



เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช

โดย

ธนากร สุนทรวัฒน์



สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประจำปีงบประมาณ 2557

Seed humidity meter



By

Tanakorn Suntornwat

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัยชิ้นนี้ขอขอบคุณ บิดา-มารดา บุรพคณาจารย์ ทั้งหมดทุกท่านที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนให้มีความรู้ที่สามารถทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์ทรงสิทธิ์ สอนรอด ที่ช่วยตรวจสอบบทความคัดย่อภาคภาษาอังกฤษและขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยชิ้นนี้ ขอมอบเป็นกุศลให้กับท่านทั้งหลายที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ธนากร สุนทรวัฒน์
มีนาคม 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A70/2557

ชื่อโครงการ : เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช

ชื่อนักวิจัย : นายธนากร สุนทรวัฒน์

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาออกแบบสร้างเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแห้ง เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับเกษตรกรที่มีผลผลิตเป็นประเภทเมล็ดพืช เช่น ถั่วเขียว ข้าวฟ่าง โดยเฉพาะข้าวเปลือก ซึ่งถือว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศไทย การขายข้าวเปลือกของเกษตรกรนั้นราคาขายจะแปรเปลี่ยนตามปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก เกษตรกรไม่สามารถหาเครื่องมือวัดความชื้นมาใช้งานได้ เนื่องจากราคาแพง เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เกษตรกรไม่สามารถรู้ได้ว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่เป็นผลผลิตของตนเองนั้นมีมากน้อยเพียงใด เมื่อไปถึงโรงสี ก็จำเป็นต้องขายตามแต่โรงสีจะเป็นผู้กำหนด ทำให้เกิดความเสียหายของเกษตรกร ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเครื่องวัดความชื้น เพื่อใช้ทดสอบผลผลิตของตนเองก่อนการนำไปขาย โดยการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นเมล็ดพืช ใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีในประเทศ เพื่อให้ราคาเครื่องมือต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเปิดโอกาสให้เกษตรกรได้เข้าถึงเครื่องมือได้ง่ายขึ้น ในการออกแบบเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชนี้ ได้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ เบอร์ SHT-11 และอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงค่าที่วัดได้ด้วยจอแสดงผลแบบ แอลซีดี ทำการสอบเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดมาตรฐานที่ได้รับการรับรองจาก สำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ทำให้ค่าที่ได้เที่ยงตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผลการทดลองใช้เครื่องวัดความชื้นกับเมล็ดพืช 3 ประเภท พบว่าสามารถวัดค่าความชื้นเมล็ดพืชได้เป็นอย่างดี โดยการวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก มีความผิดพลาดสูงสุด 5.35% การวัดความชื้นเมล็ดถั่วเขียว มีความผิดพลาดสูงสุด 4.12% และการวัดความชื้นเมล็ดข้าวฟ่าง มีความผิดพลาดสูงสุด 2.81%

คำสำคัญ : ความชื้น,เมล็ดพืช,ไมโครคอนโทรลเลอร์,เซนเซอร์

E-mail Address : tanakorn.s@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2556 – กันยายน 2557

Abstract

Code of Project : A70/2557

Project Name : Seed humidity meter

Researcher Name : Mr.Tanakorn Suntornwat

This research aims to study and design the seed humidity meter for the farmers who produce a type of seed; for examples, green bean and sorghum seeds, especially paddy rice which is seen as the primary product in Thailand. The price of the paddy rice will be changed depending on the volume of the humidity found on the paddy rice. The farmers cannot afford the seed humidity meter because it is expensive and has to be imported from abroad. Farmers do not know how much the humidity content of the grain is when the paddy rice is at the mill. It must be sold at prices determined by the mill which is seen as the disadvantage of farmers. Therefore, this research has been conducted in order to design and construct the seed humidity meter for reducing the cost of measuring the agricultural products before sale. Technology and equipment that have been used in designing the tool are available in domestic in order to keep price as low as possible. Besides, it helps provide opportunities for farmers to access the tool easily. The humidity and temperature detectors number SHT-11 are used in creating the seed humidity meter and the value can be read on the sensors with microcontrollers. The value measured can be shown with LCD display. Calibration values have been certified by the Bureau of Weights and Measures, Department of Internal Trade, Ministry of Commerce, making the measurement accurate.

From studying three types of seed, it is found that the tool can measure the humidity of the seed effectively. Paddy rice, green beans and sorghum seeds have a maximum error of 5.35%, 4.12% and 2.81% respectively.

Key Words : Humidity,Seed,Microcontroller,Sensor

E-mail Address : tanakorn.s@rmutr.ac.th

Period of Project : October 2013 – September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
รายการตาราง	จ
รายการภาพประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การวัดความชื้นในเมล็ดพืช	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.3 เซนเซอร์	13
2.4 จอแอลซีดี	13
3. วิธีการทดลอง/ระเบียบวิธีวิจัย	15
3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	15
3.2 ออกแบบและสร้างวงจรวัดความชื้น	15
3.3 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต	17
3.4 ออกแบบและสร้างตัวกล่องสำหรับใส่เครื่อง	19
3.5 ประกอบชิ้นงานเพื่อพร้อมใช้งาน	20
4. ผลการทดลอง/วิจัย	22
4.1 การทดลองเปิดใช้งานเครื่อง	22
4.2 การทดลองวัดค่าความชื้นเมล็ดพืชชนิดต่างๆ	23
4.3 ผลการทดลองเมื่อวัดค่าเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน	24
5. สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 อภิปรายผล	27
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	29
ภาคผนวก	30

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้	12
2 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก	25
3 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดถั่วเขียว	25
4 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวฟ่าง	26



สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1 เครื่องวัดความชื้นแบบบด	4
2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวัดค่ากับค่าที่วัดได้	4
3 เครื่องวัดความชื้นแบบแท่งวัด	5
4 เครื่องวัดความชื้นแบบแท่งอิเล็กทรอนิกส์	6
5 เครื่องวัดความชื้นแบบอัดหรือบีบ	6
6 หลักการวัดแบบวัดค่าประจุไฟฟ้า	6
7 ภาพขณะสำหรับใส่เมล็ดพืช	7
8 วงจรวัดความชื้นแบบง่าย	7
9 ไดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	9
10 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F877	10
11 สัญญาณนาฬิกา	11
12 วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F887	13
13 อุปกรณ์ Sensor ความชื้น	13
14 วงจร Sensor วัดความชื้นและอุณหภูมิ	15
15 วงจรแสดงผล LCD 16x2	16
16 วงจรเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช	16
17 ลายวงจรพิมพ์เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช	17
18 ตัวเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช	17
19 โพลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม	17
20 การออกแบบกล่องด้านบน	19
21 การออกแบบกล่องด้านข้าง(ซ้าย)	19
22 การออกแบบกล่องด้านข้าง(ขวา)	19
23 การออกแบบกล่องด้านหลัง	19
24 การออกแบบกล่องด้านหน้า	20
25 การออกแบบกล่องแบบสามมิติ	20
26 เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่ประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้	20
27 แท่งวัดความชื้น	21
27 การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก	21
28 ประกอบเครื่องวัดกับแท่งวัดความชื้นเมล็ดพืชพร้อมใช้งาน	21
29 เครื่องแสดงแรงดันแบตเตอรี่	22
30 แสดงผลการวัดค่าความชื้น	22

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
31 การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก	23
32 การวัดความชื้นในเมล็ดถั่วเขียว	23
33 การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวฟ่าง	24
34 การวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่ใช้สอบเทียบ	24



รายการสัญลักษณ์

Ω = โอห์ม
% = เปอร์เซ็นต์



ประมวลศัพท์และคำย่อ

ROM	=	Read Only Memory
RAM	=	Random Access Memory
MHz	=	Mega Hertz
CPU	=	Central Processing Unit
ALU	=	Arithmetic and Logic Unit
I/O	=	Input / Output
KB	=	Kilo Byte
XOR	=	Exclusive OR
LCD	=	Liquid Crystal Display
EEPROM	=	Electrical Electrical Program Read Only Memory
PCB	=	Printed Circuit Board
AC	=	Alternating Current
DC	=	Direct Current
NO	=	Normal Open
NC	=	Normal Close
LDR	=	Light Dependent Resistor
LED	=	Light Emitting Diode



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความชื้นในเมล็ดพืชเป็นปัจจัยสำคัญต่อราคาขายของเกษตรกร พบว่า เมล็ดพืชยิ่งมีความชื้นสูง ระยะเวลาการจัดเก็บจะสั้น เนื่องจากเสียหายได้ง่าย ราคาขายจะลดลงเมื่อถึงผู้ซื้อ และในทางกลับกัน เมล็ดพืชที่มีความชื้นต่ำ ระยะเวลาการจัดเก็บจะยาวนานกว่า ราคาขายจะสูงขึ้นเมื่อถึงผู้ซื้อ ดังนั้น ในขั้นตอนการขาย ผู้ซื้อจะทำการตรวจวัดระดับความชื้นที่เจือปนอยู่ในเมล็ดพืช เพื่อตีราคาที่จะรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกร ที่ผ่านมา เครื่องมือวัดความชื้นจะเป็นเครื่องมือที่มีราคาสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เกษตรกรแทบจะไม่สามารถหามาใช้ได้ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบผลิตผลของตนเองก่อนนำไปขาย ทำให้เสียโอกาสที่จะทำได้ขายผลผลิตได้ในราคาที่สูงกว่า ถ้าสามารถทราบปริมาณความชื้นก่อนหน้าที่จะนำไปขาย เกษตรกรสามารถปรับปรุงผลิตผลเพื่อลดความชื้นให้ได้ถึงจุดที่พอใจก่อนจะนำผลผลิตไปขาย

ด้วยเทคโนโลยี Sensor ในปัจจุบันที่ก้าวหน้าไปมาก สามารถตรวจวัดความชื้นพร้อมอุณหภูมิได้ในคราวเดียวกัน โดยผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้ Sensor ที่เหมาะสมกับงาน เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและทนทานต่อการใช้งาน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด แสดงผลแบบตัวเลขดิจิทัล ผ่านหน้าจอแบบ LCD มองเห็นชัดเจน และออกแบบเครื่องให้ง่ายต่อการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงวิธีการวัดความชื้นในเมล็ดพืชแบบต่างๆ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น
- 1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับสภาวะสังคมเกษตรกรของประเทศไทย
- 1.2.4 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นเมล็ดพืชที่มีความเหมาะสมในการใช้งาน
- 1.2.5 เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและสร้างประโยชน์ให้ชุมชน

1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะการวัดความชื้นในเมล็ดพืชแบบต่างๆ
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน
- 1.3.3 สามารถแสดงผลค่าความชื้น และ อุณหภูมิของเมล็ดพืชที่ทำการตรวจวัด
- 1.3.4 ผลิตเครื่องตรวจวัดความชื้นเมล็ดพืชเพื่อแจกจ่ายให้กับกลุ่มเกษตรกร หรือองค์กรที่มีความจำเป็นในการใช้งาน จำนวน 30 เครื่อง

1.4 นิยามคำศัพท์

1.4.1 ความชื้น : คือ ปริมาณไอน้ำในอากาศ อากาศชื้นเป็นสารผสมระหว่างไอน้ำกับองค์ประกอบอื่นของอากาศ

1.4.2 เมล็ดพืช : คือ ออวูล (ovule) ที่เจริญเต็มวัยหรือสุกแก่แล้ว เป็นการเจริญเติบโตหลังจากการปฏิสนธิ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ การปฏิสนธิเป็นตัวกระตุ้นการพัฒนาของเมล็ดนั่นเอง

1.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ : คืออุปกรณ์ควบคุมที่มีขนาดเล็ก มีโครงสร้างภายในเหมือนคอมพิวเตอร์ สามารถทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนสั่งงานได้

1.4.4 เซ็นเซอร์ : เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง สี อุณหภูมิ ความชื้น โดยเปลี่ยนค่าเหล่านั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการทำงานต่างๆ ต่อไป



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดความชื้นในเมล็ดพืช

เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อวัดบอกค่าปริมาณความชื้นของน้ำที่อยู่ในเมล็ดพืช สามารถแบ่งเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆคือ

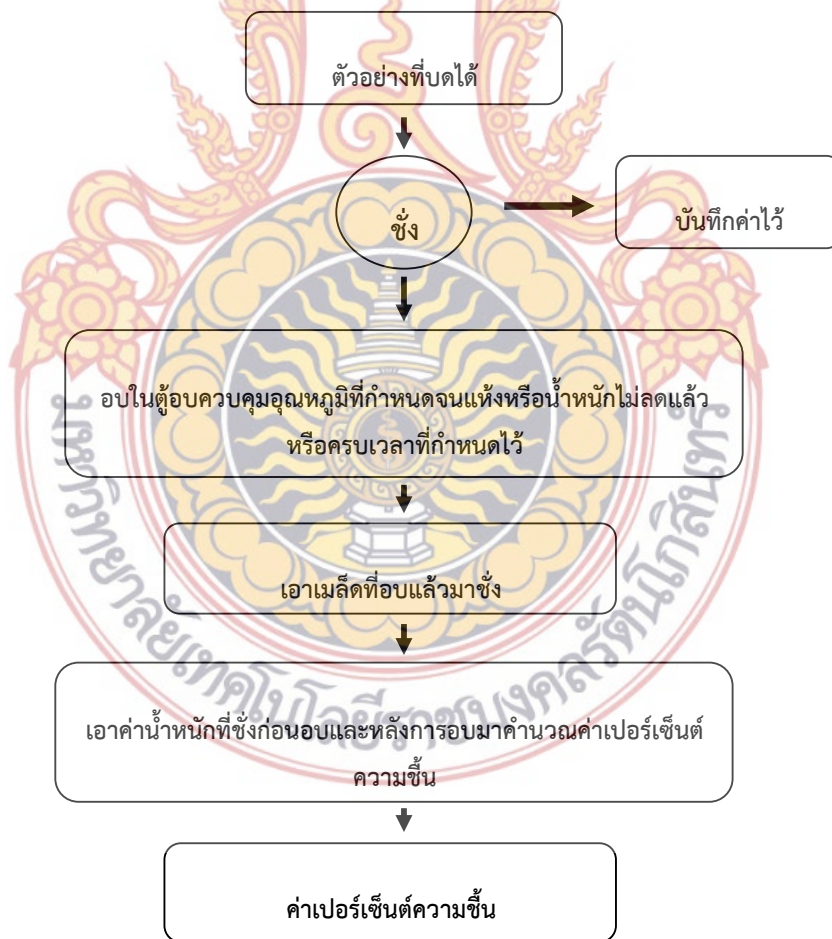
2.1.1 เครื่องที่วัดหาค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยตรง

2.1.2 เครื่องที่วัดหาค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยอ้อม

2.1.1 เครื่องที่วัดหาค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยตรง

เนื่องจากค่าความชื้นคือปริมาณน้ำหนักของน้ำต่อปริมาณน้ำหนัทั้งหมดของเมล็ดพืช

การทดสอบหาค่าความชื้นในห้องปฏิบัติการมีขั้นตอนต่างๆดังนี้



เครื่องวัดค่าความชื้นแบบอ่านโดยตรงนี้จะออกแบบการทำงานเลียนแบบการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตัวเครื่องจะประกอบด้วย

- 1) เครื่องชั่งละเอียด
- 2) อุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดควบคุมอุณหภูมิคงที่ได้
- 3) วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ตั้งเวลาการทำงาน ประมวลผลการ

คำนวณ แสดงค่าน้ำหนัก, อุณหภูมิ และค่าความชื้นเมล็ดพืช



ภาพที่ 1 เครื่องวัดความชื้นแบบบด

เมื่อนำเมล็ดพืชที่บดแล้ว ใส่ลงบนเครื่องชั่งละเอียด เมื่อเริ่มต้นการทำงานส่วนประมวลผลจะบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้นนี้ไว้ วงจรควบคุมอุณหภูมิจะเริ่มให้ความร้อน อุปกรณ์ให้ความร้อนนี้ได้แก่หลอดอินฟราเรด หลอดฮาโลเจนหรือคลื่นไมโครเวฟ ความร้อนที่ให้เลือกได้หลายแบบเช่นให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึงค่าอุณหภูมิที่กำหนดทันทีทันใด หรือค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงค่าที่กำหนด หรือ เพิ่มความร้อนขึ้นเป็นช่วงๆ แบบขึ้นบันได

เมื่อเริ่มให้ความร้อนกับเมล็ดพืช น้ำหนักของเมล็ดพืชเริ่มลดลงตลอดเวลา ส่วนประมวลผลจะนำค่าน้ำหนักที่บันทึกไว้ตอนแรกกับน้ำหนักปัจจุบันคำนวณหาค่าความชื้น เมื่อเวลานานขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดและคำนวณได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงแรกๆ อัตราการเพิ่มความชื้นกับเวลาจะเพิ่มเร็วมาก เมื่อเมล็ดพืชเริ่มแห้ง อัตราการเพิ่มของค่าความชื้นกับเวลาจะเพิ่มขึ้นช้าๆ จนหยุด เมื่อเมล็ดพืชแห้งสนิท ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที ถึง 1 ชั่วโมง เพื่อให้การทดสอบใช้เวลาน้อยลง เครื่องออกแบบมาให้ผู้ใช้เลือกได้โดยกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่อนาที เช่น 0.05%/นาที หมายความว่า ถ้าในเวลา 1 นาที ถัดมาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มน้อยกว่า 0.05% เครื่องก็จะหยุดทดสอบหยุดให้ความร้อนและแสดงค่าความชื้นที่วัดได้ซึ่งจะน้อยกว่าค่าจริงเล็กน้อย ผู้ใช้ต้องเลือกระหว่างค่าความชื้นที่ถูกต้องและระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการวัดค่ากับค่าที่วัดได้

เครื่องวัดค่าความชื้นโดยตรงนี้ จะหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาก ข้อดีคือ ใช้เวลาน้อยกว่า ทดสอบที่ไหนก็ได้ ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย

ข้อเสีย ทดสอบได้ที่ละตัวอย่างเท่านั้นถ้าทดสอบจำนวนตัวอย่างมากๆจะใช้เวลามากกว่า การทดสอบด้วยตู้สอบและเครื่องมีราคาแพงมาก การใช้งานต้องระมัดระวังเช่นเดียวกับการใช้งานเครื่องชั่งละเอียด

2.1.2 เครื่องที่วัดหาค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยอัตโนมัติ

เครื่องวัดแบบนี้จะใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชมาใช้ในการออกแบบซึ่งสามารถแบ่งชนิดของเครื่องตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆได้หลายแบบคือ

1. ใช้หลักการของความนำไฟฟ้าหรือความต้านทาน กล่าวคือ ค่าความต้านทานของเมล็ดพืชจะลดลงเมื่อเมล็ดพืชมีความชื้นมากขึ้นหรือ ค่าความนำไฟฟ้าของเมล็ดพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดพืชมีความชื้นมากขึ้น
2. ใช้หลักการของค่าไดอิเล็กตริกของสาร กล่าวคือ ค่าไดอิเล็กตริกของสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อ เมล็ดพืชมีความชื้นมากขึ้น
3. ใช้หลักการดูดกลืนคลื่น กล่าวคือเมื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(คลื่นวิทยุความถี่สูง)เช่น ย่านไมโครเวฟผ่านเมล็ดพืชที่มีความชื้นมาก คลื่นจะผ่านออกมาได้น้อยลง

1. หลักการทำงานของเครื่องวัดความชื้นแบบใช้หลักความนำไฟฟ้าของสาร ประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่ที่มีค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ ป้อนให้กับขั้วโลหะ2ขั้วที่มีระยะห่างคงที่ เมื่อนำขั้วโลหะทั้งสองมาสัมผัสเมล็ดพืช สัญญาณไฟฟ้าจะไหลผ่านเมล็ดพืชได้มากถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นมาก จะนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นน้อยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านได้น้อยลง ปริมาณของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับค่าความชื้นของเมล็ดพืช จะนำค่าแรงดันหรือกระแสไฟฟ้านี้มาทดสอบเปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้

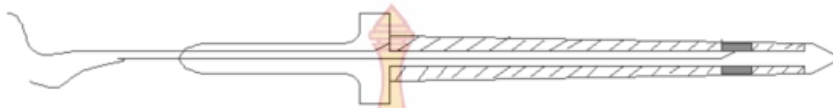
เครื่องแบบนี้จะแบ่งตามชนิดของขั้วอิเล็กโทรดได้3แบบคือ

- 1.1. แบบแท่งอิเล็กโทรดแยกกัน ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะเป็นแท่งโลหะไร้สนิมยาวประมาณ30เซนติเมตรวางห่างกันประมาณ 2 ถึง 3 เซนติเมตร มีด้ามจับทำด้วยฉนวนไฟฟ้า เวลาใช้จะแทงหรือเสียบแท่งอิเล็กโทรดทั้งสองเข้าไปในกองเมล็ดพืชหรือแทงเข้าไปในกระสอบที่ใส่เมล็ดพืชอยู่ เหมาะสำหรับวัดความชื้นเมล็ดพืชที่มีขนาดเล็กและเป็นการวัดแบบรวดเร็ว วัดความชื้นเมล็ดพืชได้ค่าเฉลี่ยที่รอบนอกและตรงบริเวณกลางกระสอบด้วย



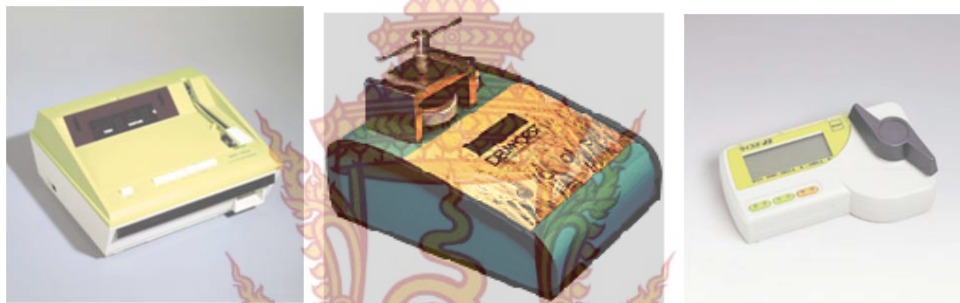
ภาพที่ 3 เครื่องวัดความชื้นแบบแท่งวัด

1.2. แบบแท่งอิเล็กโทรดร่วม ใช้งานเหมือนแบบ 2.1.1.1 แต่มีข้อเสียกว่าแบบ 1.1 คือแท่งจะโตกว่าเสียบเข้าไปในกระสอบได้ยากและเกิดรูใหญ่กว่า เมล็ดพืชตกลงนอกจากรูได้ง่าย



ภาพที่ 4 เครื่องวัดความชื้นแบบแท่งอิเล็กโทรดร่วม

1.3. แบบบดอัดหรือบีบเมล็ดพืช จะนำเมล็ดพืชวางหรือใส่ลงในข้ออิเล็กโทรดด้านหนึ่ง ข้ออิเล็กโทรดอีกด้านหนึ่งจะบีบหรือกดอัดลงบนเมล็ดพืช จะทำให้เมล็ดพืชถูกอัดแน่น การวัดแบบนี้จะวัดตัวอย่างเดิมซ้ำไม่ได้และเมล็ดพืชจะถูกบีบเสียหาย เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดเล็ก



ภาพที่ 5 เครื่องวัดความชื้นแบบอัดหรือบีบ

2. หลักการของเครื่องวัดแบบใช้คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของสารหรือค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ(Capacitor)

เมื่อนำแผ่นโลหะ 2 แผ่นมาวางใกล้กัน จะทำให้เกิดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เรียกว่าตัวเก็บประจุ เมื่อนำแบตเตอรี่มาแตะที่แผ่นโลหะทั้งสองประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะมาสะสมที่แผ่นโลหะและเมื่อเอาแบตเตอรี่ออกไป แผ่นโลหะทั้งสองก็ยังมีประจุไฟฟ้าสะสมอยู่ แผ่นโลหะทั้งสองที่วางใกล้กันนี้จึงกลายเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราเรียกว่าตัวเก็บประจุ



ภาพที่ 6 หลักการวัดแบบวัดค่าประจุไฟฟ้า

ความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของแผ่นโลหะทั้งสอง จะได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นโลหะ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะและค่าไดอิเล็กทริกตรงกลางที่อยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง

$$C = \epsilon_0 A/d$$

เมื่อ C คือค่าความจุไฟฟ้า

ϵ_0 คือค่าไดอิเล็กทริกอากาศ

A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นโลหะ

d คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ

เมื่อเรานำเมล็ดพืชที่ใส่ลงระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง จะได้ตัวเก็บประจุที่มีเมล็ดพืชเป็นไดอิเล็กทริกแทนที่อากาศและเราพบว่าถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นมากค่าไดอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นหรือค่าความจุของตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้น จากหลักการนี้ เราสามารถนำมาออกแบบเป็นเครื่องมือวัดความชื้นได้

ส่วนประกอบของเครื่องจะประกอบด้วย

ก. วงจรกำเนิดความถี่สูง

ข. ภาชนะที่ออกแบบเป็นตัวเก็บประจุสำหรับเทเมล็ดพืชลงไป มีอยู่สองลักษณะคือ

i เป็นแบบผ่านโลหะแบนสองแผ่นวางขนานกัน

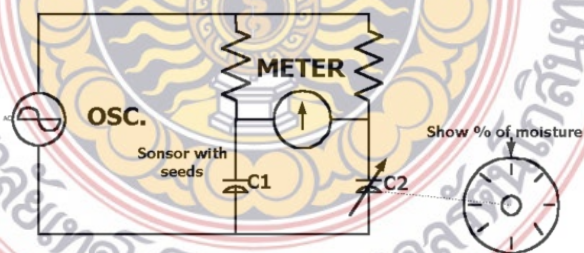
ii แบบรูปทรงกระบอกสองชุดซ้อนกัน



ภาพที่ 7 ภาชนะสำหรับใส่เมล็ดพืช

ค. ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแสดงผล

ตัวอย่างวงจรเครื่องวัดความชื้นอย่างง่าย



ภาพที่ 8 วงจรวัดความชื้นแบบง่าย

C1 คือตัวเก็บประจุที่จะเทเมล็ดพืชลงไปเพื่อทดสอบเมล็ดพืชขึ้นมากค่าความจุไฟฟ้าจะมาก เมล็ดพืชขึ้นน้อยค่าความจุไฟฟ้าจะน้อยลง

C2 คือตัวเก็บประจุกักตัวหนึ่งที่ปรับเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าหรือลดค่าความจุไฟฟ้าได้ ใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับ C1 ถ้า C1 และ C2 มีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากันเข็มของ มิเตอร์จะชี้

อยู่ตรงกลาง แต่ถ้าค่าความจุไฟฟ้าของ ตัวเก็บประจุC1จะเพิ่มหรือลดตามความขึ้นของเมล็ดพีซีเอ็ม มิเตอร์จะไม่ชี้ตรงกลาง เราจะปรับค่าความจุของตัวเก็บประจุC2ให้มีค่าเพิ่ม หรือลดเท่ากับตัวเก็บ ประจุC1 เมื่อค่าความจุไฟฟ้าเท่ากันเข็มมิเตอร์จะชี้ตรงกลางเหมือนเดิม

ที่แกนหมุนของตัวเก็บประจุC2จะต่อกับหน้าปัดแสดงตัวเลขปรับเทียบแสดงค่าเป็น ความขึ้นเมล็ดพีซีได้

เครื่องวัดความขึ้นแบบตัวเก็บประจุนี้ มีข้อดีตรงที่ว่าสามารถวัดความขึ้นได้รวดเร็ว เมล็ด พีซีเอ็มจะทดลองวัดหลายๆครั้งก็ได้และเมล็ดพีซีไม่เสียหาย สามารถวัดได้ทั้งเมล็ดพีซีเมล็ดโตและ เมล็ดเล็ก เมล็ดอ่อนหรือเมล็ดแข็งก็ได้ แต่ไม่เหมาะกับเมล็ดพีซีที่มีน้ำหนักเบาหลายๆเพราะเทแล้วจะ เป็นฝุ่นฟุ้งกระจาย

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อความแม่นยำในการวัดความขึ้นเมล็ดพีซี

เนื่องจากเครื่องที่วัดหาค่าปริมาณความขึ้นของเมล็ดพีซีได้โดยอ้อมนั้นมักใช้การวัด คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพีซีนั้นๆมาเทียบกับค่าความขึ้นที่ควรวัดได้ โดยปกติแล้วคุณสมบัติทาง ไฟฟ้าของวัสดุหรือเมล็ดพีซีนั้นจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ไม่ว่าจะอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า ใดๆของเมล็ดนั้นก็ตาม เช่น ถ้าอุณหภูมิของเมล็ดสูงขึ้นจะทำให้เมล็ดพีซีนั้นมีความนำไฟฟ้าสูงขึ้นหรือ มีความต้านทานต่ำลง และมีค่าไดอิเล็กตริกสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นเครื่องวัดความขึ้นที่ดีจะต้องมีส่วนที่ ทำหน้าชดเชยค่าความขึ้นที่อ่านได้อันเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปด้วยอุณหภูมิ

ผลกระทบของชนิดพีซีที่มีผลต่อความแม่นยำในการวัดความขึ้นเมล็ดพีซี

การวัดหาค่าปริมาณความขึ้นของเมล็ดพีซีได้โดยอ้อมโดยการวัดความต้านทานไฟฟ้าและ ความจุไฟฟ้านั้น โดยข้อเท็จจริงแล้วการที่พีซีต่างชนิดกันมีค่าความขึ้นจริงเท่ากันนั้นไม่ได้หมายความว่าค่าความจุไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานของพีซีทั้งสองชนิดนั้นจะมีค่าเท่ากัน แม้แต่พีซีที่เป็นชนิด เดียวกันแต่ปลุกต่างที่หรือต่างฤดูก็อาจจะให้ค่าความจุไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานต่างกันได้ที่ค่า ความขึ้นจริงเท่ากัน ดังนั้นการวัดความขึ้นจากเครื่องวัดความขึ้นที่หาปริมาณความขึ้นของเมล็ดพีซีได้ โดยอ้อมโดยอาศัยหลักสองอย่างนั้นจะเป็นปริมาณเฉลี่ย ซึ่งพีซีบางปีจะวัดได้มากหรือบางปีก็อาจวัด ได้น้อยกว่าเป็นจริง ยิ่งที่เครื่องวัดถูกปรับเทียบโดยพีซีต่างประเทศแล้วจะให้ผลที่ผิดพลาดมากกว่า เครื่องวัดที่ปรับเทียบโดยพีซีในพื้นที่นั้นๆด้วย

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวมเอาสิ่งต่อไปนี้ไว้ใน ตัวเอง เช่นหน่วยประมวลผล (CPU) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) หน่วยความจำถาวร (ROM) พอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O PORT)

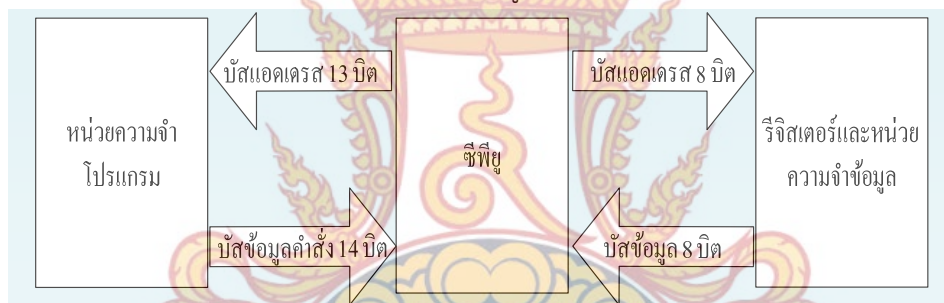
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายตระกูลมาก แต่ที่นิยมใช้กัน อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีอยู่สองตระกูลด้วยกัน คือ MCS51 และ PIC ที่มีให้เลือกหลายเบอร์

ส่วนตระกูลอื่นๆ นอกเหนือจากนี้ ก็มีความสามารถ ที่ไม่แพ้กัน เพียงแต่อาจจะใหม่ จึงไม่เป็นที่รู้จัก เท่ากับตระกูลที่มีมาก่อนหน้า

ในการเลือกใช้เราก็ต้องดูว่า เราจำเป็นต้องใช้โมดูลไหนบ้างที่มีอยู่ในคอนโทรลเลอร์ INPUT OUTPUT ที่ใช้มีกี่ขา ROM RAM เพียงพอหรือไม่ และ เหตุผลอื่นๆ เพื่อที่จะได้เลือกใช้ คอนโทรลเลอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงบประมาณที่พอเหมาะ

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16Fxxx

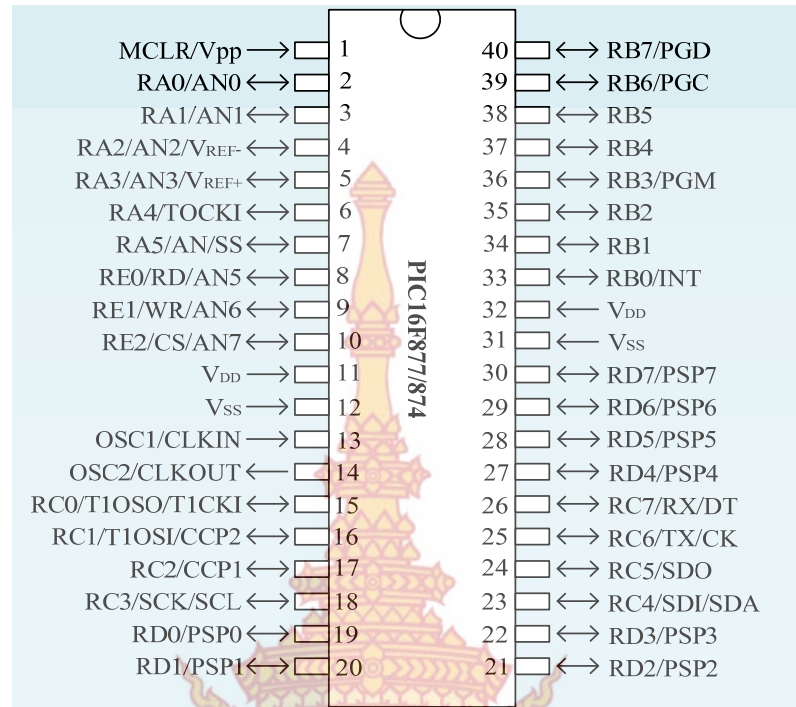
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16Fxxx จะมีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 1 จะเห็นว่าซีพียูภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูล หน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล



ภาพที่ 9 โดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16Fxxx ยังคงใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (Pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังกระทำคำสั่งให้เกิดผลตามคำสั่งนั้นๆ กำหนดหรือกระบวนการเอ็กซีคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (กระบวนการเฟตช์ (Fetch) เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซีคิวต์ (Execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆ กำหนด)

พื้นฐานการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบดิจิทัลโดยค่าเอาต์พุตที่ได้จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็น 0 กับ 1 แต่ก็สามารถนำมาประยุกต์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ มากมาย โดยการเลือกพอร์ตใช้งานจากขาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 10 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F887

จากภาพขาของ PIC-16F877 กับ 16F874 จะสามารถดูได้จาก data sheet แต่ละขาจะมีหน้าที่แตกต่างกันไปซึ่งแยกออกเป็น พอร์ต A, พอร์ต B, พอร์ต C, พอร์ต D, พอร์ต E โดยพื้นฐานแล้วพอร์ตแต่ละพอร์ตสามารถทำงานเป็นอินพุตและเอาต์พุตเป็นดิจิทัล ยกเว้น พอร์ต A และ พอร์ต E ที่สามารถทำงานเป็นตัวรับสัญญาณอนาล็อกแปลงเป็นค่าดิจิทัลเพื่อนำมาวัดปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ นำมาวัดความต่างศักย์

2.2.3 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC-16F887

มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle ทำงานได้สูงสุดที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 20 MHz ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมกัน หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8K Word (1 word=14 บิต) มีขนาดหน่วยความจำ (RAM) 368 ไบต์ มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์ ตอบสนองกับอินเตอร์รัพต์ทั้งหมด 14 แหล่ง มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer มีระบบ Code Protection สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือวงจร RC ก็ได้ สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC ได้ ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2VDC ถึง 5.5VDC Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 2.5 mA มี Timer/Counter 3 ตัว มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้าไปในตัว มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232 หรือดีกว่า มีระบบตรวจระดับไปเลี้ยง (Brown-out reset) มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีจำนวนบิตไม่เท่ากันรวมแล้วจะมี I/O

จำนวน 33 บิตโดยแบ่งออกเป็น

PORTA = RA 5 + RA0 จำนวน 6 บิต

PORTB = RB 7 + RB0 จำนวน 8 บิต

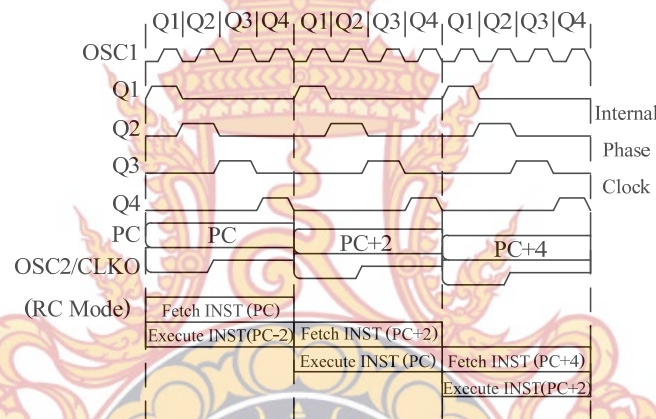
PORTC = RC 7 + RC0 จำนวน 8 บิต

PORTD = RD 7 + RD0 จำนวน 8 บิต

PORTE = RE 2 + RE0 จำนวน 3 บิต

2.2.4 สัญญาณนาฬิกา

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้ต้องมีสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวซึ่งในหนึ่งไซเคิล (Clock Bus) ของซีพียูจะประกอบไปด้วยสัญญาณนาฬิกาภายนอกจำนวน 4 ไซเคิล คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นความถี่ที่ซีพียูประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่งจะเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายนอกหารด้วย 4 หรือหากจะพิจารณาความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F887 สามารถประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่งเท่ากับ 1/4 เท่าของความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายนอก



ภาพที่ 11 สัญญาณนาฬิกา

2.2.5 โหมดสัญญาณนาฬิกา

PIC16F877 สามารถเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดสัญญาณการทำงานได้มากถึง 4 โหมด โดยการกำหนดที่บิต FOSC1 ในรีจิสเตอร์ Configuration Word ในการทำงานจะต้องเลือกโหมดหนึ่ง ดังรายละเอียด

โหมด LP (Low Power Crystal) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 32KHz - 200KHz

โหมด LP (Crystal/Resonator) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 200KHz - 4MHz

โหมด HS (High Speed Crystal/Resonator) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 4MHz - 20MHz

โหมด RC สามารถกำหนดค่าความถี่ได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอกเข้ากับขา OSC1/CLKIN

2.2.6 ประเภทของออสซิลเลเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

LP (Low Power Crystal) คริสตอลพลังงานต่ำ

XT (Crystal/Resonator) คริสตอล หรือ เรโซเนเตอร์

HS (High Speed Crystal/Resonator) คริสตอล หรือ เรโซเนเตอร์ความเร็วสูง

RC (External Resistor/Capacitor) วงจร RC ภายนอก

H4 (HS + PLL: High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled) คุณ 4 PLL คือจะทำการคูณสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา ด้วย 4 เช่น OSC ความถี่ 10 MHz เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะทำให้ได้ความถี่เท่ากับ 40 MHz

2.2.7 ออสซิลเลเตอร์แบบคริสตอล

ออสซิลเลเตอร์แบบคริสตอลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F877 นี้จะเลือกใช้แบบ XT จะต้องใช้วงจรเรโซเนเตอร์ แบบเซรามิกหรือคริสตอลต่อเข้ากับขา OSC1 และ OSC2 เพื่อทำให้เกิดสัญญาณนาฬิกา การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ สำหรับวงจรเรโซเนเตอร์แบบเซรามิก จะคำนึงถึงความถี่ต่างๆที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 1

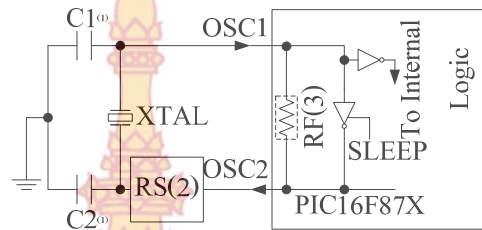
ตารางที่ 1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32kHz	33pF	33pF
	200kHz	15pF	15pF
XT	200kHz	47-68pF	47-68pF
	1MHz	15pF	15pF
	4MHz	15pF	15pF
HS	4MHz	15pF	15pF
	8MHz	15-33pF	15-33pF

ชิพแบบ XT เป็นออสซิลเลเตอร์คริสตอลแบบมาตรฐาน ซึ่งอาจต้องการคริสตอลแบบสตริปคัท AT (AT Strip-cut) เพื่อหลีกเลี่ยงการโอเวอร์ไดรฟ์ (Overdrive)

วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F887 สำหรับค่า R_{ext} ที่น้อยกว่า 2.2 กิโลโอห์ม ทำให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ได้อาจจะไม่คงที่หรือหยุดนิ่ง สำหรับค่า R_{ext} ที่มีค่าสูงมากๆ (เช่น 1 เมกะโอห์ม) ออสซิลเลเตอร์จะมีความไวต่อสัญญาณรบกวน ความชื้นและสถานะแวดล้อมภายนอก ดังนั้นควรจะใช้ค่า R_{ext} ให้มีค่าอยู่ในช่วง 5 กิโลโอห์ม ถึง

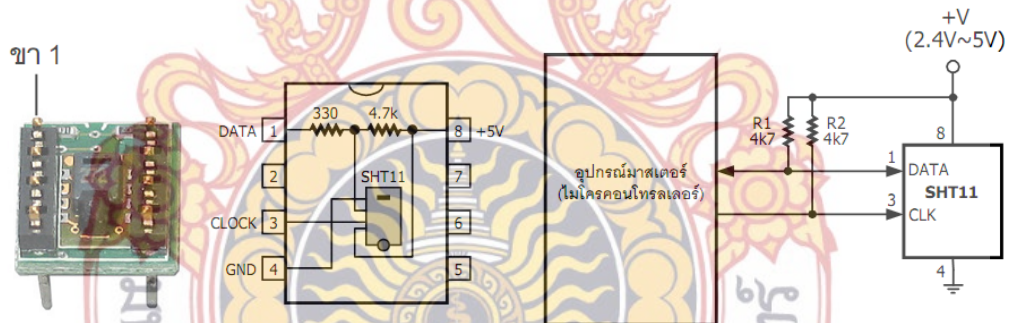
100 กิโลโอห์ม ถึงแม้ว่าออสซิลเลเตอร์จะทำงานได้โดยไม่ต้องต่อตัวเก็บประจุภายนอก ($C_{ext}=0$ pF) แต่ควรใส่ค่าตัวเก็บประจุที่มากกว่า 20 pF เพื่อลดสัญญาณรบกวนและให้สัญญาณมีความคงที่ ถ้าไม่มีตัวเก็บประจุหรือตัวเก็บประจุภายนอกมีค่าน้อยเกินไป จะทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ตัวเก็บประจุภายนอก เช่น ที่แผ่นวงจรพิมพ์ บริเวณตัวเก็บประจุหรือตัวนำของตัวเก็บประจุ



ภาพที่ 12 วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F887

2.3 เซนเซอร์

อุปกรณ์ Sensor ที่ใช้ในการวัดความชื้นในงานนี้ได้แก่ อุปกรณ์ Sensor เบอร์ SHT-11 โดยสามารถวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียวกัน มีการสื่อสารข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบ I2C โดยใช้ขาสื่อสารข้อมูลจำนวน 2 ขา



ภาพที่ 13 อุปกรณ์ Sensor ความชื้น

2.4 จอแอลซีดี

เทคโนโลยีมอนิเตอร์ LCD ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบ (Digital) โดยภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพ (Black Light) ผ่านชั้นกรองแสง (Polarized filter) แล้ววิ่งไปยัง คริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยกัน 3 เซลล์คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน กลายเป็นพิกเซล (Pixel) ที่สว่างสดใสเกิดขึ้นจอภาพ แบบ LCD (Liquid Crystal Display) มีการทำงานที่ซับซ้อนกว่าแบบ CRT เนื่องจากโครงสร้างภายในจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ในจอภาพ LCD จะมีผลึกคริสตัลเหลว (ตามชื่อ) ซึ่งเมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังผลึกคริสตัลเหลวนี้อาจเกิดการบิดตัวของผลึก แต่การบิดตัวนี้จะมากขึ้นขึ้นอยู่กับประมาณของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปนั่นเอง

2.4.1 เทคโนโลยีมอนิเตอร์แบบ LCD มีจุดเด่นหลายประการคือ

ขนาดเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบาด้วยการทำงานที่ไม่ต้องอาศัยปืนยิงอิเล็กตรอน จึงช่วยให้ด้านลึกของจอภาพมีขนาดสั้นกว่ามอนิเตอร์แบบ CRT ถึง 3 เท่าและด้วยรูปร่างที่แบนราบทางด้านหน้าและด้านหลัง ในบางรุ่นจึงมีอุปกรณ์เสริมพิเศษสำหรับติดฝาผนังช่วยให้ประหยัดพื้นที่มากยิ่งขึ้น

พื้นที่การแสดงผลเต็มพื้นที่จากเทคโนโลยีพื้นฐานในการออกแบบ ทำให้จอมอนิเตอร์แบบ LCD สามารถแสดงผลได้เต็มพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ CRT ขนาด 17 นิ้วเท่ากัน พื้นที่แสดงผลที่กว้างที่สุดจะอยู่ที่ 15 นิ้วกว่าๆ เท่านั้น ให้ภาพที่คมชัด มีรายละเอียดสูง และมีสัดส่วนที่ถูกต้องเนื่องจากมอนิเตอร์มีความแบนราบจริง ช่วยถนอมสายตาและมีอัตราการแผ่รังสีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพต่ำมาก ประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าจอ CRT ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

ความสามารถในการรองรับอินพุต (Input) ได้หลายๆแบบพร้อมกันเนื่องด้วยมอนิเตอร์แบบ LCD สามารถรับสัญญาณจากแหล่งสัญญาณดิจิทัลอื่นๆได้ เช่น โทรทัศน์หรือเครื่องเล่นดีวีดีและบางรุ่นสามารถทำภาพซ้อนจากหลายแหล่งข้อมูลได้ จึงทำให้จอมอนิเตอร์แบบ LCD เป็นได้ทั้งเครื่องรับโทรทัศน์และจอมอนิเตอร์ในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำเป็นต้องซื้อมอนิเตอร์หลายๆตัวมาใช้งาน

2.4.2 ประเภทของจอภาพแบบ LCD

จอภาพแบบ LCD ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบ Passive Matrix หรือ DSTN และแบบ Active Matrix หรือ TFT จอภาพ LCD ประเภท Passive Matrix มีใช้มานานแล้ว ซึ่งจอภาพแบบนี้จะนิยมใช้เป็นหน้าปัดนาฬิกา รวมถึงจอแสดงผลของ โทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่าๆ ด้วยส่วนแบบ Active Matrix จะมีคุณภาพในการแสดงผลที่ดีกว่าและก็มีราคาแพงกว่า แบบ Passive Matrix จึงนิยมใช้ในการแสดงผลที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น ทำจอภาพสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือจอภาพโฆษณาขนาดใหญ่ที่ติดตั้งตามอาคารสูงๆ เป็นต้น

ประเภท Passive Matrix หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า DSTN จอภาพ LCD แบบนี้จะมีการนำทรานซิสเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงานบางส่วน เพื่อให้การแสดงผลทำได้ดีกว่าจอภาพ LCD ในรุ่นแรกๆ แต่อย่างไรก็ตามจอภาพประเภท DSTN นี้ก็ยิ่งให้คุณภาพของการแสดงผลไม่ดีนัก เพราะการควบคุมการทำงานในแต่ละจุดของจอภาพยังทำได้ช้า ดังนั้น เมื่อเราใช้จอภาพแบบนี้เล่นเกมหรือดูภาพยนตร์ จอภาพจะไม่สามารถแสดงผลได้ทันกับความเร็วของภาพ ในปัจจุบันจึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันแล้ว

ประเภท Active Matrix หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแบบ TFT เพราะจอภาพ LCD แบบนี้จะนำทรานซิสเตอร์แบบ Thin-Film มาใช้ควบคุมการแสดงผลในแต่ละจุดบนจอภาพ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมดีกว่าแบบ Passive Matrix มาก แต่ข้อเสียก็คือ การออกแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นเพราะถ้าเราจะออกแบบ จอภาพ LCD แบบ Active Matrix ให้แสดงผลที่มีความละเอียด 1,024x768x3 เพราะแต่ละจุดประกอบด้วยตัวควบคุมแม่สีแสง 3 สีก็คือ ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 3 ตัวใน 1 จุด อีกทั้งการออกแบบก็ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เพราะถ้ามีทรานซิสเตอร์เสียเพียงตัวเดียวจะส่งผลให้จุดบนจอภาพแสดงสีเพี้ยนหรือไม่ก็เป็นจุดดำมืดไปทันที

บทที่ 3

วิธีการทดลอง/ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน ออกแบบเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

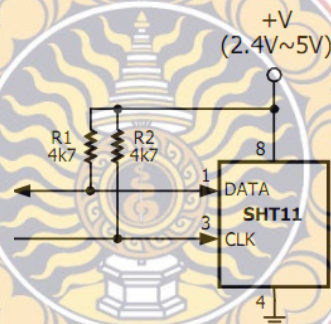
- 3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.2 ออกแบบและสร้างวงจรวัดความชื้น
- 3.3 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต
- 3.4 ออกแบบและสร้างตัวกล่องสำหรับใส่เครื่อง
- 3.5 ประกอบชิ้นงานเพื่อให้พร้อมใช้งาน

3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูล เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช ซึ่งในรายงานฉบับนี้ได้รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับการออกแบบวิธีการสร้างเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงาน โดยรับค่าจาก Sensor นำมาประมวลผล และแสดงค่าที่ได้จากการวัดผ่านจอแสดงผลแบบ LCD ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F886 เพื่อสั่งการควบคุม

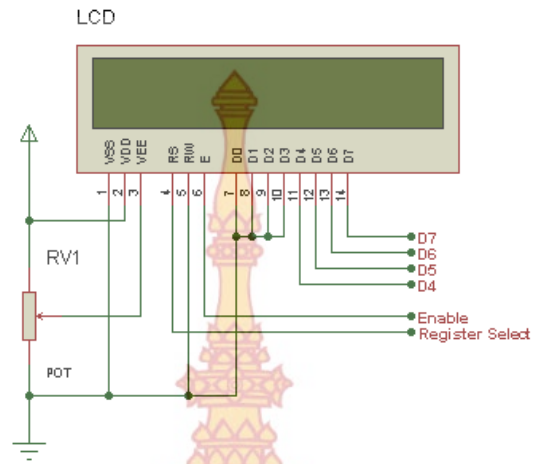
3.2 ออกแบบและสร้างวงจรวัดความชื้น

3.2.1 การออกแบบวงจรส่วน Sensor



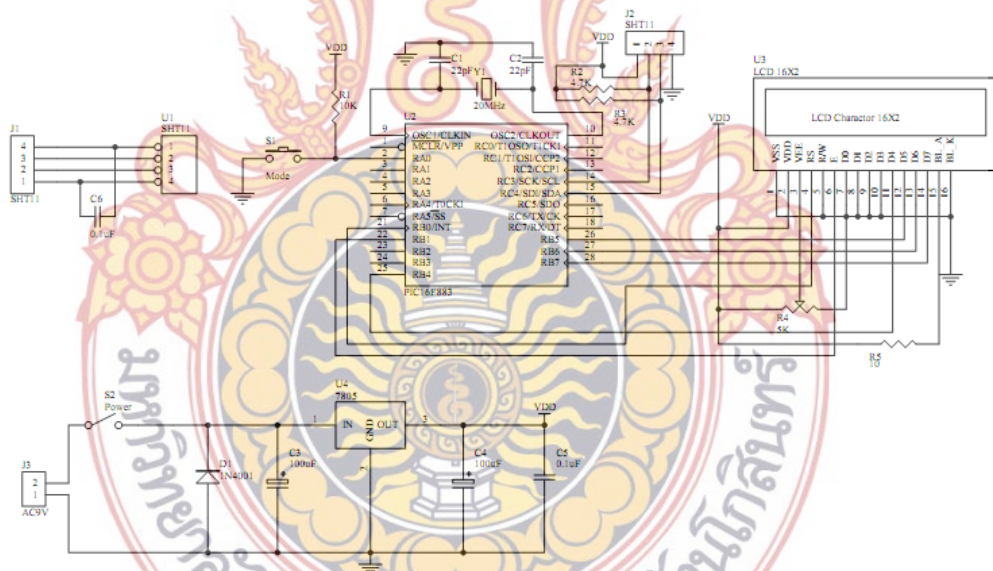
ภาพที่ 14 วงจร Sensor วัดความชื้นและอุณหภูมิ

3.2.2 การออกแบบวงจรส่วนแสดงผล LCD



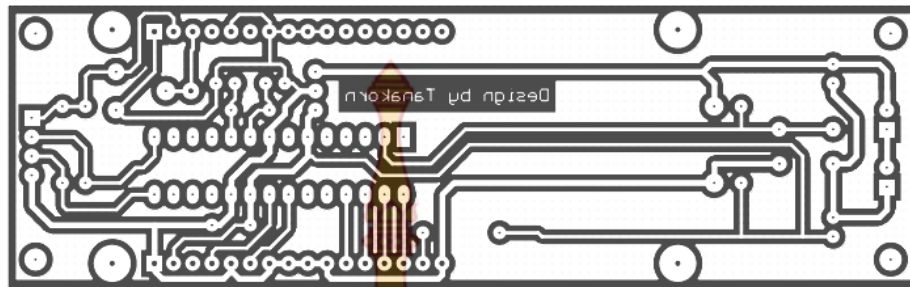
ภาพที่ 15 วงจรแสดงผล LCD 16x2

3.2.3 วงจรทั้งหมดของเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช



ภาพที่ 16 วงจรเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช

3.2.4 ออกแบบลายวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช



ภาพที่ 17 ลายวงจรพิมพ์เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช

3.2.5 ประกอบวงจรตามแบบ

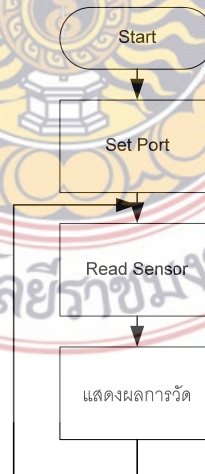


ภาพที่ 18 ตัวเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช

3.3 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต

3.3.1 โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

จากการออกแบบวงจร สามารถเขียนโฟลชาร์ตการทำงานของ Software ได้ดังนี้



ภาพที่ 19 โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

3.3.2 โปรแกรมเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช

```

#include <16F883.H>
#include "lcd1.c"
#include "sht75.c"
#fuses HS, NOWDT, PROTECT, NOLVP , NOMCLR
#use delay(clock = 20M)
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#define mode_sw PIN_A0

float restemp,truehumid;

main()
{
    set_tris_a(0xFF);
    set_tris_b(0x00);
    set_tris_c(0x00);

    lcd_init();
    sht_init();
    delay_ms(100);

    while(1)
    {
        sht_rd(restemp,truehumid);
        lcd_gotoxy(2,1);
        printf(lcd_putc, "Temp : %3.1f %cC  ", restemp, 223);
        lcd_gotoxy(2,2);
        printf(lcd_putc, "RH  : %3.1f %%  ", truehumid);
    }
}

```

3.4 ออกแบบและสร้างตัวกล่องสำหรับใส่เครื่อง

3.4.1 ออกแบบกล่องเครื่องมือ



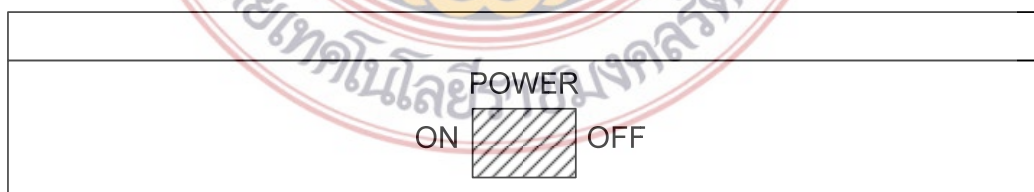
ภาพที่ 20 การออกแบบกล่องด้านบน



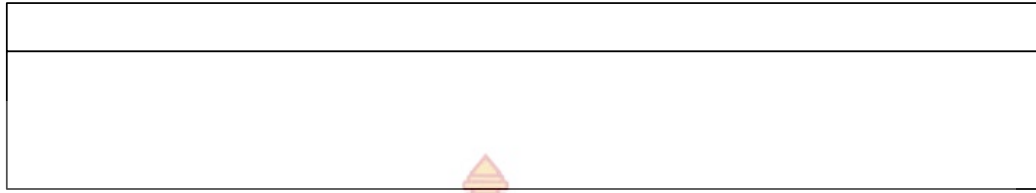
ภาพที่ 21 การออกแบบกล่องด้านข้าง(ซ้าย)



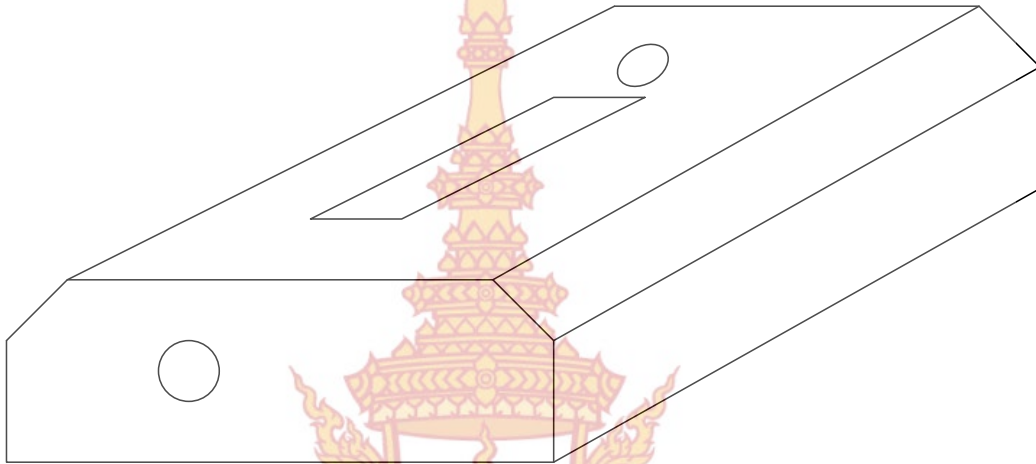
ภาพที่ 22 การออกแบบกล่องด้านข้าง(ขวา)



ภาพที่ 23 การออกแบบกล่องด้านหลัง

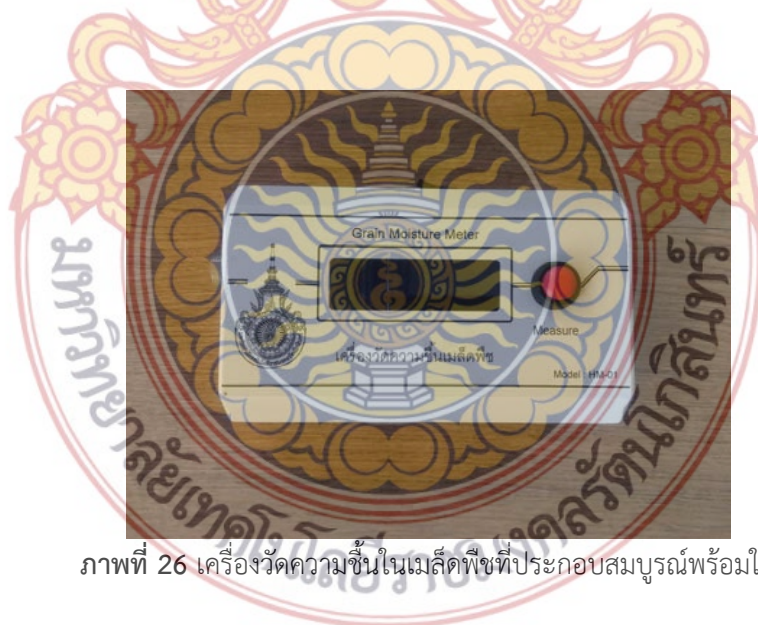


ภาพที่ 24 การออกแบบกล่องด้านหน้า



ภาพที่ 25 การออกแบบกล่องแบบสามมิติ

3.5 ประกอบชิ้นงานเพื่อพร้อมใช้งาน



ภาพที่ 26 เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่ประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้



ภาพที่ 27 แผงวัดความชื้น



ภาพที่ 28 ประกอบเครื่องวัดกับแผงวัดความชื้นเมสตีฟิซพร้อมใช้งาน



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองเปิดใช้งานเครื่อง

หลังจากประกอบเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดลองเปิดเครื่อง โดยโปรแกรมจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

4.1.1 เมื่อเปิดเครื่องแล้ว เครื่องจะตรวจสอบแรงดันแบตเตอรี่ ดังภาพ



ภาพที่ 29 เครื่องแสดงแรงดันแบตเตอรี่

4.1.2 หลังจากนั้นเครื่องจะพร้อมสำหรับการวัดค่าความชื้น เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Measure เครื่องจะทำการวัดค่าความชื้นและแสดงผล ดังภาพ

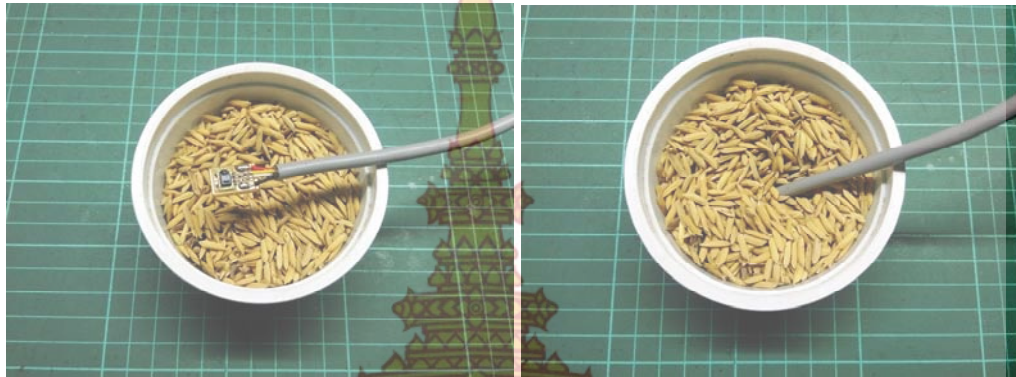


ภาพที่ 30 แสดงผลการวัดค่าความชื้น

4.2 การทดลองวัดค่าความชื้นเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

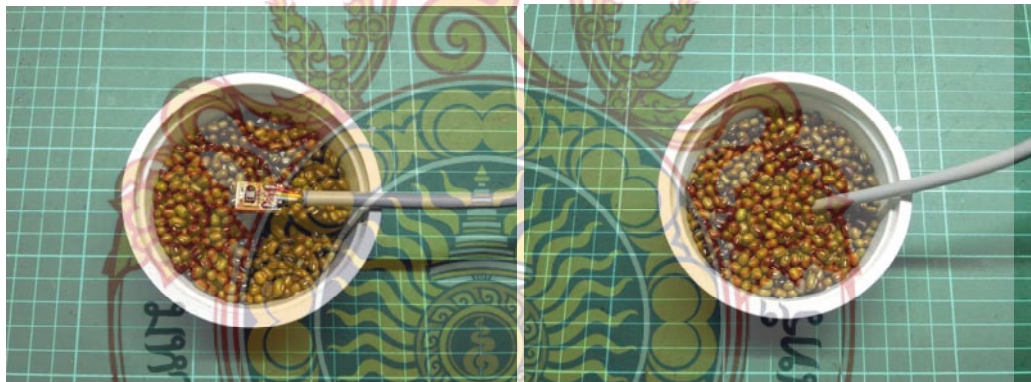
เป็นการทดลองนำเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ไปใช้วัดตัวอย่างเมล็ดพืชต่างๆ ดังนี้

4.2.1 วัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก



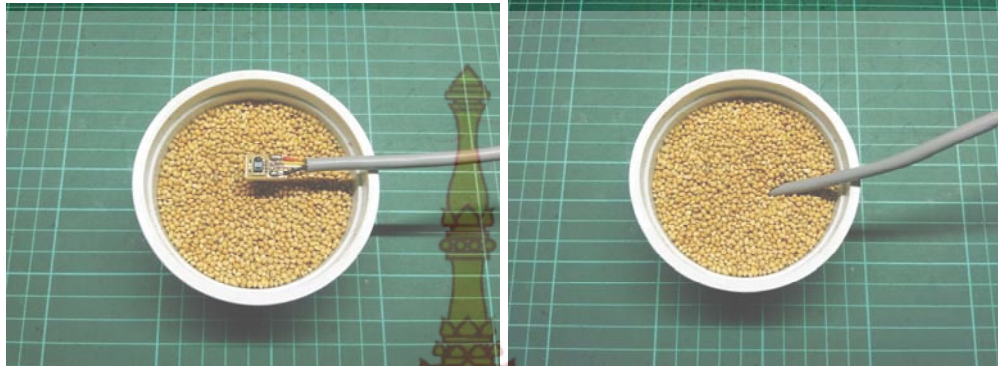
ภาพที่ 31 การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก

4.2.2 วัดความชื้นเมล็ดถั่วเขียว



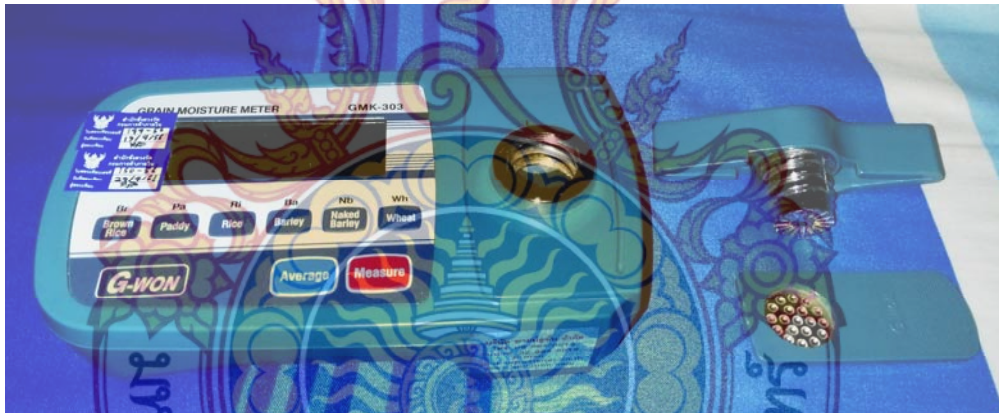
ภาพที่ 32 การวัดความชื้นในเมล็ดถั่วเขียว

4.2.3 วัดความชื้นเมล็ดข้าวฟ่าง



ภาพที่ 33 การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวฟ่าง

ในการสอบเทียบการวัดค่าความชื้นในเมล็ดพืชของเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ ได้ทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน Grain Moisture Meter ยี่ห้อ G-WON รุ่น GMK-303 ซึ่งผ่านการตรวจสอบและอนุญาตให้ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความชื้นในเมล็ดพืชเพื่อการซื้อขาย จากสำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์



ภาพที่ 34 การวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่ใช้สอบเทียบ

4.3 ผลการทดลองเมื่อวัดค่าเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน

เป็นตารางแสดงผลการทดลองโดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้น กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยทำการทดลองวัดค่าจากเมล็ดพืชตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดข้าวเปลือก , เมล็ดถั่วเขียว และ เมล็ดข้าวฟ่าง ที่ความชื้นระดับต่างๆ ได้ผลการทดลองดังตาราง

ตารางที่ 2 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก

ครั้งที่	ค่าจากเครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าจากเครื่องวัดที่สร้าง	ความผิดพลาด
1	20.2%	20.5%	+1.48%
2	18.5%	18.2%	-1.62%
3	16.3%	16.0%	-1.84%
4	14.1%	14.4%	+2.12%
5	12.1%	12.6%	+4.13%
6	11.4%	11.6%	+1.75%
7	10.7%	10.3%	-3.73%
8	8.7%	8.8%	+1.14%
9	7.1%	7.2%	+1.40%
10	5.6%	5.1%	-5.35%

ตารางที่ 3 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดถั่วเขียว

ครั้งที่	ค่าจากเครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าจากเครื่องวัดที่สร้าง	ความผิดพลาด
1	19.6%	19.8%	+1.02
2	17.8%	17.7%	-0.56
3	16.2%	16.5%	+1.85
4	15.3%	15.1%	-1.30
5	14.3%	14.6%	+2.09
6	13.5%	13.1%	-2.96
7	12.2%	12.5%	+2.45
8	11.4%	11.8%	+3.50
9	10.8%	10.4%	-3.70
10	9.7%	9.3%	-4.12

ตารางที่ 4 การทดลองวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวฟ่าง

ครั้งที่	ค่าจากเครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าจากเครื่องวัดที่สร้าง	ความผิดพลาด
1	20.0%	19.7%	-1.5
2	18.2%	18.1%	-0.54
3	17.2%	17.5%	+1.74
4	16.3%	16.7%	+2.45
5	15.8%	16.0%	+1.26
6	14.2%	14.6%	+2.81
7	13.3%	13.1%	-1.50
8	12.5%	12.3%	-1.6
9	11.4%	11.7%	+2.63
10	10.7%	10.9%	+1.86



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการออกแบบ สร้าง และทดลองใช้งานเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช โดยใช้เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิ SHT11 ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลผ่านหน้าจอชนิด LCD Character ขนาด 16 x 2 โดยทำการสอบเทียบค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดมาตรฐานที่ผ่านการรับรองจากสำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ยี่ห้อ G-WON รุ่น GMK-303 โดยเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ได้บรรจุอยู่ในกล่องพร้อมใช้ มีหัววัดที่อยู่ในท่ออลูมิเนียมสำหรับฝังในเมล็ดพืช ทำให้สะดวกในการใช้งาน เมื่อทำการสอบเทียบค่าการวัดของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นเรียบร้อยแล้ว และทดลองวัดตัวอย่างเมล็ดพืช 3 อย่าง ได้แก่ เมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดถั่วเขียว และเมล็ดข้าวฟ่าง พบว่าเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง สำหรับการวัดเมล็ดข้าวเปลือกพบมีความผิดพลาดต่ำสุด 1.14% ความผิดพลาดสูงสุด 5.35% สำหรับการวัดเมล็ดถั่วเขียวพบมีความผิดพลาดต่ำสุด 0.56% ความผิดพลาดสูงสุด 4.12% สำหรับการวัดเมล็ดข้าวฟ่างพบมีความผิดพลาดต่ำสุด 1.5% ความผิดพลาดสูงสุด 2.81%

5.2 อภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช ทำการทดลองใช้งานและบันทึกผลทราบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ตามการออกแบบ โดยผลที่ได้จากการทดลองใช้งานสามารถกล่าวถึงข้อดี-ข้อเสียของเครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช ดังนี้

5.2.1 ข้อดี

- ช่วยลดการนำเข้าเครื่องมือวัดความชื้นสำหรับเมล็ดพืชที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ
- สะดวกและง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้
- เกษตรกรสามารถเข้าถึงเครื่องมือวัดความชื้นในเมล็ดพืชได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้สามารถทดสอบผลผลิตของตนเองได้ก่อนนำไปขาย ทำให้สามารถประมาณราคาผลผลิตได้

5.2.2 ข้อเสีย

- มีความผิดพลาดในการวัด แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
- แบตเตอรี่ที่ใช้อายุการใช้งานสั้น ทำให้ต้องเปลี่ยนบ่อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาเรื่องความผิดพลาดในการวัดค่า เนื่องจากจุดที่ทำการวัดไม่ใช่จุดเดียวกัน เนื่องจากลักษณะการทำงานของเครื่องวัดเป็นคนละรูปแบบ เครื่องวัดมาตรฐานใช้การวัดแบบบดเมล็ดพืชเพื่อวัดความชื้นภายใน แต่เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืชที่สร้างขึ้นเป็นการวัดการแผ่ความชื้นออกมานอกเมล็ด จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันอยู่บ้าง แต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ในส่วนแบตเตอรี่

สามารถปรับปรุงเป็นแบตเตอรี่แห่งแบบประจุได้ที่มีความจุสูง ทดแทนการใช้แบตเตอรี่แบบ 9 โวลท์
ธรรมดา ก็จะสามารถยืดระยะเวลาการใช้งานของเครื่องได้ยาวนานขึ้น



บรรณานุกรม

ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877. ปรับปรุงครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2536

ชูชัย ธารสารตั้งเจริญ. การสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2536

ประจัน พลังสันติกุล. เรียนรู้และใช้งาน CCS คอมไพเลอร์เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2521

Data Sheet . [ออนไลน์] .

เข้าถึงได้จาก : <http://www.adafruit.com/datasheets/>

Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf .

(วันที่ค้นข้อมูล : 12 มีนาคม 2558)



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ Sensor ความชื้นและอุณหภูมิ
SHT11



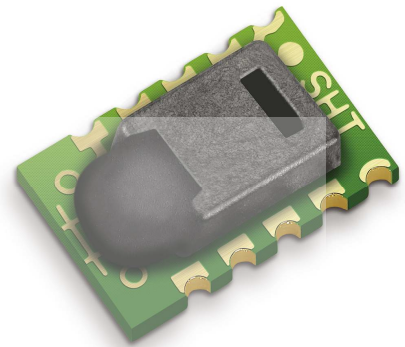
ภาคผนวก ข
จอแสดงผล LCD Character 16x2



Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)

Humidity and Temperature Sensor IC

- 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

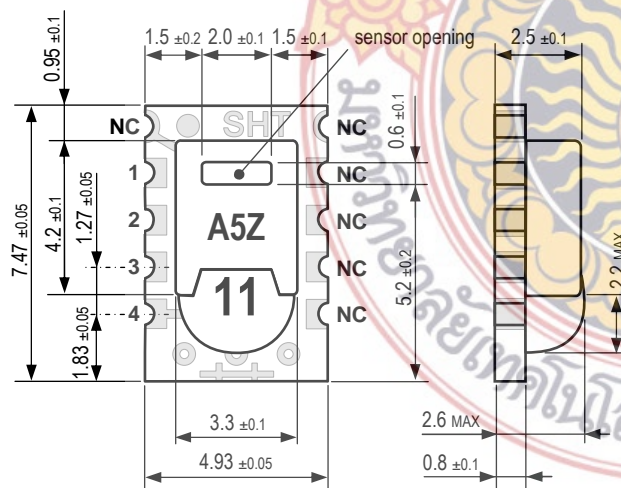


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives “11” for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

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.

Sensor Performance

Relative Humidity

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

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² 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 ⁶	τ (63%)	5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

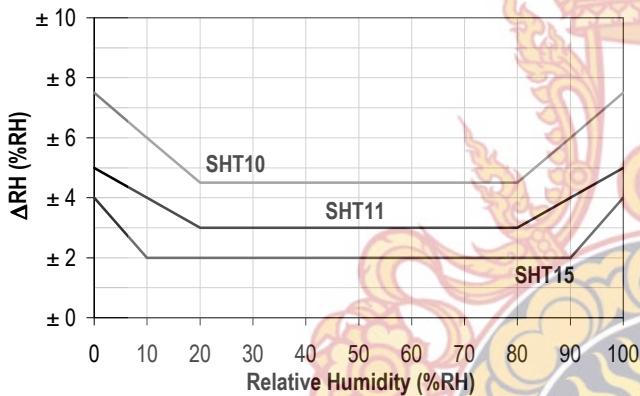


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

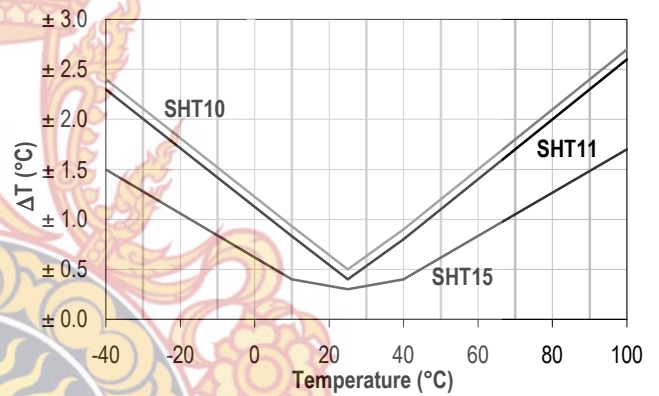


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	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.

¹ 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.
² 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.
³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.
⁵ Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.
⁶ 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.

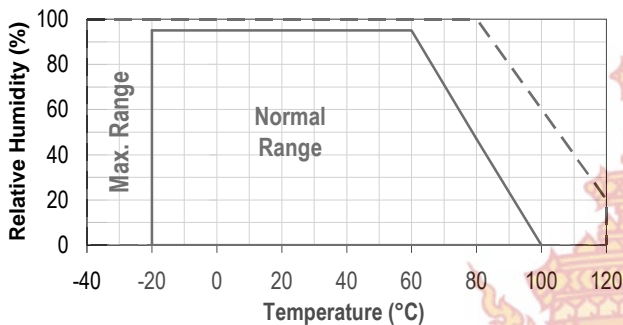


Figure 4: Operating Conditions

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.

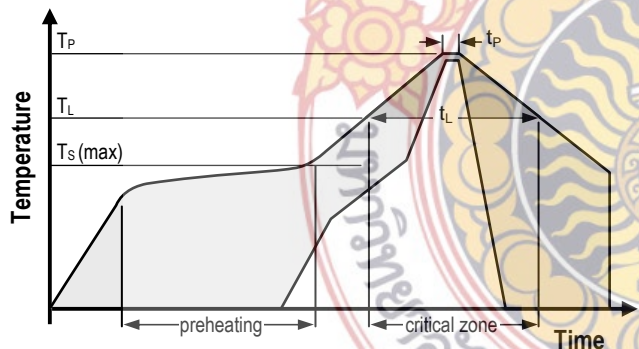


Figure 5: Soldering profile according to JEDEC standard. $T_P \leq 260^\circ\text{C}$ and $t_P < 40\text{sec}$ for Pb-free assembly. $T_L < 220^\circ\text{C}$ and $t_L < 150\text{sec}$. Ramp-up/down speeds shall be $< 5^\circ\text{C}/\text{sec}$.

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 $10^\circ\text{C}/\text{sec}$. For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350°C ⁷.

⁷ $233^\circ\text{C} = 451^\circ\text{F}$, $260^\circ\text{C} = 500^\circ\text{F}$, $350^\circ\text{C} = 662^\circ\text{F}$

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.

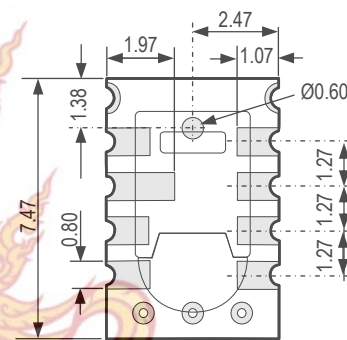


Figure 6: Rear side electrodes of sensor, view from top side.

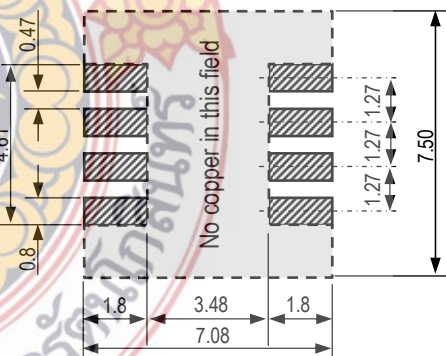


Figure 7: Recommended footprint for SHT1x. Values in mm.

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

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-HD⁸.

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 12h⁹.

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).

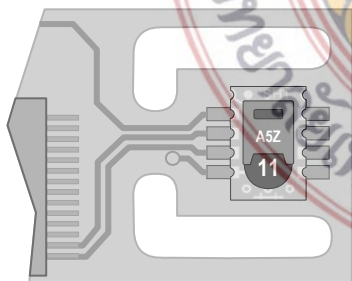


Figure 8: Top view of example of mounted SHT1x with slits milled into PCB to minimize heat transfer.

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.

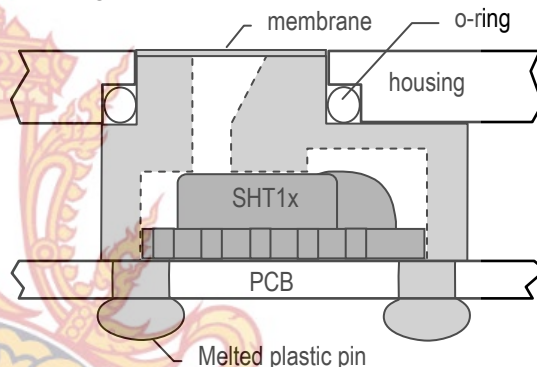


Figure 9: Side view of SF1 filter cap mounted between PCB and housing wall. Volume below membrane is kept minimal.

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

⁸ For example, 3M antistatic bag, product “1910” with zipper .
⁹ 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 $T_{amb} = 80^{\circ}\text{C}$ 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

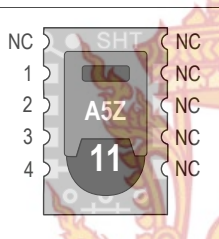


Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

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 I²C protocol; however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

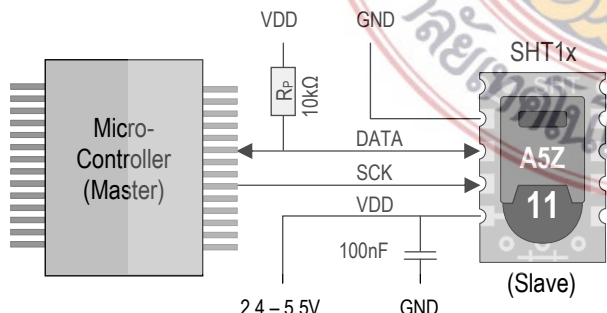


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

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_{SU} and T_{HO} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V 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 ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4 \text{ mA}$	0		250	mV
High level output voltage	$R_P < 25 \text{ k}\Omega$	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	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_p stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

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

¹¹ 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.

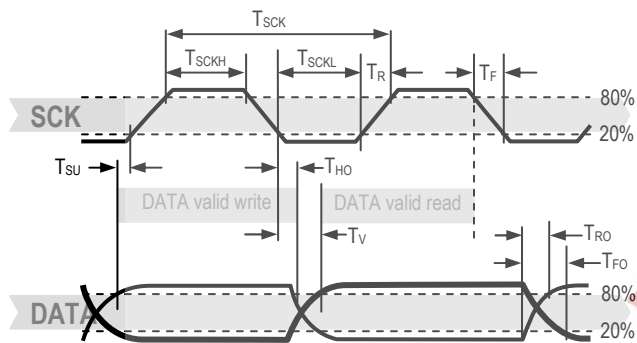


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

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

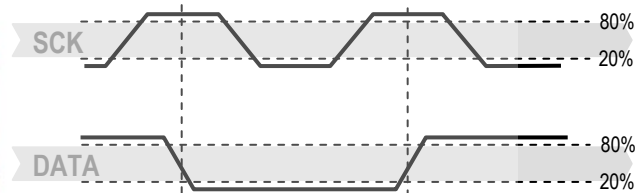


Figure 12: "Transmission Start" sequence

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

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 5th 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.

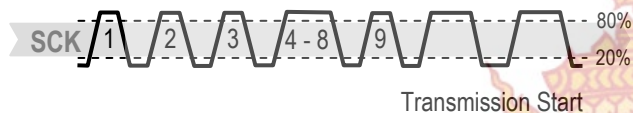


Figure 13: Connection Reset Sequence

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.

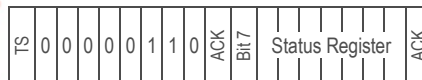


Figure 14: Status Register Write



Figure 15: Status Register Read

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

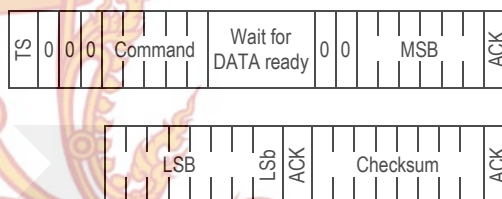


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

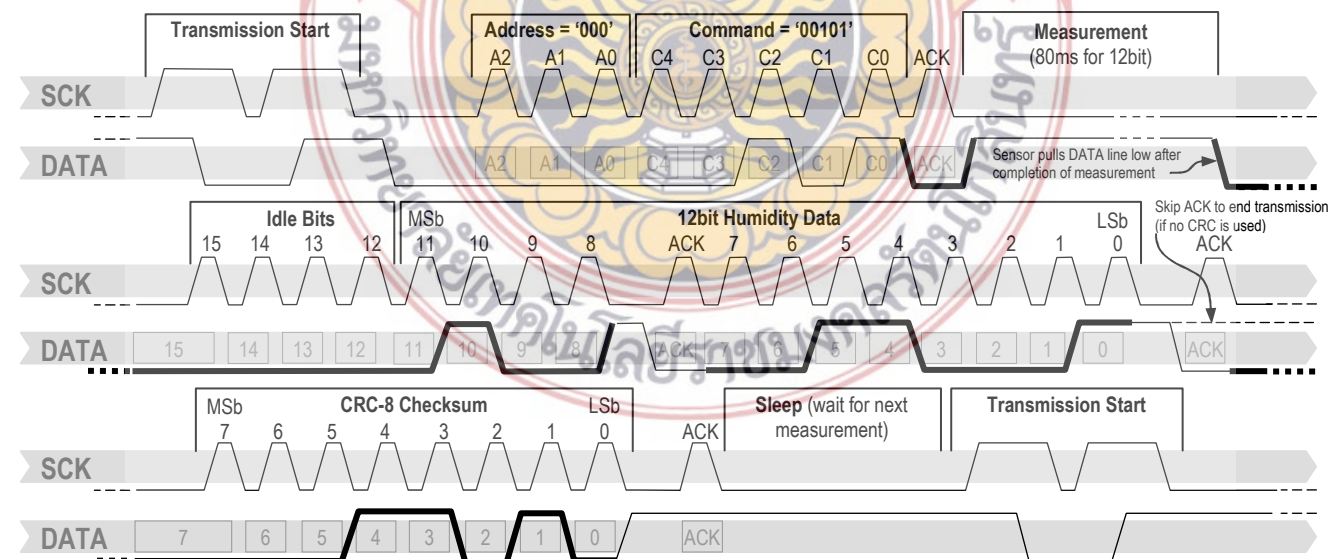


Figure 17: Example RH measurement sequence for value “0000’0100’0011’0001” = 1073 = 35.50%RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

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°C¹² 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_{RH}) 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 _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: Humidity conversion coefficients

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

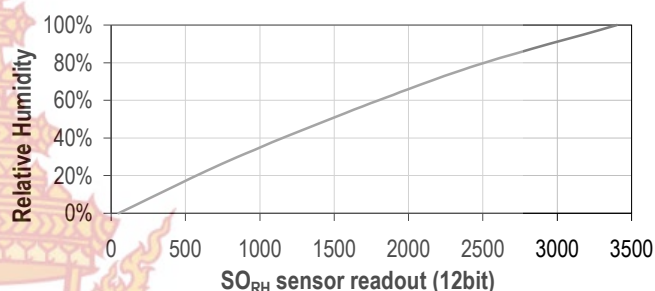


Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

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 _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7: Temperature compensation coefficients

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

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

¹³ 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.

¹² Corresponds to 9 – 18°F

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°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.

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_d) 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 _n (°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_d) 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 10¹⁴. 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 ¹⁵
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 _{amb} = 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 – see “A5Z” on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, 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.

¹⁴ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁵ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.



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.

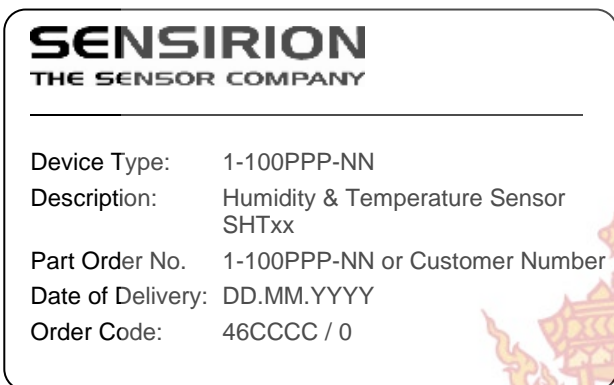


Figure 20: Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

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).

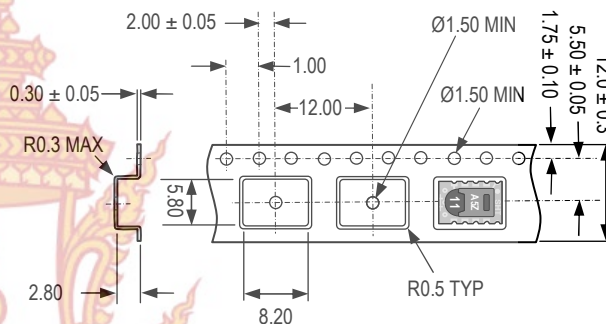


Figure 21: Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).



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).
December 2011	5	1, 8, 9	Reference to V3 sensors eliminated.



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© 2011, SENSIRION.
CMOSens® is a trademark of Sensirion
All rights reserved

Headquarters and Subsidiaries

SENSIRION AG
Laubisruetistr. 50
CH-8712 Staefa ZH
Switzerland

phone: +41 44 306 40 00
fax: +41 44 306 40 30
info@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion AG (Germany)
phone: +41 44 927 11 66
info@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion Inc., USA
phone: +1 805 409 4900
info_us@sensirion.com
www.sensirion.com

Sensirion Japan Co. Ltd.
phone: +81 3 3444 4940
info@sensirion.co.jp
www.sensirion.co.jp

Sensirion Korea Co. Ltd.
phone: +82 31 345 0031 3
info@sensirion.co.kr
www.sensirion.co.kr

Sensirion China Co. Ltd.
phone: +86 755 8252 1501
info@sensirion.com.cn
www.sensirion.com.cn

To find your local representative, please visit www.sensirion.com/contact

XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO.,LTD

**SPECIFICATIONS OF
LCD MODULE**

MODULE NO : ADM1602K-NSW-FBS/3.3V

DOC.REVISION: 00

	SIGNATURE	DATE
PREPARED BY (RD ENGINEER)	QIU	2008-10-29
CHECKED BY	<i>Chen</i>	2008-10-29
APPROVED BY	<i>yfe</i>	2008-10-29

DOCUMENT REVISION HISTORY

VERSINO	DATE	DESCRIPTION	CHANGED BY
00	Oct-29-2008	First issue	

CONTENTS

Item	Page
Functions & Features	3
Mechanical specifications	3
Dimensional Outline	4
Absolute maximum ratings	5
Block diagram	5
Pin description	5
Contrast adjust	6
Optical characteristics	6
Electrical characteristics	6
Timing Characteristics	7-8
Instruction description	9-12
Display character address code: character pattern	12 13
Quality Specifications	14--21

1. Features

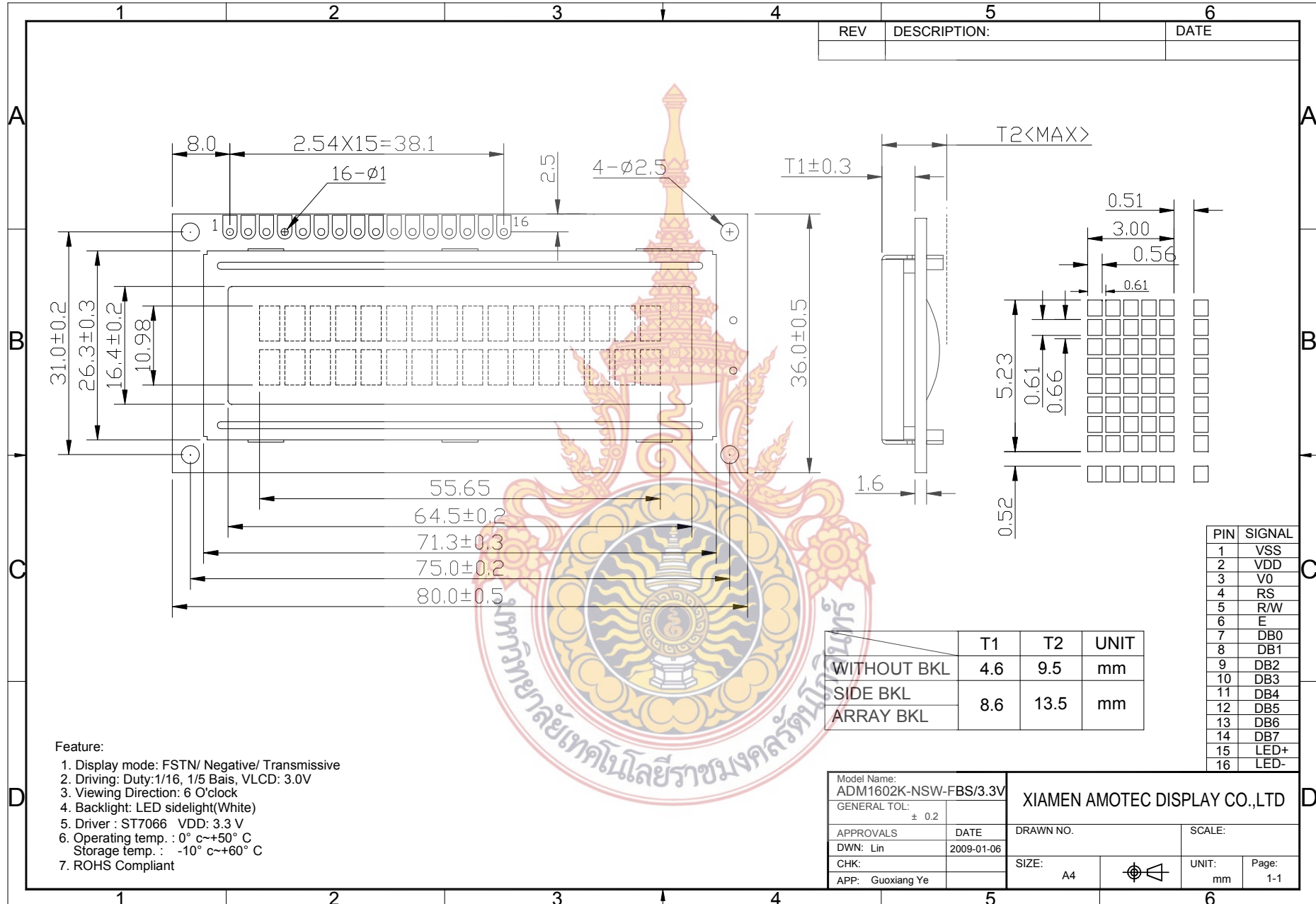
1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	<input type="checkbox"/> TN			
	<input type="checkbox"/> FSTN	<input checked="" type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Blue Negative	
View direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock		<input type="checkbox"/> 12 O'clock	
Rear Polarizer	<input type="checkbox"/> Reflective		<input type="checkbox"/> Transflective	<input checked="" type="checkbox"/> Transmissive
Backlight Type	<input checked="" type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input checked="" type="checkbox"/> 3.3V Input
		<input type="checkbox"/> CCFL	<input checked="" type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> 5.0V Input
Backlight Color	<input checked="" type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Blue	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Yellow-Green
Temperature Range	<input checked="" type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide
DC to DC circuit	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in	
Touch screen	<input type="checkbox"/> With		<input checked="" type="checkbox"/> Without	
Font type	<input checked="" type="checkbox"/> English-Japanese	<input type="checkbox"/> English-Europen	<input type="checkbox"/> English-Russian	<input type="checkbox"/> Other

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

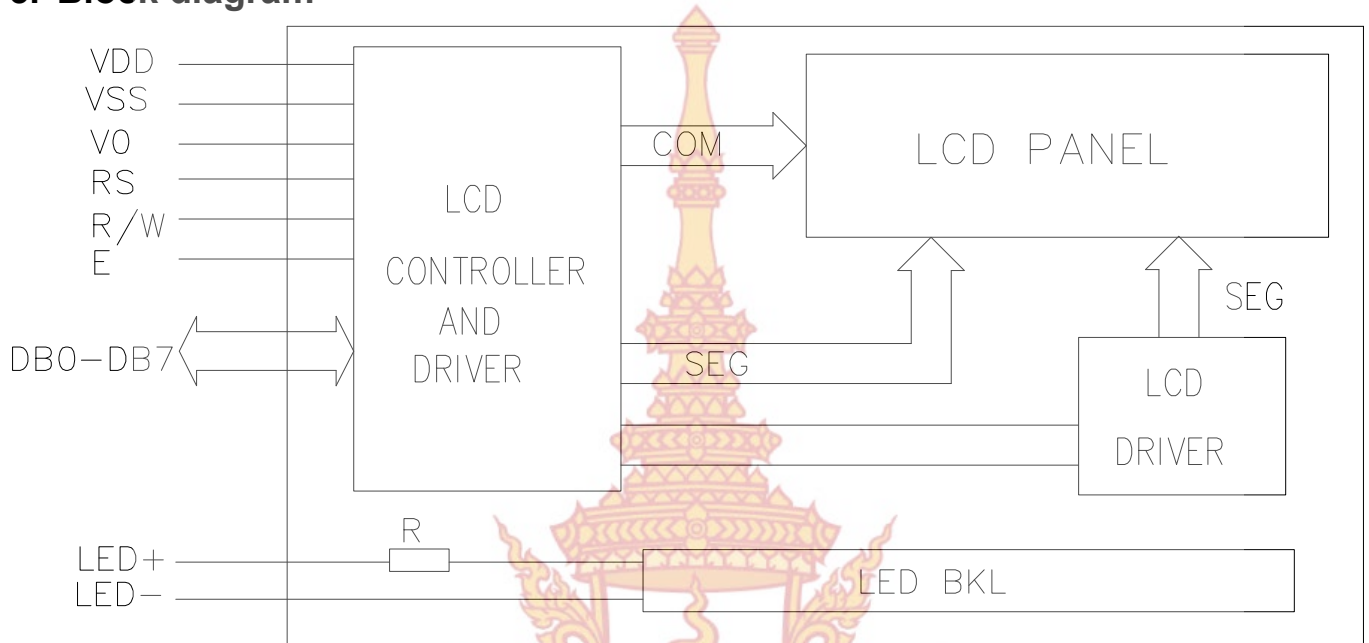
3. Outline dimension



4. Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	VSS	-	VDD	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V_{ST}	-10	-	+60	

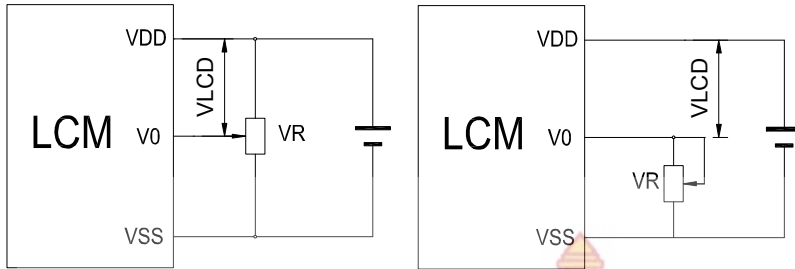
5. Block diagram



6. Interface pin description

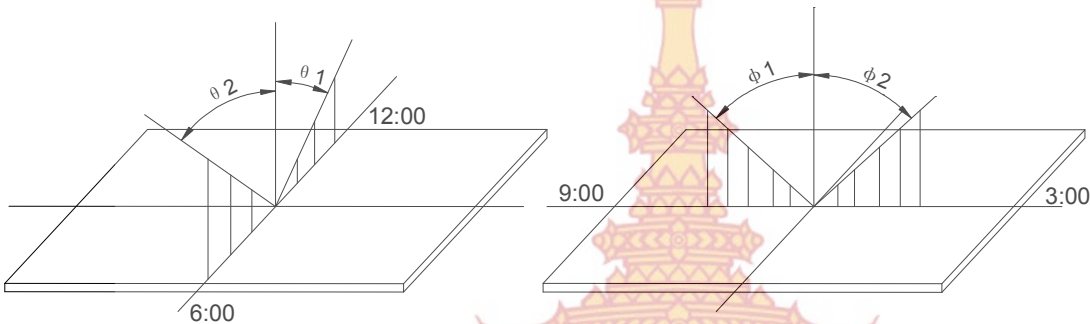
Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	VSS	Power supply	Signal ground for LCM
2	VDD		Power supply for logic for LCM
3	V0		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

7. Contrast adjust



$V_{DD}-V_0$: LCD Driving voltage VR: 10k~20k

8. Optical characteristics



STN type display module ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	$\theta 1$	$C_r \geq 3$		20		deg
	$\theta 2$			40		
	$\Phi 1$			35		
	$\Phi 2$			35		
Contrast ratio	C_r	-	-	10	-	-
Response time (rise)	T_r	-	-	200	250	ms
Response time (fall)	T_f	-	-	300	350	

9. Electrical characteristics

DC characteristics

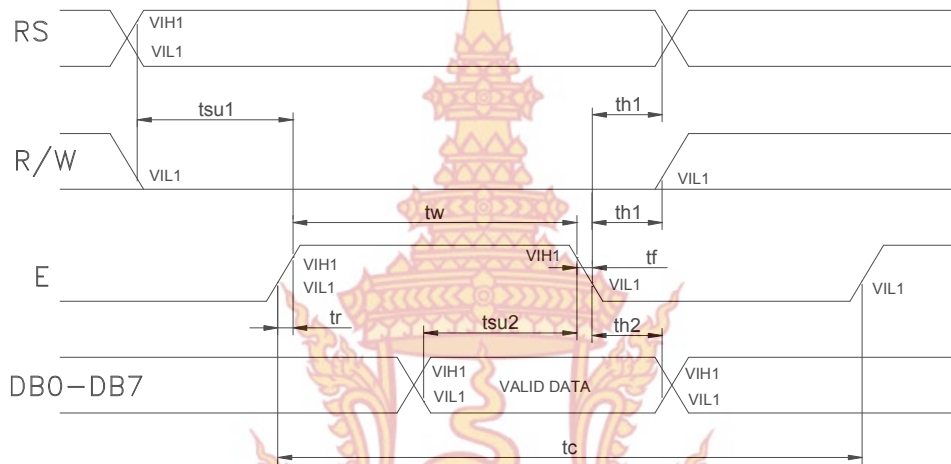
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a = 25^\circ\text{C}$	-	3.0	-	V
Input voltage	V_{DD}		3.1	3.3	3.5	
Supply current	I_{DD}	$T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$	-	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	μA
“H” level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
“L” level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
“H” level output voltage	V_{OH}	$LOH=-0.25\text{mA}$	2.4	-	-	
“L” level output voltage	V_{OL}	$LOH=1.6\text{mA}$	-	-	0.4	
Backlight supply voltage	V_F		-	3.0		
Backlight supply current	I_{LED}	$V_{LED}=3.3\text{V}$ $R=25\ \Omega$			16	mA

10. Timing Characteristics

Write cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_{h1}	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_{su2}	DB0~DB7	60	-	-	
Read data hold time	t_{h2}		10	-	-	

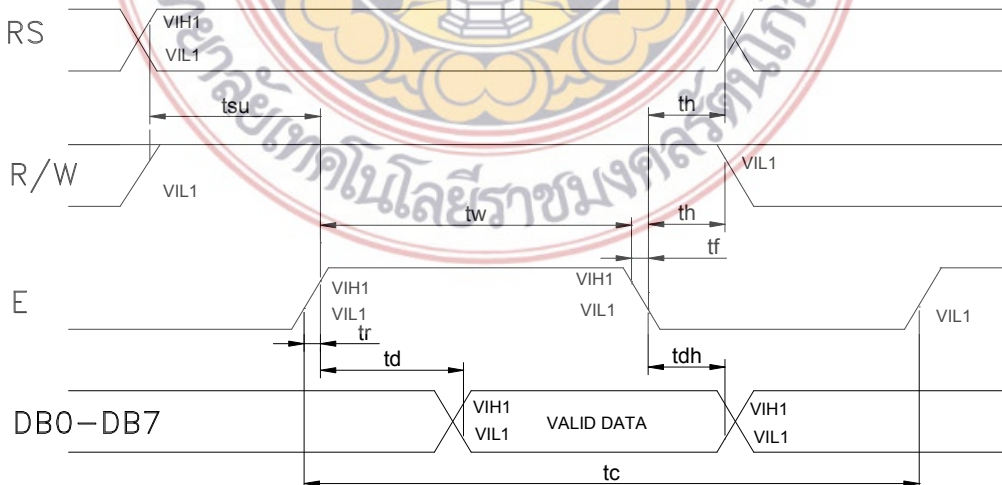
Write mode timing diagram



Read cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_h	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_d	DB0~DB7	60	-	90	
Read data hold time	t_{dh}		20	-	-	

Read mode timing diagram



11. FUNCTION DESCRIPTION

11.1 System Interface

This chip has all two kinds of interface type with MPU : 4-bit bus and 8-bit bus. 4-bit bus and 8-bit bus is selected by DL bit in the instruction register.

11.2 Busy Flag (BF)

When BF = "High", it indicates that the internal operation is being processed. So during this time the next instruction cannot be accepted. BF can be read, when RS = Low and R/W = High (Read Instruction Operation), through DB7 port. Before executing the next instruction, be sure that BF is not high.

11.3 Address Counter (AC)

Address Counter (AC) stores DDRAM/CGRAM address, transferred from IR. After writing into (reading from) DDRAM/CGRAM, AC is automatically increased (decreased) by 1. When RS = "Low" and R/W = "High", AC can be read through DB0 – DB6 ports.

11.4 Display Data RAM (DDRAM)

DDRAM stores display data of maximum 80 x 8 bits (80 characters). DDRAM address is set in the address counter (AC) as a hexadecimal number.

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

11.5 CGROM (Character Generator ROM)

CGROM has a 5 x 8 dots 204 characters pattern and a 5 x 10 dots 32 characters pattern. CGROM has 204 character patterns of 5 x 8 dots.

11.6 CGRAM (Character Generator RAM)

CGRAM has up to 5 . 8 dot, 8 characters. By writing font data to CGRAM, user defined characters can be used.

Character Code (DDRAM Data)								CGRAM Address					Character Patterns (CGRAM Data)										
b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	b5	b4	b3	b2	b1	b0	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	1	1	1	1	1	
						0	0	0				0	0	0				1	0	0			
						0	0	0				0	1	0				0	0	0	0		
						0	0	0				0	1	1				0	0	0	0		
						0	0	0				0	1	0				0	0	0	0		
						0	0	0				0	1	0				1	0	0	0		
						0	0	0				0	1	1				1	0	0	0		
						0	0	0				0	1	1				1	1	1	0		
0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-	-	-	1	0	0	0	0	1
						0	0	1				0	1	0				0	0	1			
						0	0	1				0	1	0				0	0	0	1		
						0	0	1				0	1	1				1	1	0	0		
						0	0	1				0	0	0				0	0	0	0		
						0	0	1				1	0	0				0	0	0	0		
						0	0	1				1	0	1				0	0	0	1		
						0	0	1				1	1	1				1	0	0			

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

Notes:

- Character code bits 0 to 2 correspond to CGRAM address bits 3 to 5 (3 bits: 8 types).
- CGRAM address bits 0 to 2 designate the character pattern line position. The 8th line is the cursor position

and its display is formed by a logical OR with the cursor. Maintain the 8th line data, corresponding to the cursor display position, at 0 as the cursor display. If the 8th line data is 1, 1 bit will light up the 8th line regardless of the cursor presence.

3. Character pattern row positions correspond to CGRAM data bits 0 to 4 (bit 4 being at the left).

4. As shown Table, CGRAM character patterns are selected when character code bits 4 to 7 are all 0. However, since character code bit 3 has no effect, the R display example above can be selected by either character code 00H or 08H.

5. 1 for CGRAM data corresponds to display selection and 0 to non-selection.

“-“: Indicates no effect.

11.7 Cursor/Blink Control Circuit

It controls cursor/blink ON/OFF at cursor position.

11.8 Outline

To overcome the speed difference between the internal clock of ST7066 and the MPU clock, ST7066 performs internal operations by storing control in formations to IR or DR. The internal operation is determined according to the signal from MPU, composed of read/write and data bus (Refer to Table7).

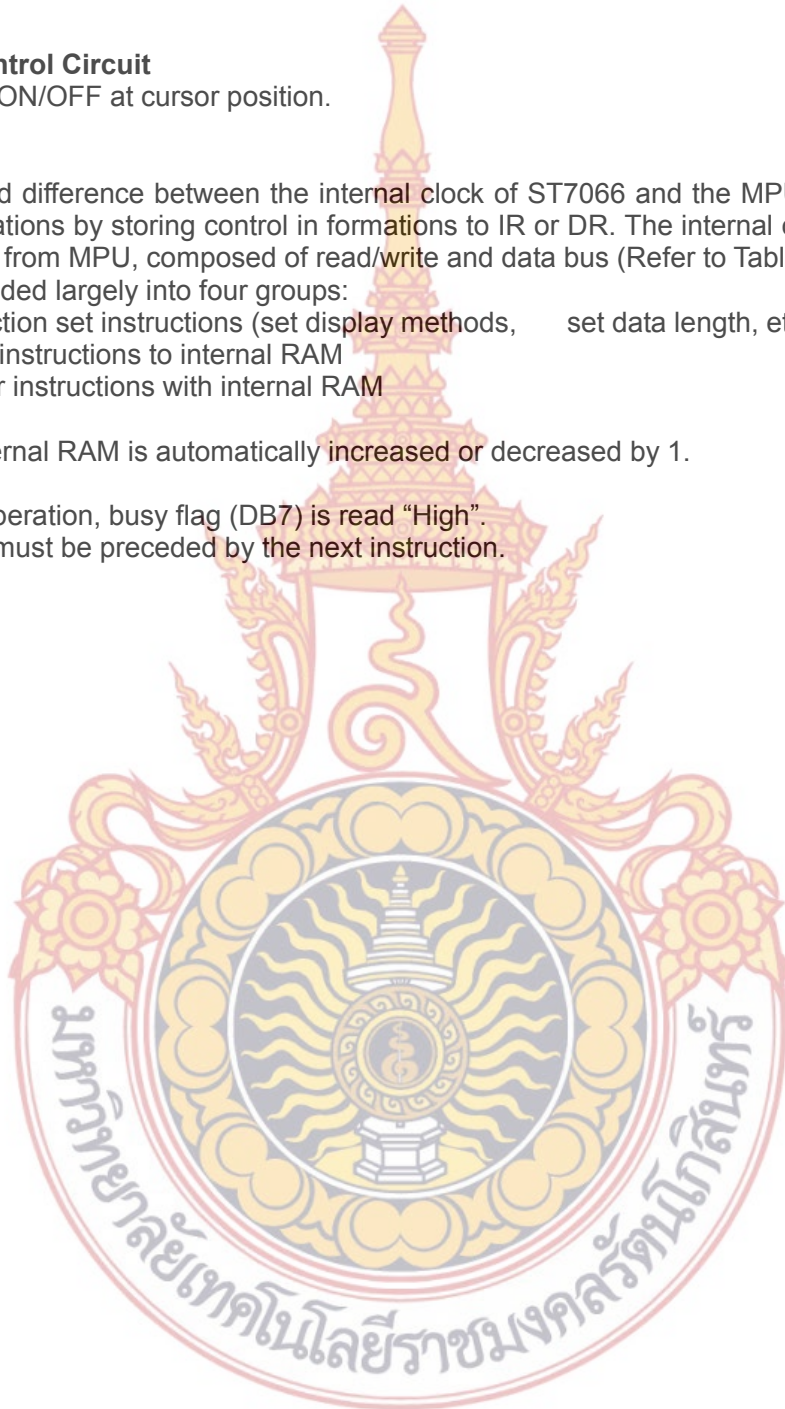
Instructions can be divided largely into four groups:

- 1) ST7066 function set instructions (set display methods, set data length, etc.)
- 2) Address set instructions to internal RAM
- 3) Data transfer instructions with internal RAM
- 4) Others

The address of the internal RAM is automatically increased or decreased by 1.

Note: during internal operation, busy flag (DB7) is read “High”.

Busy flag check must be preceded by the next instruction.



11.9 Instruction Table

Instruction	Instruction code										Description	Execution time (fosc=270 KHZ)
	RS	R/M	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRA and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Set DDRAM address to "00H" From AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction And blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: =2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE:

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary $1/2f_{osc}$ is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

11.3 Contents

1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, bring the cursor to the left edge on the first line of the display. Make the entry mode increment (I/D="High").

2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

Set DDRAM address to "00H" into the address counter.
 Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted.
 Contents of DDRAM does not change.

3) Entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D: increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D="high", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D="Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is increased by 1.

*CGRAM operates the same way as DDRAM, when reading from or writing to CGRAM.

SH: shift of entire display

When DDRAM read (CGRAM read/write) operation or SH="Low", shifting of entire display is not performed. If SH="High" and DDRAM write operation, shift of entire display is performed according to I/D value. (I/D="high". shift left, I/D="Low". Shift right).

4) Display ON/OFF control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

D: Display ON/OFF control bit

When D="High", entire display is turned on.

When D="Low", display is turned off, but display data remains in DDRAM.

C: cursor ON/OFF control bit

When D="High", cursor is turned on.

When D="Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register preserves its data.

B: Cursor blink ON/OFF control bit

When B="High", cursor blink is on, which performs alternately between all the "High" data and display characters at the cursor position.

When B="Low", blink is off.

5) Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-

Shifting of right/left cursor position or display without writing or reading of display data.

This instruction is used to correct or search display data.

During 2-line mode display, cursor moves to the 2nd line after the 40th digit of the 1st line.

Note that display shift is performed simultaneously in all the lines.

When display data is shifted repeatedly, each line is shifted individually.

When display shift is performed, the contents of the address counter are not changed.

Shift patterns according to S/C and R/L bits

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1
1	0	Shift all the display to the left, cursor moves according to the display
1	1	Shift all the display to the right, cursor moves according to the display

6) Function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-

DL: Interface data length control bit

When DL="High", it means 8-bit bus mode with MPU.

When DL="Low", it means 4-bit bus mode with MPU. Hence, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode.

When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data twice.

N: Display line number control bit

When N="Low", 1-line display mode is set.

When N="High", 2-line display mode is set.

F: Display line number control bit

When F="Low", 5x8 dots format display mode is set.

When F="High", 5x11 dots format display mode.

7) Set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.

The instruction makes CGRAM data available from MPU.

8) Set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.

This instruction makes DDRAM data available from MPU.

When 1-line display mode (N=LOW), DDRAM address is from "00H" to "4FH". In 2-line display mode (N=High), DDRAM address in the 1st line from "00H" to "27H", and DDRAM address in the 2nd line is from "40H" to "67H".

9) Read busy flag & address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether SPLC780D is in internal operation or not.

If the resultant BF is "High", internal operation is in progress and should wait BF is to be LOW, which by then the next instruction can be performed. In this instruction you can also read the value of the address counter.

10) Write data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM from DDRAM, and CGRAM, is set by the previous address set instruction (DDRAM address set, CGRAM address set).

RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM.

After write operation. The address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

11) Read data from RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If the address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that has been read first is invalid, as the direction of AC is not yet determined. If RAM data is read several times without RAM address instructions set before, read operation, the correct RAM data can be obtained from the second. But the first data would be incorrect, as there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set

instruction, it also transfers RAM data to output data register.

After read operation, address counter is automatically increased/decreased by 1 according to the entry mode.

After CGRAM read operation, display shift may not be executed correctly.

NOTE: In case of RAM write operation, AC is increased/decreased by 1 as in read operation.

At this time, AC indicates next address position, but only the previous data can be read by the read instruction.



12. Standard character pattern

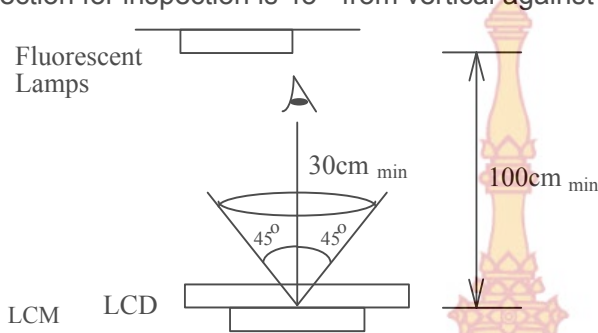
Upper 4bit Lower 4bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)														
LLLH	(2)														
LLHL	(3)														
LLHH	(4)														
LHLL	(5)														
LHLH	(6)														
LHHL	(7)														
LHHH	(8)														
HLLL	(1)				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

13. QUALITY SPECIFICATIONS

13.1 Standard of the product appearance test

Manner of appearance test: The inspection should be performed in using 20W x 2 fluorescent lamps. Distance between LCM and fluorescent lamps should be 100 cm or more. Distance between LCM and inspector eyes should be 30 cm or more.

Viewing direction for inspection is 45° from vertical against LCM.



Definition of zone:



A Zone: Active display area (minimum viewing area).

B Zone: Non-active display area (outside viewing area).



13.2 Specification of quality assurance

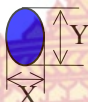

AQL inspection standard

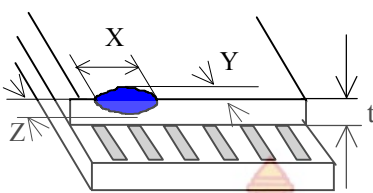
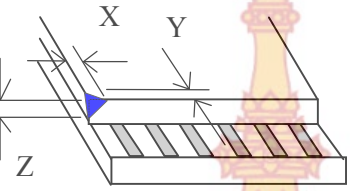
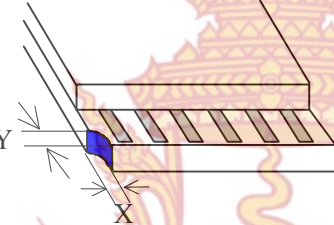
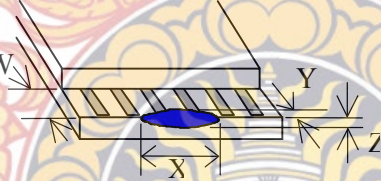
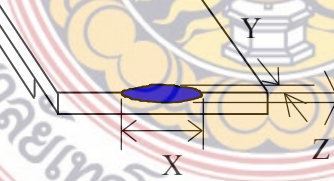
Sampling method: MIL-STD-105E, Level II, single sampling

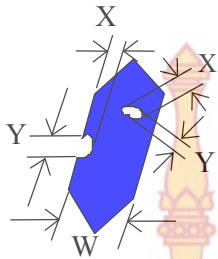
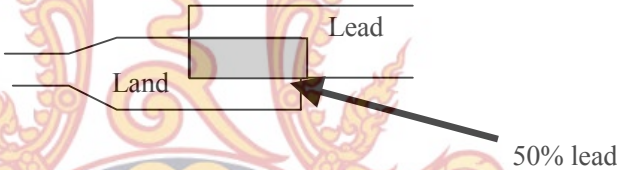
Defect classification **(Note: * is not including)**

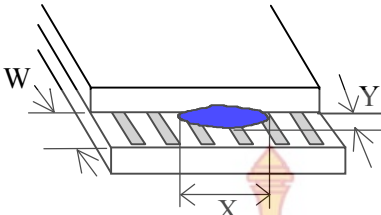
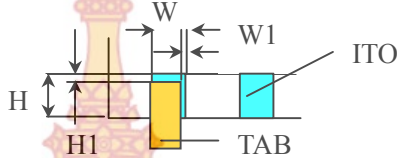
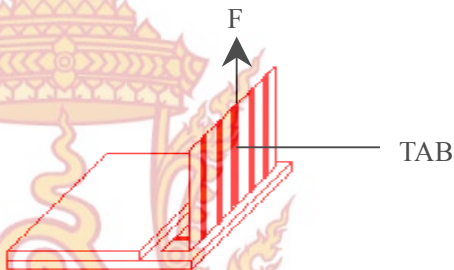
Classify	Item		Note	AQL
Major	Display state	Short or open circuit	1	0.65
		LC leakage		
		Flickering		
		No display		
		Wrong viewing direction		
		Contrast defect (dim, ghost)	2	
	Non-display	Back-light	1,8	
		Flat cable or pin reverse	10	
	Wrong or missing component	11		
Minor	Display state	Background color deviation	2	1.0
		Black spot and dust	3	
		Line defect, Scratch	4	
		Rainbow	5	
		Chip	6	
		Pin hole	7	
	Polarizer	Protruded	12	
		Bubble and foreign material	3	
	Soldering	Poor connection	9	
	Wire	Poor connection	10	
	TAB	Position, Bonding strength	13	

Note on defect classification

No.	Item	Criterion																				
1	Short or open circuit	Not allow																				
	LC leakage																					
	Flickering																					
	No display																					
	Wrong viewing direction																					
	Wrong Back-light																					
2	Contrast defect	Refer to approval sample																				
	Background color deviation																					
3	Point defect, Black spot, dust (including Polarizer)	 <table border="1" data-bbox="861 862 1300 1164"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 0.10$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$0.10 < \phi \leq 0.20$</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>$0.20 < \phi \leq 0.25$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>$0.25 < \phi \leq 0.30$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 0.30$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty.	$\phi \leq 0.10$	Disregard	$0.10 < \phi \leq 0.20$	3	$0.20 < \phi \leq 0.25$	2	$0.25 < \phi \leq 0.30$	1	$\phi > 0.30$	0								
	Point Size		Acceptable Qty.																			
$\phi \leq 0.10$	Disregard																					
$0.10 < \phi \leq 0.20$	3																					
$0.20 < \phi \leq 0.25$	2																					
$0.25 < \phi \leq 0.30$	1																					
$\phi > 0.30$	0																					
$\phi = (X+Y)/2$																						
4	Line defect, Scratch	 <table border="1" data-bbox="790 1288 1340 1556"> <thead> <tr> <th colspan="2">Line</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>W</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>$0.015 \geq W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$3.0 \geq L$</td> <td>$0.03 \geq W$</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>$2.0 \geq L$</td> <td>$0.05 \geq W$</td> </tr> <tr> <td>$1.0 \geq L$</td> <td>$0.1 > W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>$0.05 < W$</td> <td>Applied as point defect</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Line		Acceptable Qty.	L	W		---	$0.015 \geq W$	Disregard	$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2	$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$	$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1	---	$0.05 < W$	Applied as point defect
	Line		Acceptable Qty.																			
L	W																					
---	$0.015 \geq W$	Disregard																				
$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2																				
$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$																					
$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1																				
---	$0.05 < W$	Applied as point defect																				
5	Rainbow	Not more than two color changes across the viewing area.																				

No	Item	Criterion																																	
6	<p>Chip</p> <p>Remark:</p> <p>X: Length direction</p> <p>Y: Short direction</p> <p>Z: Thickness direction</p> <p>t: Glass thickness</p> <p>W: Terminal Width</p>	 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="933 291 1324 369"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t/2$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="917 604 1324 683"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="933 896 1324 1008"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 3</td> <td>≤ 2</td> <td>$\leq t$</td> </tr> <tr> <td colspan="2">shall not reach to ITO</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="925 1276 1332 1355"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disregard</td> <td>≤ 0.2</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Acceptable criterion</p> <table border="1" data-bbox="925 1556 1300 1635"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 5</td> <td>≤ 2</td> <td>$\leq t/3$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 3	≤ 2	$\leq t$	shall not reach to ITO			X	Y	Z	Disregard	≤ 0.2	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$
X	Y	Z																																	
≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 2	0.5mm	$\leq t$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 3	≤ 2	$\leq t$																																	
shall not reach to ITO																																			
X	Y	Z																																	
Disregard	≤ 0.2	$\leq t$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$																																	

No.	Item	Criterion								
7	Segment pattern $W = \text{Segment width}$ $\phi = (X+Y)/2$	(1) Pin hole $\phi < 0.10\text{mm}$ is acceptable.  <table border="1" data-bbox="853 430 1316 600"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 1/4W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$1/4W < \phi \leq 1/2W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 1/2W$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty	$\phi \leq 1/4W$	Disregard	$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1	$\phi > 1/2W$	0
Point Size	Acceptable Qty									
$\phi \leq 1/4W$	Disregard									
$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1									
$\phi > 1/2W$	0									
8	Back-light	(1) The color of backlight should correspond its specification. (2) Not allow flickering								
9	Soldering	(1) Not allow heavy dirty and solder ball on PCB. (The size of dirty refer to point and dust defect) (2) Over 50% of lead should be soldered on Land. 								
10	Wire	(1) Copper wire should not be rusted (2) Not allow crack on copper wire connection. (3) Not allow reversing the position of the flat cable. (4) Not allow exposed copper wire inside the flat cable.								
11*	PCB	(1) Not allow screw rust or damage. (2) Not allow missing or wrong putting of component.								

No	Item	Criterion
12	Protruded W: Terminal Width	 <p>Acceptable criteria: $Y \leq 0.4$</p>
13	TAB	<p>1. Position</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> $W1 \leq 1/3W$ $H1 \leq 1/3H$ </div> <p>2. TAB bonding strength test</p>  <p> $P (=F/TAB \text{ bonding width}) \geq 650\text{gf/cm}$, (speed rate: 1mm/min) 5pcs per SOA (shipment) </p>
14	Total no. of acceptable Defect	<p>A. Zone</p> <p>Maximum 2 minor non-conformities per one unit. Defect distance: each point to be separated over 10mm</p> <p>B. Zone</p> <p>It is acceptable when it is no trouble for quality and assembly in customer's end product.</p>

13.3 Reliability of LCM

Reliability test condition:

Item	Condition	Time (hrs)	Assessment
High temp. Storage	80°C	48	No abnormalities in functions and appearance
High temp. Operating	70°C	48	
Low temp. Storage	-30°C	48	
Low temp. Operating	-20°C	48	
Humidity	40°C/ 90%RH	48	
Temp. Cycle	0°C ← 25°C → 50°C (30 min ← 5 min → 30min)	10cycles	

Recovery time should be 24 hours minimum. Moreover, functions, performance and appearance shall be free from remarkable deterioration within 50,000 hours under ordinary operating and storage conditions room temperature (20±8°C), normal humidity (below 65% RH), and in the area not exposed to direct sun light.

13.4 Precaution for using LCD/LCM

LCD/LCM is assembled and adjusted with a high degree of precision. Do not attempt to make any alteration or modification. The followings should be noted.

General Precautions:

1. LCD panel is made of glass. Avoid excessive mechanical shock or applying strong pressure onto the surface of display area.
2. The polarizer used on the display surface is easily scratched and damaged. Extreme care should be taken when handling. To clean dust or dirt off the display surface, wipe gently with cotton, or other soft material soaked with isopropyl alcohol, ethyl alcohol or trichlorotrifluoroethane, do not use water, ketone or aromatics and never scrub hard.
3. Do not tamper in any way with the tabs on the metal frame.
4. Do not make any modification on the PCB without consulting AMOTEC
5. When mounting a LCM, make sure that the PCB is not under any stress such as bending or twisting. Elastomer contacts are very delicate and missing pixels could result from slight dislocation of any of the elements.
6. Avoid pressing on the metal bezel, otherwise the elastomer connector could be deformed and lose contact, resulting in missing pixels and also cause rainbow on the display.
7. Be careful not to touch or swallow liquid crystal that might leak from a damaged cell. Any liquid crystal adheres to skin or clothes, wash it off immediately with soap and water.

Static Electricity Precautions:

1. CMOS LSI is used for the module circuit; therefore operators should be grounded whenever he/she comes into contact with the module.
2. Do not touch any of the conductive parts such as the LSI pads; the copper leads on the PCB and the interface terminals with any parts of the human body.

3. Do not touch the connection terminals of the display with bare hand; it will cause disconnection or defective insulation of terminals.
4. The modules should be kept in anti-static bags or other containers resistant to static for storage.
5. Only properly grounded soldering irons should be used.
6. If an electric screwdriver is used, it should be grounded and shielded to prevent sparks.
7. The normal static prevention measures should be observed for work clothes and working benches.
8. Since dry air is inductive to static, a relative humidity of 50-60% is recommended.

Soldering Precautions:

1. Soldering should be performed only on the I/O terminals.
2. Use soldering irons with proper grounding and no leakage.
3. Soldering temperature: $280^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$
4. Soldering time: 3 to 4 second.
5. Use eutectic solder with resin flux filling.
6. If flux is used, the LCD surface should be protected to avoid spattering flux.
7. Flux residue should be removed.

Operation Precautions:

1. The viewing angle can be adjusted by varying the LCD driving voltage V_o .
2. Since applied DC voltage causes electro-chemical reactions, which deteriorate the display, the applied pulse waveform should be a symmetric waveform such that no DC component remains. Be sure to use the specified operating voltage.
3. Driving voltage should be kept within specified range; excess voltage will shorten display life.
4. Response time increases with decrease in temperature.
5. Display color may be affected at temperatures above its operational range.
6. Keep the temperature within the specified range usage and storage. Excessive temperature and humidity could cause polarization degradation, polarizer peel-off or generate bubbles.
7. For long-term storage over 40°C is required, the relative humidity should be kept below 60%, and avoid direct sunlight.

Limited Warranty

AMOTEC LCDs and modules are not consumer products, but may be incorporated by AMOTEC 's customers into consumer products or components thereof, AMOTEC does not warrant that its LCDs and components are fit for any such particular purpose.

1. The liability of AMOTEC is limited to repair or replacement on the terms set forth below. AMOTEC will not be responsible for any subsequent or consequential events or injury or damage to any personnel or user including third party personnel and/or user. Unless otherwise agreed in writing between AMOTEC and the customer, AMOTEC will only replace or repair any of its LCD which is found defective electrically or visually when inspected in accordance with AMOTEC general LCD inspection standard . (Copies available on request)
2. No warranty can be granted if any of the precautions state in handling liquid crystal display above has been disregarded. Broken glass, scratches on polarizer mechanical damages as well as defects that are caused accelerated environment tests are excluded from warranty.
3. In returning the LCD/LCM, they must be properly packaged; there should be detailed description of the failures or defect.

ประวัติผู้วิจัย

1.ชื่อ สกุล นายธนากร สุนทรวัฒน์

2.ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3.หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศาลายา
96 หมู่ 3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม (73170)
โทร:02-8894595 ต่อ xxxx
E-Mail : tanakorn.s@rmutr.ac.th , tsuntornwat@hotmail.com

4.ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	สถานที่ศึกษา	สาขาวิชา	ปี พ.ศ.
ปริญญาตรี	ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก (มทร.ธัญบุรี)	วิศวกรรมไฟฟ้า- อิเล็กทรอนิกส์	2539

5.สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

4.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องมือวัดระยะความละเอียดสูง
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องมือวัดระยะความละเอียดสูง ปี 2550
การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริงในการวัดการทรุดตัวของดิน
แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- หัวหน้าโครงการวิจัย : อุปกรณ์ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ
ขนาดเล็ก
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : อุปกรณ์ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับ
เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ปี 2554
การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริง โดยติดตั้งใช้งานในบ้านพักอาศัยของผู้วิจัย และ
เพื่อนอาจารย์ในมหาวิทยาลัย จำนวน 3 หลัง
แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.ผู้ร่วมวิจัย : เครื่องตัดโลหะด้วยพลาสมาควบคุมด้วยแขนกลอัตโนมัติ
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องตัดโลหะด้วยพลาสมาควบคุมด้วยแขนกลอัตโนมัติ
ปี 2553

การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริง โดยใช้ตัดโลหะเพื่อทำชิ้นงานตกแต่งภายใน
มหาวิทยาลัย

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

4.หัวหน้าโครงการวิจัย : แผนที่พุดได้สำหรับผู้พิการทางสายตา
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : แผนที่พุดได้สำหรับผู้พิการทางสายตา ปี 2555

การเผยแพร่ : กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการวิจัย

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

5.หัวหน้าโครงการวิจัย : การพัฒนาเครื่องคัดแยกสีมะนาว

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องคัดแยกสีมะนาว ปี 2556

การเผยแพร่ : แสดงผลงานในงานราชชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 5 ปี 2556

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

