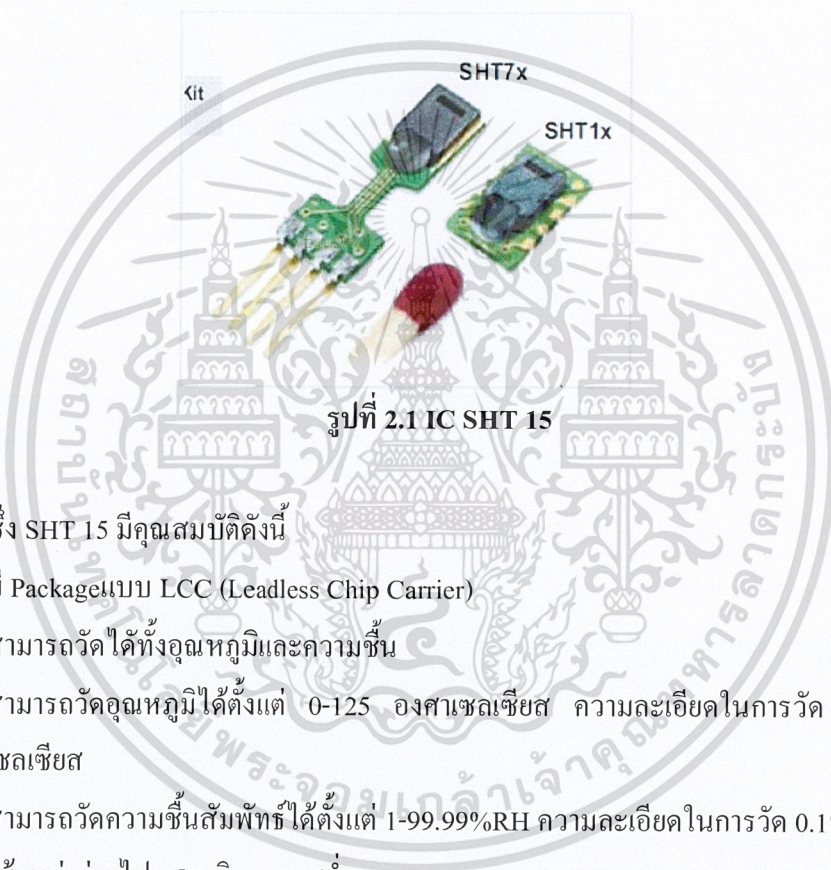
ซึ่ง SHT 15 มีคุณสมบัติดังนี้

- มี Package แบบ LCC (Leadless Chip Carrier)
- สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-125 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 0.1 องศาเซลเซียส
- สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 1-99.99%RH ความละเอียดในการวัด 0.1%RH
- ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5 v กินกระแสต่ำ
- ใช้สัญญาณในการควบคุม 2 เส้น คือ DATA และ CLOCK
- มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่ 0.5 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นที่ 3.5%RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT 15

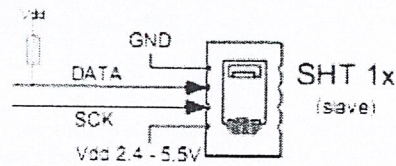
ส่วนวัดผลทางอุณหภูมิและความชื้นจะวัดค่าโดยใช้เซนเซอร์ SHT 15 เป็นเซนเซอร์ที่วัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น และมีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อก ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลภายในตัว SHT 15 เป็นอุปกรณ์ที่ให้ค่าเอาต์พุตเป็นข้อมูลดิจิทัล ค่าที่ได้ต้องนำมาผ่านสมการคำนวณตามสมการมาตรฐานของอุปกรณ์จึงจะได้ค่าเอาต์พุตที่แท้จริงเป็นค่าของอุณหภูมิและความชื้น



ซึ่ง SHT 15 มีคุณสมบัติดังนี้

- มี Package แบบ LCC (Leadless Chip Carrier)
- สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-125 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 0.1 องศาเซลเซียส
- สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 1-99.99%RH ความละเอียดในการวัด 0.1%RH
- ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5 v กินกระแสต่ำ
- ใช้สัญญาณในการควบคุม 2 เส้น คือ DATA และ CLOCK
- มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่ 0.5 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นที่ 3.5%RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของ SHT 15

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

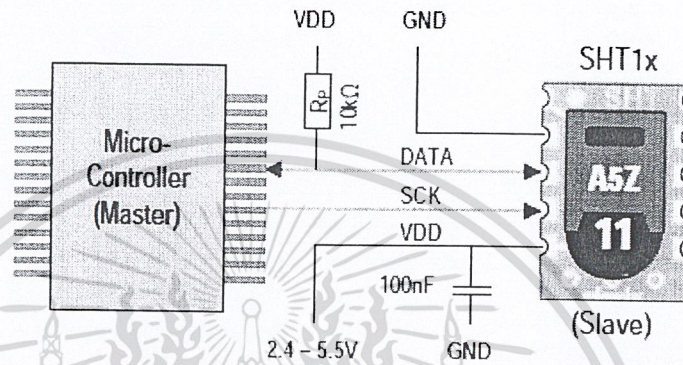
ตารางที่ 2.1 แสดงขาสัญญาณของ SHT 15

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC <sup>10</sup>		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average <sup>11</sup>	2	28		$\mu$ A
	sleep		0.3	1.5	$\mu$ A
Low level output voltage	$I_{OL} < 4 \text{ mA}$	0		250	mV
High level output voltage	$R_D < 25 \text{ k}\Omega$	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	$\mu$ A
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	$\mu$ A

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติ DC ของ SHT 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

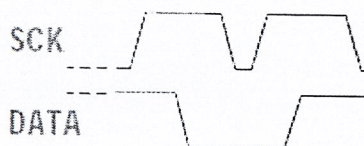
การนำไปใช้งานจะต่อวงจรลักษณะดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการต่อ SHT 15 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

- การต่อขา Vcc กับ GND ต้องต่อไฟเลี้ยงให้อยู่ระหว่าง 2.4 – 5.5 v หลังจากที่จ่ายไฟเข้าที่ตัว SHT 15 แล้วจะใช้เวลาประมาณ 11ms เพื่อเข้าสู่โหมด Sleep ดังนั้นต้องส่งข้อมูลก่อนที่ IC จะเข้าสู่โหมด Sleep ในการต่อ Vcc กับ GND ควรที่จะต่อ C 100 nF คร่อมระหว่างขา Vcc กับ GND
- การต่อขา DATA และขา SCK จะต่อแบบ Serial Interface (Bidirectional 2 wire) ซึ่งจะเป็นการต่อในลักษณะที่คล้ายกับ I2C แต่ไม่เหมือน I2C ทั้งหมด
- การต่อขา SCK จะเป็นการต่อแบบตรงระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SHT 15
- การต่อขา DATA จะมีการต่อ Pull up เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีค่าสูง และในช่วงที่ทำการส่ง DATA จำเป็นที่จะต้องทำให้ DATA เสถียรในขณะที่ SCK high ซึ่งแสดง Timing Diagram ดังรูป 2.4

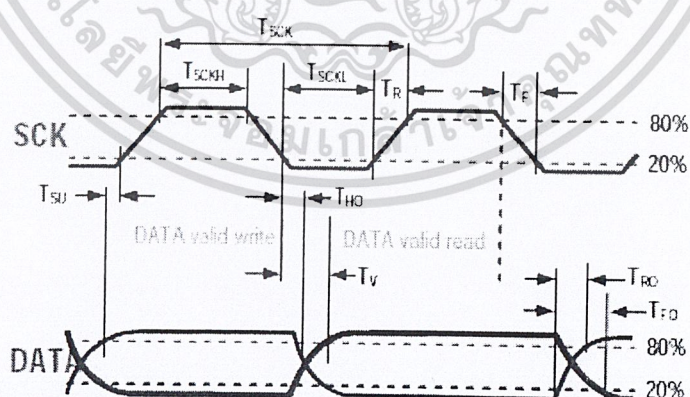
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง Timing Diagram ในช่วงการส่งข้อมูล

	Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F <sub>SCK</sub>	SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
		VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T <sub>SCKx</sub>	SCK hi/low time		100			ns
T <sub>R</sub> /T <sub>F</sub>	SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T <sub>FO</sub>	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T <sub>RO</sub>	DATA rise time		**	**	**	ns
T <sub>V</sub>	DATA valid time		200	250	***	ns
T <sub>SU</sub>	DATA setup time		100	150	***	ns
T <sub>HO</sub>	DATA hold time		10	15	****	ns

ร่างที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของสัญญาณ SCK และ DATA



รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของ Timing Diagram ของสัญญาณ DATA และ SCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ส่วนแสดงผลทาง LCD Module

เป็นจอแสดงผลแบบผลึกเหลวซึ่งเป็นสารที่รวมตัวกันอย่างได้สัดส่วนระหว่างของเหลวกับผลึก LCD

มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

- กินพลังงานน้อย ต้องการกำลังงานน้อย แรงดันต่ำ
- เชื้อถั่วได้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างและมีอายุการใช้งานนาน
- ง่ายที่จะทำการควบคุมการแสดงผลข้อมูล
- ราคาถูก ใช้งานได้กว้างขวาง

ซึ่งด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ LCD กลายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ผลิตออกสู่ท้องตลาดในยุคปัจจุบัน ในยุคแรก ๆ จะมีส่วนประกอบของนาฬิกา เครื่องคิดเลข หรือเครื่องมือวัดต่าง ๆ และต่อมาได้มีการพัฒนาเข้ามามีบทบาทในระบบคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของจอแสดงผลข้อมูล ในปัจจุบัน LCD ได้เข้ามาแทนที่จอภาพแบบ CRT (Cathode Ray Tube) ในการแสดงผลกราฟฟิก ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนที่จอภาพแบบ CRT ในที่สุด

ในโครงการนี้จะใช้ตัวแสดงผลแบบ LCD Module แบบแสดงตัวอักษรขนาด 20 x 2 (ขนาด 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด) ต่อใช้งาน ดังรูป 2.6

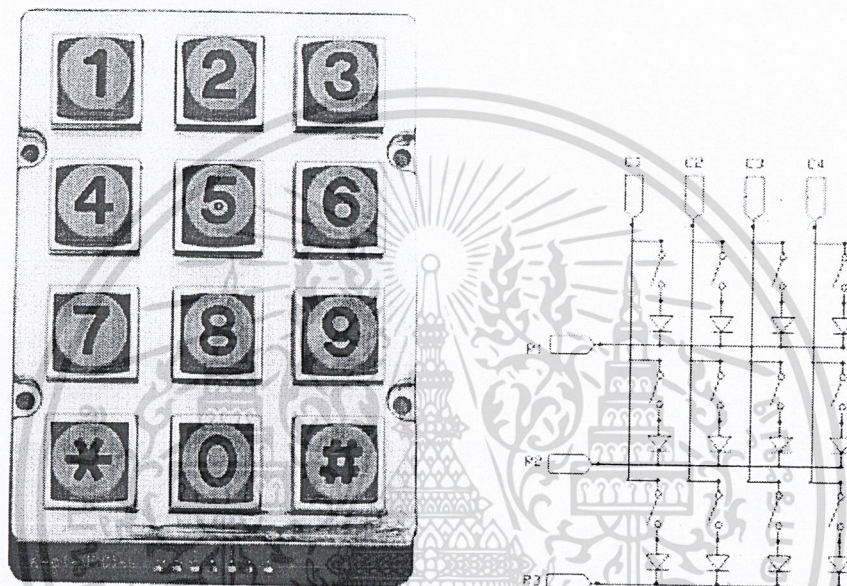


รูปที่ 2.6 จอแสดงผล LCD

## 2.4 Keypad หรือ สวิตซ์เมตริกซ์ 3 x 4

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตซ์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วย วงจรของสวิตซ์มีด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือเอกกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตซ์ตัวใดต้องจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสีย คือ ถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมาก ๆ จำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตาม ทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลืองวงจรของสวิตช์ อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแนวนอน จะเรียกแนวตั้งว่าหลัก หรือ คอลัมน์



รูปที่ 2.7 Keypad

## 2.5 ตัวทำความชื้นชนิด หัวพ่นหมอก (Fogger)

ตัวทำความชื้นถูกใช้ในการปรับระดับความชื้น ให้อยู่ในช่วงที่สามารถควบคุมได้ในระบบการทำงานของโรงเรือน เช่น โรงเรือนเพาะปลูกลดน้ำ ไร่เพาะปลูกเห็ด โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ หรือโรงเรือนเพาะปลูกพืชต่างประเทศ โดย ตัวทำความชื้นชนิดหัวพ่นหมอก (Fogger) มีคุณสมบัติดังนี้

- ปริมาณน้ำ (Flow) 9 L/H
- แรงดัน (Pressure) 3-4 Bar
- เป็นตัวกระจายน้ำให้เป็นหมอก เป็นละอองขนาดเล็ก

\* เนื่องจากรูมีขนาดเล็กควรใส่กรองน้ำที่ปั้มน้ำ เพื่อกรองเศษขนาดเล็กไม่ให้อุดตันหัวฉีด

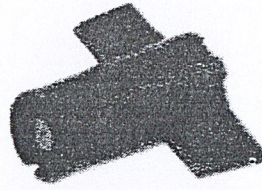
\*\* แรงดันมีผลกับการกระจายตัวเป็นหมอกและระยะทางของหัวฉีดตัวทำความชื้นจะสร้างกลุ่ม หมอก

ไอน้ำที่ปราศจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทั้งยังเป็นตัวทำความร้อนที่มีราคาไม่สูงมากเหมาะแก่การนำไปปรับใช้ในโรงเรียนเพราะ  
ขนาดเล็กได้อีกด้วย



รูปที่ 2.8 ตัวทำความร้อน

## 2.6 Heater

การเพิ่มอุณหภูมิในโครงการนี้ใช้หลอดไฟขนาด 60Watt แทนการใช้ Heater ที่มี  
สูงๆ เพียงตัวเดียว เพื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิในห้องปิด

โดยในการทำความร้อนนั้น เนื่องจากเป็นห้องจำลองขนาดเล็ก อีกทั้งหลอดไฟยัง  
ช่วยให้แสงสว่างแก่โรงเรียนได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

รูปที่ 2.9 Heater

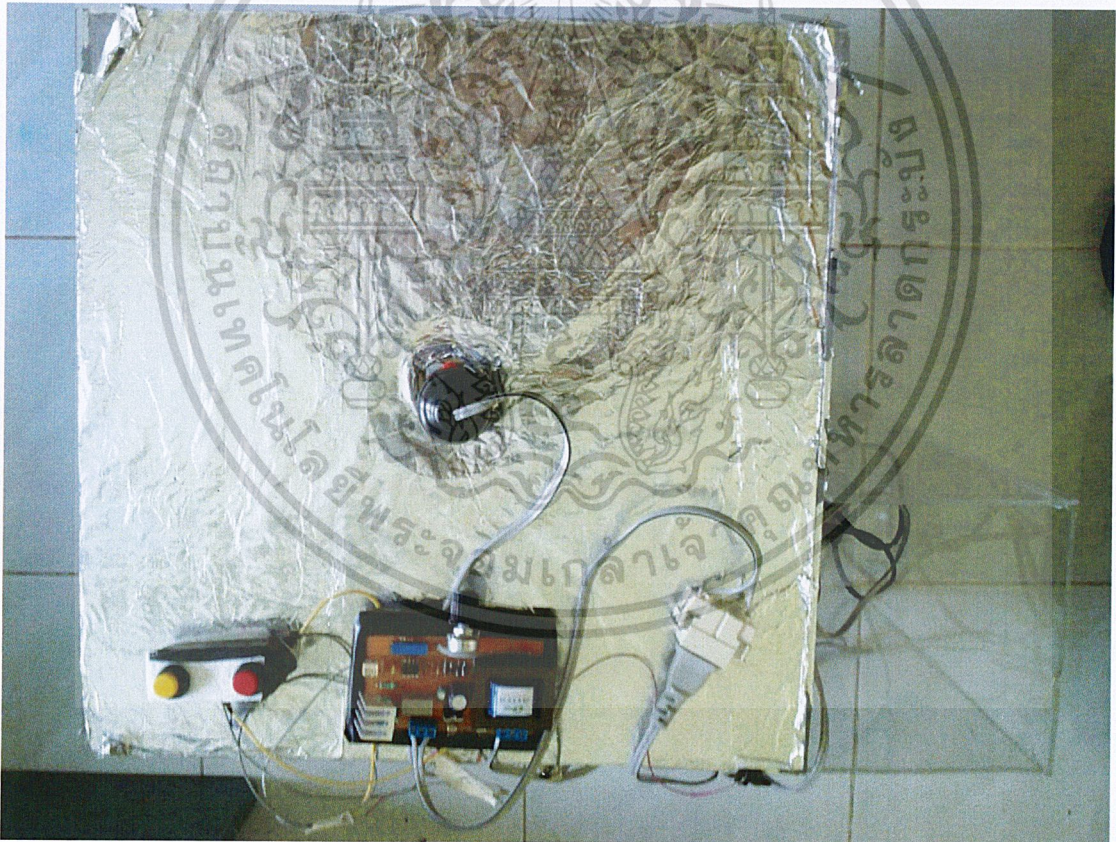
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบและการสร้าง

### 3.1 โครงสร้างโรงเรือน

โรงเรือนเป็นอะคริลิก มีความกว้าง 40 cm ยาว 40 cm สูง 40 cm มีกล่องเก็บตัวทำหมอก ซึ่งมีความกว้าง 40 cm ยาว 20 cm สูง 40 cm และมีแผงควบคุมบนโรงเรือน ที่ตัวโรงเรือนมีการติดอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ โดยมีพัดลมดูดความชื้น 1 ตัว พัดลมระบายอากาศ 1 ตัว Heater 1 ตัว และตัวทำหมอก 1 ตัว



รูปที่ 3.1 การออกแบบโรงเรือนจำลอง ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ออกแบบโรงเรือนจำลอง ด้านหน้า

### 3.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ของโรงเรือน จะต้องมีการควบคุม เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์หรือพืชแต่ละชนิด การควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ปัจจุบันส่วนมากจะใช้แรงงานคนในการควบคุม เช่นการใช้แรงงานคนเพื่อคอยตรวจสอบอุณหภูมิของโรงเรือนจากเทอร์โมมิเตอร์ หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพืช ก็ทำการแก้ไขโดยการเปิดเครื่องทำความร้อนหรือพัดลมระบายอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยาก ดังนั้นโครงการนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ภายในโรงเรือน และทำการศึกษาค้นคว้าระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมในโครงการนี้แบ่งออกเป็น

### 3.2.1 หน่วยอินพุต

ใช้เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในโรงเรือนแล้วส่งไปยังหน่วยประมวลผลหลัก และมี คีย์แพดทำหน้าที่ช่วยในการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลกับผู้ใช้ โดยจะนำข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน สู่คีย์แพดซึ่งได้แก่ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์หรือพืชแต่ละชนิด ส่งไปยังหน่วยประมวลผลต่อไป

### 3.2.2 หน่วยประมวลผล

หน้าที่หลักของหน่วยประมวลผลคือการประมวลสัญญาณอินพุตต่าง ๆ ตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ ผลของการประมวลผลอาจออกมาเป็นตัวอักษรต่าง ๆ บนจอ LCD และสัญญาณควบคุมส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ตรงตามเป้าหมาย

### 3.2.3 หน่วยเอาต์พุต

เป็นส่วนที่แสดงผลหรือข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลเช่นการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ในรูปของตัวอักษรบน LCD โมดูล เพื่อเป็นสิ่งแสดงให้ผู้ใช้รับรู้ถึงข้อมูลของต่าง ๆ ในระบบที่เกิดขึ้น แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน แสดงค่าเป้าหมายของระบบ สัญญาณควบคุมก็เป็นเอาต์พุตตัวหนึ่งที่หน่วยประมวลผลสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นคำสั่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้กับอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

### 3.2.4 อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

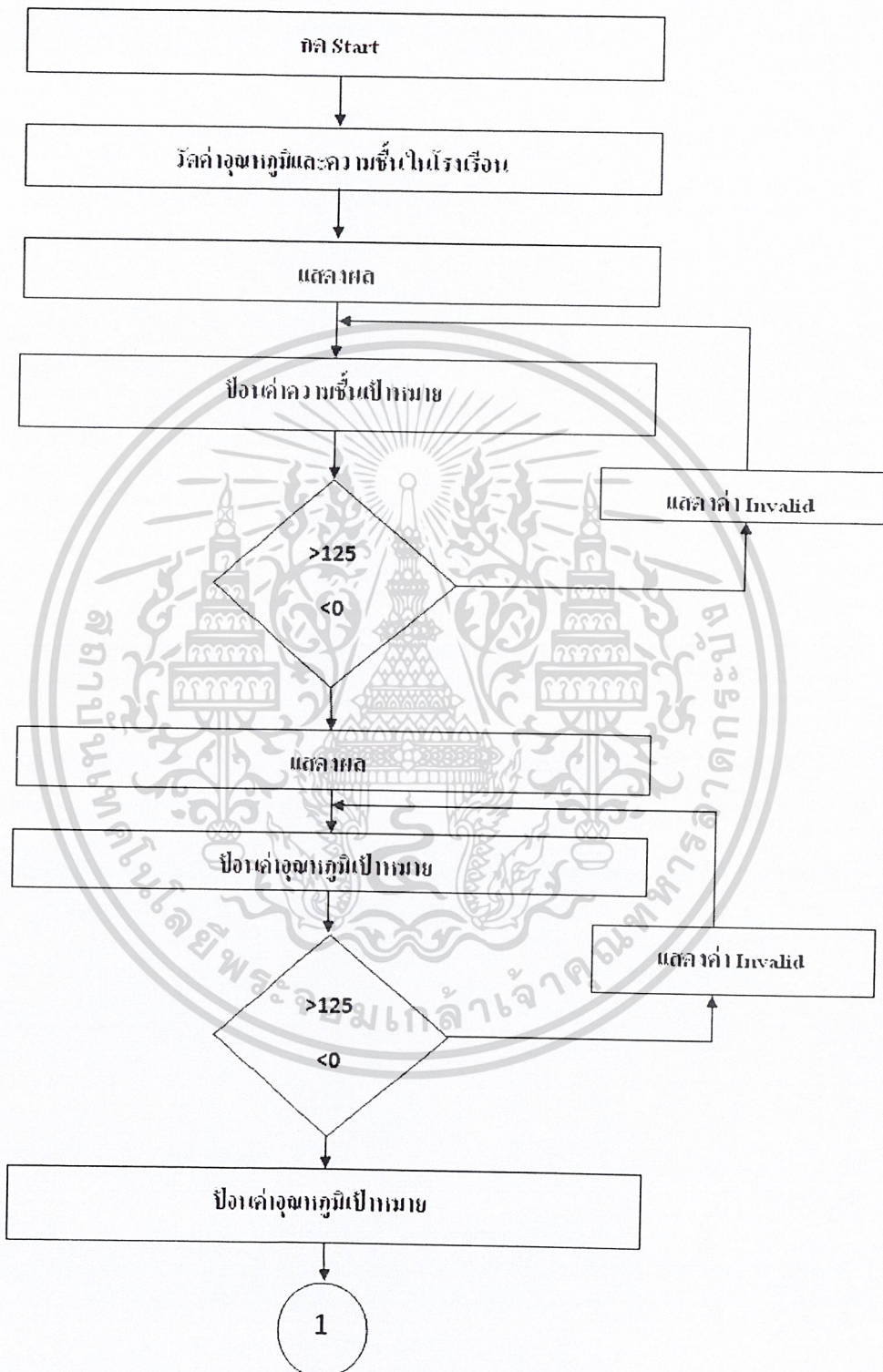
ได้แก่ ชุดควบคุม Heater, ตัวทำหมอก , พัดลมระบายอากาศและ พัดลมดูดอากาศ

## 3.3 หลักการทำงานของโครงการเบื้องต้น

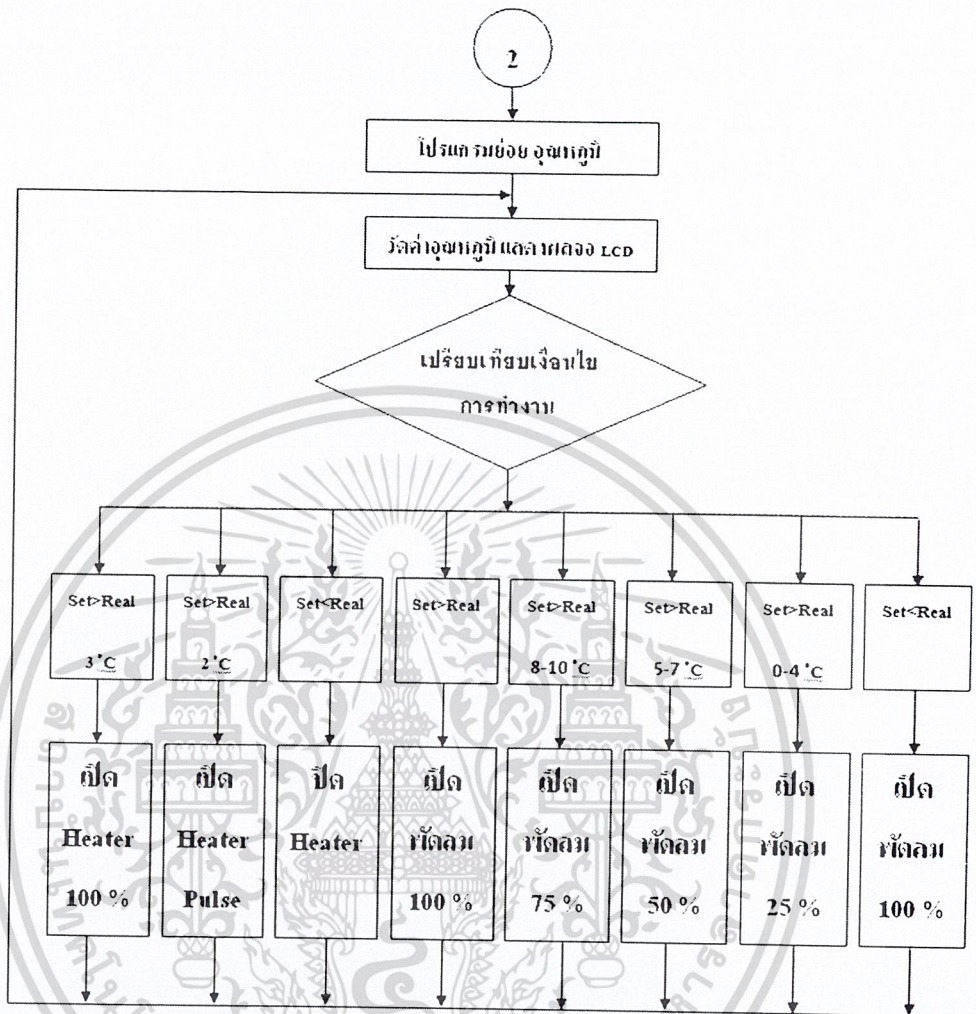
ภาพรวมหลักการทำงานของโครงการเรื่องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ในที่นี้เราเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A เป็นตัวประมวลผลหลักในการสั่งการทำงาน โดยที่จะรับค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านทาง Keypad และส่งต่อเข้าหาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ และค่าที่เราทำการตั้งไว้นี้จะแสดงผลที่จอ LCD ผ่านทางขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากที่เรป้อนค่าแล้ว ก็จะมีการประมวลผลโดยการเช็คอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน โดยเซนเซอร์จะตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ติดตั้งไว้ใน โรงเรือน และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่เราป้อนเข้าไป ถ้าค่าที่ป้อนเข้าไปสูงกว่าค่าที่เซนเซอร์วัดได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการสั่งให้ Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



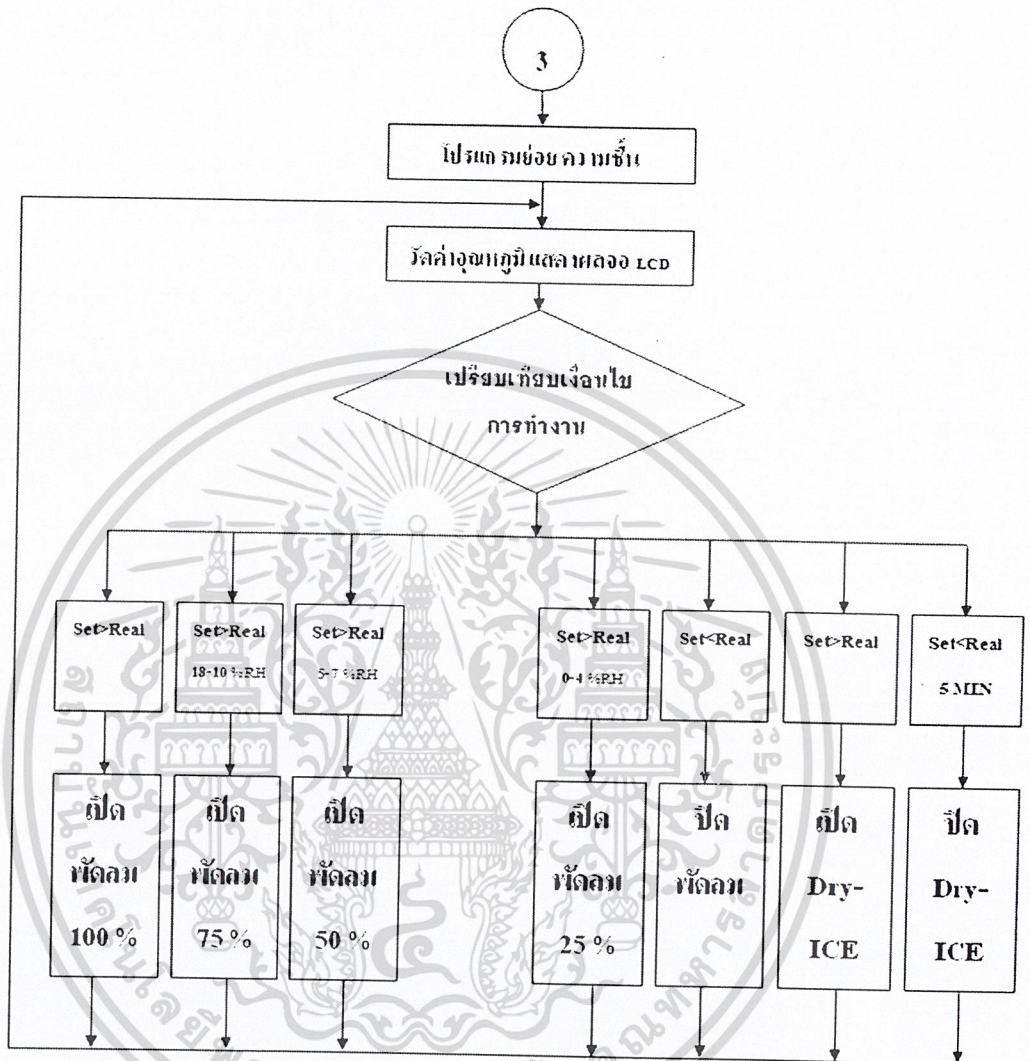


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และแสดงการควบคุมอุณหภูมิและควมชื้นในโรงเรือนใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

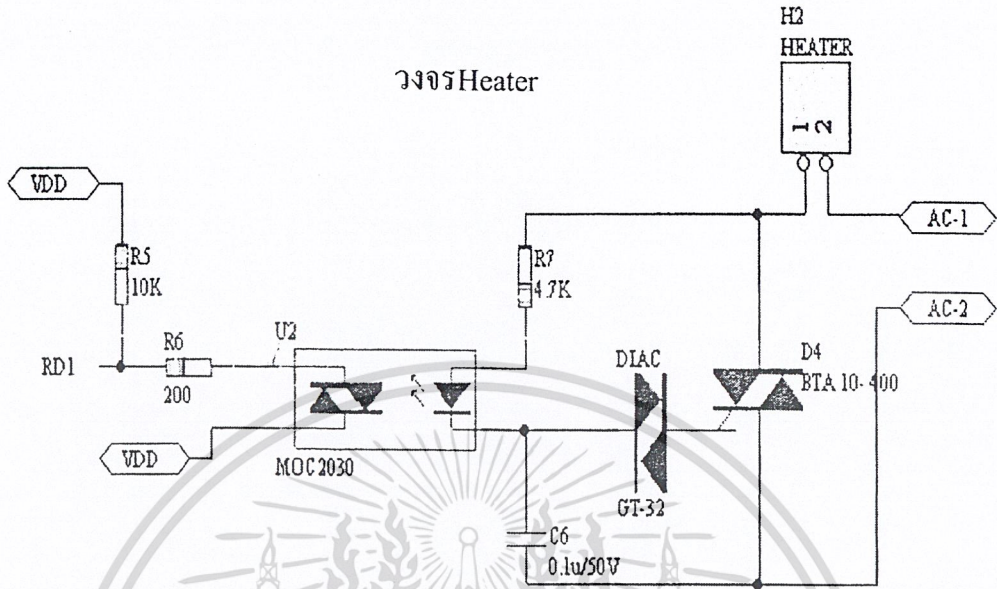


รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการควบคุมความชื้น

### 3.4 วงจรควบคุม Heater

เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับ Heater โดยรับสัญญาณจากหน่วยประมวลผลโดยมี Opto-Triac (MOC 2030) ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ทำงานด้วยแสง และทำการแยกกราวนซ์ของ Heater ออกจากกราวนซ์ของระบบควบคุม ในวงจรมี Diac (GT-32) เป็นตัวกระตุ้นขาเกิดของ Triac (BTA 10-400) ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ ไฟกระแสสลับให้กับ Heater

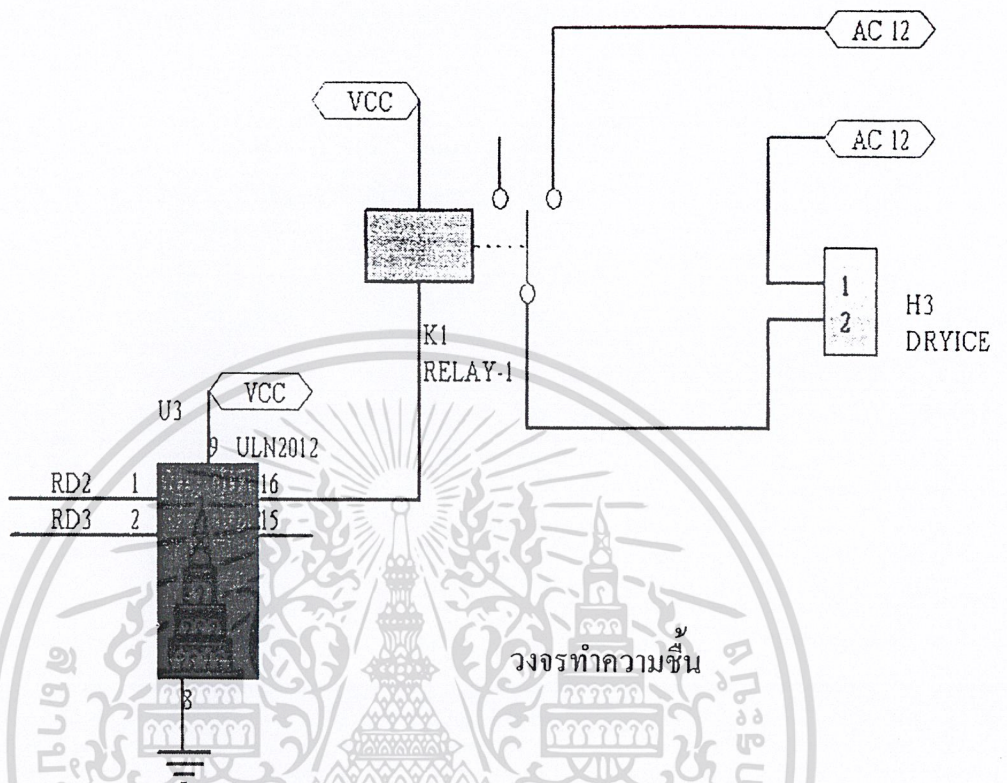
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจร Heater

### 3.5 วงจรควบคุมตัวทำความชื้น

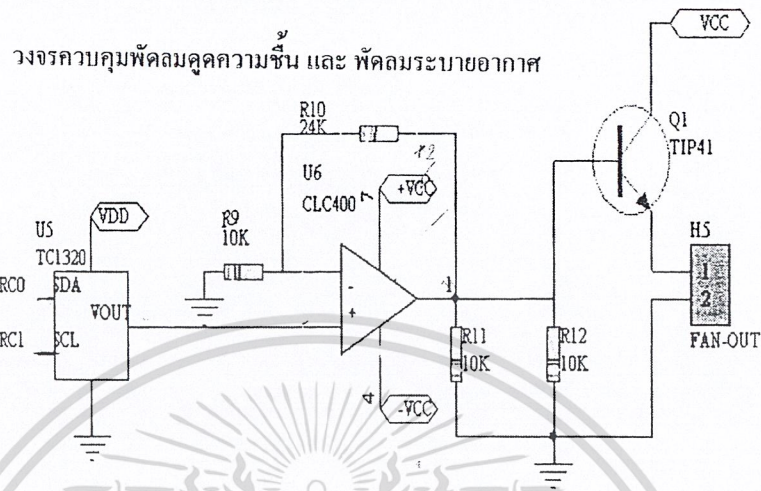
เป็นวงจรการจ่ายแรงดันเพื่อ เปิด - ปิดการทำงานของตัวทำความชื้น โดยรับสัญญาณจากหน่วยประมวลผล โดยมี IC (ULN 2003) เป็นตัวสั่งให้หน้าสัมผัส Relay ทำงานทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด การทำงานของตัวทำความชื้น



รูปที่ 3.8 วงจรทำความชื้น

### 3.6 วงจรควบคุมพัดลมดูดความชื้นและพัดลมระบายอากาศ

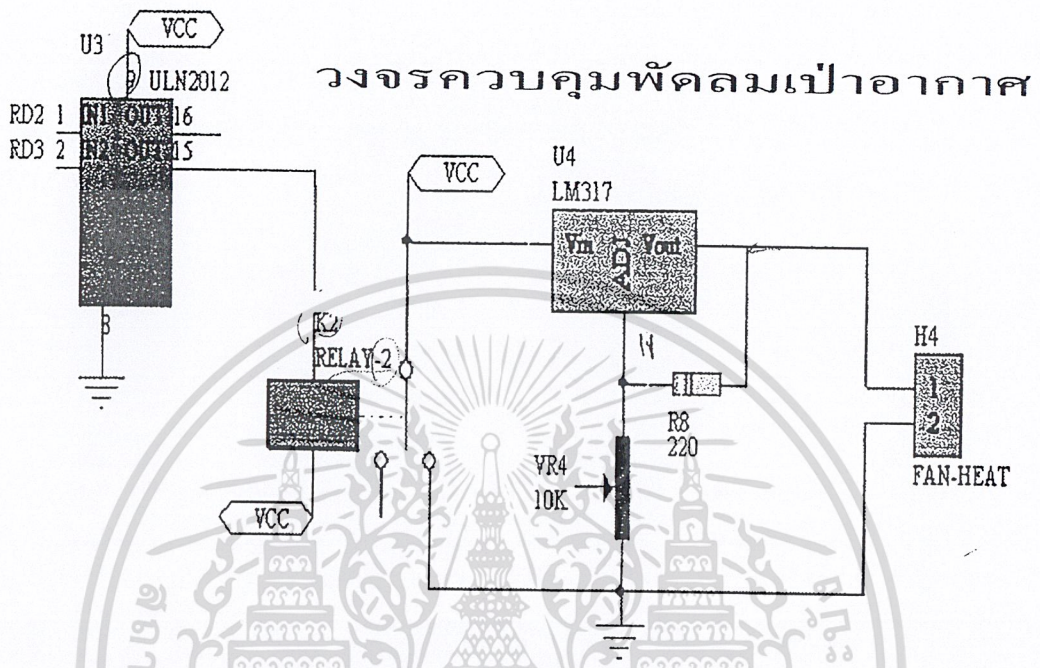
เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับพัดลม DC 12 v โดยรับสัญญาณจากหน่วยประมวลผล โดยมี DAC (TC 1320) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจาก Digital เป็น Analog 1-5 V ส่งสัญญาณไปยัง Op-amp (T41) เพื่อขยายแรงดันที่ได้มา 2.4 เท่า ส่งต่อให้ขาเบสของ Transistors (Tip41) เพื่อควบคุมพัดลม



3.9 วงจร ควบคุมพัดลมอุณหภูมิและ พัดลมระบายอากาศ

### 3.7 วงจรควบคุมพัดลมเป่าอากาศ

เป็นวงจรควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับพัดลม DC 12 V โดยรับสัญญาณจากหน่วยประมวลผล โดยมี IC (ULN 2003) เป็นตัวส่งให้หน้าสัมผัส Relay ทำงาน ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สั่งเปิด - ปิดการทำงานของพัดลม โดยมี LM 317 เป็นตัวปรับแรงดันที่ทำหน้าที่จ่ายให้กับพัดลม โดยปรับค่าที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ R 10K



### วงจรควบคุมพัดลมเป่าอากาศ

3.10 วงจรควบคุมพัดลมเป่าอากาศ

### 3.8 การใช้งานโปรแกรมควบคุม

ระบบควบคุมจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ ส่วนประมวลผล ส่วนแสดงผล ส่วนติดต่อผู้ใช้ อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ซึ่งเซนเซอร์และสัญญาณควบคุม โปรแกรมจะทำการเชื่อมโยงส่วนต่างๆ เหล่านี้มาทำงานร่วมกัน การทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปได้อย่างอัตโนมัติและเพื่อประโยชน์สูงสุดโปรแกรมควรสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้ตรงกับผู้ใช้งาน โปรแกรมควบคุมของโครงการถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายต่างๆ ได้ คือ อุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการ โดยผู้ใช้สามารถติดต่อกับหน่วยประมวลผลผ่านทางคีย์แพดและจอแสดงผล LCD

ขั้นตอนการใช้งาน

1. เปิดสวิตซ์ให้แกระบบควบคุมภายในโรงเรือน
2. เมื่อจ่ายไฟแกระบบ จะมีค่าความชื้นในห้อง อุณหภูมิในห้อง และค่าความชื้นที่ให้เซตค่ากับค่าอุณหภูมิที่ให้ เซตค่าขึ้นมา

3. ให้กดปุ่ม H ค้าง เพื่อตั้งค่าความชื้น โดยต้องกดเรียงตามลำดับเช่น จะกด ที่ 90%RH ต้องกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

090 เมื่อใส่ ค่าแล้วให้กด ENT

4. ให้กดปุ่ม T ค้างเพื่อตั้งค่าอุณหภูมิ โดยต้องกดเรียงลำดับเช่นเดียวกับค่าความชื้น เมื่อได้ค่าที่ต้องการให้กด ENT

5. หากในกรณีที่เกิดค่าผิดพลาดให้กด <แล้ว โปรแกรมจะเคลียร์ค่าออก

6. หากในกรณีที่เกิดเข้าโหมดผิดต้องการออกให้กด >แล้ว โปรแกรมจะออกจากโหมดนั้นให้

7. เมื่อป้อนข้อมูลลงไปเรียบร้อยแล้ว จากนั้นหน้าจอจะแสดงค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงเรือน และค่า อุณหภูมิ ความชื้นที่เราตั้งไว้ จนค่าอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่เป้าหมาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างวงจรตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น ระบบควบคุมอัตโนมัติ ทำการสร้างโรงเรือนจำลองจึงได้นำวงจรและอุปกรณ์มาทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นว่าสามารถควบคุมได้มีประสิทธิภาพเท่าไร

**4.1 การทดลองที่ 1** การควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยกำหนดค่าความชื้นคงที่ ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิในแต่ละย่านโดยให้ค่าความชื้นคงที่ จนได้ค่าอุณหภูมิเข้าสู่เป้าหมาย

ขั้นตอนการทดลอง

1. Set ค่าอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส และ Set ค่าความชื้นไว้ที่ 80%RH
2. บันทึกผลการทดลองตามเวลาที่เปลี่ยนไป
3. เปลี่ยนค่าอุณหภูมิใหม่ แต่ค่าความชื้นไว้เท่าเดิม
4. ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.1 , 4.2 , 4.3 และ 4.4

**4.2 การทดลองที่ 2** การควบคุมความชื้นภายในโรงเรือน โดยกำหนดค่าอุณหภูมิกงที่ ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมค่าความชื้นในแต่ละย่าน โดยให้ค่าอุณหภูมิกงที่ จนได้ค่าความชื้นเข้าสู่เป้าหมาย

ขั้นตอนการทดลอง

1. Set ค่าอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส และ Set ค่าความชื้นไว้ที่ 60%RH
2. บันทึกผลการทดลองตามเวลาที่เปลี่ยนไป
3. เปลี่ยนค่าความชื้นใหม่ แต่คงค่าอุณหภูมิไว้เท่าเดิม
4. ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การทดลองที่ 3 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยดูค่าเป้าหมายในเวลา 5 นาที

ในการทดลองนี้จะกำหนดย่านอุณหภูมิและความชื้นในหลาย ๆ ย่านและให้เวลา 5 นาทีในการที่จะให้ค่าที่เรา set เข้าสู่เป้าหมาย เพื่อดูค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ set กับค่าที่แท้จริงว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

ขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการภายในโรงเรือน
2. บันทึกผลการทดลองตามเวลาที่เปลี่ยนไป
3. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9

#### 4.4 การทดลองที่ 4 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยดูค่าเป้าหมายในเวลา 10 นาที

ในการทดลองนี้จะกำหนดย่านอุณหภูมิและความชื้นในหลาย ๆ ย่าน และให้เวลา 10 นาทีในการที่จะให้ค่าที่เรา set เข้าสู่เป้าหมาย เพื่อดูค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ set กับค่าที่แท้จริงว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

ขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการภายในโรงเรือน
2. บันทึกผลการทดลอง ตามเวลาที่เปลี่ยนไป
3. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

ค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนป้อนค่า		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
อุณหภูมิและความชื้นเป้าหมาย	35	80
อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้น	31	76
เวลา (วินาที)		
0	31	76
30	31	96
60	31	96
90	31	96
120	31	96
150	33	90
180	33	90
210	33	83
240	36	77
270	36	84
300	36	84
330	36	84
360	36	84
390	36	91
420	36	91
450	36	84
480	36	84
510	36	84

ตารางที่ 4.1 ตารางการทดลองตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนป้อนค่า		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
อุณหภูมิและความชื้นเป้าหมาย	45	80
อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้น	41	84
เวลา (วินาที)		
0	36	84
30	38	84
60	38	84
90	38	78
120	38	84
150	38	84
180	38	78
210	41	78
240	41	77
270	41	78
300	41	85
330	41	85
360	41	84
390	38	84
420	38	84
450	39	86
480	41	84
510	41	84

ตารางที่ 4.2 ตารางการทดลองตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนป้อนค่า		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
อุณหภูมิและความชื้นเป้าหมาย	45	80
อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้น	41	84
เวลา (วินาที)		
0	41	84
30	41	85
60	41	78
90	39	78
120	39	78
150	39	78
180	41	78
210	41	78
240	41	78
270	41	78
300	43	78
330	44	79
360	44	79
390	44	79
420	46	79
450	46	79
480	46	83
510	46	83

ตารางที่ 4.3 ตารางการทดลองตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนป้อนค่า		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
อุณหภูมิและความชื้นเป้าหมาย	50	80
อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้น	46	83
เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
0	46	83
30	46	78
60	46	79
90	46	79
120	46	79
150	46	79
180	46	71
210	49	71
240	49	71
270	49	71
300	49	71
330	49	71
360	49	71
390	49	71
420	49	71
450	49	71
480	49	71
510	49	71

ตารางที่ 4.4 ตารางการทดลองตอนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 5.1 ปัญหาและอุปสรรค

5.1.1 ปัญหาการสร้างความชื้นภายในระบบที่ไม่เพียงพอ ทำให้เมื่อ heater ทำงานอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าความชื้นที่ได้มีค่าความชื้นมีค่าลดต่ำลง โดยสวนทางกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ค่าความชื้นที่ได้ลดลงและไม่สามารถทำความชื้นตามเป้าหมายเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป

5.1.2 ปัญหาการวางตำแหน่งของเซนเซอร์ ที่หาตำแหน่งที่จะวางให้เหมาะสม ทำให้ค่าที่ได้จากการวัดออกมาอาจไม่ตรงกับค่าความเป็นจริงภายในห้องจำลองและจำนวนเซนเซอร์ที่น้อยเกินไป

#### 5.2 การแก้ไขและปรับปรุง

5.2.1 ควรมีการปรับปรุงตัวทำความชื้นให้มีขนาดและปริมาณที่เหมาะสมกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพื่อให้มีปริมาณที่เพียงพอ เมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและต้องการความชื้นควบคู่กัน เพื่อให้ระบบเป็นระบบที่สมบูรณ์แบบ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2 ควรเพิ่มเซนเซอร์อีก 3-4 ตัวเพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องจำลองเพื่อเปรียบเทียบค่าของมุมต่างๆ ภายในห้องจำลอง เพื่อให้ทราบค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เป็นค่าจริง และให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน

#### 5.3 แนวทางการพัฒนา

- 5.3.1 ทำการทดลองในเงื่อนไขเดิมซ้ำ ๆ หลายครั้ง เพื่อหาแนวทางในการควบคุมที่เหมาะสมกับแต่ละเงื่อนไข
- 5.3.2 เปลี่ยนตำแหน่งของพัดลมดูดอากาศให้และพัดลมระบายอากาศและตัวสร้างความชื้น ให้มีผลกระทบต่อ ระบบให้น้อยที่สุด
- 5.3.3 เพิ่มตัวเซนเซอร์ ให้มากขึ้นเพื่อให้ค่าที่ออกมาใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงในระบบโดยวัดค่าจากหลายๆจุด และนำมาเทียบหาค่าเฉลี่ย
- 5.3.4 เขียนโปรแกรมให้มีการรัดกุมเพื่อให้สามารถรองรับได้ทุกเงื่อนไขที่จะเกิดขึ้น
- 5.3.5 เพิ่มตัว Heater ให้มากขึ้น และ ให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 รูปและวิจารณ์

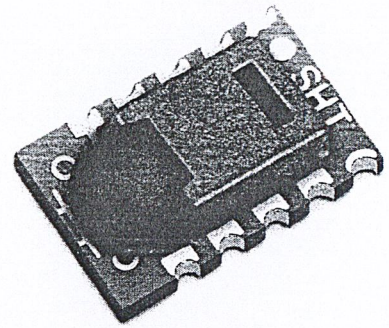
การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้ได้เป้าหมายนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น การควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำความร้อน การควบคุมพัดลมระบายอากาศ และพัดลมดูดอากาศ ความสามารถในการวัดสัญญาณของตัววัดสัญญาณบนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สภาพภายนอกของระบบ ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่มีผลที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาด ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ตลอดเวลา ดังนั้นก่อนที่จะมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบ เช่น ในการควบคุมอุณหภูมินั้น ตัวทำความร้อนมีความสำคัญมากต่อการควบคุม จึงจำเป็นต้องศึกษาและหาแนวทางการแก้ไข เช่น ช่วงระยะเวลาหนึ่งในการเปิดตัวทำความร้อน จนกระทั่งตัวทำความร้อนมีความร้อนเต็มที่จะมีผลอย่างมากต่อการควบคุมอุณหภูมิขณะเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย หากมีการส่งสัญญาณเป็นพัลส์ก็จะต้องกำหนดระยะเวลาในช่วง 1 พัลส์ให้แน่นอน เพื่อจะทำให้ควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายง่ายขึ้น หรืออาจลดแรงดันไฟ เพื่อให้ตัวทำความร้อนให้พลังงานความร้อนลดลง ซึ่งจะทำให้ควบคุมค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่ายขึ้น พัดลมดูดอากาศก็มีผลโดยตรงต่อการลดอุณหภูมิ ซึ่งอาจต้องใช้เวลานานมากในการลดอุณหภูมิ โดยใช้พัดลมดูดอากาศจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาสู่ระบบ ส่วนตัววัดอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเช่นเดียวกัน เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการวัดจะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลตั้งช่วงเวลาในการอ่านอุณหภูมิแต่ละครั้งต้องเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีในการนำค่าไปประมวลผล

ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เช่น พัดลมดูดอากาศ ซึ่งจะลดความชื้นที่เกิดจากตัวสร้างความชื้นเข้าสู่ระบบ ส่วนพัดลมระบายอากาศจะระบายความชื้นจากระบบสู่สภาพแวดล้อมภายนอก และตัวทำความร้อนมีผลกระทบโดยตรงต่อการลดความชื้น ต้องให้พลังงานความร้อนที่พอดีเพื่อไม่ให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจนเกินเป้าหมายไปมาก การเพิ่มความชื้นจะใช้เวลานาน ส่วนการลดความชื้นใช้พลังงานความร้อนจากตัวทำความร้อนใช้เวลาน้อยมากซึ่งจะทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นให้เข้าสู่เป้าหมายได้โดยง่ายและตัววัดความชื้นก็มีผลกระทบต่อควบคุมความชื้นเช่นกัน หากตัววัดความชื้นที่มีประสิทธิภาพดี มีความแม่นยำสูง มีค่าความผิดพลาดน้อยก็จะทำให้ระบบสามารถควบคุมความชื้นให้เข้าสู่เป้าหมายได้อย่างดีขึ้น

# Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)

## Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



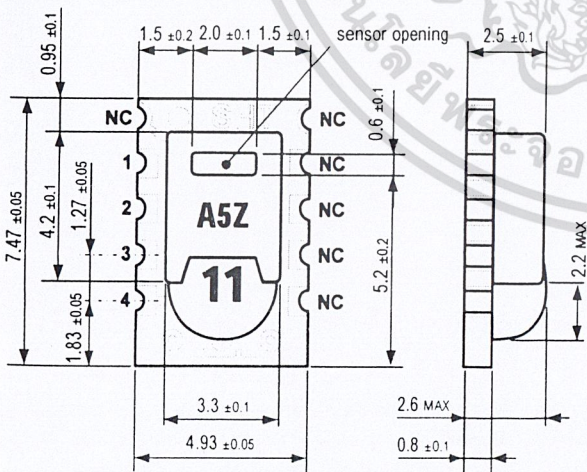
### Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

### Dimensions



**Figure 1:** Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

### Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

### Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

### Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-H4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check [www.sensirion.com/humidity](http://www.sensirion.com/humidity).

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Sensor Performance

## Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Non-linearity	linearized		<<1		%RH
Response time <sup>3</sup> $\tau$ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift <sup>4</sup>	normal		< 0.5		%RH/yr

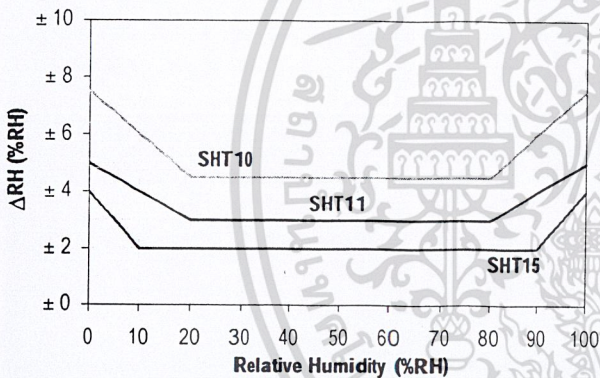


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

## Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time <sup>6</sup> $\tau$ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

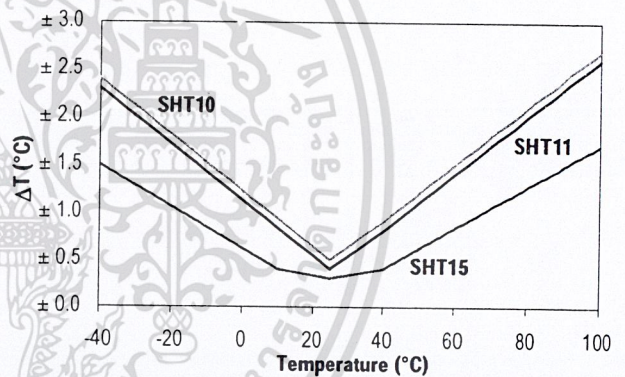


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

## Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption <sup>5</sup>	sleep		2	5	µW
	measuring		3		mW
	average		90		µW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

## Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

<sup>1</sup> The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

<sup>2</sup> Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.

<sup>3</sup> Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

<sup>4</sup> Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

<sup>5</sup> Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

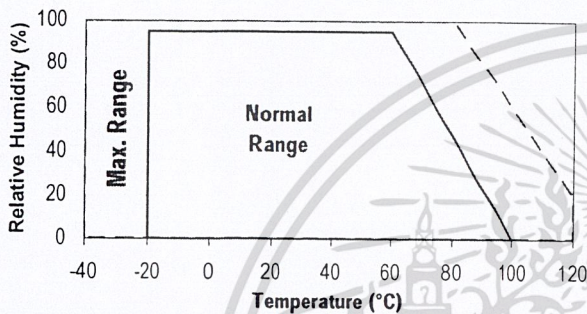
<sup>6</sup> Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

# Users Guide SHT1x

## 1 Application Information

### 1.1 Operating Conditions

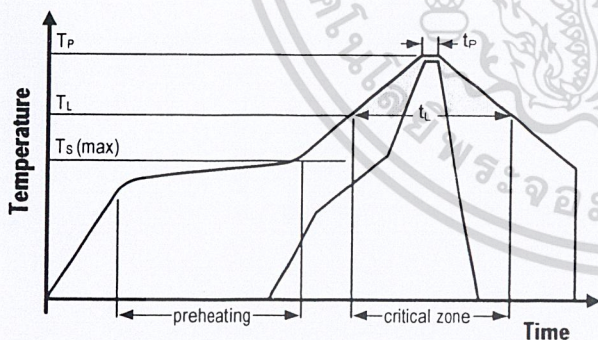
Sensor works stable within recommended normal range – see Figure 4. Long term exposures to conditions outside normal range, especially at humidity >80%RH, may temporarily offset the RH signal (+3 %RH after 60h). After return to normal range it will slowly return towards calibration state by itself. See Section 1.4 “Reconditioning Procedure” to accelerate eliminating the offset. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.



**Figure 4:** Operating Conditions

### 1.2 Soldering instructions

For soldering SHT1x standard reflow soldering ovens may be used. The sensor is qualified to withstand soldering profile according to IPC/JEDEC J-STD-020D with peak temperatures at 260°C during up to 40sec including Pb-free assembly in IR/Convection reflow ovens.



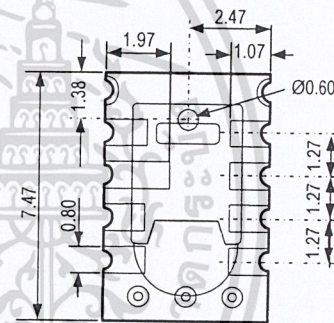
**Figure 5:** Soldering profile according to JEDEC standard.  $T_p \leq 260^\circ\text{C}$  and  $t_p < 40\text{sec}$  for Pb-free assembly.  $T_L < 220^\circ\text{C}$  and  $t_L < 150\text{sec}$ . Ramp-up/down speeds shall be  $< 5^\circ\text{C/sec}$ .

For soldering in Vapor Phase Reflow (VPR) ovens the peak conditions are limited to  $T_p < 233^\circ\text{C}$  during  $t_p < 60\text{sec}$  and ramp-up/down speeds shall be limited to  $10^\circ\text{C/sec}$ . For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to  $350^\circ\text{C}$ <sup>7</sup>.

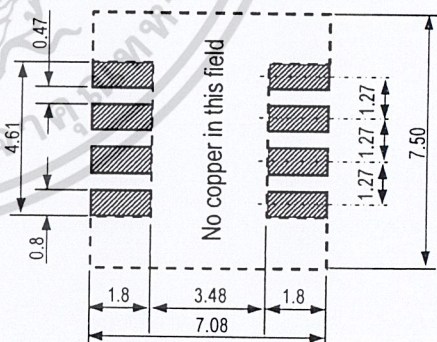
**IMPORTANT:** After soldering the devices should be stored at >75%RH for at least 12h to allow the polymer to re-hydrate. Otherwise the sensor may read an offset that slowly disappears if exposed to ambient conditions. Alternatively the re-hydration process may be performed at ambient conditions (>40%RH) during more than 5 days.

In no case, neither after manual nor reflow soldering, a board wash shall be applied. Therefore it is strongly recommended to use “no-clean” solder paste. In case of application with exposure of the sensor to corrosive gases or condensed water (i.e. environments with high relative humidity) the soldering pads shall be sealed (e.g. conformal coating) to prevent loose contacts or short cuts.

For the design of the SHT1x footprint it is recommended to use dimensions according to Figure 7. Sensor pads are coated with  $35\mu\text{m Cu}$ ,  $5\mu\text{m Ni}$  and  $0.1\mu\text{m Au}$ .



**Figure 6:** Rear side electrodes of sensor, view from top side.



**Figure 7:** Recommended footprint for SHT1x. Values in mm.

### 1.3 Storage Conditions and Handling Instructions

It is of great importance to understand that a humidity sensor is not a normal electronic component and needs to be handled with care. Chemical vapors at high concentration in combination with long exposure times may offset the sensor reading.

For these reasons it is recommended to store the sensors in original packaging including the sealed ESD bag at

<sup>7</sup> 233°C = 451°F, 260°C = 500°F, 350°C = 662°F

following conditions: Temperature shall be in the range of 10°C – 50°C (0 – 125°C for limited time) and humidity at 20 – 60%RH (sensors that are not stored in ESD bags). For sensors that have been removed from the original packaging we recommend to store them in ESD bags made of metal-in PE-HD<sup>8</sup>.

In manufacturing and transport the sensors shall be prevented of high concentration of chemical solvents and long exposure times. Out-gassing of glues, adhesive tapes and stickers or out-gassing packaging material such as bubble foils, foams, etc. shall be avoided. Manufacturing area shall be well ventilated.

For more detailed information please consult the document "Handling Instructions" or contact Sensirion.

### 1.4 Reconditioning Procedure

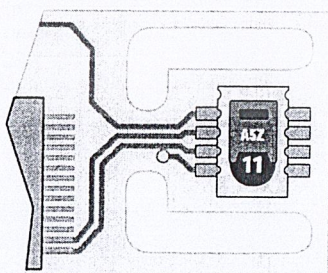
As stated above extreme conditions or exposure to solvent vapors may offset the sensor. The following reconditioning procedure may bring the sensor back to calibration state:

Baking: 100 – 105°C at < 5%RH for 10h  
 Re-Hydration: 20 – 30°C at ~ 75%RH for 12h<sup>9</sup>.

### 1.5 Temperature Effects

Relative humidity reading strongly depends on temperature. Therefore, it is essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured. In case of testing or qualification the reference sensor and test sensor must show equal temperature to allow for comparing humidity readings.

If the SHT1x shares a PCB with electronic components that produce heat it should be mounted in a way that prevents heat transfer or keeps it as low as possible. Measures to reduce heat transfer can be ventilation, reduction of copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB or milling a slit into the PCB around the sensor (see Figure 8).



**Figure 8:** Top view of example of mounted SHT1x with slits milled into PCB to minimize heat transfer.

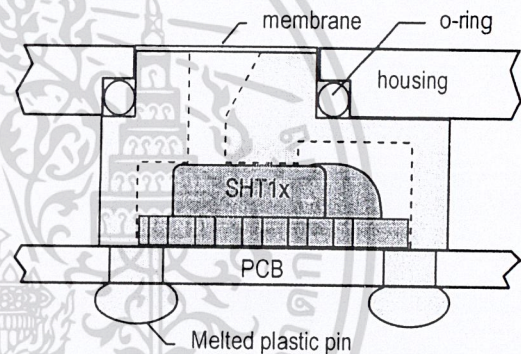
Furthermore, there are self-heating effects in case the measurement frequency is too high. Please refer to Section 3.3 for detailed information.

### 1.6 Light

The SHT1x is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

### 1.7 Membranes

SHT1x does not contain a membrane at the sensor opening. However, a membrane may be added to prevent dirt and droplets from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times the air volume behind the membrane must be kept minimal. Sensirion recommends and supplies the SF1 filter cap for optimal IP54 protection (for higher protection – i.e. IP67 - SF1 must be sealed to the PCB with epoxy). Please compare Figure 9.



**Figure 9:** Side view of SF1 filter cap mounted between PCB and housing wall. Volume below membrane is kept minimal.

### 1.8 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: Any metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF.

For sealing and gluing (use sparingly): Use high filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Out-gassing of these materials may also contaminate the SHT1x (see Section 1.3). Therefore try to add the sensor as a last manufacturing step to the assembly, store the assembly well ventilated after manufacturing or bake at >50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

### 1.9 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be

<sup>8</sup> For example, 3M antistatic bag, product "1910" with zipper

<sup>9</sup> 75%RH can conveniently be generated with saturated NaCl solution; 100 – 105°C correspond to 212 – 221°F, 20 – 30°C correspond to 68 – 86°F

resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals and/or using shielded cables. Furthermore, slowing down SCK frequency will possibly improve signal integrity. Power supply pins (VDD, GND) must be decoupled with a 100nF capacitor if wires are used. Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note “ESD, Latch-up and EMC” for more information.


**1.10 ESD (Electrostatic Discharge)**

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ±100mA with T<sub>amb</sub> = 80°C according to JEDEC78A. See Application Note “ESD, Latch-up and EMC” for more information.

**2 Interface Specifications**

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

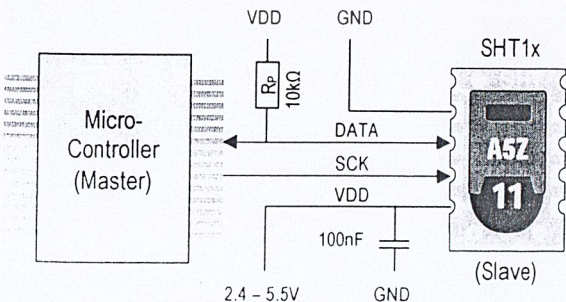


**Table 1:** SHT1x pin assignment, NC remain floating.

**2.1 Power Pins (VDD, GND)**

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I<sup>2</sup>C protocol; however, the sensor can be connected to an I<sup>2</sup>C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.



**Figure 10:** Typical application circuit, including pull up resistor R<sub>P</sub> and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

**2.2 Serial clock input (SCK)**

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

**2.3 Serial data (DATA)**

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK the DATA value may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T<sub>SU</sub> and T<sub>HO</sub> before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T<sub>V</sub> after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10kΩ) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

**2.4 Electrical Characteristics**

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise.

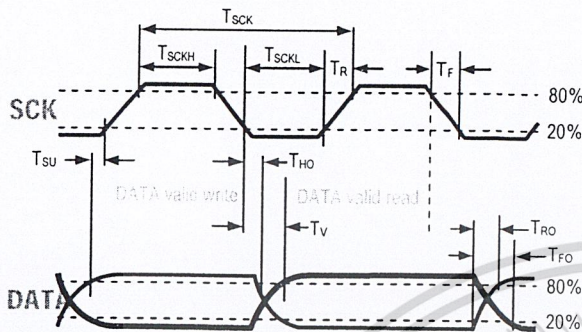
Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC <sup>10</sup>		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average <sup>11</sup>	2	28		µA
	sleep		0.3	1.5	µA
Low level output voltage	I <sub>OL</sub> < 4 mA	0		250	mV
High level output voltage	R <sub>P</sub> < 25 kΩ	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	µA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	µA

**Table 2:** SHT1x DC characteristics. R<sub>P</sub> stands for pull up resistor, while I<sub>OL</sub> is low level output current.

<sup>10</sup> Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

<sup>11</sup> Minimum value with one measurement of 8bit resolution without OTP reload per second. Typical value with one measurement of 12bit resolution per second.

Absolute maximum ratings for VDD versus GND are +7V and -0.3V. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the sensor reliability (e.g. hot carrier degradation, oxide breakdown). For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.



**Figure 11:** Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F <sub>SCK</sub> SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
	VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T <sub>SCKx</sub> SCK hi/low time		100			ns
T <sub>R</sub> /T <sub>F</sub> SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T <sub>FO</sub> DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
	OL = 100pF	30	40	200	ns
T <sub>RO</sub> DATA rise time		**	**	**	ns
T <sub>V</sub> DATA valid time		200	250	***	ns
T <sub>SU</sub> DATA setup time		100	150	***	ns
T <sub>HO</sub> DATA hold time		10	15	****	ns

\*  $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$   
 \*\*  $T_{RO}$  is determined by the  $R_P \cdot C_{bus}$  time-constant at DATA line  
 \*\*\*  $T_{V,max}$  and  $T_{SU,max}$  depend on external pull-up resistor ( $R_P$ ) and total bus line capacitance ( $C_{bus}$ ) at DATA line  
 \*\*\*\*  $T_{HO,max} < T_V - \max(T_{RO}, T_{FO})$

**Table 3:** SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

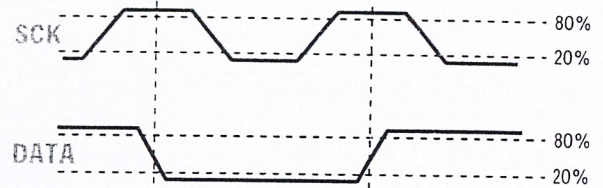
### 3 Communication with Sensor

#### 3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

#### 3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.



**Figure 12:** "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
<b>Measure Temperature</b>	<b>00011</b>
<b>Measure Relative Humidity</b>	<b>00101</b>
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
<b>Soft reset</b> , resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	<b>11110</b>

**Table 4:** SHT1x list of commands

#### 3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5<sup>th</sup> SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C, SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

### 3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

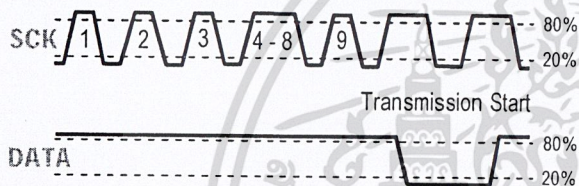


Figure 13: Connection Reset Sequence

### 3.5 CRC Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned. Please consult Application Note "CRC Checksum" for information on how to calculate the CRC.

### 3.6 Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end-of-battery notice, use of OTP reload or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features.

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figure 14 and Figure 15 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.

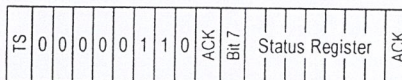


Figure 14: Status Register Write



Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figure 16 and Figure 17.

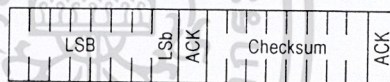
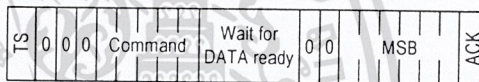


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

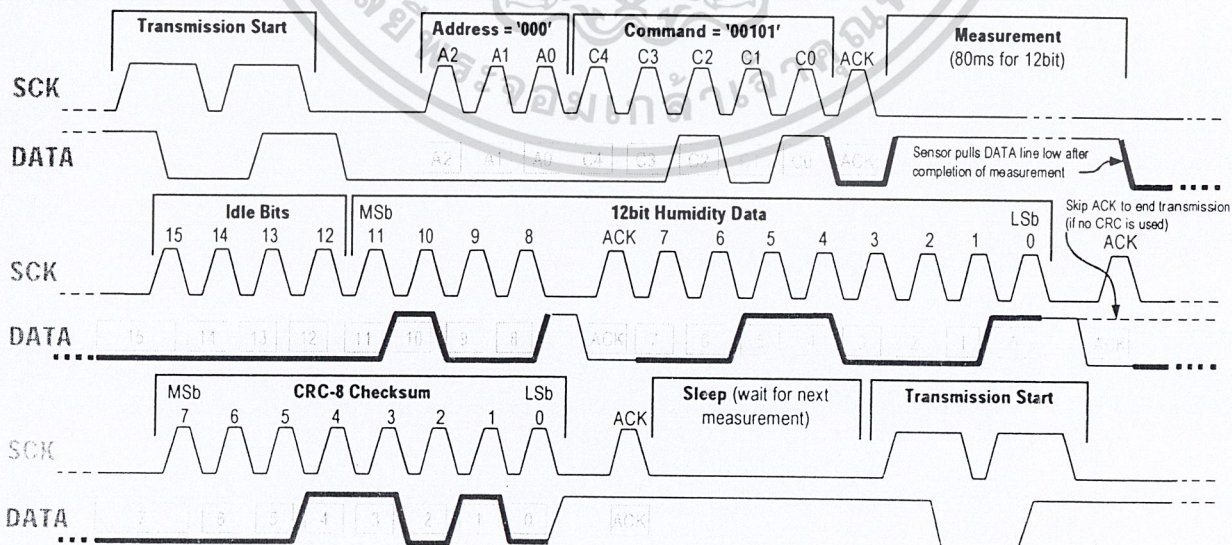


Figure 17: Example RH measurement sequence for value "0000'0100'0011'0001" = 1073 (35.50%RH (without temperature compensation)). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

Bit	Type	Description	Default	
7		reserved	0	
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X	No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0	
4		reserved	0	
3		For Testing only, do not use	0	
2	R/W	Heater	0	off
1	R/W	no reload from OTP	0	reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0	12bit RH 14bit Temp.

**Table 5:** Status Register Bits

**Measurement resolution:** The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

**End of Battery** function detects and notifies VDD voltages below 2.47V. Accuracy is ±0.05V.

**Heater:** An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by 5 – 10°C<sup>12</sup> beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

**OTP reload:** With this operation the calibration data is uploaded to the register before each measurement. This may be deactivated for reducing measurement time by about 10ms.

## 4 Conversion of Signal Output

### 4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout

(SO<sub>RH</sub>) with the following formula with coefficients given in Table 6:

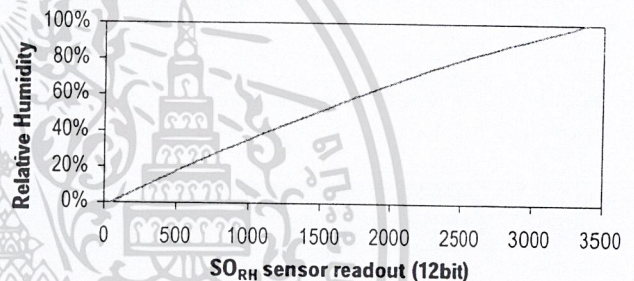
$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \text{ (%RH)}$$

SO <sub>RH</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

**Table 6:** V4 humidity conversion coefficients

The values given in Table 6 are optimized coefficients for V4 sensors. The parameter set for V3 sensors, which has been proposed in earlier datasheets, still applies and is provided by Sensirion upon request.

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH<sup>13</sup>. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.



**Figure 18:** Conversion from SO<sub>RH</sub> to relative humidity

### 4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from 25°C (~77°F) the humidity signal requires temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to 0.12%RH/°C @ 50%RH. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 7.

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO <sub>RH</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

**Table 7:** Temperature compensation coefficients<sup>14</sup>

### 4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design.

<sup>13</sup> If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.  
<sup>14</sup> Coefficients apply both to V3 as well as to V4 sensors.

<sup>12</sup> Corresponds to 9.18°F

Use the following formula to convert digital readout (SO<sub>T</sub>) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d <sub>1</sub> (°C)	d <sub>1</sub> (°F)	SO <sub>T</sub>	d <sub>2</sub> (°C)	d <sub>2</sub> (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

**Table 8:** Temperature conversion coefficients<sup>15</sup>.

#### 4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T<sub>d</sub>) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 9:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T <sub>n</sub> (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

**Table 9:** Parameters for dew point (T<sub>d</sub>) calculation.

Please note that “ln(...)” denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note “Introduction to Humidity”.

### 5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence

enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note “Qualification Guide”.

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. G qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100 temperature grade 2 test conditions listed in Table 10<sup>16</sup>. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer’s specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results <sup>17</sup>
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH / ≈2.3bar, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with T <sub>amb</sub> = 80°C, acc. JEDEC 17	Qualified

**Table 10:** Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated Stress Test, THB = Temperature Humidity Unbiased

## 6 Packaging

### 6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

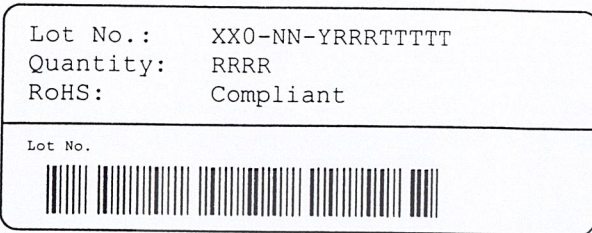
### 6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap (for reference: V3 sensors were labeled with numeric codes) – see “A5Z” on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production,

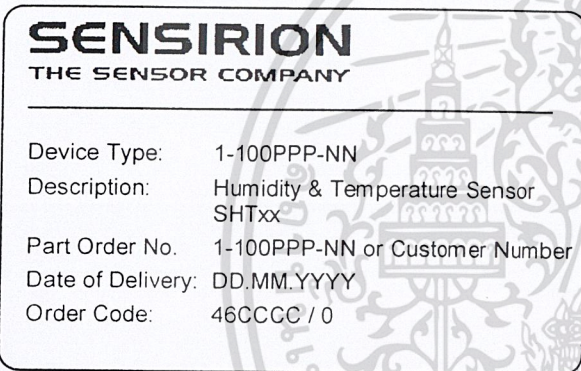
<sup>15</sup> Temperature coefficients have slightly been adjusted compared to datasheet SHT1x version 3.01. Coefficients apply to V3 as well as V4 sensors.  
<sup>16</sup> Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.  
<sup>17</sup> According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.

calibration and testing. No information can be derived from the code directly; respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.



**Figure 19:** First label on reel: XX = Sensor Type (11 for SHT11), NN = Chip Version (04 for V4), Y = last digit of year, RRR = number of sensors on reel divided by 10 (200 for 2000 units), TTTTT = Traceability Code.



**Figure 20:** Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

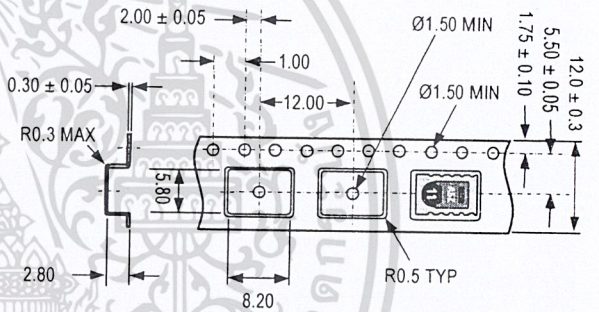
**6.3 Shipping Package**

SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs, 400pcs and 2000pcs – for details see Figure 21 and Table 11. Reels are individually labeled with barcode and human readable labels.

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

**Table 11:** Packaging types per sensor type.

Dimensions of packaging tape are given in Figure 21. All tapes have a minimum of 480mm empty leader tape (first pockets of the tape) and a minimum of 300mm empty trailer tape (last pockets of the tape).



**Figure 21:** Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Revision History

Date	Version	Page(s)	Changes
July 2008	4.0	1 – 11	New release, rework of datasheet
September 2008	4.1	3, 4	Adjustment of normal operating range and recommendation for antistatic bag
April 2009	4.2	2, 7	Amended foot note 2, communication diagram updated (Figure 17).
May 2010	4.3	1 – 11	Various errors corrected and additional information given (ask for change protocol).

## Important Notices

### Warning, Personal Injury

**Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Do not use this product for applications other than its intended and authorized use. Before installing, handling, using or servicing this product, please consult the data sheet and application notes. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

If the Buyer shall purchase or use SENSIRION products for any unintended or unauthorized application, Buyer shall defend, indemnify and hold harmless SENSIRION and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if SENSIRION shall be allegedly negligent with respect to the design or the manufacture of the product.

### ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take customary and statutory ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

### Warranty

SENSIRION warrants solely to the original purchaser of this product for a period of 12 months (one year) from the date of delivery that this product shall be of the quality, material and workmanship defined in SENSIRION's published specifications of the product. Within such period, if proven to be defective, SENSIRION shall repair and/or replace this product, in SENSIRION's discretion, free of charge to the Buyer, provided that:

- notice in writing describing the defects shall be given to SENSIRION within fourteen (14) days after their appearance;

- such defects shall be found, to SENSIRION's reasonable satisfaction, to have arisen from SENSIRION's faulty design, material, or workmanship;
- the defective product shall be returned to SENSIRION's factory at the Buyer's expense; and
- the warranty period for any repaired or replaced product shall be limited to the unexpired portion of the original period.

This warranty does not apply to any equipment which has not been installed and used within the specifications recommended by SENSIRION for the intended and proper use of the equipment. EXCEPT FOR THE WARRANTIES EXPRESSLY SET FORTH HEREIN, SENSIRION MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THE PRODUCT. ANY AND ALL WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE EXPRESSLY EXCLUDED AND DECLINED.

SENSIRION is only liable for defects of this product arising under the conditions of operation provided for in the data sheet and proper use of the goods. SENSIRION explicitly disclaims all warranties, express or implied, for any period during which the goods are operated or stored not in accordance with the technical specifications.

SENSIRION does not assume any liability arising out of any application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters, including without limitation recommended parameters, must be validated for each customer's applications by customer's technical experts. Recommended parameters can and do vary in different applications.

SENSIRION reserves the right, without further notice, (i) to change the product specifications and/or the information in this document and (ii) to improve reliability, functions and design of this product.

Copyright© 2009, SENSIRION.  
CMOSens® is a trademark of Sensirion  
All rights reserved

## Headquarter and Sales Offices

### Headquarter

SENSIRION AG  
Laubisruetistr. 50  
CH-8712 Staefa ZH  
Switzerland

Phone: +41 44 306 40 00  
Fax: +41 44 306 40 30  
[info@sensirion.com](mailto:info@sensirion.com)  
<http://www.sensirion.com/>

### Sales Office USA:

SENSIRION Inc.  
2801 Townsgate Rd., Suite 204  
Westlake Village, CA 91361  
USA

Phone: +1 805 409 4900  
Fax: +1 805 435 0467  
[michael.karst@sensirion.com](mailto:michael.karst@sensirion.com)  
<http://www.sensirion.com/>

### Sales Office Japan:

SENSIRION JAPAN Co. Ltd.  
Postal Code: 108-0074  
Shinagawa Station Bldg. 7F,  
4-23-5, Takanawa, Minato-ku  
Tokyo, Japan

Phone: +81 3 3444 4940  
Fax: +81 3 3444 4939  
[info@sensirion.co.jp](mailto:info@sensirion.co.jp)  
<http://www.sensirion.co.jp>

### Sales Office Korea:

SENSIRION KOREA Co. Ltd.  
#1414, Anyang Construction Tower B/D,  
1112-1, Bisan-dong, Anyang-city  
Gyeonggi-Province  
South Korea

Phone: +82 31 440 9925~27  
Fax: +82 31 440 9927  
[info@sensirion.co.kr](mailto:info@sensirion.co.kr)  
<http://www.sensirion.co.kr>

### Sales Office China:

Sensirion China Co. Ltd.  
Room 2411, Main Tower  
Jin Zhong Huan Business Building,  
Futian District, Shenzhen,  
Postal Code 518048  
PR China

phone: +86 755 8252 1501  
fax: +86 755 8252 1580  
[info@sensirion.com.cn](mailto:info@sensirion.com.cn)  
[www.sensirion.com.cn](http://www.sensirion.com.cn)

## CLC400

### Fast Settling, Wideband Low Gain Monolithic Op Amp

#### General Description

The CLC400 is a high speed, fast setting operational amplifier designed for low gain applications. Constructed using a unique, proprietary design and an advanced complementary bipolar process, the CLC400 offers performance far beyond that normally offered by ordinary monolithic op amps. In addition, unlike many other high speed op amps the CLC400 offers both high performance and stability without the need for compensation circuitry — even at a gain of +1.

The fast 12ns settling to 0.05% and its ability to drive capacitive loads makes the CLC400 an ideal flash A/D driver. The wide bandwidth of 200MHz and the very linear phase ensure unsurpassed signal fidelity. Systems employing digital to analog converters also benefit from the use of the CLC400 — especially if linearity and drive levels are important to system performance.

The CLC400 provides a simple, high performance solution for video distribution and line driving applications. The 50mA output current and guaranteed specifications for 100Ω loads provide ample drive capability and assured performance.

The CLC400 is based on National's proprietary op amp topology that uses current feedback instead of the usual voltage feedback. This unique design has many advantages over conventional designs (such as settling time that is relatively independent of gain), yet it is used in basically the same way (see the gain equations in *Figure 1* and *Figure 2*). However, an understanding of the topology will aid in achieving the best performance. The following discussion will proceed for the non-inverting gain configuration with the inverting mode analysis being very similar.

#### Enhanced Solutions (Military/Aerospace)

SMD Number: 5962-89970

Space level versions also available.

For more information, visit <http://www.national.com/mil>

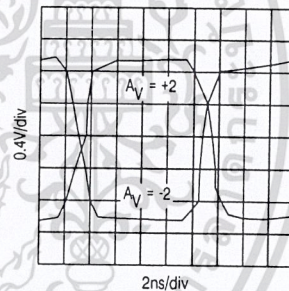
#### Features

- -3dB bandwidth of 200MHz
- 0.05% settling in 12ns
- Low power, 150mW
- Low distortion, -60dBc at 20MHz
- Stable without compensation
- Overload and short circuit protected
- ±1 to ±8 closed loop gain range

#### Applications

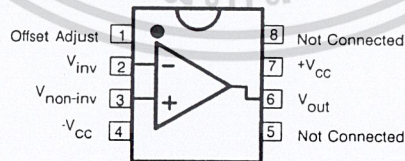
- Flash, precision A/D conversion
- Video distribution
- Line drivers
- D/A current-to-voltage conversion
- Photodiode, CCD preamps
- IF processors
- High speed communications

Pulse Response



01274309

#### Connection Diagram



01274319

Pinout  
DIP & SOIC

## Ordering Information

Package	Temperature Range Industrial	Part Number	Package Marking	NSC Drawing
8-pin plastic DIP	-40°C to +85°C	CLC400AJP	CLC400AJP	N08E
8-pin plastic SOIC	-40°C to +85°C	CLC400AJE	CLC400AJE	M08A



**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	$\pm 7V$
$I_{OUT}$	
Output is short circuit protected to ground, but maximum reliability will be maintained if $I_{OUT}$ does not exceed...	60mA
Common Mode Input Voltage	$\pm V_{CC}$
Differential Input Voltage	10V
Junction Temperature	+150°C

Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Solder Duration (+300°C)	10 sec
ESD rating (human body model)	500V

**Operating Ratings**

## Thermal Resistance

Package	( $\theta_{JC}$ )	( $\theta_{JA}$ )
MDIP	70°C/W	125°C/W
SOIC	65°C/W	145°C/W

**Electrical Characteristics**

$A_V = +2$ ,  $V_{CC} = \pm 5V$ ,  $R_L = 100\Omega$ ,  $R_f = 250\Omega$ ; Unless Specified

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max/Min Ratings (Note 2)			Units
Ambient Temperature		CLC400AJ	+25°C	-40°C	+25°C	+85°C	
<b>Frequency Domain Response</b>							
SSBW	-3dB Bandwidth	$V_{OUT} < 0.5V_{PP}$	200	150	150	120	MHz
LSBW		$V_{OUT} < 5V_{PP}$ , $A_V = +5$	50	35	35	35	MHz
	Gain Flatness	$V_{OUT} < 0.5V_{PP}$					
GFPL	Peaking	<40MHz	0	0.4	0.3	0.4	dB
GFPH	Peaking	>40MHz	0	0.7	0.5	0.7	dB
GFR	Rolloff	<75MHz	0.6	1.0	1.0	1.3	dB
LPD	Linear Phase Deviation	to 75MHz	0.2	1.0	1.0	1.2	deg
<b>Time Domain Response</b>							
TRS	Rise and Fall Time	0.5V Step	1.6	2.4	2.4	2.4	ns
TRL		5V Step	6.5	10	10	10	ns
TSP	Settling Time to $\pm 0.1\%$	2V Step	10	13	13	13	ns
TS	Settling Time to $\pm 0.05\%$	2V Step	12	15	15	15	ns
OS	Overshoot	0.5V Step	0	15	10	10	%
SR	Slew Rate	$A_V = +2$	700	430	430	430	V/ $\mu$ s
SR1		$A_V = -2$	1600	-	-	-	V/ $\mu$ s
<b>Distortion And Noise Response</b>							
HD2	2nd Harmonic Distortion	$2V_{PP}, 20MHz$	-60	-40	-45	-45	dBc
HD3	3rd Harmonic Distortion	$2V_{PP}, 20MHz$	-60	-50	-50	-50	dBc
	Equivalent Input Noise						
SNF	Noise Floor	>1MHz	-157	-154	-154	-153	dBm (1Hz)
INV	Integrated Noise	1MHz to 200MHz	40	57	57	63	$\mu$ V
<b>Static, DC Performance</b>							
VIO	Input Offset Voltage (Note 3)		2	$\pm 8.2$	$\pm 5.0$	$\pm 9.0$	mV
DVIO	Average Temperature Coefficient		20	$\pm 40$	-	$\pm 40$	$\mu$ V/°C
IIB	Input Bias Current (Note 3)	Non-Inverting	10	$\pm 36$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\mu$ A
DIBN	Average Temperature Coefficient		100	$\pm 200$	-	$\pm 100$	nA/°C
IBI	Input Bias Current (Note 3)	Inverting	10	$\pm 36$	$\pm 20$	$\pm 30$	$\mu$ A
DIBI	Average Temperature Coefficient		50	$\pm 200$	-	$\pm 100$	nA/°C
PSRR	Power Supply Rejection Ratio		50	45	45	45	dB
CMRR	Common Mode Rejection Ratio		50	45	45	45	dB
ICC	Supply Current (Note 3)	No Load	15	23	23	23	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (Continued)

$A_V = +2$ ,  $V_{CC} = \pm 5V$ ,  $R_L = 100\Omega$ ,  $R_f = 250\Omega$ ; Unless Specified

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max/Min Ratings (Note 2)				Units
<b>Miscellaneous Performance</b>								
RIN	Non Inverting Input	Resistance	200	>50	>100	>100	k $\Omega$	
CIN		Capacitance	0.5	<2.0	<2.0	<2.0	pF	
RO	Output Impedance	At DC	0.1	<0.2	<0.2	<0.2	$\Omega$	
VO	Output Voltage Range	No Load	$\pm 3.5$	>3.0	>3.2	>3.2	V	
CMIR	Common Mode Input Range	For Rated Performance	$\pm 2.1$	>1.2	>2.0	>2.0	V	
IO	Output Current		$\pm 60$	>35	>50	>50	mA	

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" specifies conditions of device operation.

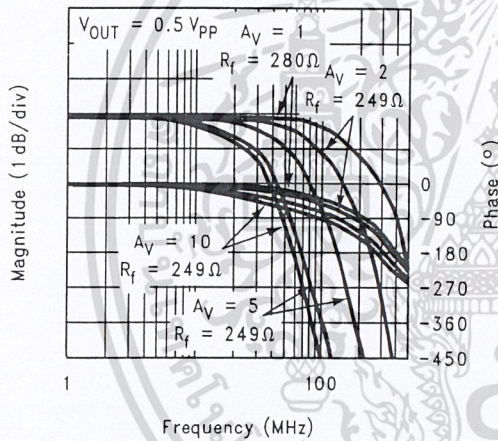
**Note 2:** Max/min ratings are based on product characterization and simulation. Individual parameters are tested as noted. Outgoing quality levels are determined from tested parameters.

**Note 3:** AJ-level: spec. is 100% tested at +25°C, sample at 85°C.

## Typical Performance Characteristics

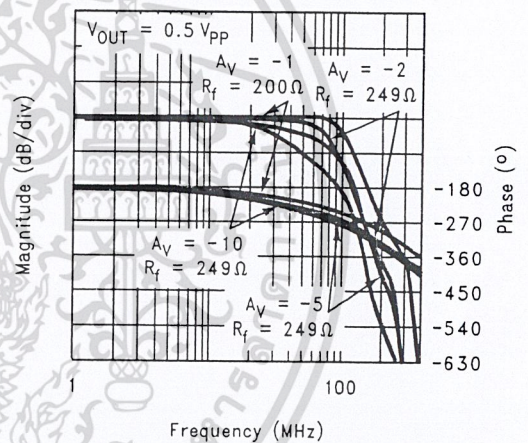
( $T_A = 25^\circ C$ ,  $A_V = +2$ ,  $V_{CC} = \pm 5V$ ,  $R_L = 100\Omega$ ; Unless Specified).

Non-Inverting Frequency Response



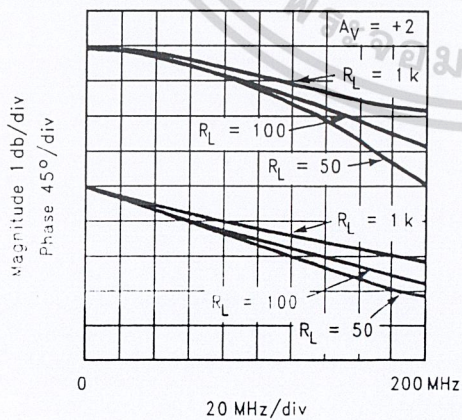
01274301

Inverting Frequency Response



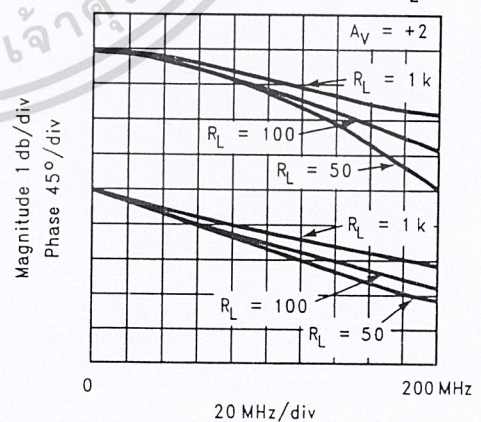
01274302

Frequency Response for Various  $R_L$ S



01274303

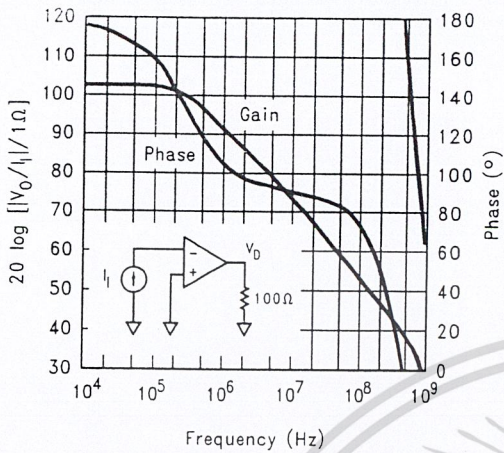
Frequency Response for Various  $R_L$ S



01274303

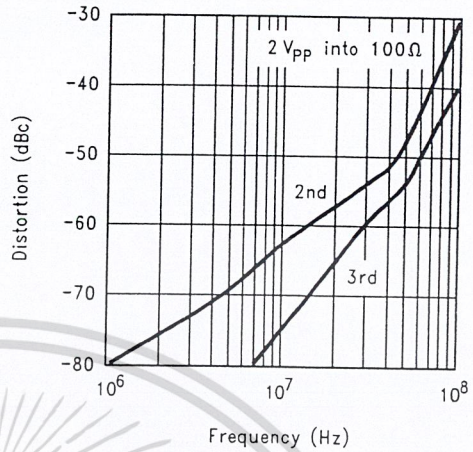
**Typical Performance Characteristics** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $A_V = +2$ ,  $V_{CC} = \pm 5\text{V}$ ,  $R_L = 100\Omega$ ; Unless Specified). (Continued)

**Open-Loop Transimpedance Gain, Z(s)**



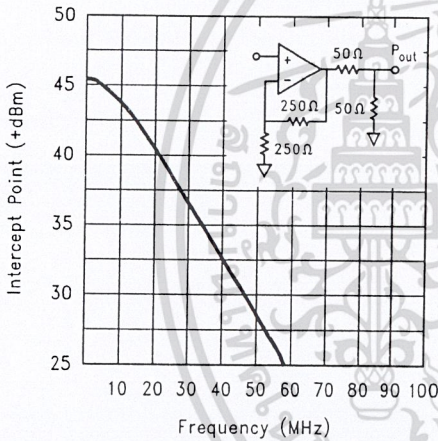
01274304

**2nd and 3rd Harmonic Distortion**



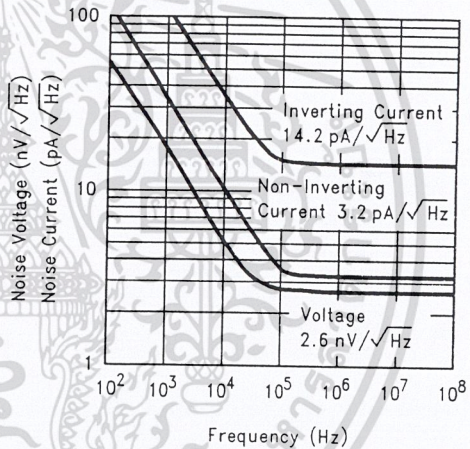
01274305

**2-Tone, 3rd Order, Intermodulation Intercept**



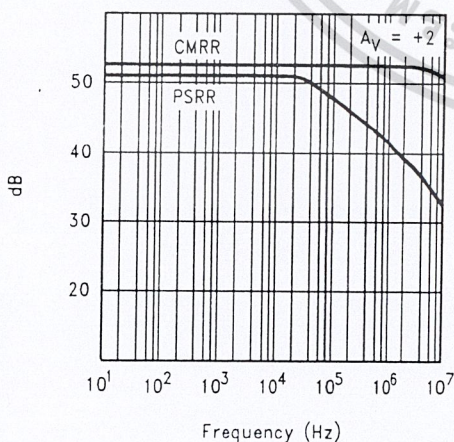
01274306

**Equivalent Input Noise**



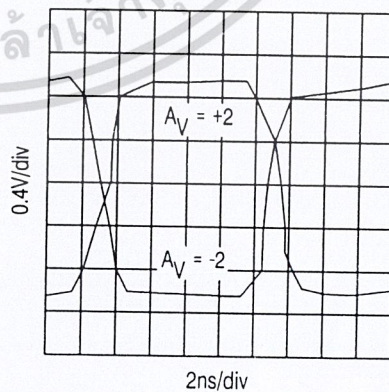
01274307

**CMRR and PSRR**



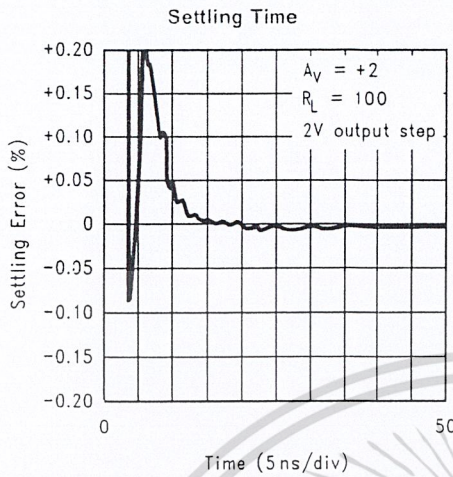
01274308

**Pulse Response**

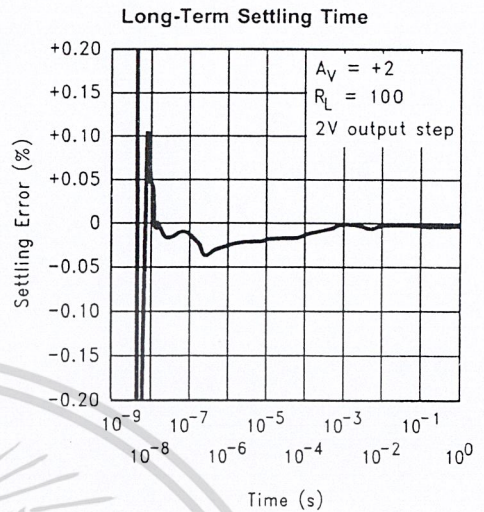


01274309

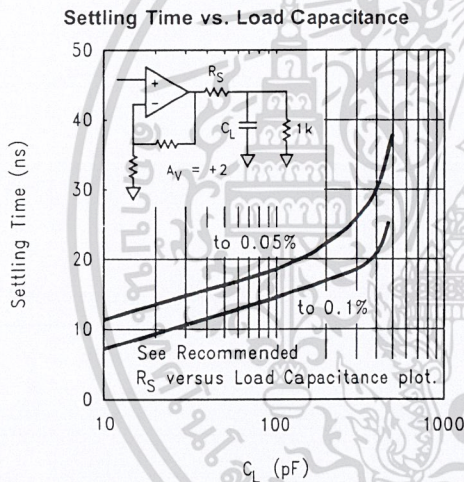
**Typical Performance Characteristics** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $A_V = +2$ ,  $V_{CC} = \pm 5\text{V}$ ,  $R_L = 100\Omega$ ; Unless Specified). (Continued)



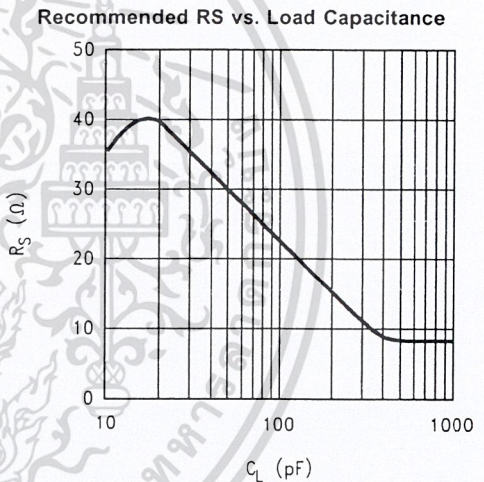
01274310



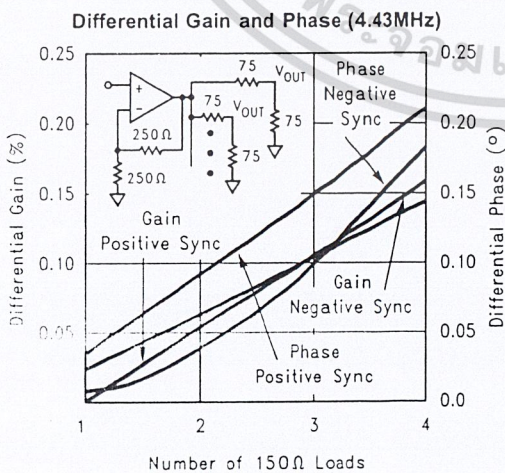
01274311



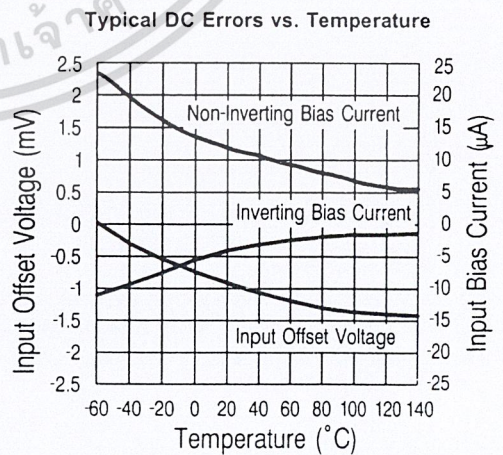
01274312



01274313



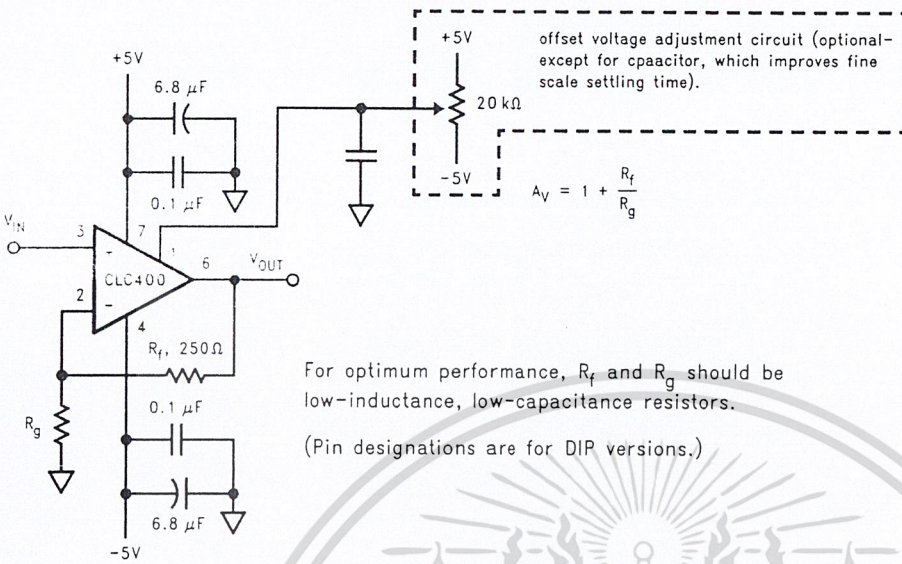
01274314



01274315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

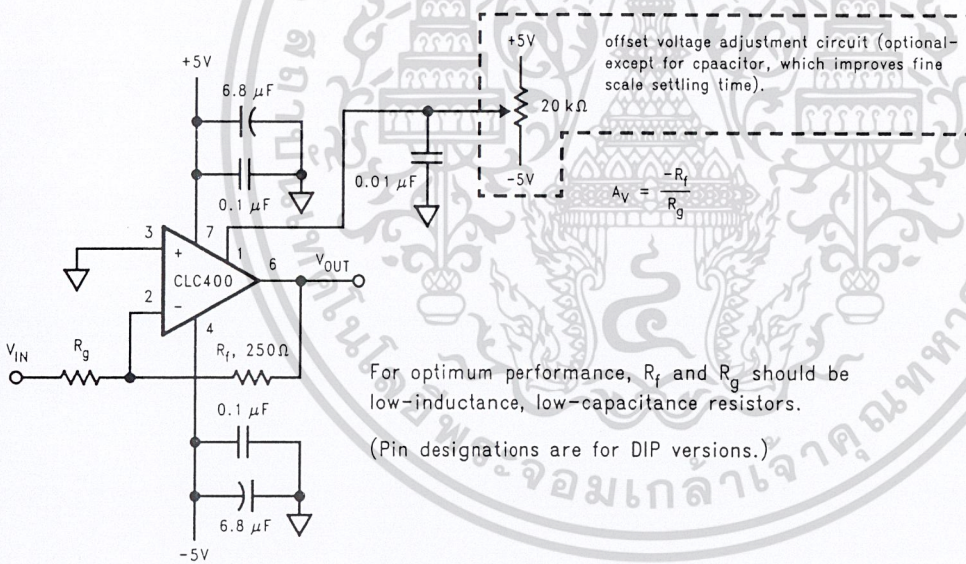
Application Division



For optimum performance,  $R_f$  and  $R_g$  should be low-inductance, low-capacitance resistors.

(Pin designations are for DIP versions.)

FIGURE 1. Recommended Non-Inverting Gain Circuit



For optimum performance,  $R_f$  and  $R_g$  should be low-inductance, low-capacitance resistors.

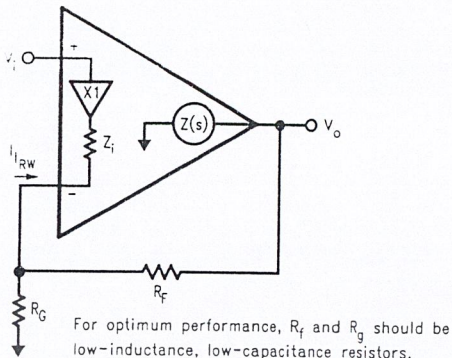
(Pin designations are for DIP versions.)

FIGURE 2. Recommended Inverting Gain Circuit

Understanding the Loop Gain

Referring to the equivalent circuit of *Figure 3*, any current flowing in the inverting input is amplified to a voltage at the output through the transimpedance gain shown on the plots. This  $Z(s)$  is analogous to the open-loop gain of a voltage feedback amplifier.

## Application Division (Continued)



01274318

**FIGURE 3. Current Feedback Topology**

Developing the non-inverting frequency response for the topology of Figure 3 yields:

**Equation 1**

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + R_f / R_g}{1 - 1 / LG}$$

where LG is the loop gain defined by,

**Equation 2**

$$LG = \frac{Z(s)}{R_f} \times \frac{1}{1 + Z_i / (R_f \parallel R_g)}$$

Equation 1 has a form identical to that for a voltage feedback amplifier with the differences occurring in the LG expression, Equation 2. For an idealized treatment, set  $Z_i=0$  which results in a very simple  $LG = Z(s)/R_f$  (Derivation of the transfer function for the case where  $Z_i=0$  is given in Application Note AN300-1). Using the  $Z(s)$  (open-loop transimpedance gain) plot shown on the previous page and dividing by the recommended  $R_f = 250\Omega$ , yields a large loop gain at DC. As a result, Equation 1 shows that the closed-loop gain at DC is very close to  $(1+R_f/R_g)$ .

At higher frequencies, the roll-off of  $Z(s)$  determines the closed-loop frequency response which, ideally, is dependent only on  $R_f$ . **The specifications reported on the previous pages are therefore valid only for the specified  $R = 250\Omega$ .** Increasing  $R$  from 250 will decrease the loop gain and band width, while decreasing it will increase the loop gain possibly leading to inadequate phase margin and closed-loop peaking. Conversely, fixing  $R_f$  will hold the frequency response constant while the closed-loop gain can be adjusted using  $R_g$ .

The CLC400 departs from this idealized analysis to the extent that the inverting input impedance is finite. With the low quiescent power of the CLC400,  $Z = 50\Omega$  leading to a drop in loop gain and bandwidth at high gain settlings, as given by Equation 2. The second term in Equation accounts for the division in feedback current that occurs between  $Z_i$

and  $R_f \parallel R_g$  at the inverting node of the CLC400. This decrease in bandwidth can be circumvented as described in "Increasing Bandwidth at High Gains."

### DC Accuracy and Noise

Since the two inputs for the CLC400 are quite dissimilar, the noise and offset error performance differs somewhat from that of a standard differential input amplifier. Specifically, the inverting input current noise is much larger than the non-inverting current noise. Also the two input bias currents are physically unrelated rendering bias current cancellation through matching of the inverting and non-inverting pin resistors ineffective.

In Equation 3, the output offset is the algebraic sum of the equivalent input voltage and current sources that influence DC operation. Output noise is determined similarly except that a root-sum-of-squares replaces the algebraic sum.  $R_s$  is the non-inverting pin resistance.

**Equation 3**

$$\text{Output Offset } V_o = \pm IBN \times R_s (1 + R_f/R_g) \pm VIO (1 + R_f/R_g) \pm IBI \times R_f$$

An important observation is that for fixed  $R_f$ , offsets as referred to the input improve as the gain is increased (divide all terms by  $1+R_f/R_g$ ). A similar result is obtained for noise where noise figure improves as a gain increases

### Selecting Between the CLC400 or CLC401

The CLC400 is intended for gains of  $\pm 1$  to  $\pm 8$  while the CLC401 is designed for gains of  $\pm 7$  to  $\pm 50$ . Optimum performance is achieved with a feedback resistor of  $250\Omega$  with the CLC400 and  $1.5\Omega$  with the CLC401- this distinction may be important in transimpedance applications such as D/A buffering. Although the CLC400 can be used at higher gains, the CLC401 will provide a wider bandwidth because loop gain losses due to finite  $Z_i$  are lower with the larger CLC401 feedback resistor as explained above. On the other hand, the lower recommended feedback resistance of the CLC400 minimizes the output errors due to inverting input noise and bias currents.

### Increasing Bandwidth At High Gains

Bandwidth may be increased at high closed-loop gains by adjusting  $R_f$  and  $R_g$  to make up for the losses in loop gain that occur at these high gain settlings due to current division at the inverting input. An approximate relationship may be obtained by holding the LG expression constant as the gain is changed from the design point used in the specifications (that is,  $R_f = 250\Omega$  and  $R_g = 250\Omega$ ). For the CLC400 this gives,

**Equation 4**

$$R_f = 350 - 50A_V \text{ and } R_g = \frac{350 - 50A_V}{A_V - 1}$$

where  $A_V$  is the non-inverting gain. Note that with  $A_V = +2$  we get the specified  $R_f = 250\Omega$ , while at higher gains, a lower value gives stable performance with improved bandwidth.

### Capacitive Feedback

Capacitive feedback should not be used with the CLC400 because of the potential for loop instability. See Application Note OA-7 for active filter realizations with the CLC400.

### Offset Adjustment Pin

Pin 1 can be connected to a potentiometer as shown in Figure 1 and used to adjust the input offset of the CLC400. Full

range adjustment of  $\pm 5V$  on pin 1 will yield a  $\pm 10mV$  input offset adjustment range. Pin 1 should always be bypassed to ground with a ceramic capacitor located close to the package for best settling performance.

#### Printed Circuit Layout

As with any high frequency device, a good PCB layout will enhance performance. Ground plane construction and good power supply bypassing close to the package are critical to achieving full performance. In the non-inverting configuration, the amplifier is sensitive to stray capacitance to ground at the inverting input. Hence, the inverting node connections should be small with minimal coupling to the ground plane. Shunt capacitance across the feedback resistor should not be used to compensate for this effect.

Parasitic or load capacitance directly on the output will introduce additional phase shift in the loop degrading the loop

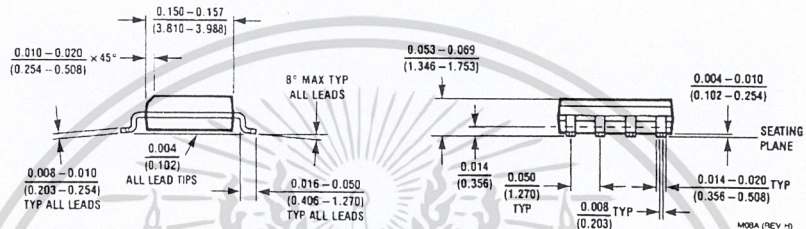
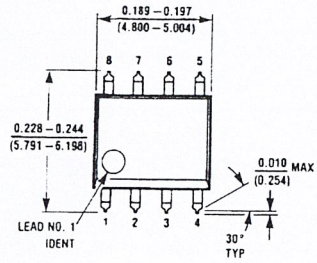
phase margin and leading to frequency response peaking. A small series resistor before the capacitance effectively decouples this effect. The graphs on the preceding page illustrate the required resistor value and resulting performance vs. capacitance.

Precision buffed resistors (PRP8351 series from Precision Resistive Products) with low parasitic reactances were used to develop the data sheet specifications. Precision carbon composition resistors will also yield excellent results. Standard spirally-trimmed RN55D metal film resistors will work with a slight decrease in bandwidth due to their reactive nature at high frequencies.

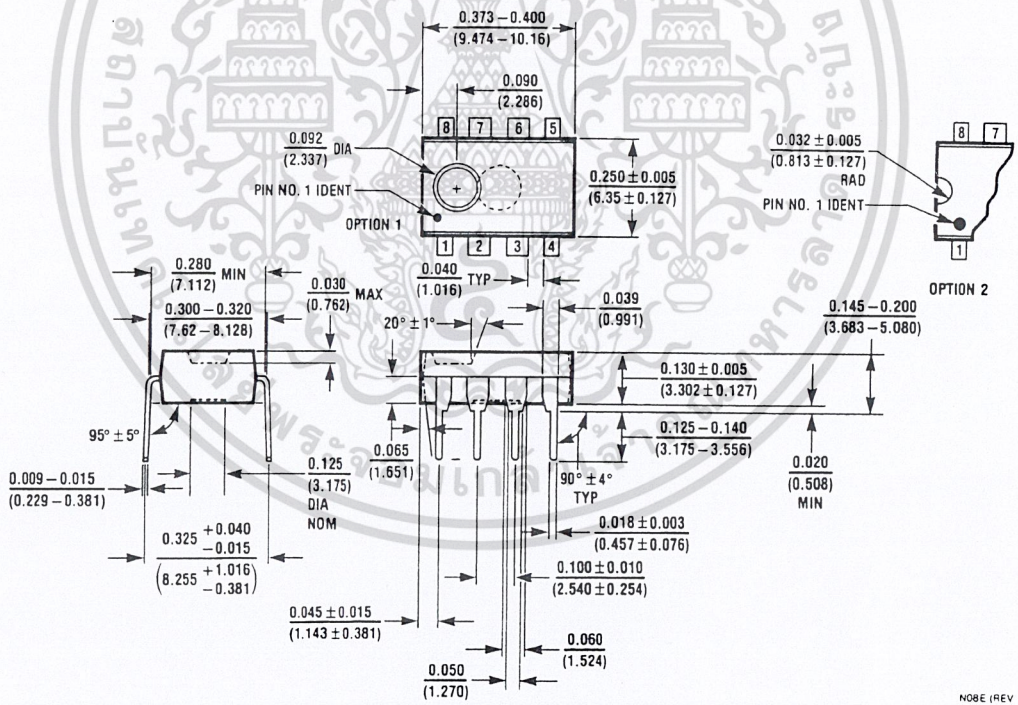
Evaluation PC boards (part no. 730013 for through-hole and 730027 for SOIC) for the CLC400 are available.



**Physical Dimensions** inches (millimeters)  
unless otherwise noted



**8-Pin SOIC**  
NS Package Number M08A



**8-Pin MDIP**  
NS Package Number N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Notes



**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**National Semiconductor Corporation**  
Americas  
Email: support@nsc.com

**National Semiconductor Europe**  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

# LM317

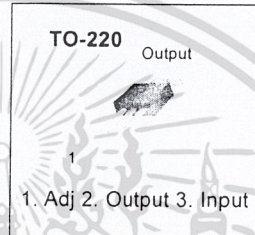
## 3-Terminal Positive Adjustable Regulator

### Features

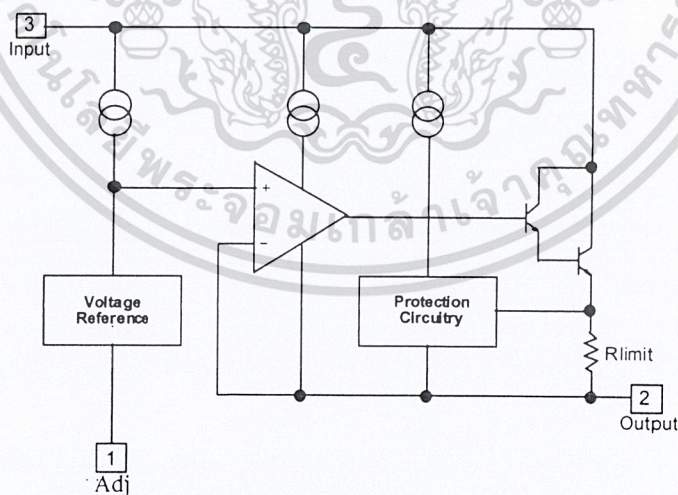
- Output Current In Excess of 1.5A
- Output Adjustable Between 1.2V and 37V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe Operating Area Compensation
- TO-220 Package

### Description

This monolithic integrated circuit is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2V to 37V. It employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area compensation.



### Internal Block Diagram



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	V
Lead Temperature	$T_{LEAD}$	230	°C
Power Dissipation	$P_D$	Internally limited	W
Operating Junction Temperature Range	$T_j$	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 ~ +125	°C
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_O/\Delta T$	±0.02	%/°C

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings: are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

## Electrical Characteristics

( $V_I - V_O = 5V$ ,  $I_O = 0.5A$ ,  $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$ ,  $I_{MAX} = 1.5A$ ,  $P_{DMAX} = 20W$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Line Regulation (Note2)	R <sub>line</sub>	$T_A = +25^\circ C$ $3V \leq V_I - V_O \leq 40V$	-	0.01	0.04	%/V
		$3V \leq V_I - V_O \leq 40V$	-	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note2)	R <sub>load</sub>	$T_A = +25^\circ C$ , $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O \geq 5V$	-	18 0.4	25 0.5	mV%/V <sub>O</sub>
		$10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O \geq 5V$	-	40 0.8	70 1.5	mV%/V <sub>O</sub>
Adjustable Pin Current	I <sub>ADJ</sub>	-	-	46	100	μA
Adjustable Pin Current Change	ΔI <sub>ADJ</sub>	$3V \leq V_I - V_O \leq 40V$ $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	-	2.0	5	μA
Reference Voltage	V <sub>REF</sub>	$3V \leq V_{IN} - V_O \leq 40V$ $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.20	1.25	1.30	V
Temperature Stability	ST <sub>T</sub>	-	-	0.7	-	%/V <sub>O</sub>
Minimum Load Current to Maintain Regulation	I <sub>L(MIN)</sub>	$V_I - V_O = 40V$	-	3.5	12	mA
Maximum Output Current	I <sub>O(MAX)</sub>	$V_I - V_O \leq 15V$ , $P_D \leq P_{MAX}$	1.5	2.2	-	A
		$V_I - V_O \leq 40V$ , $P_D \leq P_{MAX}$ $T_A = 25^\circ C$	-	0.3	-	A
RMS Noise, % of V <sub>OUT</sub>	e <sub>n</sub>	$T_A = +25^\circ C$ , $10Hz \leq f \leq 10kHz$	-	0.003	0.01	%/V <sub>O</sub>
Ripple Rejection	RR	$V_O = 10V$ , $f = 120Hz$ without CADJ CADJ = 10μF (Note3)	66	60 75	-	dB
Long-Term Stability, $T_J = T_{HIGH}$	ST	$T_A = +25^\circ C$ for end point measurements, 1000HR	-	0.3	1	%
Thermal Resistance Junction to Case	R <sub>θJC</sub>	-	-	5	-	°C/W

**Note 2:** Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V<sub>D</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used. (P<sub>MAX</sub> = 20W)

**Note 3:** CADJ, when used, is connected between the adjustment pin and ground. ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics

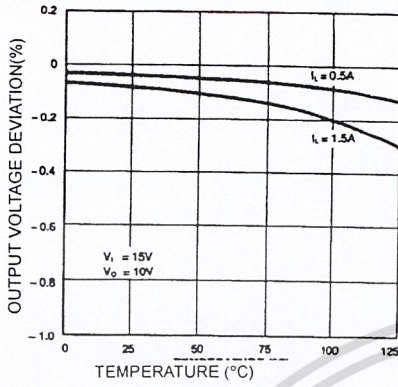


Figure 1. Load Regulation

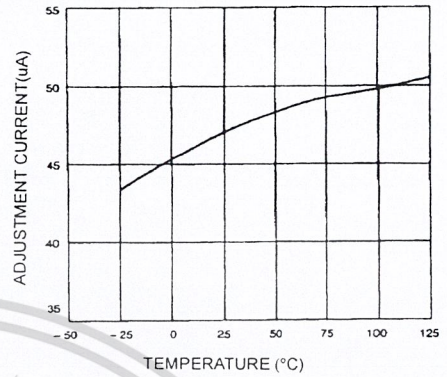


Figure 2. Adjustment Current

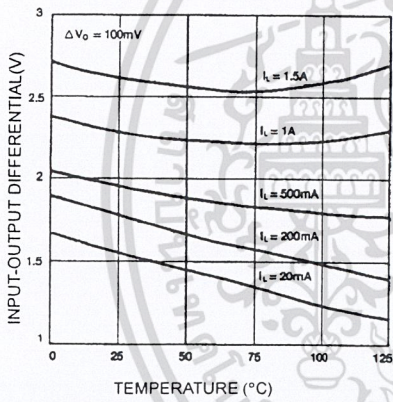


Figure 3. Dropout Voltage

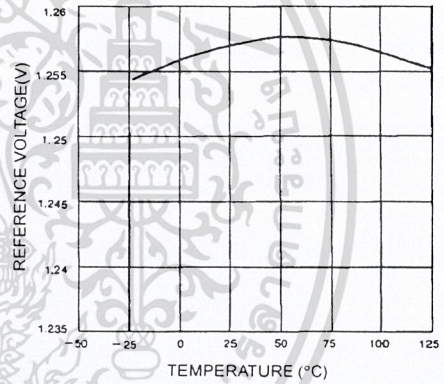


Figure 4. Reference Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

## Typical Application

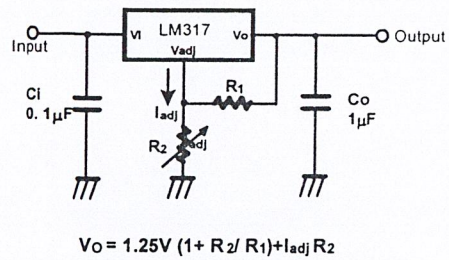


Figure 5. Programmable Regulator

- $C_i$  is required when regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
- $C_o$  is not needed for stability, however, it does improve transient response.
- Since  $I_{ADJ}$  is controlled to less than  $100\mu A$ , the error associated with this term is negligible in most applications.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

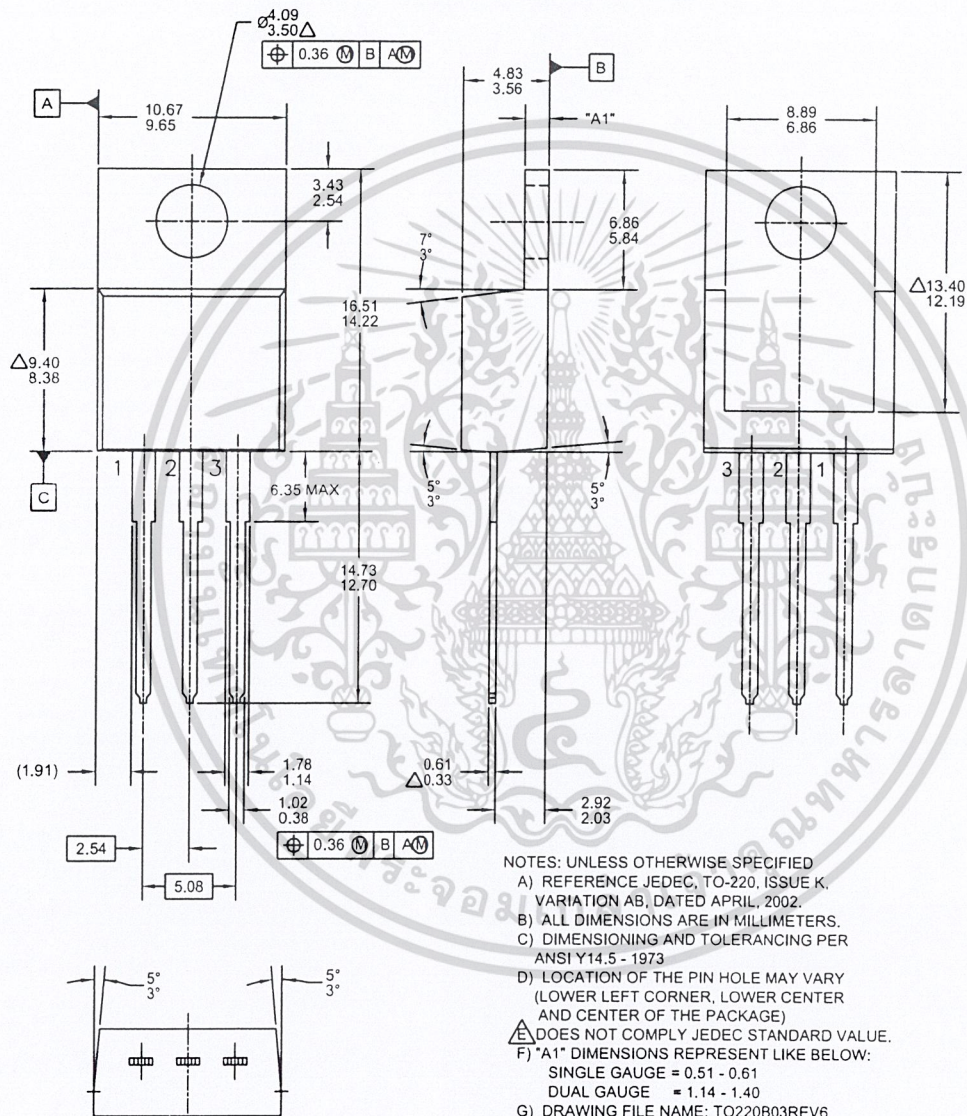
4 เมือวกรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Mechanical Dimensions

## Package

Dimensions in millimeters

### TO-220 [ SINGLE GAUGE ]



## Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM317T	TO-220	0°C to +125°C



### DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

### LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
www.fairchildsemi.com

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี  
11/19/09 0.0m 001  
Stock#DS400281