



เครื่องวัดความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า

RICE MOISTURE METER BY CAPACITANCE METHOD



นายเอกชัย ตามยุทธ รหัส 51384123  
นายพิทยา ต่วนเคลือ รหัส 51381207

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 16861737
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๙ ๘๗ ๖ ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องวัดความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า  
ผู้ดำเนินโครงการ นายเอกชัย ตามยุทธ รหัส 51384123  
นายพิทยา ต่วนเคลือ รหัส 51381207  
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

*Sunst Kravittays* ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

*[Signature]* .....กรรมการ  
(ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องวัดความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเอกชัย ตามยุทธ รหัส 51384123 นายพิทยา ต่วนเคลือ รหัส 51381207
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2555

---

#### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า โดยการออกแบบกล่องและระบบตรวจวัดความชื้นข้าวด้วยการวัดความจุไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ค่าที่ได้จากเครื่องวัดความชื้นข้าวที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องมากที่สุด และนำผลที่ได้มาเทียบกับการวัดความชื้นข้าวด้วยวิธีการอบ ซึ่งการใช้เครื่องวัดความชื้นที่พัฒนาขึ้นในโครงการนี้จะช่วยให้วัดได้อย่างรวดเร็ว ผลทดสอบเบื้องต้น พบว่าความชื้นของข้าวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความจุไฟฟ้าในย่านความชื้นประมาณ 10 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์

**Project title** Rice Moisture Meter by Capacitance Method  
**Name** Mr. Aekkachai Tamyut ID. 51384123  
Mr. Pittaya Tuanklue ID. 51381207  
**Projerct advisor** Dr. Suwit Kiravittaya  
**Major** Electrical Engineering  
**Department** Electrical and Computer Engineering  
**Academic year** 2012

---

### Abstract

This thesis presents a development of rice moisture meter by capacitance method. By properly designing of rice box and capacitance measurement circuit we obtain a usable rice moisture meter. The measured rice moisture contents are calibrated with an oven method. The developed rice moisture meter will reduce the measurement time. Preliminary test results show that the rice moisture (in the range of 10-16%) linearly depends on the capacitance.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.สุวิทย์ ภิระวิทยา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอด

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน นอกจากนี้ยังต้องขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้จนทำให้โครงการนี้สำเร็จล่วง

ขอขอบคุณ คุณสายชล ศรีแป้น ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำโครงการจนสำเร็จ

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบคุณของบิดา มารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา ตีตปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่ด้วยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างตลอดมาทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายเอกชัย ตามยุทธ

นายพิทยา ต่วนเคลือ

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค	ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง	ง
สารบัญ.....จ	จ
สารบัญตาราง.....ช	ช
สารบัญรูป.....ซ	ซ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ..... 2	2
1.3 ขอบข่ายของ โครงการ..... 2	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ..... 2	2
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ..... 3	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 3	3
1.7 งบประมาณ..... 3	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4	4
2.1 ความชื้น..... 4	4
2.2 หลักการวัดความชื้น..... 4	4
2.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น..... 6	6
2.4 หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า..... 6	6
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเก็บประจุ..... 8	8
2.6 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์..... 9	9
2.7 Microcontroller Arduino..... 10	10
2.8 ไอซีเบอร์ 555..... 11	11
2.9 เครื่องมือวัดในการทดลอง..... 14	14

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	17
3.1 การออกแบบสร้างกล่องบรรจุตัวอย่างข้าว.....	17
3.2 การออกแบบวงจร .....	17
3.3 การทำเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าให้เป็นเครื่องวัดความชื้นในข้าว .....	22
3.5 การแปลงค่าความจุไฟฟ้าให้เป็นค่าความชื้นในข้าว.....	24
3.6 การทดลองวัดความชื้นของเมล็ดข้าว .....	25
3.7 การใช้งานเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	29
4.1 รูปสัญญาณจากวงจรวัดค่าความชื้นที่สร้างขึ้น .....	29
4.2 การทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของกล่อง แบบที่ 1.....	32
4.3 การทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของกล่อง แบบที่ 2.....	33
4.4 การเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น .....	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....	39
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ.....	40
เอกสารอ้างอิง .....	41
ภาคผนวก ก Source Code ของ โปรแกรม.....	42
ภาคผนวก ข เอกสารข้อมูลคุณสมบัติอุปกรณ์ .....	46
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ .....	68

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุต่างๆ .....	8
4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว 200 กรัม กล่องแบบที่ 1.....	34
4.2 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว 200 กรัม กล่องแบบที่ 2.....	36
4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าจากเครื่องที่สร้างกับความชื้นของข้าวจากเครื่องที่สร้าง โดยใช้กล่องแบบที่ 1 และค่าความชื้นของข้าวจากการคำนวณ.....	38





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) การวางแผนโลหะสองแผ่นขนานกัน และ (ข) การป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่.....	6
2.2 ตำแหน่งขาและอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino .....	11
2.3 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555 .....	12
2.4 วงจรอะสเตเบิล .....	13
2.5 วงจรโมโนสเตเบิล .....	13
2.6 ออสซิลโลสโคป .....	14
2.7 สายวัดหรือโพรบ .....	14
2.8 มัลติมิเตอร์ .....	16
2.9 เครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM-409A .....	11
3.1 การออกแบบกล่องวัดความชื้นข้าวแบบที่ 1 .....	17
3.2 การออกแบบกล่องวัดความชื้นข้าวแบบที่ 2 .....	17
3.3 รูปแผนภาพโดยรวมของวงจรเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า .....	19
3.4 วงจร Regulator .....	20
3.5 วงจรเชื่อมต่อ Input/Output ของ Arduino .....	20
3.6 วงจรควบคุมการทำงานของไอซีเบอร์ 555 .....	21
3.7 วงจรวัดความชื้นข้าวด้วยไอซี 555 .....	22
3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรม .....	23
3.9 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง .....	26
3.10 รูปซ้ายคือกล่องที่ใช้ลูกผสมข้าวเปลือกกับน้ำ และ รูปขวาคือสเปรย์ฉีดน้ำ .....	26
3.11 การวัดค่าความจุไฟฟ้าในข้าวเปลือกด้วยเครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM – 409A .....	27
3.12 การอบไล่ความชื้นในข้าวเปลือก .....	27
3.13 การใช้งานเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น .....	28
4.1 รูปสัญญาณที่ได้จากไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 1 .....	29
4.2 รูปสัญญาณที่วัดได้จากไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 2 ในขณะที่ต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้า (ก) 150 พิโคฟาร์ด (ข) 180 พิโคฟาร์ด และ (ค) 220 พิโคฟาร์ด .....	30
4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับเวลา .....	31

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟเปรียบเทียบเครื่องวัดความจุไฟฟ้ากับเครื่องที่สร้าง .....	33
4.5 แสดงลักษณะของศักย์ไฟฟ้าของกล่อง แบบที่ 1.....	33
4.6 แสดงลักษณะของศักย์ไฟฟ้าของกล่อง แบบที่ 2.....	33
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น กล่องแบบที่ 1.....	35
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น กล่องแบบที่ 2.....	36



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ มีบทบาทในการอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันก็มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ทันสมัยต่าง ๆ ที่ผลิตออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายของมนุษย์ แต่ก่อนที่จะได้มาเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือเหล่านั้น จะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาทิ เช่น ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน เป็นต้น นำมาประกอบกัน โดยใช้ความรู้ความสามารถทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มาคิดคำนวณ ออกแบบว่าต้องใช้อุปกรณ์ใดบ้างเป็นส่วนประกอบเพื่อที่จะได้มาซึ่งเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกและเข้ากับยุคสมัย ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการส่งออกข้าวเป็นรายใหญ่ของโลก ซึ่งในแต่ละปีนั้นการส่งออกข้าวได้สร้างรายได้ให้กับประเทศหลายล้านบาทแต่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวกลับมีปัญหาเรื่องข้าวราคาต่ำ ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพไม่ได้มาตรฐานก็คือ ความชื้นที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากข้าวที่เกษตรกรนำมาขายให้กับโรงสีนั้นอาจมีความชื้นที่สูงเกินไปและการเก็บรักษาในที่ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้คุณภาพข้าวที่ได้จากการสีต่ำลงไปด้วย

ระบบตรวจวัดความชื้นของข้าวด้วยค่าความจุไฟฟ้า เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับค่าความชื้นของข้าว โดยที่ผู้ใช้สามารถนำอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นของข้าวด้วยค่าความจุไฟฟ้าไปใช้ตรวจวัดความชื้นของข้าวในที่ต่างๆ ได้เลย โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ไว้ที่ใดที่หนึ่ง เมื่อตรวจวัดข้าวอุปกรณ์จะรับข้อมูลแล้วส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความชื้นที่วัดได้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ลดกระบวนการในการหาความชื้นของข้าวได้ และสามารถใช้งานได้ง่ายและถูกต้องแม่นยำ

ดังนั้น เพื่อเป็นการลดกระบวนการการตรวจวัดความชื้นของข้าวให้ใช้เวลาน้อยลง ช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และเพื่อควบคุมคุณภาพของผลผลิตให้เกษตรกรและโรงสีสามารถวัดความชื้นของข้าวเพื่อควบคุมให้มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ที่จะใช้ในการลดความชื้นของข้าวได้ โครงการนี้จึงได้เกิดขึ้นเพื่อส่งเสริมอาชีพของเกษตรกรให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น ส่งเสริมคุณภาพสินค้าทางเศรษฐกิจของประเทศ และเพื่อเป็นแนวทางที่จะพัฒนาความสามารถของอุปกรณ์ให้สามารถทำงานได้หลากหลาย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบการวัดความชื้นข้าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 1.2.2 เพื่อสร้างต้นแบบของระบบวัดความชื้นข้าวด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้า
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระบบการวัดความชื้นข้าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเทียบกับระบบที่สร้างและพัฒนาในโครงการ

## 1.3 ขอบข่ายของโครงการ

- 1.3.1 สร้างและทดลองการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้าได้
- 1.3.2 ระบบตรวจวัดความชื้น สามารถตรวจวัดความชื้นของข้าวได้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
  - ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นของข้าวเปลือกที่เหมาะสม
  - ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจวัดความชื้นของข้าวเปลือกในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม
  - ศึกษากระบวนการและปัญหาที่เกิดขึ้นในการตรวจวัดความชื้นของข้าวเปลือก
- 1.4.2 ออกแบบวงจรและสร้างอุปกรณ์
  - ออกแบบ และกำหนดรายละเอียดฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ของเครื่องตรวจวัดความชื้นของข้าว
  - ออกแบบ และกำหนดรายละเอียดฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ วิเคราะห์ข้อมูลเครื่องตรวจวัดความชื้นของข้าว
- 1.4.3 พัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นของข้าว
  - พัฒนาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความชื้นของข้าว
- 1.4.4 ทดสอบและปรับปรุงแก้ไขระบบ
- 1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผล

### 1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

หัวข้องาน	2555	2556		2557	
	ก.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-พ.ค.	มิ.ย.-พ.ย.	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ต.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	↔				
2. ออกแบบวงจรและสร้างอุปกรณ์		↔			
3. พัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นของข้าว			↔	↔	
4. ทดสอบและปรับปรุงแก้ไขระบบ				↔	
5. วิเคราะห์และสรุปผล					↔

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบของเครื่องตรวจวัดความชื้นของข้าวด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้า

1.5.2 ได้ความรู้เกี่ยวกับหลักการการทำงานของเครื่องวัดทางไฟฟ้าและการวัดความจุไฟฟ้า

และแนวคิดที่จะสามารถนำไปพัฒนางานในด้านอื่น ๆ ต่อไป

### 1.7 งบประมาณ

เครื่องวัดความจุไฟฟ้า	1,200	บาท
เครื่องชั่ง	900	บาท
ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	1,200	บาท
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	500	บาท
<b>รวมเป็นเงิน</b>	<b>3,800</b>	<b>บาท</b>

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 ความชื้น (moisture)

ความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเมล็ดข้าวซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเมล็ดข้าวนั้น ๆ รวมทั้งเป็นข้อกำหนดในการซื้อขายด้วย โดยความชื้นในเมล็ดข้าวคือ ปริมาณของน้ำที่อยู่ในเมล็ดข้าว โดยส่วนน้ำหนักในเมล็ดข้าวจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว (moisture content)  $MC$  สามารถหาได้จากสมการ

$$MC (\%) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \% \quad (2.1)$$

โดย  $MC$  คือ ปริมาณความชื้นที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$m_w$  คือ มวลของเมล็ดข้าวที่มีความชื้นอยู่ภายใน (wet mass)

$m_d$  คือ มวลของเมล็ดข้าวที่ถูกลำความชื้นออกไปแล้ว (dried mass)

#### 2.2 หลักการวัดความชื้น (measurement of moisture content) [1]

หลักการวัดความชื้น สามารถแบ่งได้ 2 วิธีดังนี้

##### 2.2.1 การวัดโดยตรง (direct method)

การวัดโดยตรง เป็นการวัดความชื้น โดยนำเมล็ดข้าวมาผ่านกระบวนการแยกน้ำออกจากเมล็ดข้าว สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

##### 2.2.1.1 การทำปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)

เป็นการแยกน้ำออกจากเนื้อสารด้วยปฏิกิริยาเคมี วิธีการนี้ไม่นิยมใช้เนื่องจากใช้เวลานาน และมีราคาแพง

##### 2.2.1.2 การอบไล่ความชื้น (heating oven)

การอบไล่ความชื้น เป็นวิธีที่นิยมใช้ โดยทั่วไปจะทำได้โดยการนำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงนำไปอบและอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นและนำไปชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนและหลังการอบ จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

### 2.2.1.3 การกลั่น (distillation)

การกลั่นนำตัวอย่างเมล็ดข้าวที่บดเป็นแป้งผสมกับตัวทำละลายโทลูอิน (toluene) แล้วนำไปต้ม น้ำจะระเหยออกมาและควบแน่นเป็นหยด ซึ่งวัดเป็น ปริมาตรและน้ำหนักได้

### 2.2.1.4 การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation)

การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟระเหยน้ำในแป้งที่ได้จากการบดตัวอย่างเมล็ดข้าว วิธีวัดความชื้นเหล่านี้มีจุดเด่นที่ทำให้ผลการวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้นและการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

## 2.2.2 การวัดโดยอ้อม (indirect method)

การวัดโดยอ้อม เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ

### 2.2.2.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistance measurement)

ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า อุปกรณ์วัดจะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดข้าว โดยบรรจุเมล็ดข้าวตัวอย่างลงในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในสถานะค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

### 2.2.2.2 การวัดความจุไฟฟ้า (capacitance measurement)

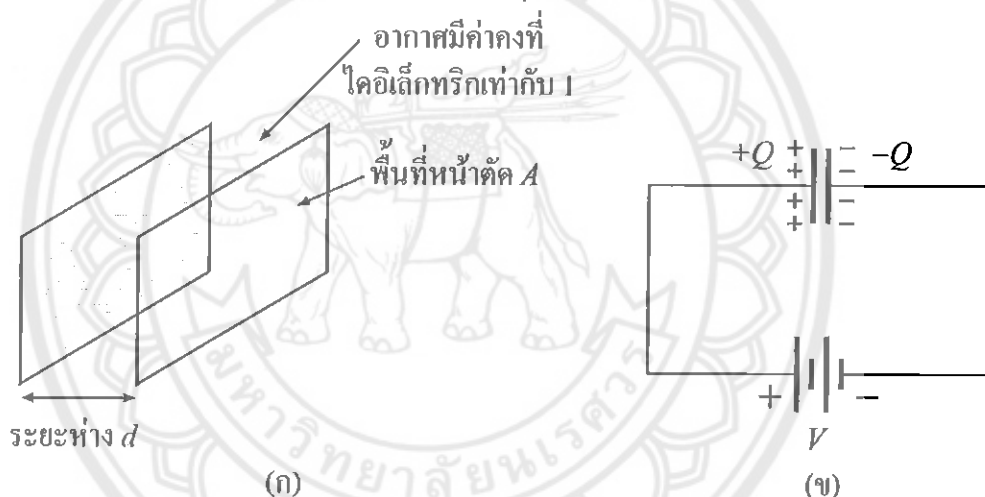
ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า เมล็ดข้าวตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะ โดยภายในภาชนะจะมีขั้วไฟฟ้า และมีการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบค่าความจุไฟฟ้าของเมล็ดข้าวที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้การเทียบวัด (calibration) ประกอบด้วย ค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดความชื้นจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

### 2.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น (calculation of rice moisture content)

การหาปริมาณความชื้นโดยหลักการแล้วสามารถทำได้โดยนำเมล็ดข้าวที่ต้องการหาความชื้นมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นบันทึกค่าไว้เป็น มวลวัตถุที่แห้งแล้วนำมาคำนวณได้ตามสมการที่ (2.1)

### 2.4 หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า (measurement of capacitance) [2]

เมื่อนำแผ่น โลหะสองแผ่นมาวางใกล้กัน จะทำให้เกิดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เรียกว่าตัวเก็บประจุ (capacitor) โดยเมื่อนำแบตเตอรี่มาแตะที่แผ่น โลหะทั้งสองประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะมาสะสมที่แผ่น โลหะและเมื่อเอาแบตเตอรี่ออกไป แผ่น โลหะทั้งสองก็ยังมีประจุไฟฟ้าสะสมอยู่ แผ่น โลหะทั้งสองที่วางใกล้กันนี้จึงสามารถมอง ได้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งได้



รูปที่ 2.1 (ก) การวางแผ่น โลหะสองแผ่นขนานกัน และ (ข) การป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

ความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของแผ่น โลหะทั้งสองจะมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่เกิดขึ้นต่อหน่วยแรงดันที่ป้อนให้กับโลหะ ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้า  $C$  ขนาดประจุไฟฟ้า  $Q$  และแรงดันไฟฟ้า  $V$  สามารถเขียนเป็นสูตร ได้ดังนี้คือ

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.2)$$

$C$  คือ ค่าความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นฟารัด (F)

$Q$  คือ ประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)



ความจุไฟฟ้าของตัวแผ่นโลหะขนาน

หากพิจารณาโครงสร้างโลหะขนานกันในรูปที่ 2.1(ก) จะได้ว่า ค่าความต่างศักย์ (แรงดันไฟฟ้า) ระหว่างแผ่นโลหะตัวนำทั้งสองที่มีระยะห่างเท่ากับ  $d$  พื้นที่หน้าตัด  $A$  และมีตัวกลางเป็นอากาศที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1 จะมีค่าที่แปรตามค่าปริมาณประจุไฟฟ้า  $Q$  ที่ถูกเก็บกักอยู่ภายในแผ่นโลหะ และ เขียนความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

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

โดย  $\epsilon_0$  คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ (vacuum permittivity) มีค่าเท่ากับ  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร ( $m^2$ )

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร (m)

และ  $Q$  คือขนาดประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2.2) และ (2.3) จะได้ว่า ค่าความจุไฟฟ้า  $C$  สัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างคือ

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.4)$$

ค่าความจุไฟฟ้า  $C$  นี้ไม่ขึ้นกับทั้งปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เก็บและแรงดันที่ตกคร่อม ค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นกับพื้นที่ของแผ่นตัวนำและระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความจุไฟฟ้า  $C$  ยังขึ้นอยู่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (หรือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์)  $\epsilon_r$  ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองซึ่งในกรณีทั่วไป สามารถเขียนได้เป็นสมการ

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกซึ่งมีค่าขึ้นกับชนิดของสาร โดยสำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1

เมื่อเรานำเมล็ดข้าวใส่ลงในระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง จะได้ตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวแทน และจะพบว่าถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นมากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นหรือค่าความจุของตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้น จากหลักการนี้ เราสามารถนำมาออกแบบเป็นเครื่องมือวัดความชื้นได้

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้า [3]

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าใน โครงสร้างตัวเก็บประจุชนิดแผ่น โลหะตัวนำสองแผ่น มีดังนี้

1. พื้นที่หน้าตัดของตัวนำที่เป็นแผ่นโลหะ เขียนแทนด้วยอักษร  $A$  ถ้าพื้นที่หน้าตัดมาก แสดงว่าสามารถเก็บประจุได้มาก ถ้าพื้นที่หน้าตัดน้อยแสดงว่าเก็บประจุได้น้อย
2. ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง เขียนแทนด้วยอักษร  $d$  ถ้าแผ่นตัวนำวางอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กัน ความจุไฟฟ้าจะมีค่ามาก ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไกลกันความจุจะมีค่าน้อย
3. ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\epsilon$ , ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถในการที่จะทำให้เกิดการแยกห่างของประจุหรือขั้ว (polarization) ขึ้น เมื่อนำวัสดุต่างชนิดกันมาทำเป็นฉนวนกั้นระหว่างแผ่นตัวนำ ค่าคงที่ของ ไดอิเล็กทริกจะแตกต่างกันออกไป ตามชนิดของวัสดุที่นำมาคั้น ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้สาร ไดอิเล็กทริกต่างกันถึงแม้จะมีขนาดเท่ากัน ค่าความจุไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันออกไป สุญญากาศเป็น ไดอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุต่าง ๆ รวมถึงเมล็ดข้าวที่ศึกษาใน โครงการงานนี้ได้

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
เมล็ดข้าวแห้ง	3.5	แป้งสาลีแห้ง	1.6	ข้าวโพด	5 – 10
ลำข้าว	1.4 – 2.0	ไม้ (แห้ง)	2 - 6	ข้าวโพดแห้ง	1.8
น้ำ (0°C)	88	ไม้ (เปียก)	10 – 30	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	3.1
น้ำ (100°C)	55.3	ถั่วเหลือง	2.8	ดินเหนียว	1.8 – 2.8
น้ำ (199°C)	34.5	ทราย	5	เซตลูโลส	3.2 – 7.5
ไอน้ำ	1.00785	เกลือ	3 - 15	น้ำมันมะกอก	3.1

(ที่มา : <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/890->)

## 2.6 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความสามารถในการใช้ เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ซึ่งปัจจุบันนี้มีการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้งานง่ายและสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลาย อย่าง

### 2.6.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งซึ่งภายในประกอบด้วยวงจร อื่นๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกันเช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic Unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) หน่วยความจำ (memory: ROM, RAM) วงจรรับสัญญาณอินพุตและขับสัญญาณ เอาต์พุต (input/output port) เป็นต้นด้วยเหตุนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ งานควบคุมต่างๆ ได้ดีเนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้อย่างอิสระแล้วแต่เราต้องการ ควบคุมสิ่งใด

### 2.6.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit)
2. หน่วยความจำ ซึ่งประกอบด้วย RAM (Random Access Memory) และ EEPROM / EPROM / PROM / ROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
3. หน่วยรับ และแสดงผลข้อมูล (Input / Output) ซึ่งมีพอร์ตขยายแบบขนาน (Parallel) และอนุกรม (Serial)
4. ตัวนับเวลา (Timer)
5. หน่วยควบคุมการอินเตอร์รัปต์ (Interrupt Controller)

ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นเพียงส่วนประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นอีกเพื่อเพิ่มเติมความสารถขึ้นอยู่กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ด้วย เช่น A/D (Analog to Digital), PWM (Pulse Width Modulator) เป็นต้น

## 2.7 Microcontroller Arduino [4]

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอด ทั้งตัวบอร์ด หรือ โปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของการใช้บอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียน โปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

### 2.7.1 คุณสมบัติพิเศษของ Arduino

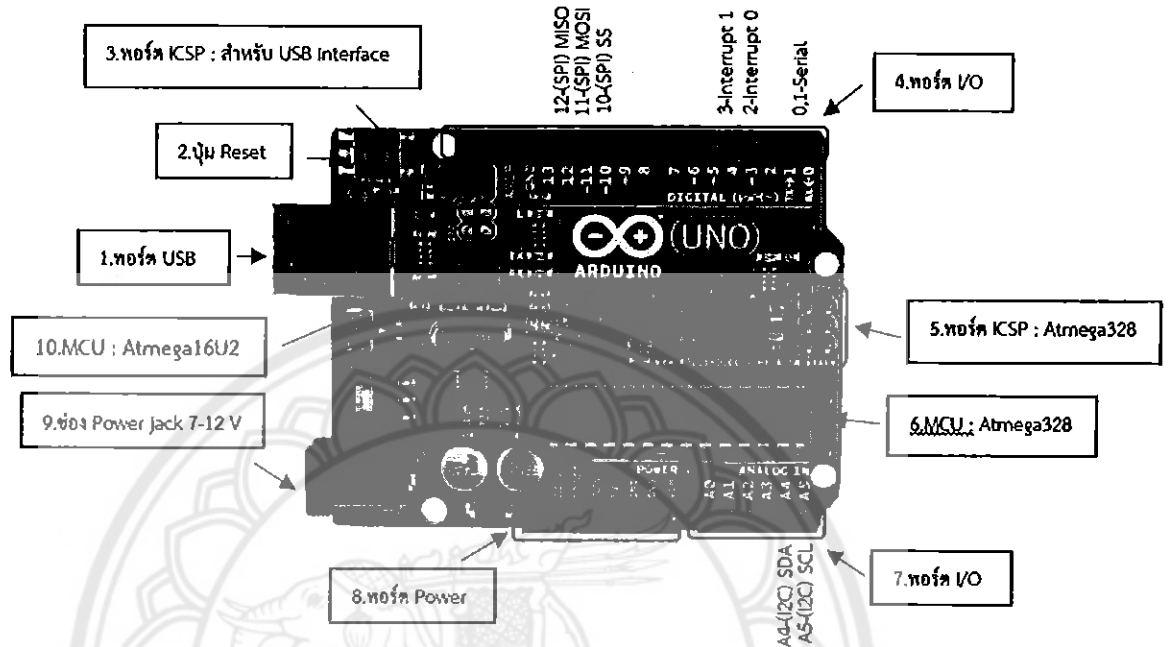
1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ด ไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดๆก็ได้

### 2.7.2 รูปแบบและตำแหน่งต่าง ๆ ของบอร์ด

รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งขาและอุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลด โปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega 16U2
4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณแอนะล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอกประกอบด้วยขา +3.3 V, +5V, GND,  $V_{in}$
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

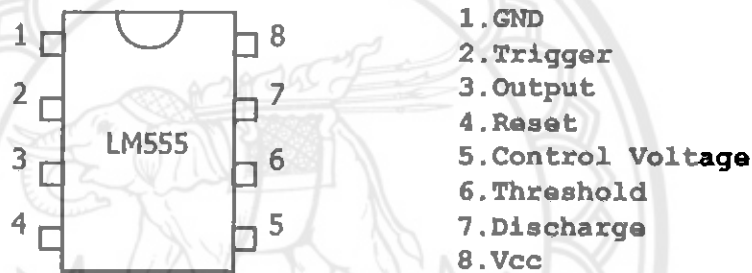
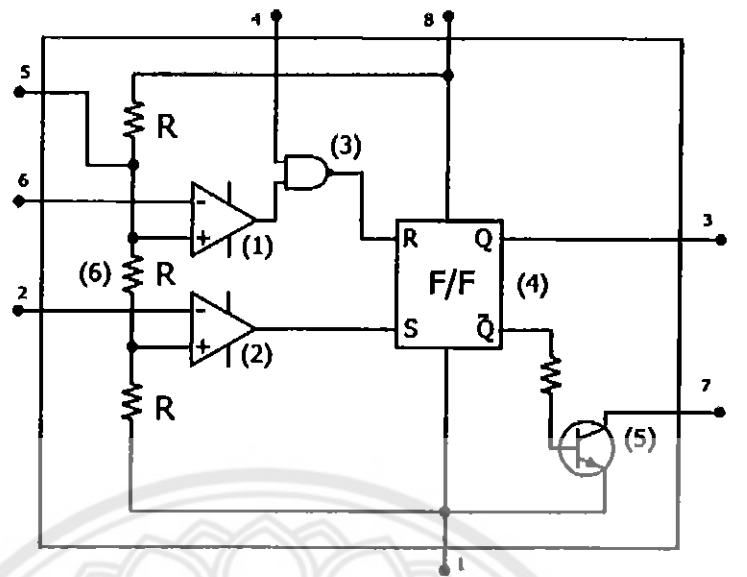


รูปที่ 2.2 ตำแหน่งขาและอุปกรณ์บนบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino  
(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/basic-electronics>)

## 2.8 ไอซีเบอร์ 555

ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซี ที่นิยมใช้กันมากในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ เช่น สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณพัลส์ สัญญาณรูปฟันเลื่อย และวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 เป็นวงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อความคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบ และง่ายในการสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ต่างๆ อีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ง่าย

นอกจากไอซีเบอร์ 555 แล้วยังมีไอซีเบอร์ 556 ที่เป็นแบบ Dual Timer ประกอบด้วย ไอซีเบอร์ 555 จำนวน 2 ตัว อยู่ในตัวเดียวกัน เพื่อใช้เป็นวงจรถึงเวลา และสะดวกในการออกแบบวงจรที่ต้องใช้ไอซีเบอร์ 555 หลายๆตัว



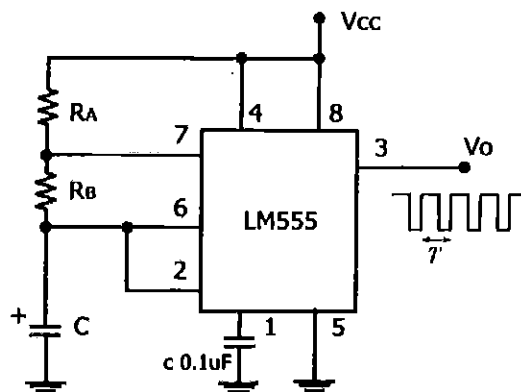
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555

(ที่มา : <http://elec-thai.blogspot.com/2012/12/ic-555.html>)

2.8.1 วงจรอะสเตเบิล

วงจรอะสเตเบิล คือวงจรที่สร้างสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม สำหรับการใช้อิซีเบอร์ 555 สร้างวงจรอะสเตเบิลนั้น เราสามารถกำหนดสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ตามต้องการ ด้วยการกำหนดค่าความจุไฟฟ้า  $C$  และค่าความต้านทาน  $R_a$  และ  $R_b$  ซึ่งลักษณะการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 2.5 และ ค่าคาบ  $T$  ของสัญญาณที่สร้างได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = 0.693(R_a + R_b)C \tag{2.6}$$



รูปที่ 2.4 วงจรอะสเตเบิล

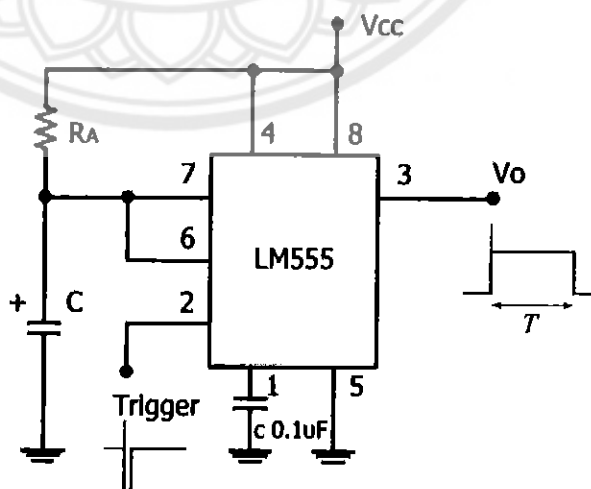
(ที่มา : [http://www.cyberkeng.net/article\\_html/ic555/page04.html](http://www.cyberkeng.net/article_html/ic555/page04.html))

### 2.8.2 วงจรโมโนสเตเบิล

วงจร โมโนสเตเบิล คือวงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ 1 ลูก หลังจากมีการกระตุ้นให้วงจรทำงาน ความกว้างของพัลส์นั้นสามารถกำหนดได้ด้วยค่าความจุไฟฟ้า  $C$  และค่าความต้านทาน  $R_A$  ของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.6

โดยหลักการของการสร้างสัญญาณลักษณะ Single Shot คือวงจร โมโนสเตเบิลมีดีไวเวอร์เตอร์ เพียงแต่สร้างสัญญาณครั้งเดียวแล้วหยุด การหาค่าช่วงเวลา  $T$  ทำได้ในลักษณะคล้ายกับ วงจรอะสเตเบิลซึ่งค่าช่วงเวลาของสัญญาณพัลส์ที่สร้างได้หาได้จากสมการ

$$T = 1.1R_A C \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.5 วงจรโมโนสเตเบิล

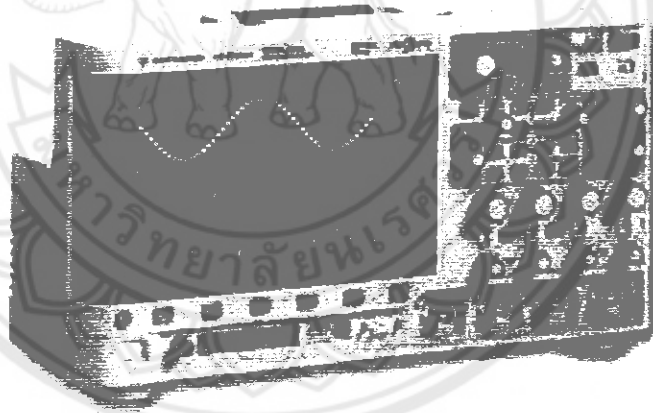
(ที่มา : <http://elec-thai.blogspot.com/2012/12/monostable-multivibrator.html>)

## 2.9 เครื่องมือวัดในการทดลอง [5]

### 2.9.1 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (digital oscilloscope)

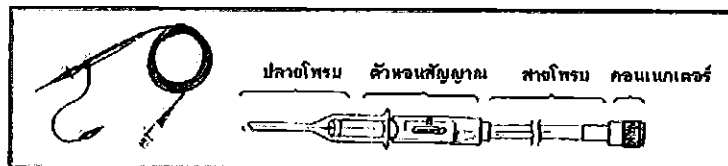
ดิจิตอลออสซิลโลสโคป เป็นออสซิลโลสโคปที่พัฒนามาจากอนาล็อกออสซิลโลสโคป ในช่วงแรก เป็นการเปลี่ยนการแสดงผลจากจอที่ฉายด้วยสารเรืองแสงเป็นจอภาพแบบดิจิตอล ทำให้ขนาดของดิจิตอลออสซิลโลสโคปมีขนาดเล็กลงมาก และทำให้ปัญหาสารเรืองแสงที่ทำให้การเพิ่มย่านความถี่ไม่สามารถทำได้ จึงทำให้สามารถเพิ่มย่านความถี่ของออสซิลโลสโคปได้อีก รูปที่ 2.7 แสดงภาพถ่ายของออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการทำโครงงานนี้

สายวัดหรือโพรบเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ร่วมกับออสซิลโลสโคปเป็นอุปกรณ์ที่ใช้นำสัญญาณจากภายนอกเข้าสู่ออสซิลโลสโคปโพรบจะถูกออกแบบให้สามารถนำสัญญาณความถี่สูง และป้องกันสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โพรบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวลดทอนสัญญาณได้อีกด้วย โดยทั่วไปโพรบจะมีสวิตช์เลือกการลดทอนสัญญาณได้ 2 ค่า คือ  $\times 1$  และ  $\times 10$  ที่ตำแหน่ง  $\times 1$  ไม่มีการลดทอนสัญญาณ และที่ตำแหน่ง  $\times 10$  มีการลดทอนสัญญาณลง 10 เท่า การใช้โพรบต้องนำไปต่อกับขั้วต่อขาเข้าของออสซิลโลสโคป โพรบมีลักษณะและ โครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 ออสซิลโลสโคป

(ที่มา : <http://www.mtkshop.com/images/Oscilloscope/035.jpg>)



รูปที่ 2.7 สายวัดหรือโพรบ

(ที่มา : [http://www.school.net.th/library/snet3/saowalak/oscilloscope/probe\\_pic05.gif](http://www.school.net.th/library/snet3/saowalak/oscilloscope/probe_pic05.gif))

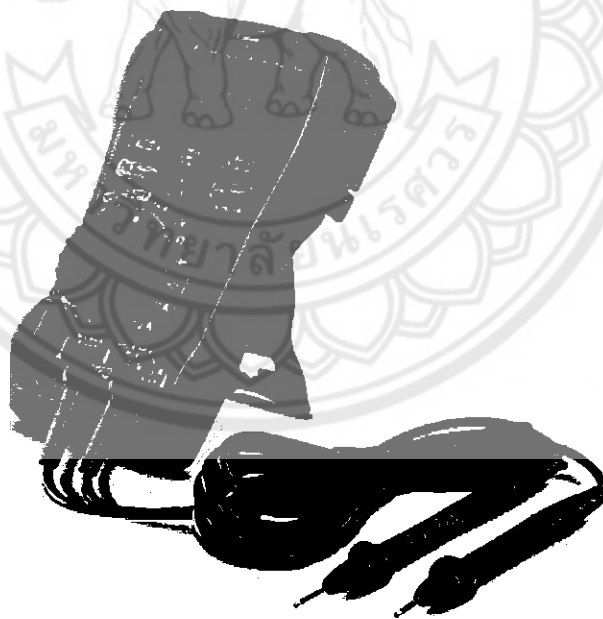


### 2.9.2 มัลติมิเตอร์ (multimeter) [6]

มัลติมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า วัดกระแสไฟฟ้าและวัดค่าความต้านทาน เป็นต้น แต่เดิมเครื่องมือวัดพวกนี้จะแยกชุดออกจากกัน เช่น หากใช้สำหรับวัดไฟ AC หรือ โฟสลับก็จะเรียกว่า เอ ซี โวลต์มิเตอร์ (AC voltmeter) หรือหากเป็นมิเตอร์สำหรับใช้วัดค่าความต้านทานก็จะเรียกว่า โอห์มมิเตอร์ (ohmmeter) เป็นต้น เพื่อเป็นการประหยัดและให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน จึงได้มีการพัฒนานำเอาเครื่องมือแต่ละชิ้นมารวมอยู่ในตัวเดียว เพื่อความสะดวกสบาย รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของมัลติมิเตอร์ที่มีใช้ทั่วไป

มัลติมิเตอร์ (multimeter) หมายถึง มิเตอร์ที่สามารถทำงานได้เหมือนกับมิเตอร์หลาย ๆ ชนิดโดยทั่วไป ๆ เรียกว่า มิเตอร์ ซึ่งก็คือ มัลติมิเตอร์ นั่นเอง มัลติมิเตอร์โดยทั่วไปสามารถทำงานได้เป็นอุปกรณ์ดังนี้

1. โอห์มมิเตอร์ คือเครื่องวัดค่าความต้านทาน
2. โวลต์มิเตอร์ คือเครื่องวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
3. แอมป์มิเตอร์ คือเครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า



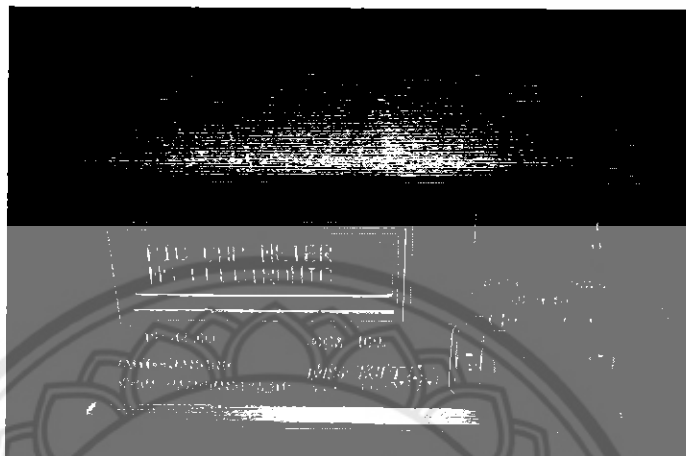
รูปที่ 2.8 มัลติมิเตอร์ (multimeter)

(ที่มา : [http://img.tarad.com/shop/m/multimeter/img-lib/spd\\_20120627165606\\_b.jpg](http://img.tarad.com/shop/m/multimeter/img-lib/spd_20120627165606_b.jpg))

### 2.9.4 เครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM - 409A [7]

เครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM - 409A เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อวัดความจุไฟฟ้า โดยเฉพาะเครื่องวัดนี้ออกแบบให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องตั้งค่าใด ๆ เพราะเป็นแบบ AUTO

RANGE (เลือกย่านวัดเองอัตโนมัติ) สามารถวัดค่าได้ต่ำสุด ตั้งแต่ 1 pF จนถึง 16500  $\mu$ F ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมีการผิดพลาดเพียง 0.1% [7] รูปที่ 2.10 แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM - 409 A ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ใช้ในการเทียบกับวงจรที่สร้างขึ้นในโครงการนี้



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM - 409A

(ที่มา : <http://k.lnwfile.com/v00235.jpg>)

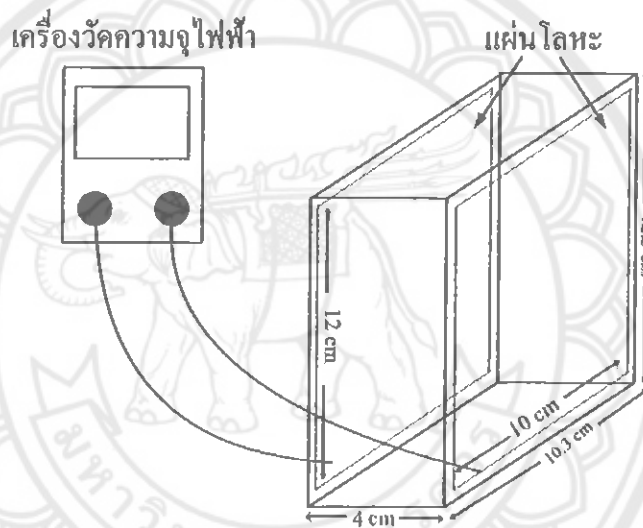
หลังจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ถูกนำไปใช้ออกแบบสร้างเครื่องวัดความชื้นข้าว โดยรายละเอียดของเครื่องวัดความชื้นข้าวจะนำเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

### บทที่ 3

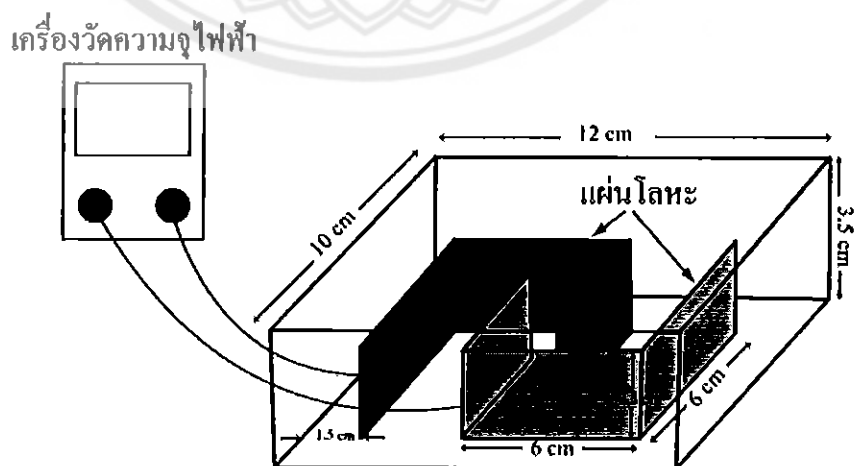
## วิธีการดำเนินโครงการ

### 3.1 การออกแบบสร้างกล่องบรรจุตัวอย่างข้าว

ในการสร้างกล่องบรรจุตัวอย่างข้าวเพื่อทำการตรวจวัดความชื้น เราได้ทำการออกแบบและสร้างกล่องใส่ตัวอย่างข้าวซึ่งเป็นกล่องสี่เหลี่ยม 2 แบบเพื่อทดลองเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ ภายในกล่องมีแผ่นโลหะตัวนำสองแผ่นที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าความจุไฟฟ้า รูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงลักษณะกล่องสี่เหลี่ยมที่ออกแบบสำหรับการทดลองในโครงการนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบกล่องวัดความชื้นข้าวแบบที่ 1



รูปที่ 3.2 การออกแบบกล่องวัดความชื้นข้าวแบบที่ 2

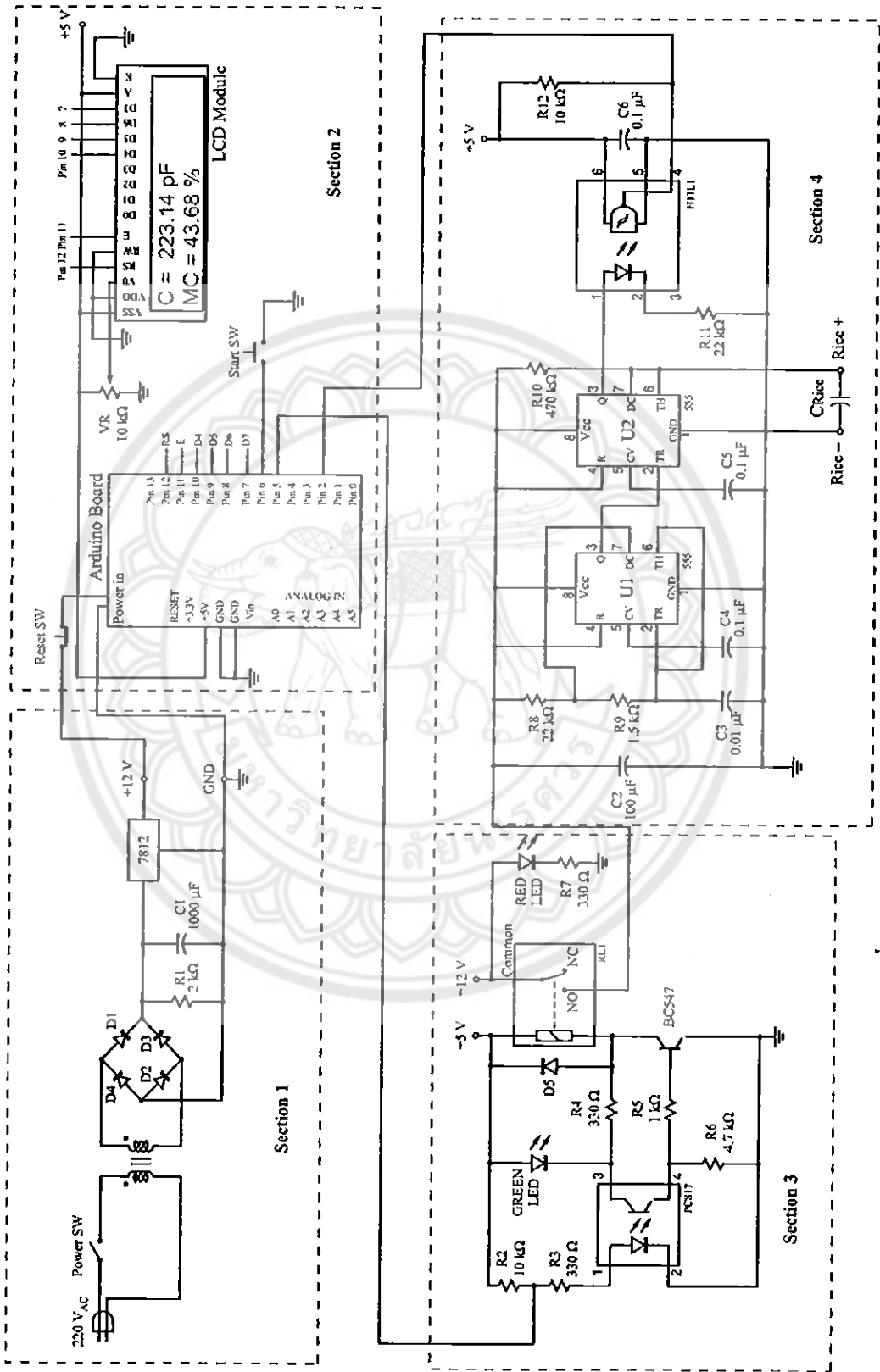
แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบกล่องบรรจุตัวอย่างนี้ คือการสร้างกล่องให้มีขนาดเหมาะสม สามารถบรรจุเมล็ดข้าวเปลือกได้ประมาณ 200 กรัม โดยแผ่นโลหะที่นำมาใช้ (แผ่นสังกะสีสำหรับกล่องแบบที่ 1 และทองแดงสำหรับกล่องแบบที่ 2) จะต้องนำไฟฟ้าได้ดี หาได้ง่าย ราคาถูก ตัวกล่องใช้แผ่นอะคริลิกใสเพื่อให้สามารถมองเห็นตัวอย่างข้าวเปลือกได้โดยง่าย

ความแตกต่างระหว่างกล่องทั้งสองอยู่ที่การจัดวางแผ่นโลหะ ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความจุไฟฟ้าที่ต่างกันออกไป โดยในกล่องแบบที่ 1 การจัดวางจะมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะขนานกันคล้ายกับลักษณะตัวเก็บประจุแบบแผ่นโลหะขนานที่กล่าวถึงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4 สำหรับค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้จากกล่องทั้งสองจะถูกศึกษาเปรียบเทียบและแสดงผลการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป

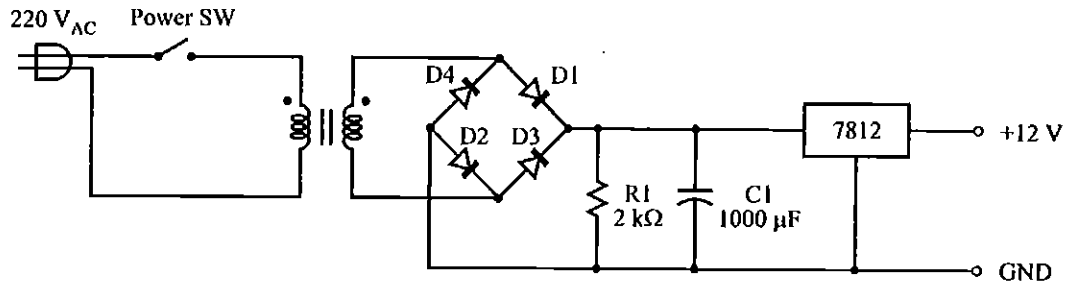
### 3.2 การออกแบบวงจร

ภาพรวมของวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นและนำมาใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าของเมล็ดข้าวที่บรรจุในกล่องบรรจุตัวอย่างข้าวแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยในรูปนี้ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 4 ส่วนได้แก่ 1. วงจร Regulator 2. วงจรเชื่อมต่อ Input/Output ของ Arduino 3. วงจรควบคุมการทำงานของไอซีเบอร์ 555 และ 4. วงจรวัดความชื้นข้าวด้วยไอซีเบอร์ 555 การทำงานของส่วนของวงจรแยกอธิบายแต่ละส่วนได้ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.4 เป็นแผนผังวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงโดยมีการติดตั้งสวิทช์ไว้ทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง (220 โวลต์) เพื่อเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องวัดความชื้นข้าว เมื่อทำการกดสวิทช์ ไฟสลับจะถูกลดแรงดันลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า และ จะถูกแปลงเป็นไฟตรงด้วยวงจรเรียงกระแสโดยใช้ไดโอดบริดจ์ (D1-D4) ตัวเก็บประจุขนาด 1000 ไมโครฟารัดจะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้น และ ค่าแรงดันที่ได้นี้ จะถูกรับลดลงเป็น 12 โวลต์ ด้วยเรกูเลเตอร์ไอซีเบอร์ 7812

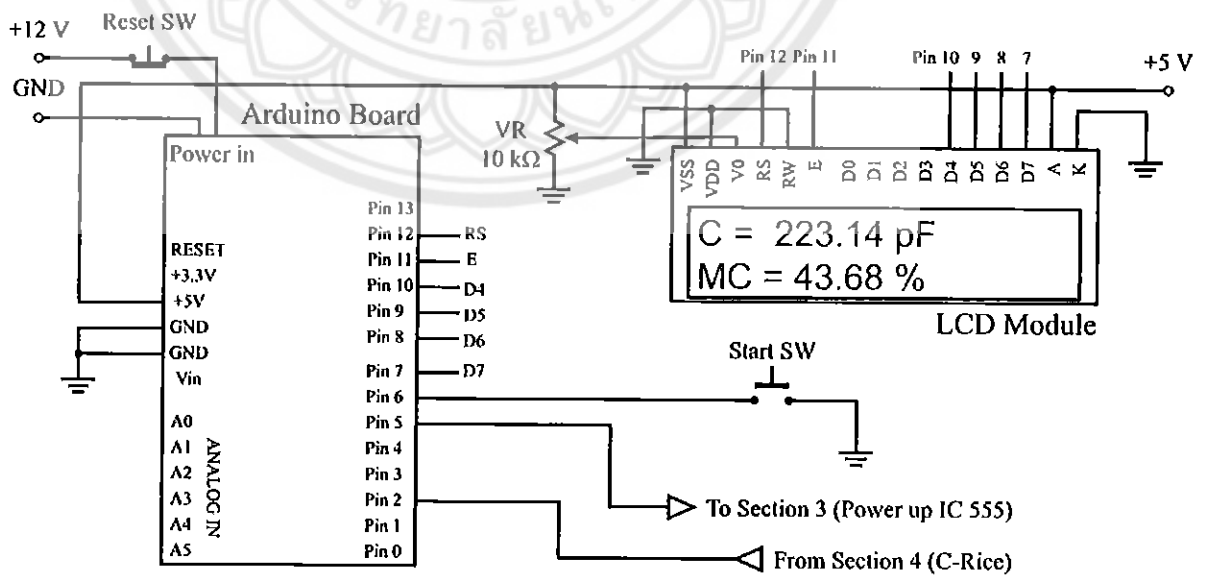


รูปที่ 3.3 รูปแบบภาพโดยรวมของวงจรวัดค่าความถี่ไฟฟ้า



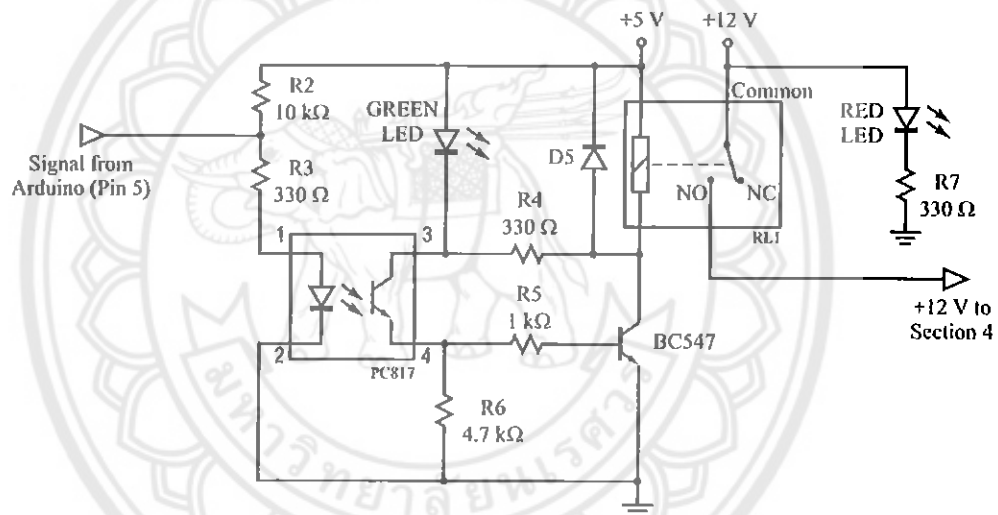
รูปที่ 3.4 วงจร Regulator

รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังวงจรเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino และ โมดูล LCD โดยเมื่อป้อนแรงดัน 12 โวลต์ให้กับบอร์ด Arduino และกดสวิตช์เริ่มต้น (Start SW) บอร์ด Arduino จะส่งสัญญาณผ่านทาง Pin5 เข้าสู่ตัวจรวจควบคุมรีเลย์ และรอรับสัญญาณซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่าความจุไฟฟ้าของข้าว (จากวงจรวัดความชื้นข้าวด้วยไอซีเบอร์ 555) กลับเข้ามาทาง Pin2 และนำสัญญาณนี้มาประมวลผลหาค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นของข้าว ค่าความจุไฟฟ้าและความชื้นของข้าวที่ประมวลได้ จะแสดงผ่านทาง โมดูล LCD แบบ 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร โดยบรรทัดแรกแสดงค่าความจุไฟฟ้าและบรรทัดที่สองแสดงค่าความชื้นของข้าว โดยความสว่างของจอ LCD สามารถปรับได้จากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์มที่ต่ออยู่กับขา V0 และนอกจากนี้ยังมีการต่อรีเซตสวิตช์ (Reset SW) ซึ่งเมื่อกดสวิตช์นี้บอร์ด Arduino จะเริ่มต้นทำงานใหม่โดยไม่มีข้อมูลเก่าค้างอยู่



รูปที่ 3.5 วงจรเชื่อมต่อ Input/Output ของ Arduino

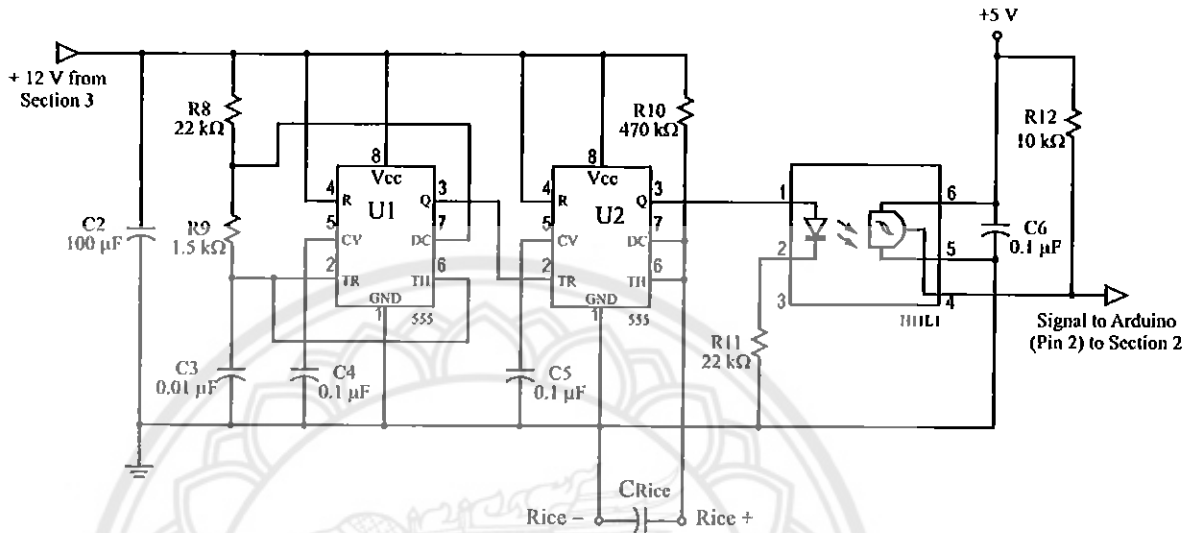
รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังวงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยมีหลอดไฟ LED สีเขียว แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ และมีหลอดไฟ LED สีแดงแสดงสถานะการป้อนแรงดัน 12 โวลต์อยู่ วงจรนี้จะเริ่มทำงานเมื่อได้รับสัญญาณ “1” จากบอร์ด Arduino ที่ Pin5 (คววงจรเชื่อมต่อกับ Arduino และ โมดูล LCD) เมื่อสัญญาณจากบอร์ด Arduino ผ่านเข้ามาที่ตัวโฟโตคัปเปิลเลอร์ (photocoupler) เบอร์ PC817 จะทำให้เกิดสัญญาณกระแสไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 ซึ่งทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน (เป็นเสมือนวงจรปิด) จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ และทำให้ขา NO (normally open) เชื่อมต่อกับขาคอมมอนที่มีแรงดัน 12 โวลต์ต่ออยู่ โดยแรงดัน 12 โวลต์นี้จะถูกใช้เป็นไฟเลี้ยง ไอซีเบอร์ 555 ในวงจรกำเนิดสัญญาณที่จะแสดงในลำดับต่อไป โดยหากสัญญาณจากบอร์ด Arduino เปลี่ยนสถานะเป็น “0” รีเลย์ก็จะตัดการเชื่อมต่อ ทำให้วงจรกำเนิดสัญญาณหยุดทำงาน



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงานของ ไอซีเบอร์ 555

รูปที่ 3.7 เป็นแผนผังวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้าของข้าว โดยวงจรจะรับแรงดัน 12 โวลต์จากวงจรรีเลย์และจ่ายให้กับไอซีเบอร์ 555 ทั้งสองตัว โดยไอซี U1 จะถูกต่อแบบอะสแตเบิล และสร้างสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 5.77 กิโลเฮิรตซ์ โดยความถี่ของสัญญาณนี้ถูกกำหนดจากค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R8 และ R9 และ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C3 (ดูหัวข้อที่ 2.8.1) สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากไอซี U1 จะถูกส่งมายังไอซี 555 ตัวที่ 2 (U2) ที่ขา 2 ซึ่งไอซี U2 นี้ถูกต่ออยู่แบบโมนอสเตเบิล และ จะให้กำเนิดสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ความกว้างพัลส์ที่ถูกกำหนดจากค่าความต้านทาน R10 และ ค่าความจุไฟฟ้าของข้าว CRice (ดูหัวข้อที่ 2.8.2) โดยสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ความกว้างพัลส์แปรตามค่าความจุไฟฟ้าของข้าวนี้จะถูกส่งออกจากไอซี U2 ที่ขา 3 ไปยังขา 1 ของไอซีออปโตไอโซเลเตอร์เบอร์ H11L1 ซึ่งทำหน้าที่แยกโคคสัญญาณ และ แปลงระดับแรงดันของสัญญาณขาออก

(ที่ขา 4) เป็น 5 โวลต์ โดยสัญญาณจะถูกกลับเฟสอีกด้วย และจากนั้นสัญญาณขาออกจากไอซีเบอร์ H11L1 จะถูกส่งไปยัง Pin 2 ของบอร์ด Arduino เพื่อทำการประมวลผลหาค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นต่อไป



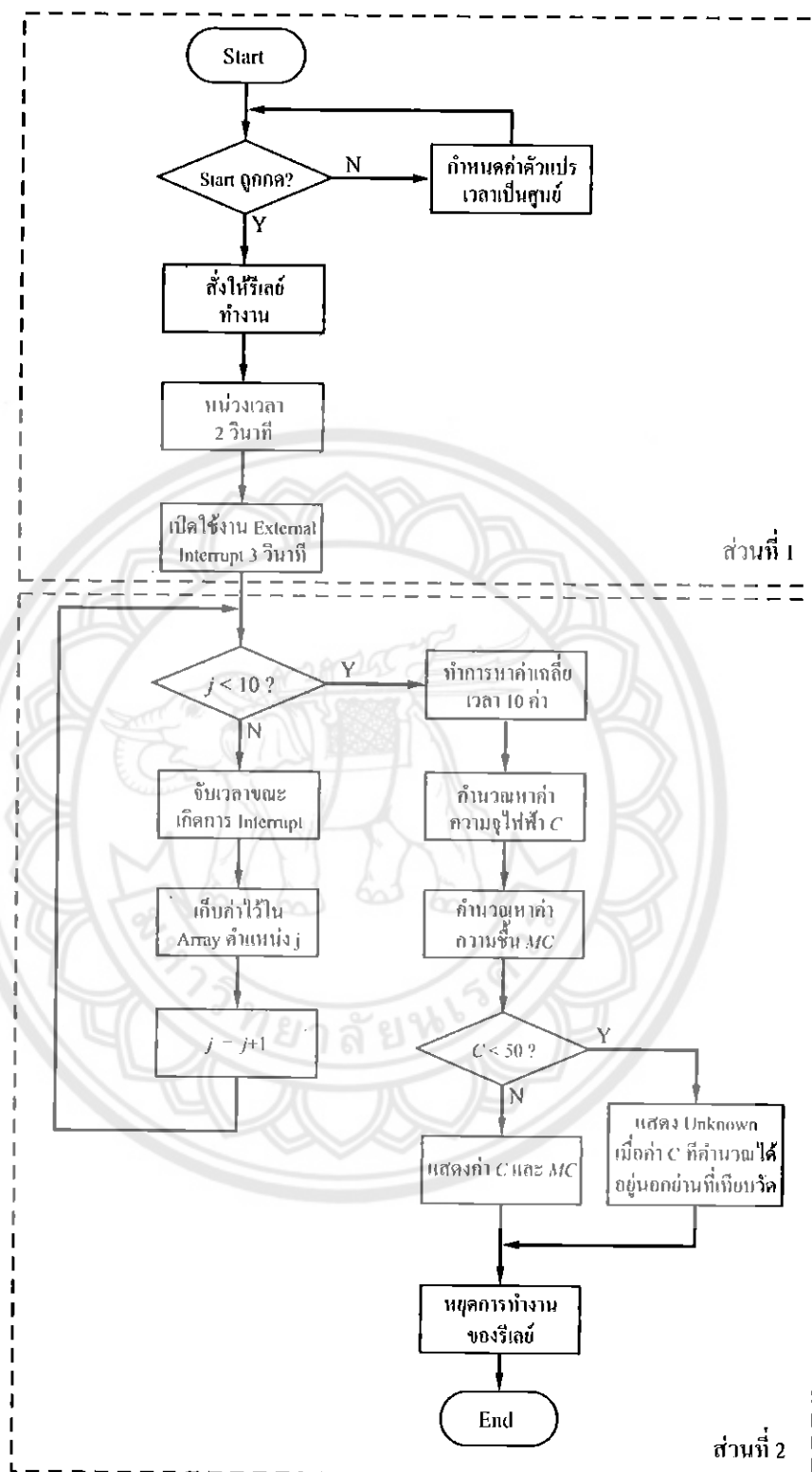
รูปที่ 3.7 วงจรวัดความชื้นข้าวด้วยไอซี 555

### 3.3 การทำเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าให้เป็นเครื่องวัดความชื้นในข้าว

ในการทำเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าให้เป็นเครื่องวัดความชื้นในข้าว เราจะใช้โปรแกรมเป็นตัวควบคุมและคำนวณค่าความชื้นจากค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ โดยการเทียบวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลา ความจุไฟฟ้า และ ความชื้นของเมล็ดข้าว โดยจะสร้างชุดคำสั่งให้คำนวณค่าความจุไฟฟ้าและ ปริมาณความชื้นออกมา โดยการทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงเป็นแผนผัง (flowchart) ได้ดังรูปที่ 3.6

จากรูปที่ 3.6 แผนผังการแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ 1 เมื่อคูปุ่ม Start จะสั่งให้รีเลย์ทำงาน โดยทำการหน่วงเวลา 2 วินาที แล้วรีเลย์ก็จะเริ่มทำงาน ซึ่งรีเลย์จะทำงานเป็นเวลา 3 วินาที เพื่อนำค่าความถี่ของการ Interrupt ที่นับ ได้มาคำนวณค่าช่วงเวลา ในส่วนที่ 2 ของโปรแกรม เมื่อส่วนที่ 1 ทำการเสร็จแล้วส่วนที่ 2 ก็จะทำการเก็บค่าจำนวนช่วงเวลา 10 ค่า ซึ่งจะเก็บไว้ใน Array ตำแหน่งที่ j และเมื่อทำการเก็บค่าเสร็จแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยเวลา 10 ค่า เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นเสร็จแล้ว จะนำค่าที่ได้ไปแสดงค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นบนจอ LCD แล้วหยุดการทำงานของรีเลย์และหยุดการทำงานของเครื่อง





รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

### 3.4 การแปลงค่าความจุไฟฟ้าให้เป็นค่าความชื้นในข้าว

ค่าความจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นและระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของไดอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง โดยเรามีความสัมพันธ์เบื้องต้นสำหรับตัวเก็บประจุชนิดแผ่นโลหะขนาน คือ (ดูสมการที่ (2.5))

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.1)$$

โดยจากการที่ว่า ลักษณะตัวเก็บประจุแผ่นโลหะขนานที่สร้างขึ้นมีความไม่อุดมคติจากปัจจัยของลักษณะโครงสร้างของกล่องที่ใช้บรรจุตัวอย่างข้าว เราจึงอาจเขียนสมการความสัมพันธ์ข้างต้นใหม่ได้คือ

$$C = F \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.2)$$

โดย  $F$  คือปัจจัยลักษณะโครงสร้างที่ไม่มีอุดมคติ ซึ่งอาจหาได้โดยการเทียบสมการที่ (3.1) และ (3.2) คือ

$$F = \frac{C_{measure}}{C_{cal}} = \frac{C_{measure}}{\epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}} \quad (3.3)$$

โดย  $C_{measure}$  คือ ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง และ  $C_{cal}$  คือค่าความจุไฟฟ้าที่คำนวณได้จากทฤษฎี (สมการที่ (3.1))

ในการทดลองในโครงการนี้ เราจะตั้งสมมติฐานให้ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นซึ่งเขียนได้เป็นสมการคือ

$$MC = a \cdot C + b \quad (3.4)$$

โดย  $MC$  คือ ปริมาณความชื้นที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$C$  คือ ค่าความจุไฟฟ้า

หรือ

$$C = \frac{MC - b}{a} = a' \cdot MC + b' \quad (3.5)$$

โดย  $a' = 1/a$  และ  $b' = -b/a$

สำหรับการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวกับค่าความจุไฟฟ้าของข้าว เพื่อให้เห็นว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน จะทำโดยการออกแบบทำการทดลอง โดยการนำเมล็ดข้าวตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วใช้เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าวัดค่าความจุไฟฟ้าของเมล็ดข้าวนั้น จากนั้นจึงนำเมล็ดข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งแล้วนำผลต่างของค่าน้ำหนักที่วัดได้ (ก่อนอบและหลังอบ) มาคำนวณค่าความชื้นตามสมการ (2.1) แล้วจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นที่วัดได้และค่าความจุไฟฟ้าเพื่อคำนวณค่า  $a'$ ,  $b'$ ,  $a$  และ  $b$  ต่อไป

### 3.5 การทดลองวัดความชื้นของเมล็ดข้าว

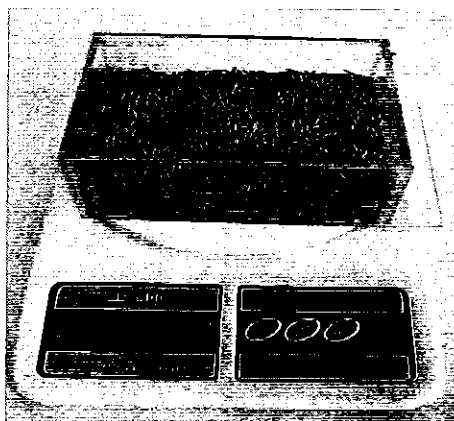
1. การทดลองเทียบวัดความชื้นข้าวทำโดยการนำข้าวเปลือกแห้งมาเป็นตัวอย่างตั้งต้น โดยในการทดลองนี้เราจะกำหนดให้น้ำหนักเริ่มต้นของข้าวเปลือกแห้งทุกตัวอย่างมีค่าน้ำหนักคงที่คือ 200 กรัม

2. จากนั้นเพื่อให้ข้าวเปลือกที่ทดลองมีความชื้นเปลี่ยนแปลงไป เราจะทำการเติมในลงในข้าว โดยจะใช้กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุผสมข้าวเปลือกให้เข้ากับน้ำที่ได้ทำการใช้สเปรย์ฉีดลงไปในกรณีฉีดแต่ละครั้งจะฉีดน้ำครั้งละประมาณ 0.5 กรัม แล้วทำการเพิ่มน้ำขึ้นไป ครั้งละ 4 กรัม เพื่อให้ความชื้นของข้าวเปลือกตัวอย่างเพิ่มขึ้น

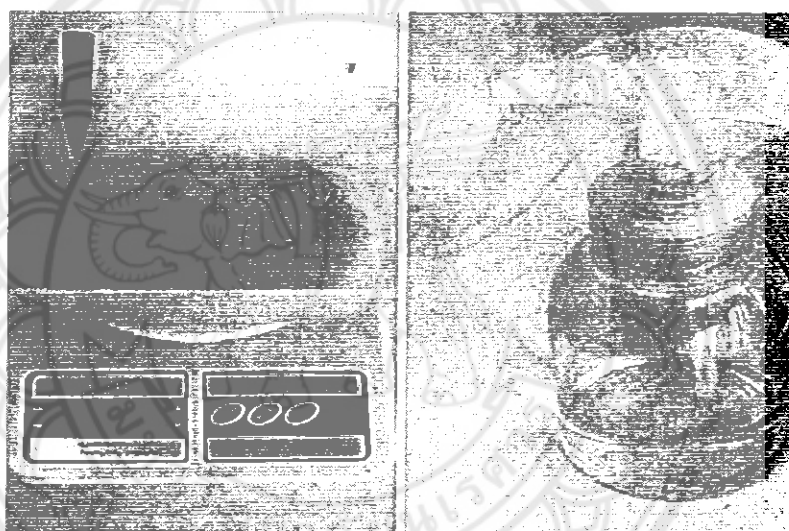
3. นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เตรียมไว้มาใส่กล่องที่ได้สร้างขึ้นตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วทำการการวัดค่าความจุไฟฟ้ากับเครื่องวัดความจุไฟฟ้า โดยใช้ทั้งเครื่องวัดความจุไฟฟ้าที่สร้างขึ้นและเครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM - 409A

4. นำข้าวเปลือกที่มีน้ำอยู่ไปอบแห้งด้วยความร้อน 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นออกและทำการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวแห้งสุดท้ายเพื่อคำนวณค่าความชื้นของเมล็ดข้าวด้วยสมการ (2.1)

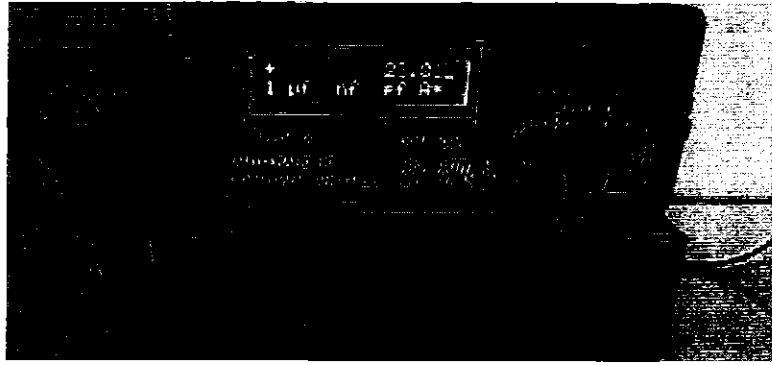
รูปที่ 3.9 – 3.12 แสดงภาพถ่ายของการทดลองวัดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกในแต่ละขั้นตอน



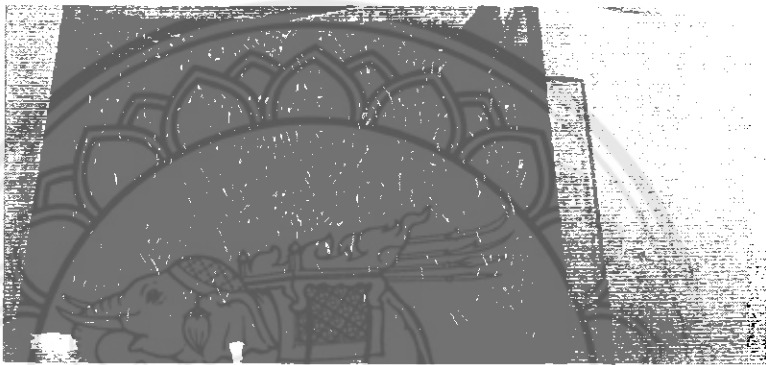
รูปที่ 3.9 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง



รูปที่ 3.10 รูปซ้ายคือถาดชั่งที่ใช้คตุกผสมข้าวเปลือกกับน้ำ และ รูปขวาคือสเปรย์ฉีดน้ำ



(ก) กล้องแบบที่ 1



(ข) กล้องแบบที่ 2

รูปที่ 3.11 การวัดค่าความจุไฟฟ้าในข้าวเปลือกด้วยเครื่องวัดความจุไฟฟ้า DCM – 409A



รูปที่ 3.12 การอบไล่ความชื้นในข้าวเปลือก

### 3.6 การใช้งานเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น

การทำงานของเครื่องวัดค่าความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า

นำข้าวใส่ในกล่องแล้วนำมาต่อกับเครื่องวัดความชื้นข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า หลังจากนั้นให้กดปุ่มสีเขียวจะเริ่มทำงานและแสดงผลค่าความชื้นและค่าความจุไฟฟ้า ที่หน้าจอ LCD หลังจากนั้นให้กดปุ่มสีเขียวเพื่อรีเซ็ตค่าเดิม แล้วกดปุ่มสีเขียวเพื่อทำการวัดค่าใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3.13 การใช้งานเครื่องวัดความชื้นที่สร้างขึ้น

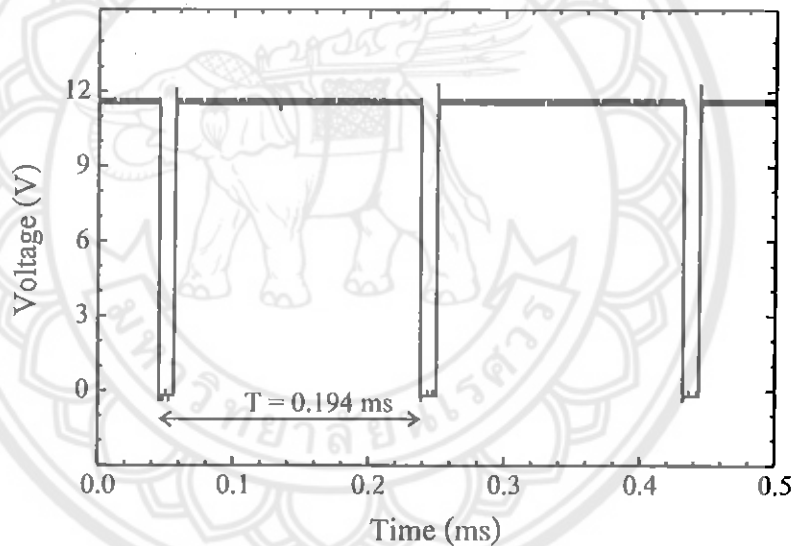
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 รูปสัญญาณจากวงจรวัดค่าความถี่ที่สร้างขึ้น

##### 4.1.1 รูปสัญญาณที่ได้จากไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 1

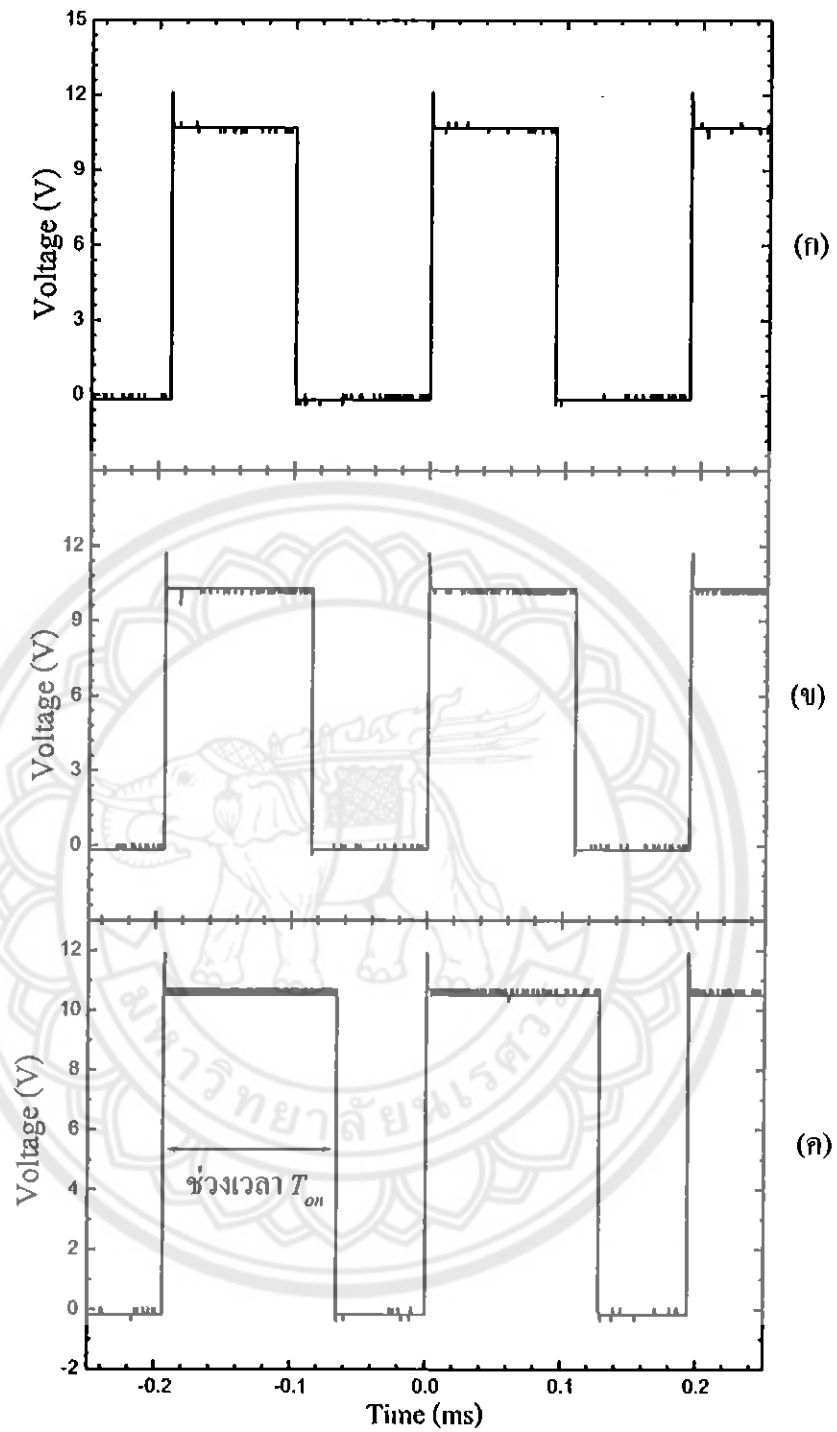
รูปที่ 4.1 เป็นลักษณะสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่เกิดจากไอซี 555 ตัวที่ 1 (U1) โดยจะส่งสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมออกมาทางขาที่ 3 โดยสัญญาณนี้จะมีความถี่ที่เท่ากับ 5.15 kHz (= 1/0.194 ms) โดยสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมนี้จะส่งไปยังขา Trigger (ขาที่ 2) ของไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 2 (U2)



รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณที่ได้จากไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 1

##### 4.1.2 รูปสัญญาณที่ได้จาก ไอซี 555 ตัวที่ 2

รูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่เกิดจากไอซี 555 ตัวที่ 2 (U2) โดยไอซีนี้จะรับสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมต่อจากไอซี 555 ตัวที่ 1 (U1) และทำการเปลี่ยนรูปสัญญาณให้มีค่าช่วงเวลา  $T_{on}$  (ความกว้างของพัลส์) ขึ้นอยู่กับค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ทำการวัดอยู่ โดยค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ในระหว่างการบันทึกสัญญาณนี้ คือ 150, 180 และ (ค) 220 พิโคฟารัด

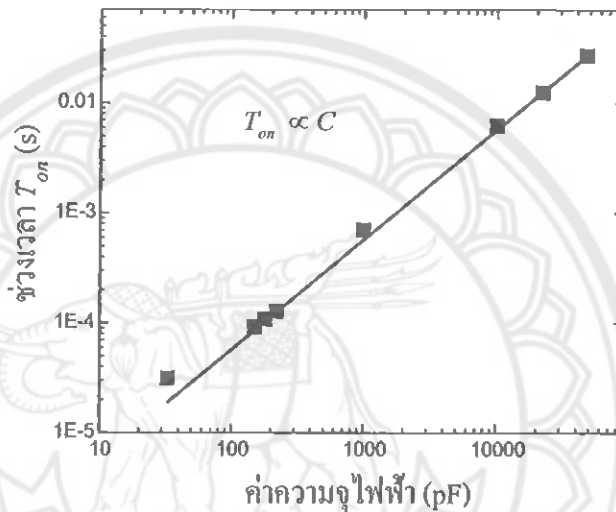


รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณที่วัดได้จากไอซีเบอร์ 555 ตัวที่ 2 ในขณะที่ต่อตัวเก็บประจุ ที่มีค่าความจุไฟฟ้า (ก) 150 พิโคฟารัด (ข) 180 พิโคฟารัด และ (ค) 220 พิโคฟารัด



#### 4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและช่วงเวลา $T_{on}$

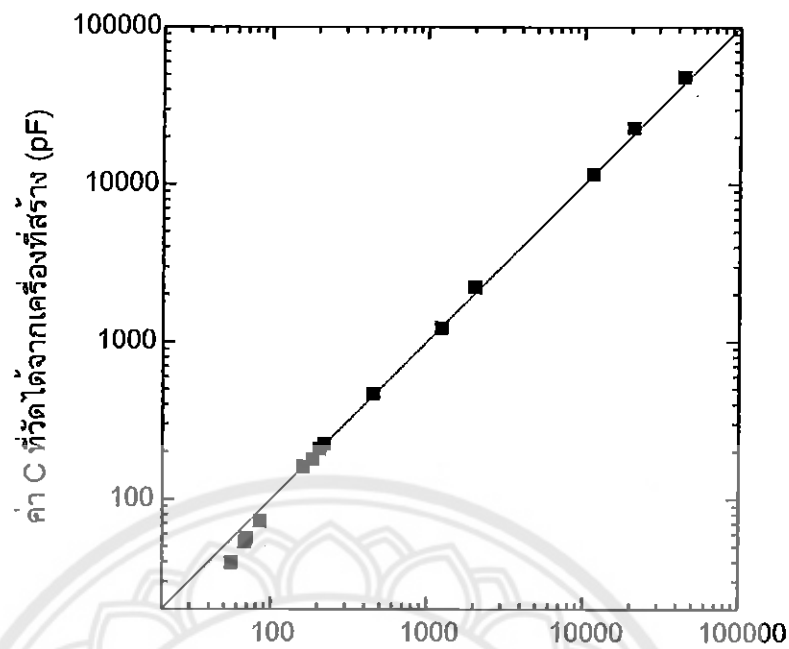
รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา  $T_{on}$  กับค่าความจุไฟฟ้าที่มีขนาดต่างๆ ที่ออกจากขาไอซี 555 ตัวที่ 2 (U2) โดยที่ค่าความจุไฟฟ้ามากจะส่งผลทำให้ช่วงเวลา  $T_{on}$  มากตามค่าความจุไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลานี้กับค่าความจุ ถ้ามีค่าความจุไฟฟ้าน้อยช่วงเวลาที่ล่อจิก 0 ก็จะน้อยตามค่าความจุไฟฟ้า โดยแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและช่วงเวลานี้มีลักษณะเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าช่วงเวลา  $T_{on}$

#### 4.1.4 กราฟเปรียบเทียบเครื่องวัดความจุไฟฟ้า

รูปที่ 4.4 เป็นผลการทดลองโดยการนำตัวเก็บประจุมาทำการวัด โดยการวัดจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด DCM-409A ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าความจุไฟฟ้าที่วัดค่าจากทั้งสองเครื่องมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ทราบได้ว่าเครื่องวัดความชื้นในข้าวที่สร้างขึ้นหากนำไปวัดค่าความจุไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพใช้งานได้จริง



ค่า C ที่วัดได้จากเครื่อง DCM-409A (pF)

รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบเครื่องวัดความจุไฟฟ้ากับเครื่องที่สร้าง

#### 4.2 การทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของกล่องแบบที่ 1

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณ การกระจายของศักย์ไฟฟ้าในกล่องแบบที่ 1 จากผลนี้ เห็นได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าสม่ำเสมอมากซึ่งอาจทำให้การใช้สมการที่ (3.1) ถูกต้อง จากการประมาณเป็น แผ่น โลหะขนาน

จากสมการที่ (3.1) เราสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของกล่องเปล่า ได้ดังนี้

$$C = 1 \times 8.854 \times 10^{-12} \times \frac{10 \times 10^{-2} \times 12 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-2}} = 2.66 \text{ pF}$$

## ลักษณะศักย์ไฟฟ้าในโครงสร้าง



รูปที่ 4.5 ลักษณะของศักย์ไฟฟ้าของกล่องแบบที่ 1

## 4.3 การทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของกล่อง แบบที่ 2

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณ การกระจายของศักย์ไฟฟ้าในกล่องแบบที่ 2 จากผลนี้ เห็นได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากซึ่งอาจทำให้การใช้สมการที่ (3.1) จากการประมาณเป็นแผ่นโลหะขนาน ได้ผลไม่ถูกต้อง จากสมการที่ (3.1) สามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของกล่องเปล่าได้ คือ

$$C_2 = 1 \times 8.854 \times 10^{-12} \times \frac{17 \times 10^{-2} \times 2.5 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-2}} = 1.25 \text{ pF}$$

## ลักษณะศักย์ไฟฟ้า ใน โครงสร้าง



รูปที่ 4.6 ลักษณะของศักย์ไฟฟ้าของกล่องแบบที่ 2

#### 4.4 การเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

##### 4.4.1 การเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล่องแบบที่ 1

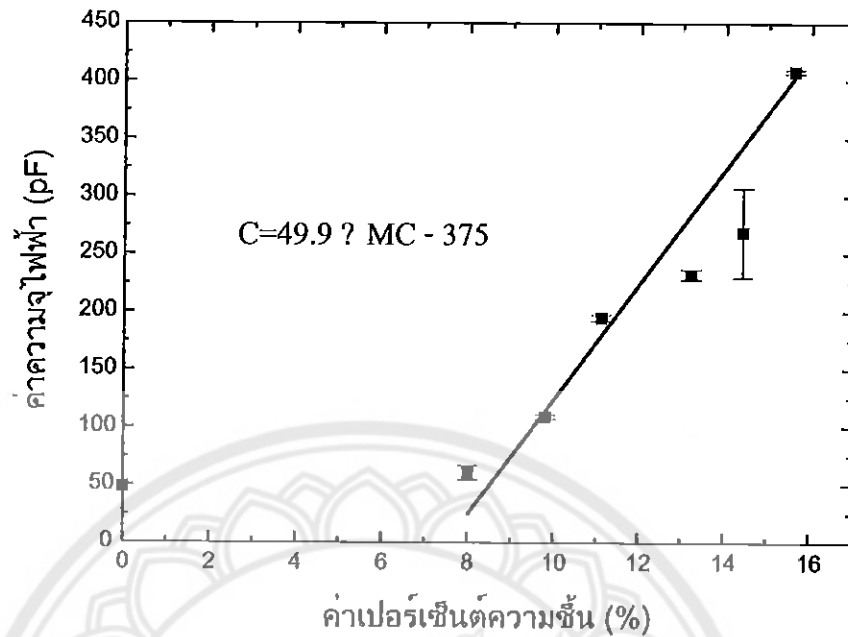
จากการทำการทดลอง โดยนำข้าวตัวอย่างแต่ละตัวอย่างมาวัดค่าความจุไฟฟ้าจากเครื่องที่ได้ทำการสร้างขึ้น ซึ่งเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณหนึ่ง ดังนั้นจึงได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า จากข้าวตัวอย่าง ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ตัวเลขค่าความจุไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว โดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าไปเรื่อยๆ จะใช้ช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 1 นาที เพื่อสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า จากนั้นนำตัวเลขค่าความจุไฟฟ้าที่ได้ มาหาเฉลี่ยโดยค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความจุไฟฟ้างดตาราง 4.1 และนำค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดลบกับค่าความจุไฟฟ้าต่ำสุด แล้วหารสองคือค่าความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 4.1 ซึ่งในขณะที่เริ่มต้นวัดค่าความจุไฟฟ้าของข้าวแต่ละตัวอย่างก็มีการเพิ่มปริมาณน้ำลงไป ในข้าวแต่ละตัวอย่างครั้งละ 4 กรัม เมื่อทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าแล้วชั่งน้ำหนักทุกครั้งที่ทำกรเพิ่มน้ำ เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วนำข้าวที่ทำการทดลองมาทำการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วนำข้าวมาชั่งน้ำหนัก แล้วเอาค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณค่าความชื้นดังสมการที่ (2.1) และค่าที่ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว 200 กรัม กล่องแบบที่ 1

	ปริมาณน้ำที่เพิ่มลงไปในข้าว (g)	ค่าความจุไฟฟ้า (pF)	ค่าความคลาดเคลื่อน ( $\pm$ pF)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)
ข้าว 200 กรัม	**	48.31	-	0
	0	60.54	6.12	8
	4	108.98	1.73	9.8
	8	194.61	2.60	11.11
	12	223.37	4.33	13.21
	16	268.60	38.60	14.42
	20	408.23	1.73	15.60

หมายเหตุ \*\* ปริมาณข้าวที่มีค่าความชื้นเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์หลังจากการอบข้าว

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น กล่องแบบที่ 1

จากรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการทดลอง ตารางที่ 4.1 เราพบว่าค่าที่อ่านได้จากการทดลองทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์ โดยค่าความชื้นจะแปรผันกับค่าความจุไฟฟ้าในย่านความชื้นที่ทำการทดลองวัด (ประมาณ 8 – 16 เปอร์เซ็นต์)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความจุไฟฟ้า เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$MC = 0.02 \times C + 7.51 \quad (4.1)$$

#### 4.4.2 การเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล่องแบบที่ 2

จากการทำการทดลองโดยนำข้าวตัวอย่างแต่ละตัวอย่างมาวัดค่าความจุไฟฟ้าจากเครื่องที่ได้ทำการสร้างขึ้น ซึ่งเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณหนึ่ง ดังนั้นจึงได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า จากข้าวตัวอย่างไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ตัวเลขค่าความจุไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว โดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าไปเรื่อยๆ จะใช้ช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 1 นาที เพื่อสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า จากนั้นนำตัวเลขค่าความจุไฟฟ้าที่ได้ มาหาเฉลี่ยโดยค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความจุไฟฟ้าดังตาราง 4.2 และนำค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดลบกับค่าความจุไฟฟ้าต่ำสุด แล้วหารสองคือค่าความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 4.2 ซึ่งในขณะที่เริ่มต้นวัดค่าความจุไฟฟ้าของข้าวแต่ละตัวอย่างก็มีการเพิ่มปริมาณน้ำลงไปในข้าวแต่ละตัวอย่างครั้งละ 4 กรัม เมื่อทำการวัดค่าความจุ

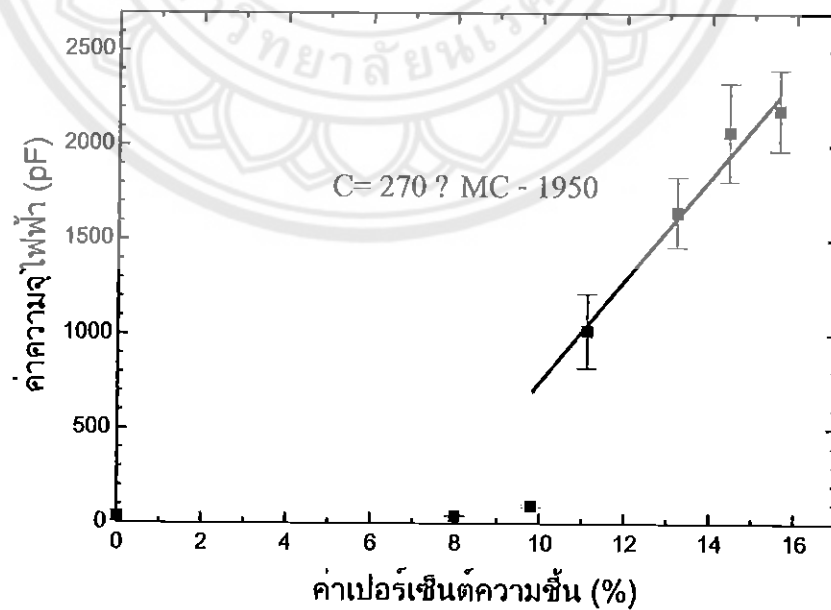
ไฟฟ้าแล้วซึ่งน้ำหนักทุกครั้งที่ทำกรเพิ่มน้ำ เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วนำข้าวที่ทำการทดลองมาทำการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วนำข้าวมาชั่งน้ำหนักแล้วเอาค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณค่าความชื้นดั้งสมการที่ (2.1) และค่าที่ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าว 200 กรัม กล่องแบบที่ 2

	ปริมาณน้ำที่เพิ่ม ลงไปนข้าว (g)	ค่าความจุไฟฟ้า (pF)	ค่าความคลาด เคลื่อน ( $\pm$ pF)	ค่าเปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
ข้าว 200 กรัม	**	36.33	-	0
	0	39.75	1.73	8
	4	94.8	9.54	9.8
	8	1018.64	196.34	11.11
	12	1647.15	185.96	13.21
	16	2070.40	260.34	14.42
	20	2187.60	214.04	15.60

หมายเหตุ \*\* ปริมาณข้าวที่มีค่าความชื้นเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์หลังจากการอบข้าว

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น กล่องแบบที่ 2

รูปที่ 4.8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.2 เราพบว่าค่าที่อ่านได้จากการทดลองทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์ โดยค่าความชื้นจะแปรผันกับค่าความจุไฟฟ้าโดยจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นเมื่อความชื้นมีค่ามากกว่า 9.8 % ขึ้นไป

จากกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความจุไฟฟ้า เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$MC = 3.7 \times 10^{-3} \times C + 7.20 \quad (4.2)$$

ผลการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของกล่องที่ออกแบบที่ใช้สำหรับใส่ข้าว เพื่อใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าของข้าวในกล่องแบบที่ 2 พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่ค่อยสัมพันธ์กันในทางเชิงเส้น แต่จากการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของข้าวในกล่องที่ 1 จะพบว่ามีค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นไปในลักษณะเชิงเส้นมากกว่า ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องวัดความชื้นข้าวเครื่องนี้เราจึงเสนอให้ใช้กล่องแบบที่ 1

ผลการทดลองค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าเครื่องที่สร้างกับค่าความชื้นของข้าวจากเครื่องที่สร้างโดยใช้กล่องแบบที่ 1 ในการใส่ข้าวเพื่อวัดความชื้น โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4.1) และค่าความชื้นที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีดังสมการที่ (2.1) และผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าจากเครื่องที่สร้างกับความชื้นของข้าวจากเครื่องที่สร้างโดยใช้กล่องแบบที่ 1 และค่าความชื้นของข้าวจากการคำนวณ

	ปริมาณน้ำที่ เพิ่มลงไป ใน ข้าว (g)	ค่าความจุไฟฟ้า (pF) จากเครื่องที่สร้าง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) จากการคำนวณจาก สมการ (4.1)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) จากการคำนวณ จากสมการที่ (2.1)
ข้าว 200 กรัม	**	48.31	0	0
	0	60.54	8.72	8
	4	108.98	9.70	9.8
	8	194.61	11.48	11.11
	12	223.37	11.98	13.12
	16	268.60	12.88	14.42
	20	408.23	15.67	15.60

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการวัดความชื้นที่ได้จากเครื่องที่สร้างโดยใช้กล่องแบบที่ 1 ใส่ข้าว  
ตัวอย่างเพื่อใช้ทำการวัด พบว่าค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นที่  
ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีในสมการที่ (2.1) ดังนั้นเมื่อนำเครื่องวัดความชื้นที่สร้างไปวัดความจุ  
ไฟฟ้าและความชื้นของข้าวสามารถใช้งานได้จริง





## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็น การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้วัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก โดยการพัฒนาโครงการนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ 1. การออกแบบและสร้างกล่องบรรจุตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือก 2. แบบ 2. การสร้างวงจรวัดค่าความชื้นข้าวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 3. การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและความชื้น โดยผลการทดสอบสรุปได้ว่า กล่องที่มีการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ (กล่องแบบที่ 1) จะให้ผลการวัดที่เป็นลักษณะเชิงเส้นกว่ากล่องที่มีการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (กล่องแบบที่ 2) เครื่องวัดความจุไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้งานได้จริง และความชื้นในเมล็ดข้าวจะสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าความจุไฟฟ้าในช่วง ๆ หนึ่ง โดยเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ถูกพัฒนาขึ้นในการทำโครงการนี้น่าจะสามารถนำไปใช้งานได้จริง

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการทำโครงการเครื่องวัดความชื้นในข้าวด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้า พบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่ทำให้การดำเนินงานมีความล่าช้า ดังนี้

1. ขาดความรู้ความเข้าใจในการออกแบบกล่องที่ใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า แก้ไขปัญหาโดยการศึกษาดังวิธีการออกแบบกล่องที่ใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าแล้วใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics ช่วยในการวิเคราะห์ร่วมด้วย

2. ปัญหาในการวัดของค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนอาจเพราะปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่น ตัวอุปกรณ์หรือสภาพแวดล้อมใด ๆ ซึ่งแก้ไขโดยการวัดซ้ำแล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

3. ปัญหาเกี่ยวกับการชั่งน้ำหนักและการใส่น้ำโดยการใส่สเปรย์ฉีดน้ำเข้าไปในข้าว นั้นเวลาที่ฉีดน้ำเข้าไปจะมีละอองของน้ำไปติดกับภาชนะที่ใช้ชั่งข้าว แก้ไขโดยการนำข้าวที่ผสมน้ำแล้วมาชั่งพร้อมภาชนะที่ใส่ข้าว

### 5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

1. พัฒนาให้เครื่องวัดความชื้นด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้าสามารถวัดค่าความชื้นของเมล็ดพืชชนิดอื่น ๆ ร่วมได้
2. พัฒนาให้เครื่องวัดความชื้นด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้าสามารถวัดค่าได้ถูกต้องเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น
3. พัฒนาเครื่องวัดความชื้นด้วยคุณสมบัติความจุไฟฟ้าโดยการปรับปรุงให้วัดค่าความชื้นแล้วสามารถเก็บข้อมูลไว้ได้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิบูลย์ เทเพนทร์. การวัดความชื้นเมล็ดพืช. กรุงเทพฯ : วิศวกรการเกษตร 8วช. หัวหน้ากลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม. แหล่งที่มาข้อมูล:  
<http://www.doa.go.th/aeri/files/KM/moisture%202.pdf>.
- [2] NI Innovation. [ออนไลน์]. แหล่งที่มาข้อมูล: <http://www.engineerthailand.com/moisture.html>.
- [3] ตัวเก็บประจุ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มาข้อมูล: [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub\\_lesson/4\\_1.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/4_1.htm).
- [4] Arduino คืออะไร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มาข้อมูล: <http://www.thaicasyelec.com/basic-electronics>.
- [5] LM555 Timer (Rev. C) - Texas Instruments. [ออนไลน์]. แหล่งที่มาข้อมูล:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>
- [6] ศึกษาธิการ, กระทรวง: กรมวิชาการ. มัลติมิเตอร์. (2529). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์การศาสนา
- [7] เครื่องวัดค่า C ระบบดิจิทัล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มาข้อมูล: [http://www.ms-kit.com/product/14/เครื่องวัดค่า\\_C\\_ระบบดิจิทัล](http://www.ms-kit.com/product/14/เครื่องวัดค่า_C_ระบบดิจิทัล)



ภาคผนวก ก  
Source Code ของโปรแกรม

มหาวิทยาลัยพระนคร

## Source Code ของโปรแกรม

```
// Code for measuring capacitance and calculating rice moisture content.

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 9, 8, 7);

int relay = 5;

int start = 6;

unsigned long duration[11];

unsigned long time;

unsigned long time2;

float cap;

float mc, mc1, mc2;

int i = 0;

void setup(){

  lcd.begin(16, 2);

  Serial.begin(9600);

  pinMode(relay, OUTPUT);

  pinMode(start, INPUT_PULLUP);

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("Rice Moisture");

  lcd.setCursor(0, 1);

  lcd.print("Press Yellow Btn");

}

void loop(){

  if(digitalRead(start) == LOW){

    digitalWrite(relay, HIGH);

    delay(2000);

    attachInterrupt(0, interrupt0, LOW);

    delay(1500);
```

```

detachInterrupt(0);

delay(1500);

time2=0;

for (int j=0; j < 10; j++){
//  Serial.print(j);
//  Serial.print(" = ");

  Serial.println(duration[j]);

  time2 = time2 + duration[j];

  delay(10);
}

time = time2/10;
Serial.println("----");
Serial.println(time);
Serial.println("----");
Serial.println(i);
//Calculate
cap = (((float)time)/1.73;
// mc = (0.028 * cap) + 2.5471;

  // Box 1

mc1 = 3.7e-3*cap + 7.2;

// Box 2

mc2 = 0.02*cap + 7.51;

mc=mc2;

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("      ");

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("C = ");

lcd.print(cap);

```

```
lcd.print(" pF");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("      ");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("MC = ");

    if (cap>50) { // Result is shown only when the box is attached

        lcd.print(0.1*floor(mc*10));

        lcd.print(" %");

    }

else

    lcd.print("Unknown");

    digitalWrite(relay, LOW);

digitalWrite(relay, LOW);

}

else {

    i = 0;

    time = 0;

    time2 = 0;

}

}

}

void interrupt0(){

    duration[i] = pulseIn(2, LOW);

    i = i + 1;

}
```







## 6-Pin DIP Optoisolators Logic Output

The H11L1 and H11L2 have a gallium arsenide IRED optically coupled to a high-speed integrated detector with Schmitt trigger output. Designed for applications requiring electrical isolation, fast response time, noise immunity and digital logic compatibility.

- Guaranteed Switching Times —  $t_{on}, t_{off} < 4 \mu s$
- Built-In On/Off Threshold Hysteresis
- High Data Rate, 1 MHz Typical (NRZ)
- Wide Supply Voltage Capability
- Microprocessor Compatible Drive
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

### Applications

- Interfacing Computer Terminals to Peripheral Equipment
- Digital Control of Power Supplies
- Line Receiver — Eliminates Noise
- Digital Control of Motors and Other Servo Machine Applications
- Logic to Logic Isolator
- Logic Level Shifter — Couples TTL to CMOS

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INPUT LED</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	0	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
— Peak		1.2	Amp
Pulse Width = 300 $\mu s$ , 2% Duty Cycle			
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above 25°C	$P_D$	120	mW
		1.41	mW/°C
<b>OUTPUT DETECTOR</b>			
Output Voltage Range	$V_o$	0–18	Volts
Supply Voltage Range	$V_{CC}$	3–18	Volts
Output Current	$I_O$	50	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above 25°C	$P_D$	150	mW
		1.78	mW/°C
<b>TOTAL DEVICE</b>			
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above 25°C	$P_D$	250	mW
		2.94	mW/°C
Maximum Operating Temperature(2)	$T_A$	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range(2)	$T_{stg}$	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	$T_L$	260	°C
Isolation Surge Voltage (Pk ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)(1)	$V_{ISO}$	7500	Vac(pk)

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions. Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

**H11L1\***  
[ $I_F(on) = 1.6 \text{ mA Max}$ ]

**H11L2**  
[ $I_F(on) = 10 \text{ mA Max}$ ]

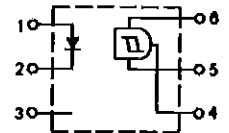
\*Motorola Preferred Device

### STYLE 5 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

### SCHEMATIC



- PIN 1. ANODE
- CATHODE
- NC
- OPEN COLLECTOR OUTPUT
- GND
- $V_{CC}$

**H11L1 H11L2**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	
<b>INPUT LED</b>						
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega$ )	$I_R$	—	0.05	10	$\mu\text{A}$	
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ ) ( $I_F = 0.3\text{ mA}$ )	$V_F$	— 0.75	1.2 0.95	1.5 —	Volts	
Capacitance ( $V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	18	—	$\text{pF}$	
<b>OUTPUT DETECTOR</b>						
Operating Voltage	$V_{CC}$	3	—	15	Volts	
Supply Current ( $I_F = 0, V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC(\text{off})}$	—	1	5	$\text{mA}$	
Output Current, High ( $I_F = 0, V_{CC} = V_O = 15\text{ V}$ )	$I_{OH}$	—	—	100	$\mu\text{A}$	
<b>COUPLED</b>						
Supply Current ( $I_F = I_{F(\text{on})}, V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC(\text{on})}$	—	1.0	5	$\text{mA}$	
Output Voltage, Low ( $R_L = 270\ \Omega, V_{CC} = 5\text{ V}, I_F = I_{F(\text{on})}$ )	$V_{OL}$	—	0.2	0.4	Volts	
Threshold Current, ON ( $R_L = 270\ \Omega, V_{CC} = 5\text{ V}$ )	H11L1	$I_{F(\text{on})}$	—	1.2	1.8	$\text{mA}$
	H11L2	$I_{F(\text{on})}$	—	—	10	$\text{mA}$
Threshold Current, OFF ( $R_L = 270\ \Omega, V_{CC} = 5\text{ V}$ )	H11L1	$I_{F(\text{off})}$	0.3	0.75	—	$\text{mA}$
	H11L2	$I_{F(\text{off})}$	0.3	—	—	$\text{mA}$
Hysteresis Ratio ( $R_L = 270\ \Omega, V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{F(\text{off})}$	0.6	0.75	0.9		
	$I_{F(\text{on})}$					
Isolation Voltage <sup>(2)</sup> 60 Hz, AC Peak, 1 second, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_{ISO}$	7500	—	—	$V_{ac(\text{pk})}$	
Turn-On Time	$R_L = 270\ \Omega$ <sup>(3)</sup> $V_{CC} = 5\text{ V}$ $I_F = I_{F(\text{on})}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$t_{on}$	—	1.2	4	$\mu\text{s}$
Fall Time		$t_f$	—	0.1	—	
Turn-Off Time		$t_{off}$	—	1.2	4	
Rise Time		$t_r$	—	0.1	—	

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. For this test, IRED Pins 1 and 2 are common and Output Gate Pins 4, 5, 6 are common.
3.  $R_L$  value effect on switching time is negligible.

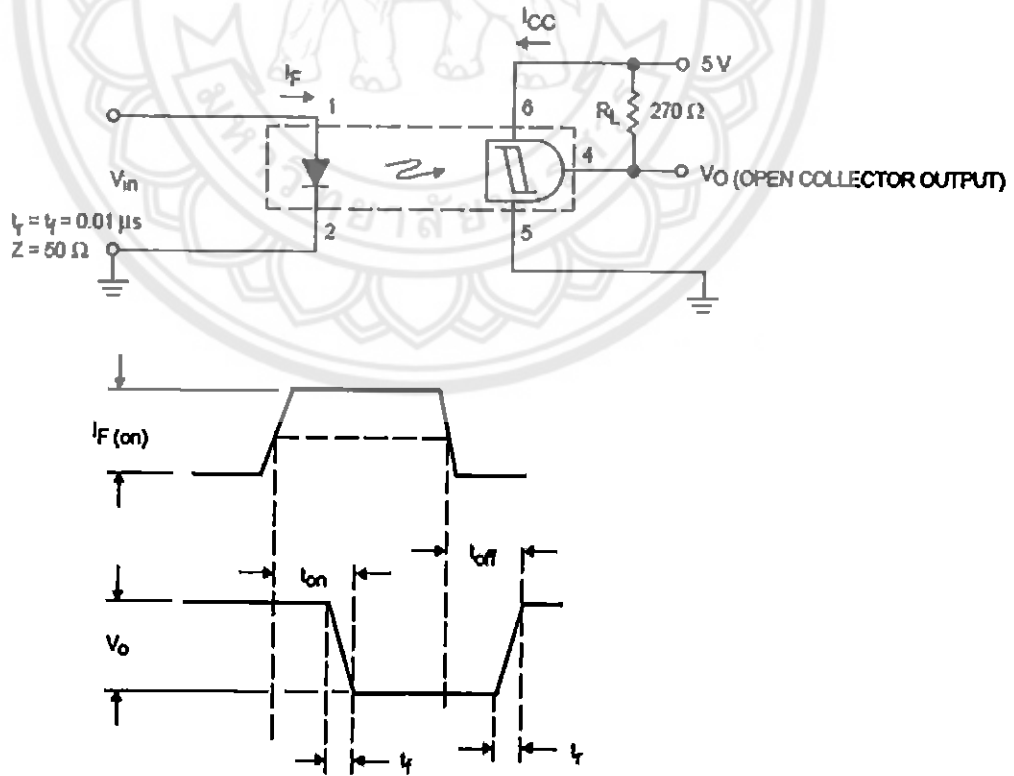


Figure 1. Switching Test Circuit

TYPICAL CHARACTERISTICS

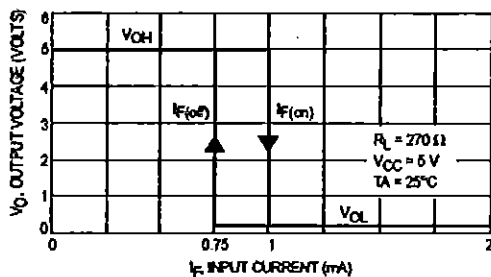


Figure 2. Transfer Characteristics for H11L1

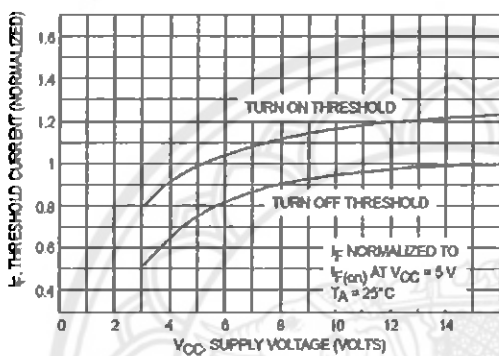


Figure 3. Threshold Current versus Supply Voltage

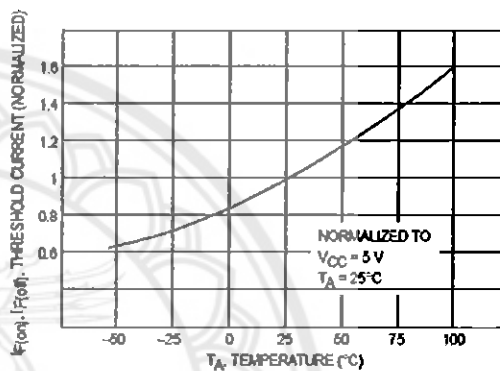
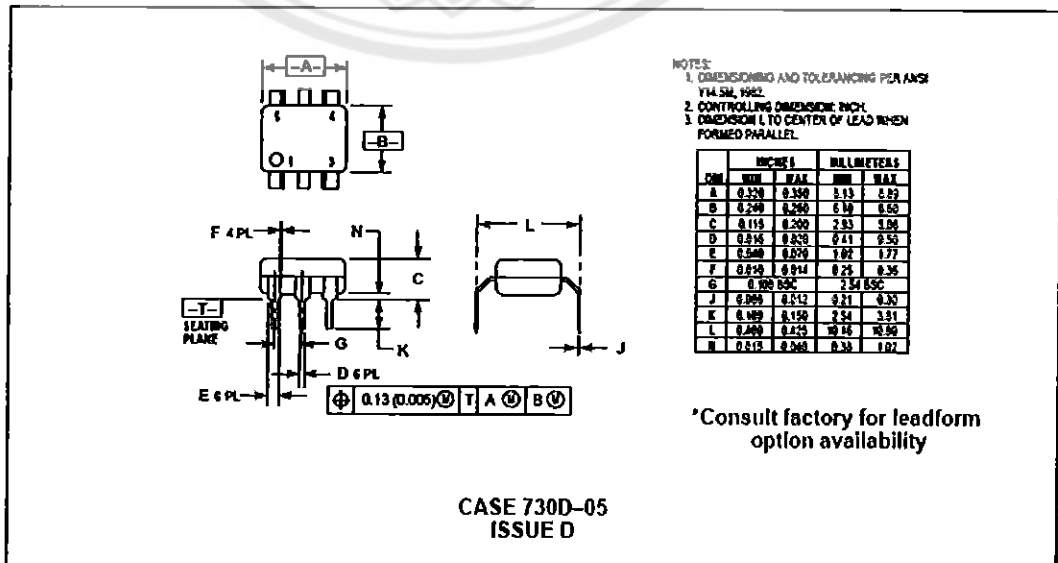
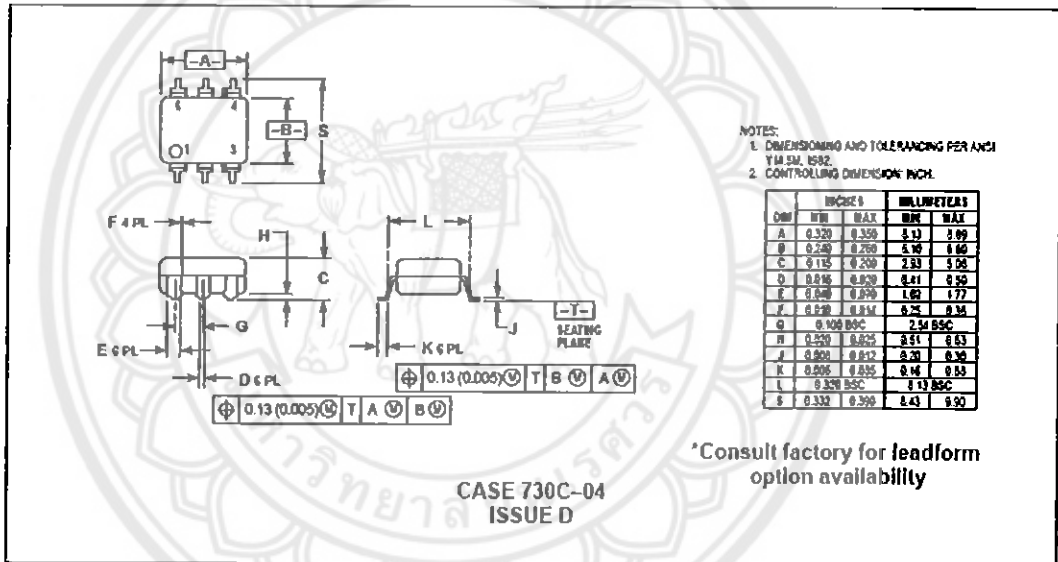
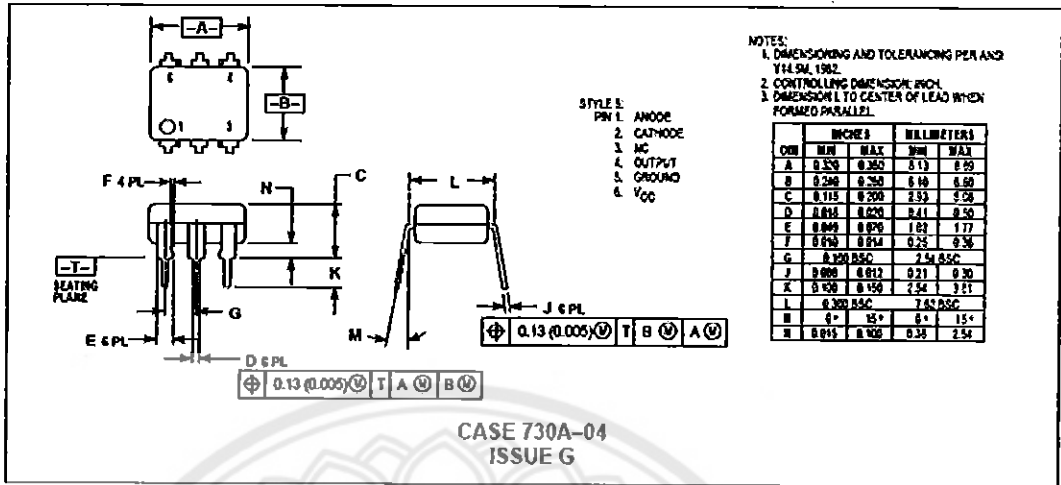


Figure 4. Threshold Current versus Temperature

H11L1 H11L2

PACKAGE DIMENSIONS

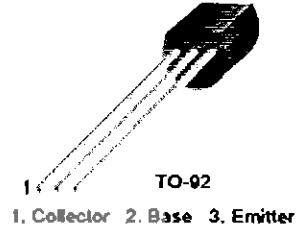


**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

## BC546/547/548/549/550

### Switching and Applications

- High Voltage: BC546,  $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC550 ... BC560



### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_J=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	100	mA
$P_C$	Collector Power Dissipation	500	mW
$T_J$	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^{\circ}C$

#### Electrical Characteristics $T_J=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.6	6	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{EB}=0.6V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure : BC546/547/548 : BC549/550 : BC549 : BC550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		2	10	dB
		$f=1KHz, R_G=2K\Omega$		1.2	4	dB
		$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		1.4	4	dB
		$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.4	3	dB

### $h_{FE}$ Classification

Classification	A	B	C
$h_{FE}$	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

## Typical Characteristics

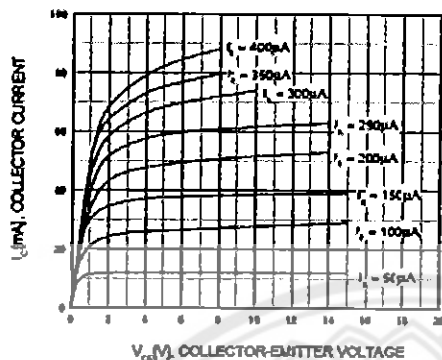


Figure 1. Static Characteristic

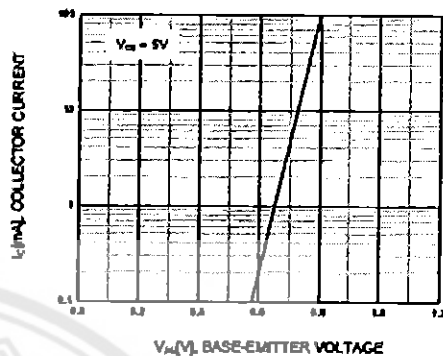


Figure 2. Transfer Characteristic

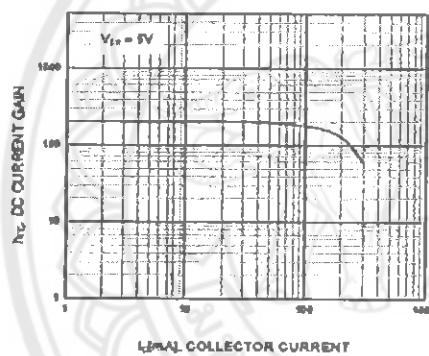


Figure 3. DC current Gain

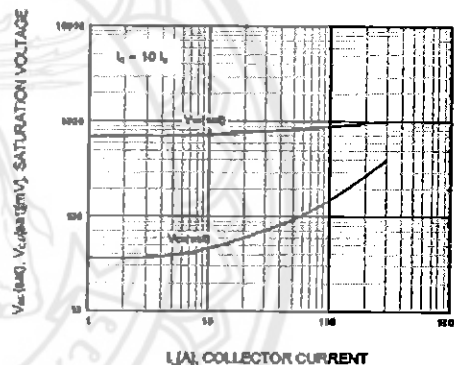


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage  
Collector-Emitter Saturation Voltage

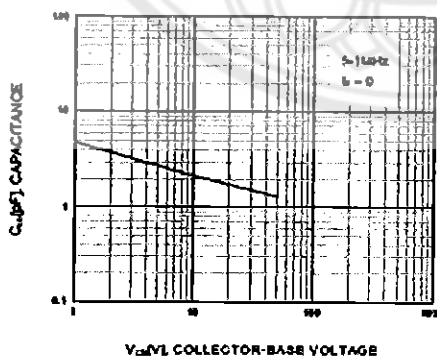


Figure 5. Output Capacitance

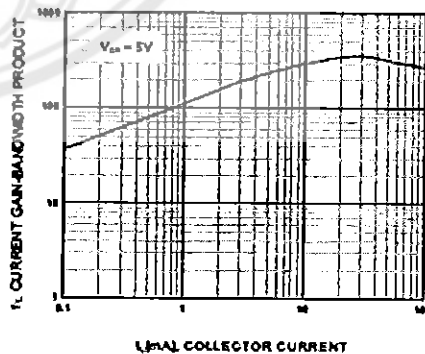
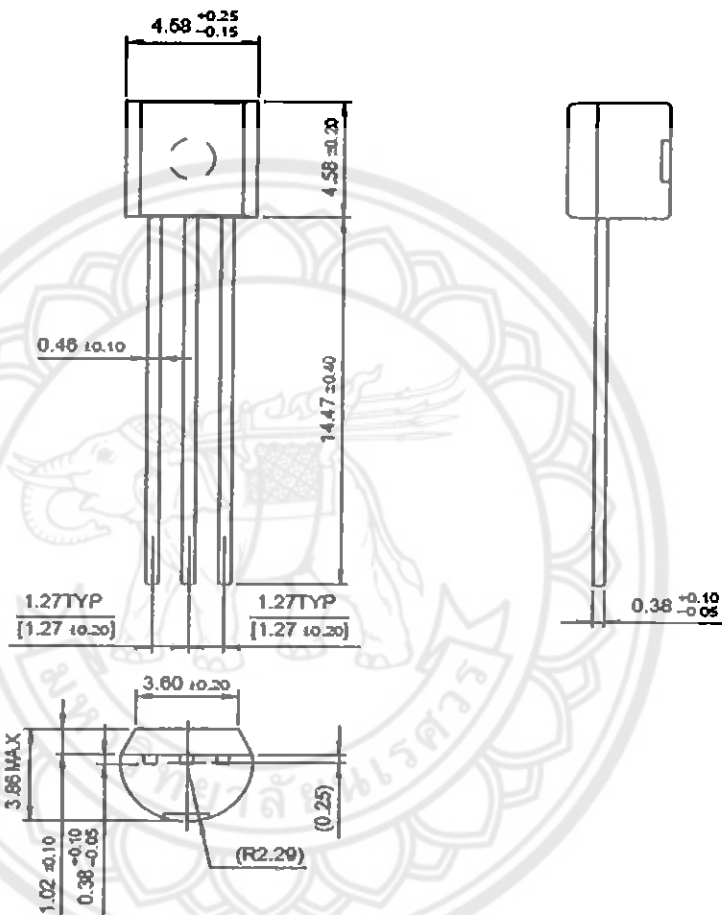


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

## Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FACT™	ImpliedDisconnect™	PACMAN™	SPM™
ActiveArray™	FACT Quiet series™	ISOPLANAR™	POP™	Stealth™
Bottomless™	FAST®	LittleFET™	Power247™	SuperSOT™-3
CoolFET™	FASTr™	MicroFET™	PowerTrench®	SuperSOT™-6
CROSSVOLT™	FRFET™	MicroPak™	QFET™	SuperSOT™-8
DOVE™	GlobalOptoisolator™	MICROWIRE™	QS™	SyncFET™
EcoSPARK™	GTO™	MSX™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
E <sup>2</sup> CMOS™	HiSeC™	MSXPro™	Quiet Series™	TruTranslation™
EnSigna™	i <sup>2</sup> C™	OCX™	RapidConfigure™	UHC™
Across the board, Around the world.™		OCXPro™	RapidConnect™	UltraFET®
The Power Franchise™		OPTOLOGIC®	SILENT SWITCHER®	VCX™
Programmable Active Droop™		OPTOPLANAR™	SMART START™	

## DISCLAIMER

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

## LIFE SUPPORT POLICY

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

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.



PREPARED BY: DATE:

*M. Kato* November 22, 1995

APPROVED BY: DATE:

*J. Matsumura* 11/22/95**SHARP**ELECTRONIC COMPONENTS  
GROUP SHARP CORPORATION

## SPECIFICATION

SPEC No. ED-95151

ISSUE November 28, 1995

PAGE 10 Pages

REPRESENTATIVE DIVISION

OPTO-ELECTRONIC  
DEVICES DIV.

DEVICE SPECIFICATION FOR

Business dealing name

PHOTOCOUPLER

MODEL No.

PC817

O	PC817X1	PC817X16
	PC817X11	PC817X17
	PC817X12	PC817X18
	PC817X13	PC817X19
	PC817X14	PC817X10
	PC817X15	

1. These specification sheets include the contents under the copyright of Sharp Corporation ("Sharp"). Please keep them with reasonable care as important information. Please don't reproduce or cause anyone reproduce them without Sharp's consent.

2. Please obey the instructions mentioned below for actual use of this device. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices.

(1) This device is designed for general electronic equipment.

Main uses of this device are as follows:

[ • Computer • OA equipment • Telecommunication equipment (Terminal)  
• Measuring equipment • Tooling machine • AV equipment • Home appliance, etc. ]

(2) Please take proper steps in order to maintain reliability and safety, in case this device is used for the uses mentioned below which require high reliability.

[ • Unit concerning control and safety of a vehicle (air plane, train, automobile etc.)  
• Traffic signal • Gas leak detection breaker • Fire box and burglar alarm box  
• Other safety equipment, etc. ]

(3) Please do not use for the uses mentioned below which require extremely high reliability.

[ • Space equipment • Telecommunication equipment (Trunk)  
• Nuclear control equipment • Medical equipment etc. ]

Contact a SHARP representative of sales office in advance when you intend to use SHARP devices for any applications other than those applications for general electronic equipment recommend by SHARP at (1).

CUSTOMER'S APPROVAL

DATE

BY

DATE  
PRESENTED  
BY*J. M.*

T. Matsumura,  
Department General Manager of  
Engineering Dept., II  
Opto-Electronic Devices Div.  
ELECOM Group  
SHARP CORPORATION

SHARP CORPORATION

ED-95161

November 28, 1995

MODEL No. PC817XI

PAGE  
1/8**REFERENCE****1. Application**

This specification applies to the outline and characteristics of photocoupler Model No. PC817series.

**2. Outline**

Refer to the attached drawing No. CY7073K02.

**3. Ratings and characteristics**

Refer to the attached sheet, page 3 to 6.

**4. Reliability**

Refer to the attached sheet, page 7.

**5. Incoming inspection**

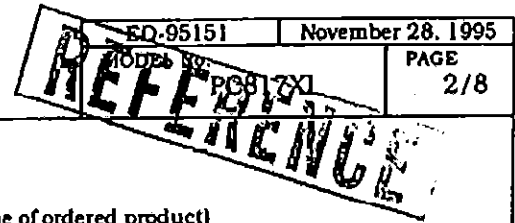
Refer to the attached sheet, page 8.

**6. Supplement**

6.1 Isolation voltage shall be measured in the following method.

- (1) Short between anode to cathode on the primary side and between collector to emitter on the secondary side.
- (2) The dielectric withstand tester with zero-cross circuit shall be used.
- (3) The wave form of applied voltage shall be a sine wave.  
(It is recommended that the isolation voltage be measured in insulation oil.)

SHARP CORPORATION



6.2 Business dealing name  
(‘O’ mark indicates business dealing name of ordered product)

Ordered product	Business dealing name	Rank mark	Ic (mA)	Test conditions
O	PC817X1	A, B, C, D or no mark	2.5 to 30	$I_f = 5\text{mA}$ $V_{CE} = 5\text{V}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$
	PC817X11	A	4.0 to 8.0	
	PC817X12	B	6.5 to 13	
	PC817X13	C	10 to 20	
	PC817X14	D	15 to 30	
	PC817X15	A or B	4.0 to 13	
	PC817X16	B or C	6.5 to 20	
	PC817X17	C or D	10 to 30	
	PC817X18	A, B or C	4.0 to 20	
	PC817X19	B, C or D	6.5 to 30	
	PC817X10	A, B, C or D	4.0 to 30	

6.3 This Model is approved by UL.

Approved Model No. : PC817

UL file No. : E64380

6.4 This product is not designed against irradiation.

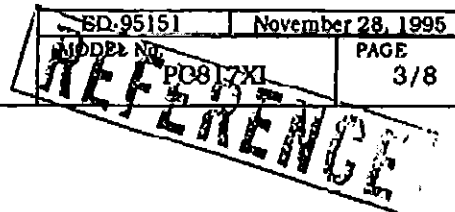
This product is assembled with electrical input and output.

This product incorporates non-coherent light emitting diode.

7. Notes

Refer to the attached sheet-1-1, 2.

SHARP CORPORATION



### 3. Ratings and characteristics

#### 3.1 Absolute maximum ratings

Ta=25°C

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	*1 Forward current	$I_f$	50	mA
	*2 Peak forward current	$I_{fM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	*1 Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	*1 Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
	*1 Total power dissipation	$P_{tot}$	200	mW
	*3 Isolation voltage	$V_{iso}$	5	kVrms
	Operating temperature	$T_{opr}$	-30 to +100	°C
	Storage temperature	$T_{stg}$	-55 to +125	°C
	*4 Soldering temperature	$T_{sol}$	280	°C

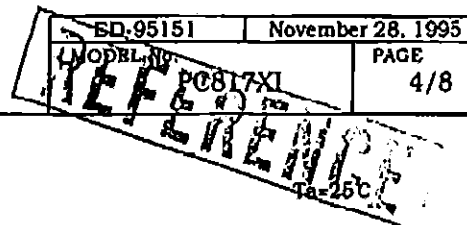
\*1 The derating factors of absolute maximum ratings due to ambient temperature are shown in Fig. 1 to 4.

\*2 Pulse width  $\leq 100 \mu s$ , Duty ratio : 0.001 (Refer to Fig. 5)

\*3 AC for 1 min, 40 to 60%RH

\*4 For 10 s

SHARP CORPORATION



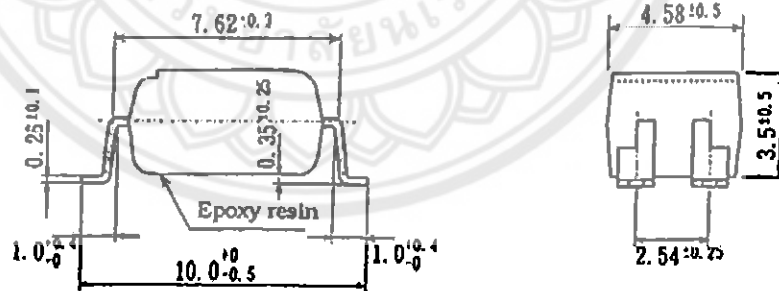
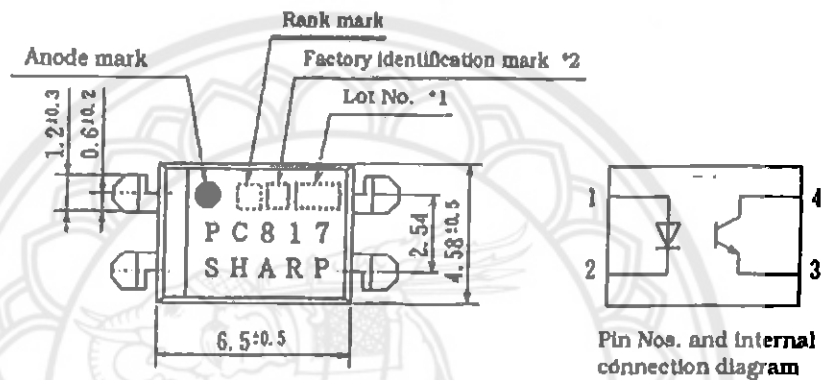
## 3.2 Electro-optical characteristics

	Parameter	Symbol	Condition	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	$V_F$	$I_F=20\text{mA}$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM}=0.5\text{A}$	-	-	3.0	V
	Reverse current	$I_R$	$V_R=4\text{V}$	-	-	10	$\mu\text{A}$
	Terminal capacitance	$C_t$	$V=0, f=1\text{kHz}$	-	30	250	pF
Output	Dark current	$I_{CZO}$	$V_{CE}=20\text{V}, I_F=0$	-	-	100	nA
	Collector-emitter breakdown voltage	$BV_{CEO}$	$I_C=0.1\text{mA}$ $I_F=0$	35	-	-	V
	Emitter-collector breakdown voltage	$BV_{ECO}$	$I_E=10\mu\text{A}, I_F=0$	6	-	-	V
Transfer characteristics	Collector current	$I_C$	$I_F=5\text{mA}, V_{CE}=5\text{V}$	2.5	-	30	mA
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F=20\text{mA}$ $I_C=1\text{mA}$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	$R_{ISO}$	DC500V 40 to 60%RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{11}$	-	$\Omega$
	Floating capacitance	$C_f$	$V=0, f=1\text{MHz}$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	$f_c$	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$ $R_L=100\Omega, -3\text{dB}$	-	80	-	kHz
	Rise time	$t_r$	$V_{CE}=2\text{V}$ $I_C=2\text{mA}$	-	4	18	$\mu\text{s}$
	Fall time	$t_f$	$R_L=100\Omega$	-	3	18	$\mu\text{s}$

SHARP CORPORATION

ED-95161	November 28, 1995
MODEL No. PC817XI	PAGE 5/8

REFERENCE



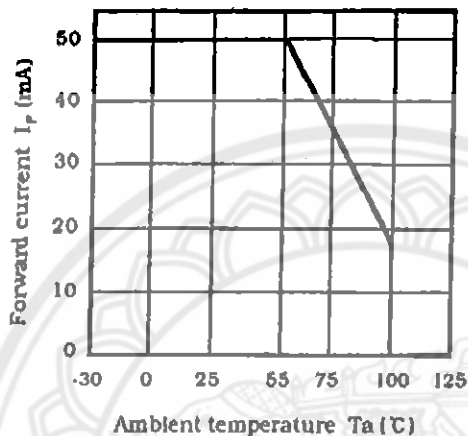
- \*1) 2-digit number shall be marked according to DIN standard.
- \*2) Factory identification mark shall be or shall not be marked.
- \*3) Marking is laser marking

UNIT: 1/1 mm	
Name	PC817 Outline Dimensions (Business dealing name: PC817XI)
Drawing No.	CY7073K02

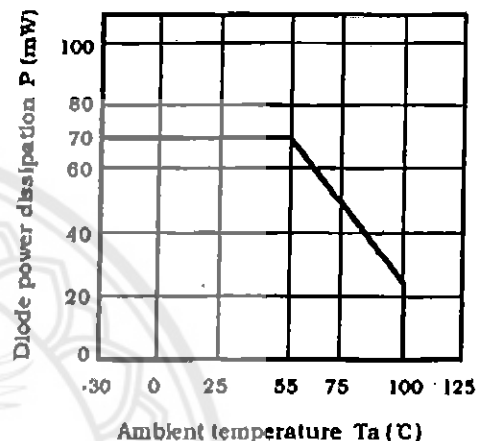
SHARP CORPORATION

ED-9575L	November 28, 1995
MODEL No. PC817XI	PAGE 6/8

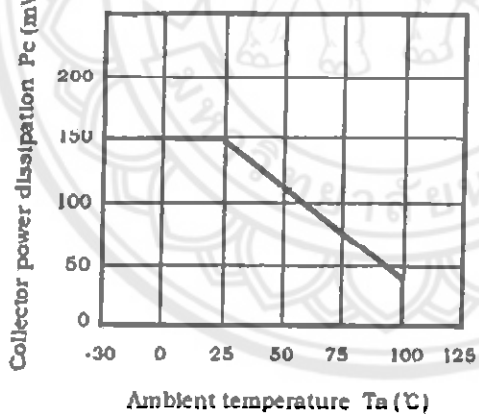
(Fig. 1) Forward current vs. ambient temperature



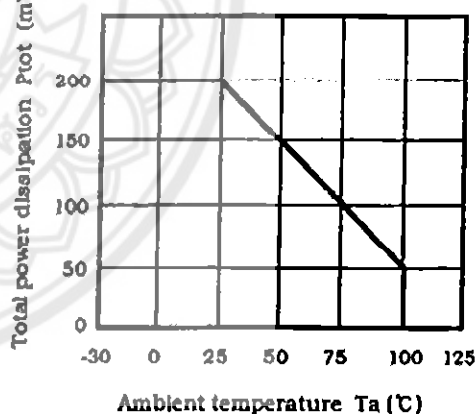
(Fig. 2) Diode power dissipation vs. ambient temperature



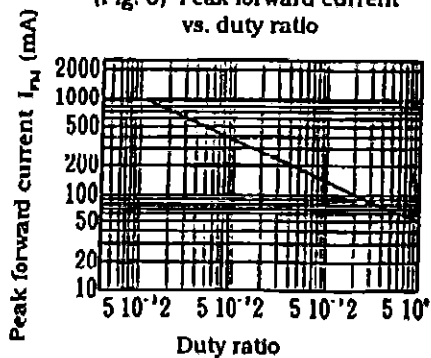
(Fig. 3) Collector power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 4) Total power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 5) Peak forward current vs. duty ratio



Pulse width  $\leq 100 \mu s$   
 $T_a = 25^\circ C$

SHARP CORPORATION

ED:05151	November 28, 1995
MODEL No. PCB17X1	PAGE 7/8

REFERENCE

## 4. Reliability

The reliability of products shall be satisfied with items listed below.

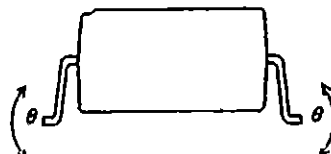
Confidence level : 90%  
LTPD : 10%/20%

Test Items	Test Conditions *1	Failure Judgement Criteria	Samples (n)
			Defective(C)
Solderability *2	230°C, 5 s	—	n=11, C=0
Soldering heat	260°C, 10 s	—	n=11, C=0
Terminal strength (Tension)	Weight : 5N 5 s/each terminal	$V_p > U \times 1.2$	n=11, C=0
Terminal strength (Bending) *3	Weight : 2.5N 2 times/each terminal	$I_R > U \times 2$	n=11, C=0
Mechanical shock	15000m/s <sup>2</sup> , 0.5ms 3 times/±X, ±Y, ±Z direction	$I_{CEO} > U \times 2$ $I_C < L \times 0.7$	n=11, C=0
Variable frequency vibration	100 to 2000 to 100Hz/4min 200m/s <sup>2</sup> 4 times/ X, Y, Z direction	$V_{CE(100)} > U \times 1.2$	n=11, C=0
Temperature cycling	1 cycle -55°C to +125°C (30min) (30min) 20 cycles test	—	n=22, C=0
High temp. and high humidity storage	+60°C, 90%RH, 1000h	U : Upper specification limit	n=22, C=0
High temp. storage	+125°C, 1000h	L : Lower specification limit	n=22, C=0
Low temp. storage	-55°C, 1000h	—	n=22, C=0
Operation life	$I_p = 50mA$ , $P_{tot} = 200mW$ $T_a = 25°C$ , 1000h	—	n=22, C=0

\*1 Test method, conforms to JIS C 7021.

\*2 Solder shall adhere at the area of 95% or more of immersed portion of lead and pin hole or other holes shall not be concentrated on one portion.

\*3 Terminal bending direction is shown below.





SHARP CORPORATION

ED-95151	November 28, 1995
MODEL No. PC817XI	PAGE 8/8

**REFERENCE**

## 5. Incoming inspection

### 5.1 Inspection Items

#### (1) Electrical characteristics

$V_D, I_{IR}, I_{CEU}, V_{CE(M)}, I_C, R_{ISO}, V_{ISO}$

#### (2) Appearance

### 5.2 Sampling method and inspection level

A single sampling plan, normal inspection level II based on ISO 2859 is applied. The AQL according to the inspection items are shown below.

Defect	Inspection Item	AQL (%)
Major defect	Electrical characteristics Unreadable marking	0.1
Minor defect	Appearance defect except the above mentioned.	0.4

## LM555



SNVLS540C – FEBRUARY 2005 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

## Connection Diagram

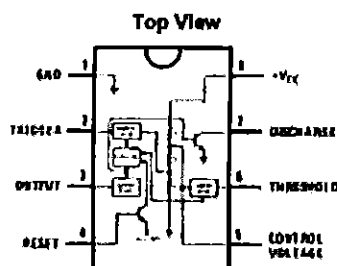


Figure 1. PDIP, SOIC, and VSSOP Packages



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)</sup>

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation <sup>(3)</sup>	
LM555CM, LM555CN <sup>(4)</sup>	1180 mW
LM555CMM	813 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Soldering Information	
PDIP Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and VSSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensures specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indicator of device performance.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 105°C/W (PDIP), 170°C/W (SOIC-S), and 204°C/W (VSSOP) junction to ambient.
- (4) Refer to RET555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

**Electrical Characteristics <sup>(1) (2)</sup>****( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15\text{V}$ , unless otherwise specified)**

Parameter	Test Conditions	Limits			Units
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_A = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_A = \infty$ (Low State) <sup>(3)</sup>		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ , $C = 0.1\mu\text{F}$ , <sup>(4)</sup>		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ , $C = 0.1\mu\text{F}$ , <sup>(4)</sup>		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		6 1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	$\mu\text{A}$
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	$\infty$		0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat <sup>(5)</sup>					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$ , $I_T = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$ , $I_T = 4.5\text{mA}$		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{load} = 10\text{mA}$ $I_{load} = 50\text{mA}$ $I_{load} = 100\text{mA}$ $I_{load} = 200\text{mA}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{load} = 8\text{mA}$ $I_{load} = 8\text{mA}$		0.1 0.4 2 2.5	0.25 0.75 2.5	V

- (1) All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensure specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (3) Supply current when output high typically 1 mA less at  $V_{CC} = 5\text{V}$ .
- (4) Tested at  $V_{CC} = 5\text{V}$  and  $V_{CC} = 15\text{V}$ .
- (5) This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation. The maximum total ( $R_A + R_B$ ) is 20M $\Omega$ .
- (6) No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

## APPLICATIONS INFORMATION

### MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 12). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than  $1/3 V_{CC}$  to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

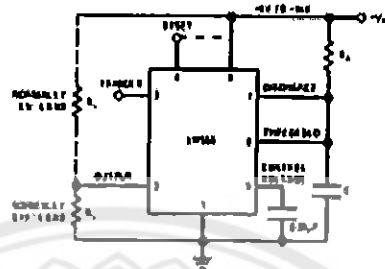
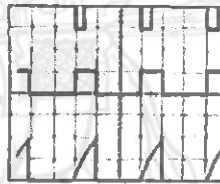


Figure 12. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of  $t = 1.1 R_A C$ , at the end of which time the voltage equals  $2/3 V_{CC}$ . The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 13 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 0.1 ms/DIV.  
 $R_A = 9.1k\Omega$   
 $C = 0.05\mu F$

Top Trace: Input 5V/DIV.  
 Middle Trace: Output 5V/DIV.  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/DIV.

Figure 13. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least 10 $\mu s$  before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to  $V_{CC}$  to avoid any possibility of false triggering.

Figure 14 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

#### NOTE

In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

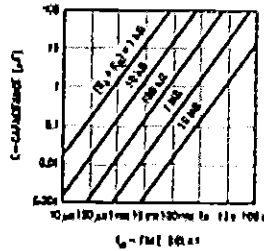


Figure 14. Time Delay

**ASTABLE OPERATION**

If the circuit is connected as shown in Figure 15 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through  $R_A + R_B$  and discharges through  $R_B$ . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

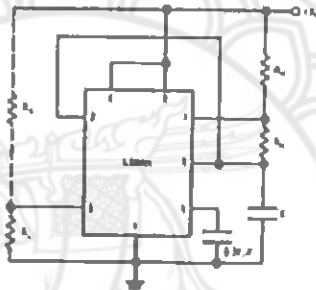
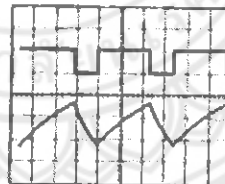


Figure 15. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between  $1/3 V_{CC}$  and  $2/3 V_{CC}$ . As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Figure 16 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$   
 TIME = 20 $\mu$ s/DIV.  
 $R_A = 3.9k\Omega$   
 $R_B = 3k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Output (5V/DIV)  
 Bottom Trace: Capacitor Voltage (1V/DIV)

Figure 16. Astable Waveforms