

การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ
ภายในโรงเรือนจำลอง
Temperature and Humidity Control



โดย

นายอริคม์ สุวีตธรรม
นางสาวอรนัทร ขาวเชียร

ร/พ.
๐๑๒๖๗
๖๕๓๓

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 45696
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

๖ ๑๒๖๗๑๗

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
ภายในโรงเรือนจำลอง
Temperature and Humidity Control

โดย

นายอัคริคม สุวีตธรรม
นางสาวอรฉัตร ขาวเชียร

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ กงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายใน โรงเรือนจำลอง

ผู้จัดทำ

1. นาย อธิคม สุวีตธรรม 41014507

2. นางสาว อรฉัตร ขาวเขียว 41014522



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)

การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลอง

อริคม์ สุวิตรธรรม

อรณัฏฐ์ ขาวเขียว

อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือนนี้ได้นำเสนอการสร้างโรงเรือนจำลองและควบคุมความชื้นอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลอง มีจุดประสงค์เพื่อให้พืชเจริญเติบโตภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ถูกควบคุมให้เหมาะสมกับชนิดของพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51 ในการควบคุมปัจจัยต่างๆ ลักษณะของการควบคุมอัตโนมัติมีการป้อนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับชนิดของพืช และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานทั้งระบบ ระบบควบคุมอุณหภูมิจะใช้พัดลมระบายอากาศและการเป่าอากาศเย็นเข้าไปในโรงเรือนเป็นตัวลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนจำลอง และระบบควบคุมความชื้นใช้เครื่องทำหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศ มีการแสดงผลของอุณหภูมิและความชื้นทางหน้าจอLCD ลักษณะของโรงเรือนจำลองจะเป็นชนิดหน้าจั่ว มีความกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1.35 เมตร และจึงด้วยพลาสติกที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)

TEMPERATURE AND HUMUDITY CONTROL

Atik Suwittham

Orachat Kaothien

Mr. Kongsak Anantahiranrat Advisor

2001

Abstract

This project has an objective to control temperature and humidity in greenhouse for making environment that suitable for kinds of plant. Appropriate temperature and humidity are the control variables that are brought to microcontroller in order to control condition of this greenhouse. Exhaust fan and pump are used to decrease temperature and fogger is use to increase relative humidity in the greenhouse. LCD module display temperature and humidity value in the greenhouse continually.

The greenhouse is 1 meter long, 1 meter wide and 1.35 meters high and covered by plastic which can prevent the greenhouse from heat and ultra violet.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ขอบเขตการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการสร้างโรงเรียน	1
1.3 ความเป็นมาของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 โรงเรียนปลูกพืช	3
2.1.1 ชนิดของโรงเรียนปลูกพืช	3
2.1.2 วัสดุที่ใช้สร้างประกอบโรงเรียน	4
2.1.2.1 โครงสร้างโรงเรียน	4
2.1.2.2 หลังคาโรงเรียน	5
2.2 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	6
2.2.1 อุณหภูมิ	6
2.2.2 ความชื้น	6
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์	7
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	9
3.1 โครงสร้างโรงเรียน	9
3.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	10
3.2.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ	14
3.2.1.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้น	14
3.2.1.2 วงจรรวมเบอร์ LM 335	15
3.2.2 วงจรที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ	17
3.2.2.1 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส	17
3.2.2.2 วงจรสร้างสัญญาณความถี่	19
3.3 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	22
3.3.1 การควบคุมอุณหภูมิ	22
3.3.2 การควบคุมความชื้น	24
3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน	25
3.4.1 โปรแกรมหลัก	25

3.4.2	โปรแกรมย่อยควบคุมอุณหภูมิ	26
3.4.3	โปรแกรมควบคุมความชื้น	30
3.5	การใช้งานโปรแกรมควบคุม	32
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	34
4.1	การทดลองที่ 1 การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือน ไปพร้อมๆกัน	34
4.2	การทดลองที่ 2 การควบคุมความชื้นจนได้ค่าเป้าหมาย ก่อนที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิ	34
4.3	การทดลองที่ 3 การควบคุมอุณหภูมิจนได้ค่าเป้าหมาย ก่อนที่จะทำการควบคุมความชื้น	35
บทที่ 5	บทสรุปและวิจารณ์	45
5.1	ปัญหาและแนวทางแก้ไข	45
5.2	แนวทางในการพัฒนา	45
5.3	บทสรุปและวิจารณ์	45
	กิตติกรรมประกาศ	
	หนังสืออ้างอิง	
	ภาคผนวก	

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 3.1 โครงสร้างและขนาดของโรงเรือนจำลอง	9
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบของชุดควบคุมอัตโนมัติ	12
รูปที่ 3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้า และความชื้นสัมพัทธ์	13
รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานในการใช้งานวงจรรวม LM335	14
รูปที่ 3.6 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ	15
รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส	16
รูปที่ 3.8 วงจรสร้างสัญญาณความถี่	18
รูปที่ 3.9 แสดงการนำ IC 555 TIMER มาประยุกต์ใช้ ในการสร้าง ASTABLE MULTIVIBRATOR	19
รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม	21
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดปั้มน้ำ	22
รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องทำหมอก	23
รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิ	25
รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงการควบคุมความชื้น	28
รูปที่ 3.15 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน	30
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อมๆกัน กรณีลดอุณหภูมิและลดความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส	36
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อมๆกัน กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส	37
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อมๆกัน กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส	38
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ กรณีเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 29 องศาเซลเซียส	39
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 28.5 องศาเซลเซียส	40

รูปที่ 4.6	แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 29 องศาเซลเซียส	41
รูปที่ 4.7	แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 29.5 องศาเซลเซียส	42
รูปที่ 4.8	แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 27.5 องศาเซลเซียส	43
รูปที่ 4.9	แสดงผลการทดลองการควบคุม อุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น กรณีลดอุณหภูมิและลดความชื้น ณ อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส	44

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ความชื้น

12

บทที่ 1

บทนำ

การปลูกพืชในโรงเรือนเพื่อป้องกันแมลงหรือที่เราเรียกกันว่า "ผักกางมุ้ง" และการปลูกไม้ดอกไม้ประดับในโรงเรือน เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งนอกจากจะป้องกันแมลงได้แล้วยังสามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้อีกด้วย จึงควรได้รับการสนใจและทำวิจัยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการวิจัยเพื่อหารูปแบบและโครงสร้างโรงเรือนที่เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศในเขตร้อนดังเช่นประเทศไทย กล่าวคือแทนการติดตั้งเรือนกระจกและติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือน ดังเช่นในยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น กลับต้องหาทางลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน ซึ่งทำด้วยวัสดุอื่นที่ถ่ายเทอากาศได้แทนกระจกและคงจะไม่ใช้การติดตั้งเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นแน่นอน เพราะเป็นการลงทุนที่สูงมากแต่อาจต้องใช้ระบบระบายอากาศโดยการใช้พัดลมดูดอากาศผ่านผนังโรงเรือน เพื่อพัดลมจะดูดเอาไอน้ำและพัดพาเอาความร้อนภายในโรงเรือนออกไปหรืออาจใช้ ระบบพ่นหมอกด้วยแรงดันสูง หรือระบบอื่นๆที่ประหยัดกว่า และมีประสิทธิภาพสูงกว่า

1.1 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการนำอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นรวมถึงวงจรที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์มาใช้งาน
2. ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
3. ศึกษาการควบคุมการทำงานของพัดลม ปั้มน้ำ เครื่องทำหมอก
4. สร้างโรงเรือนจำลอง ทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมและวงจรเซ็นเซอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการสร้างโรงเรือน

การสร้างโรงเรือนทำเพื่อป้องกันไม่ให้ต้นพืชถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมที่ผันแปรไปอย่างรวดเร็วป้องกันแมลง ลมพายุ โดยทั่วไปโรงเรือนปลูกพืชจะให้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและงอกงามดียิ่งกว่าสภาพที่อาจหาได้ภายนอกโรงเรือนขณะนั้นๆยกตัวอย่างเช่นในฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ในพื้นที่บางแห่งทำให้เกษตรกรไม่สามารถปลูกพืชภายนอกโรงเรือนได้ แต่ในช่วงฤดูร้อนกลับมีอุณหภูมิและความเข้มแสงสูงเป็นอันตรายต่อพืชบางชนิด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปลูกพืชภายใต้สภาพโรงเรือนที่ผู้ปลูกสามารถควบคุมระดับอุณหภูมิและความชื้นตาม

ความเหมาะสมของพืชหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือการปลูกพืชในโรงเรือนผู้ปลูกสามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการปลูกพืชภายนอกโรงเรือน

การปลูกพืชภายในโรงเรือนนอกจากสามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมต่อสภาพการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแล้ว เรายังเลือกกำหนดช่วงระยะเวลาการปลูกหรือเก็บเกี่ยวได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย ทำให้ได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาทันกับความต้องการ ถือได้ว่าการปลูกพืชในโรงเรือนเป็นระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพและให้ผลคุ้มค่าแก่การลงทุน

โรงเรือนปลูกพืชจะใช้เป็นที่ควบคุมหรือบังคับองค์ประกอบอันเป็นสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช หากว่าสภาพแวดล้อมอยู่ภายใต้การควบคุมย่อมส่งผลให้ผลผลิตทันกับความต้องการของตลาดและมีคุณภาพตามมาตรฐาน สารเร่งการเจริญเติบโต ความชื้น และระดับอุณหภูมิสามารถปรับได้ตามความเหมาะสมของพืช สภาพแวดล้อมก็สามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด

1.3 ความเป็นมาของโครงการ

จากการที่ได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรไทยในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ การประสบกับพายุฝน แมลงศัตรูพืช อุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการของพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ช้าหรือไม่สามารถให้ผลผลิตได้มากเท่าที่ควร โครงการการควบคุมภายในโรงเรือนจึงได้ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยโครงการนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับชนิดของพืช

โครงการนี้ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ เซ็นเซอร์ วัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อที่จะนำมาใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้น รวมถึงทำการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคู่กับเซ็นเซอร์ทั้งสองประเภท และศึกษาถึงการรับและส่งสัญญาณไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

ผู้จัดทำคาดหวังว่าโครงการนี้จะได้รับการพัฒนาต่อไปเพื่อเป็นประโยชน์กับเกษตรกรไทย และช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศได้บ้างไม่มากก็น้อย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โรงเรือนปลูกพืช(Greenhouse)

โรงเรือนปลูกพืช หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายประเภท ได้แก่ ไม้ เหล็กกล้า โลหะผสมอลูมิเนียม พร้อมทั้งมีวัสดุโปร่งใสทำหน้าที่เป็นหลังคาปกคลุม ซึ่งยินยอมให้แสงแดดส่องผ่านเข้าไปในโครงสร้างได้

2.1.1 ชนิดของโรงเรือนปลูกพืช

โรงเรือนพลาสติก

ปัจจุบันมีพลาสติกหลายชนิดที่แสงผ่านได้ ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำมาปกคลุมหลังคาโรงเรือนตัวอย่างเช่น โพลีเอทิลีน(polyethelene) โพลีไวนิล(polyvinyl) ข้อดีประการสำคัญของวัสดุเหล่านี้คือต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียประการสำคัญคืออายุการใช้งานสั้นเนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลตทำให้วัสดุเหล่านี้แยกสลายได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ลมยังทำให้วัสดุเหล่านี้ฉีกขาดได้ง่าย เว้นแต่จะคอยระมัดระวังให้ดี ส่วนกระจกที่ใช้มุงหลังคาโรงเรือนจะค่อนข้างทนทานกว่าและถ้าดูแลอย่างดีก็จะใช้งานได้ดีกว่า

ดังนั้นพลาสติกที่ให้แสงผ่านได้เหล่านี้จึงมีอัตราการเสื่อมค่าสูงกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในด้านการลงทุนดังนั้นถ้าคิดในระยะยาวพลาสติกจะมีต้นทุนที่สูง

โรงเรือนผ้า

จะมีด้านข้างตรงและหลังคาแบบราบ การก่อสร้างโรงเรือนผ้าค่อนข้างง่ายประกอบด้วยเสาไม้หรือเสาเหล็กและคลุมด้วยผ้าที่แสงผ่านได้ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความเข้มสูงพืชที่ปลูกในโรงเรือนผ้าเหล่านี้มักจะมีลำต้นยาว ใบและดอกใหญ่ สีสดกว่าพืชชนิดเดียวกันที่ปลูกภายนอกโรงเรือน ผ้าจะช่วยลดอุณหภูมิได้เล็กน้อยและช่วยเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้เล็กน้อยอย่างไรก็ดีผ้าจะช่วยลดความเข้มของแสงลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการลดความเข้มแสงในเรือนผ้าจะช่วยลดอุณหภูมิของใบลง ซึ่งเป็นผลให้อัตราการคายน้ำลดลงและทำให้อัตราการควบกลื่นน้ำเกิดขึ้นได้ทันกัน

โรงเรือนไม้ระแนง

มีด้านข้างตรงและหลังคาแบบราบ โครงก้คล้ายคลึงกับเรือนกระจกแต่หลังคาประกอบด้วยกรอบไม้ระแนงซึ่งเคลื่อนย้ายได้เรียกว่า “รั้วกัน” เรือนไม้ระแนงช่วยป้องกันพืชไม้ประดับหลายชนิดซึ่งจะเป็นอันตรายได้ถ้าได้รับความเข้มแสงสูงๆ

โรงเรือนในพื้นที่เขตร้อนมักประสบปัญหาเรื่องปริมาณน้ำฝนมากเกินไปและปัญหา อุณหภูมิที่แตกต่างกันมากในแต่ละวัน การสร้างโรงเรือนสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

ประโยชน์ของโรงเรือนปลูกพืช

- สามารถใช้กำบังฝนทำให้สามารถทำงานได้สะดวกต่อเนื่องตลอดปี
- ไม่ต้องระมัดระวังปัญหาฝนตกรุนแรงพื้นดินเปียกแฉะจนทำงานไม่ได้

การสร้างโรงเรือนมีความจำเป็นอย่างยิ่ง กล่าวคือ

ปัญหาการแพร่ระบาดของโรคหากไม่มีโรงเรือนกำบังฝน เมื่อเกิดโรคระบาดถึงแม้จะฉีด พ่นยาปราบศัตรูพืช แต่น้ำฝนที่ตกลงมาจะชะล้างตัวยาให้หลุดไปจากผิวใบทำให้ประสิทธิภาพการ กำจัดโรคต่ำ การระบาดของโรคแพร่ขยายอย่างรวดเร็วหากจะกำจัดให้ได้ผลก็ต้องเพิ่มสารเคมีอีก เรื่อยๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมากเกินไป

เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมี หากไม่มีโรงเรือนจะไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำฝน ได้ เมื่อมีการใช้ปุ๋ยก็จะเกิดการชะล้างสูญหายไปจากบริเวณรากพืชอย่างรวดเร็วยังไม่ทันที่จะเอามา ใช้

2.1.2 วัสดุที่ใช้สร้างประกอบโรงเรือน

จะประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ โครงโรงเรือนและหลังคาโรงเรือน โดยวัสดุ ที่นำมาสร้างประกอบทั้งสองแตกต่างกันออกไปดังนี้

2.1.2.1 โครงสร้างโรงเรือน

อาจทำด้วยโลหะ ท่อพีวีซี หรือวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น ไม้ไผ่ ไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น วัสดุที่นิยมใช้ทำโครง ได้แก่

โลหะชุบสังกะสี นิยมมากที่สุดเพราะ ทนทาน สามารถใช้ติดต่อกันได้เป็นเวลานาน แต่มี ราคาแพง

ไม้ มีราคาปานกลาง ใช้เป็นส่วนประกอบในโครงโรงเรือนที่เกี่ยวข้อง ถ้าต้องการนำแผ่น ไม้มาก่อสร้างเป็น โครงเรือนเพาะชำที่ถาวร จำเป็นต้องทาสารเคมีรักษาเนื้อไม้บางชนิดที่รู้จักกันดี ในชื่อทางเคมีว่า เพนตาคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) สารนี้ทำหน้าที่ช่วยรักษาเนื้อไม้ไม่ ให้ถูกทำลายจากสัตว์หรือเชื้อรา โรงเรือนที่ปลูกสร้างขึ้นจากไม้เนื้อแข็งจะมีความทนทานต่อการใช้ งานได้มากกว่า 10 ปีขึ้นไป

ท่อพีวีซี หรือโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride) นิยมใช้กันมากเพราะมีน้ำหนักเบา สามารถยึดติดกันแข็งแรง นอกจากนี้ยังสามารถตัดแบ่งออกเป็นท่อนเล็กๆและแต่ละท่อนย่อยของ ท่อพีวีซีสามารถยึดต่อรวมกันเป็นแท่งยาวโดยอาศัยข้อต่อสองทางเป็นตัวยึดประกอบ สะดวกต่อ

การเคลื่อนย้ายหรือดัดแปลงให้เข้ากับรูปทรงของโรงเรือนประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ท่อพีวีซี ส่วนมากมีความหนาค่อนข้างมาก ซึ่งเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันแล้วไม่ก่อให้เกิดรอยพับรอยแตกหัก ตามบริเวณส่วนที่โค้งงอ

2.1.2.2 หลังคาโรงเรือน

หลังคาโรงเรือนสามารถทำได้จากวัสดุหลายประเภท แต่ที่นิยมมากได้แก่ แผ่นกระจก ไฟเบอร์กลาส (fiberglass) และพลาสติกใส โดยเฉพาะโรงเรือนในเขตร้อนส่วนใหญ่มักใช้กระจกเป็นหลัก สาเหตุก็เพราะกระจกมีคุณสมบัติในแง่ที่ยอมให้แสงทะลุผ่านได้มากและอายุการใช้งานนาน แต่มีข้อเสียคือมีน้ำหนักมากราคาแพง และไม่สามารถโค้งงอหรือดัดแปลงให้เข้ากับรูปทรงต่างๆตามต้องการได้

ไฟเบอร์กลาส เป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ใช้ประกอบเป็นหลังคาโรงเรือนปลูกพืชต่างๆไปมีข้อดีตรงที่มีน้ำหนักเบา สามารถดัดแปลงให้เข้ากับโครงสร้างของโรงเรือนในรูปแบบต่างๆได้เป็นอย่างดี ราคาก็ไม่แพงมากนัก อายุการใช้งานติดต่อกันนานถึง20ปีเป็นอย่างต่ำ แต่สำหรับในเขตร้อนแล้วหลังคาแบบนี้ยังไม่เป็นที่นิยม เพราะปริมาณความเข้มแสงสูงไปและถ้ารับแสงติดต่อกันเป็นเวลานานๆจะทำให้แผ่นไฟเบอร์กลาสเสื่อมคุณภาพเร็ว

ดังนั้นถ้าสร้างหลังคาโรงเรือนไฟเบอร์กลาสในเขตร้อนแล้วทางโรงงานผู้ผลิตจะไม่ค่อยรับประกันคุณภาพ เนื่องจากไฟเบอร์กลาสมีคุณสมบัติดูดกลืนแสงได้มากแต่สะท้อนแสงได้น้อย ถ้าใช้ติดต่อกันหลายปีจะเกิดการจุ่มมัวที่บริเวณผิวหน้าทำให้แสงสว่างส่องผ่านเข้ามาในโรงเรือนลดน้อยลง ซึ่งถ้าอัตราการรับแสงต่ำมากก็จะไม่มีประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกในโรงเรือน แต่มีเกษตรกรบางรายจะปลูกผักในระยะ 2-3 ปีแรกก่อน ต่อจากนั้นค่อยๆเปลี่ยนเป็นไม้ประดับประเภทที่ไม่ค่อยชอบแสงแดดมากนักแทน แผ่นไฟเบอร์กลาส ยังมีข้อเสียตรงที่ติดไฟง่าย

พลาสติก มีอยู่หลายประเภท ราคาส่วนใหญ่ไม่แพงเมื่อเทียบกับกระจก สามารถดัดแปลงให้เป็นรูปทรงต่างๆตามที่ต้องการ แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะอายุการใช้งานสั้นไม่ทนต่อการได้รับแสงแดดติดต่อกันเป็นเวลานานๆ พลาสติกที่ใช้ทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ

พลาสติกใส นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นแผ่นเรียงซ้อนกันมีหลายขนาดให้เลือกใช้ แผ่นพลาสติกที่ใช้งานกันมากที่สุดคือ โพลีเอทรีลีน และ โพลีไวนิล

แผ่นพลาสติกโพลีเอทรีลีน มีลักษณะใส ค่อนข้างทนทานต่อแสงอุลตราไวโอเลตที่ส่องผ่านลงมา แต่บางครั้งอาจเกิดการเปราะหักง่ายเมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป โดยเฉพาะ เมื่อสัมผัสกับแสงแดดที่รุนแรงตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการใช้สารเคมีบางอย่าง เช่น มอนเซน(monsan) ฟันเคลือบลงบนผิวหน้าแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันและลดอิทธิพลของแสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งจะสามารถยืดอายุการใช้งานออกไปอีกเป็นปี

แผ่นพลาสติกโพลีไวนิล ไม่ค่อยนิยมใช้ เพราะมีความทนทานต่ออิทธิพลของแสงอุลตราไวโอเลตน้อยกว่าโพลีเอทิลีน ประกอบกับฝุ่นผงสามารถเข้าไปยึดติดกับแผ่นพลาสติกได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ

2.2 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.2.1 อุณหภูมิ

เหตุผลเบื้องต้นสำหรับการใช้โรงเรือนคือ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช การถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้โดยการดูดอากาศออกความเย็นที่เกิดจากการระเหยของน้ำหรือการคายน้ำของพืชไม่ค่อยมีผลมากนักในตอนกลางคืน ตรงข้ามจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึงระดับที่เชื้อโรคแพร่เชื้อได้

ปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิโดยรอบ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีจากแสงแดดที่ส่องผ่านวัสดุคลุมโรงเรือนเข้ามา ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนตกค้างอยู่ภายในโรงเรือน

แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาในโรงเรือนส่วนที่เป็นรังสีคลื่นสั้นจะผ่านเข้าไปได้ ขณะที่ผ่านกระจกความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไปและกลายเป็นพลังงานความร้อน ส่วนรังสีคลื่นยาวที่เกิดจากการหักเหของรังสีคลื่นสั้นผ่านกระจกจะตกค้างอยู่ภายในโรงเรือน รังสีคลื่นยาวที่ตกค้างอยู่ภายในเรียกว่า ผลกระทบของ Greenhouse (Greenhouse Effect)

อย่างไรก็ตามสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้นนั้น เนื่องมาจากการที่โรงเรือนเป็นโครงสร้างระบบปิด

สรุป คือถ้าใช้วัสดุคลุมเป็นกระจกหรือพลาสติก รังสีคลื่นยาวที่ตกค้างอยู่ภายในทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ถ้าใช้โพลีเอทิลีน จะสามารถขจัดปัญหานี้ได้อย่างมากเนื่องจากโพลีเอทิลีนจะยอมให้รังสีคลื่นยาวทะลุผ่านได้

2.2.2 ความชื้น

ความชื้น หมายถึงอากาศที่ไอน้ำรวมตัวกันเป็นจำนวนมาก การมีอากาศชื้นเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งในการป้องกันการคายน้ำจากใบมากเกินไป อากาศแห้งอุณหภูมิต่ำและลมพัดจัดจะเพิ่มการคายน้ำของพืช

ความชื้นเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น ถึงแม้ว่าจะพอสัมผัสได้เช่นอากาศแห้งจะรู้สึกว่ามีหนังแห้งหรือเมื่อหายใจจะรู้สึกว้าวอากาศเบาส่วนอากาศชื้นจะรู้สึกว้อบ แต่เมื่อจะเข้าสู่เทคนิคการควบคุมความชื้นเราจะต้องทราบข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวกับความชื้นเสียก่อน

- เมื่อเราพูดถึงความชื้นเรามักจะหมายถึง “ ความชื้นสัมพัทธ์ “ (relative humidity หรือ RH) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศและปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้องในขณะนั้น โดยมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 50% 60% 70% เปอร์เซนต์ยิ่งมากก็หมายถึงความชื้นยิ่งสูงมาก ห้องที่มีการปรับอากาศที่ดีจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50-60% และในเวลาฝนตกหรือใกล้ฝนตก ค่าความชื้นสัมพัทธ์อาจจะสูงถึงเกือบ 100% การที่นิยมใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในการบ่งถึงความชื้น เนื่องจากทำให้เห็นภาพได้ทันทีว่าความชื้นมากหรือน้อย
- ระดับการควบคุมความชื้นต้องดูทั้งอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์
- ห้องที่มีอุณหภูมิค่าโอกาสที่ไอน้ำในอากาศจะอิ่มตัวก็จะมีมากขึ้นดังนั้นในปริมาณไอน้ำในอากาศเท่ากัน เมื่ออุณหภูมิห้องลดลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นหรือในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิห้องสูงขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง

การเพิ่มความชื้นอาจทำได้ดังนี้คือ

1. การรดน้ำ คือการให้น้ำโดยการรดน้ำตามทางเดินชั้นวางกระถางและหลังคาโรงเรือน ซึ่งจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำช่วยเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากขึ้น
2. การพ่นน้ำ คือการให้น้ำเป็นฝอยโดยตรงกับใบพืชจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำขึ้นทันทีที่รอบๆ ต้นพืช ซึ่งมีผลทำให้ใบพืชเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการใช้ความดันสูงผ่าน ไปยังหัวฉีดที่ติดตามท่อภายในโรงเรือนน้ำที่ออกจากหัวฉีดจะเป็นฝอยทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนสูงขึ้น
3. การปิดช่องระบายอากาศ จะทำให้เพิ่มความชื้นแต่ไม่นิยมใช้

ความชื้นที่สูงมีประโยชน์ต่อพืชคือ

- พืชหลายชนิดสามารถที่จะดูดซับ โดยตรงจากอากาศ
- อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นตามความชื้นและความเข้มของแสง

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์

ในโรงเรือนองค์ประกอบทางสภาพแวดล้อมจำนวนมากจะต้องทำการควบคุม ปัญหาที่สำคัญก็คือการควบคุมในแต่ละส่วนมักเกิดการเหลื่อมล้ำกัน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหานี้ผู้ผลิตหลายรายจึงได้นำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ ซึ่งมีหน้าที่ที่จะแบ่งเฉพาะเจาะจงงานในแต่ละส่วนของระบบควบคุมได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนมากจะประกอบไปด้วย ไมโครโปรเซสเซอร์, อุปกรณ์โซลิตเซต โดยมีการรับสัญญาณข้อมูลของสภาพแวดล้อมและสร้างสัญญาณควบคุมระบบต่างๆ ซึ่งการ

ทำงานเหล่านี้จะสอดคล้องกับชุดคำสั่งที่ได้โปรแกรมเอาไว้แล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่มีราคาต่ำ, เสถียรภาพดี, มีการทำงานที่แม่นยำ และทำงานได้เป็นอย่างดีในสภาพแวดล้อมของเรือนกระจก

คอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้ในโรงเรือนโดยปกติ ถูกใช้สำหรับควบคุมระบบการให้น้ำและอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ มันจะจัดลำดับการทำงานของพัดลมระบายความร้อน, ปั๊มน้ำ ฯลฯ

ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหน่วยประมวลผลพื้นฐานของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ร่วมกับอุปกรณ์อินพุต / เอาต์พุต, อุปกรณ์เสริมต่างๆ, อุปกรณ์อินเตอร์เฟซ และ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์อื่นๆ คอมพิวเตอร์มีข้อได้เปรียบในความสามารถแสดงข้อความ, การพิมพ์, การเก็บข้อมูล คำสั่งต่างๆที่ใช้ในการควบคุมสามารถแก้ไขได้โดยง่าย มีการนำคอมพิวเตอร์ไปใช้เป็นบางครั้งในการเกษตร จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้เอง ได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมสภาพแวดล้อมของโรงเรือน เหตุผลหลักที่คอมพิวเตอร์เพิ่งถูกนำไปใช้งานควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน ก่อนข้างช้าและน้อย ก็คือความขาดแคลนซอฟต์แวร์ทางด้านนี้, ราคาและจำนวนของเซ็นเซอร์ที่ต้องการเป็นจำนวนมาก การนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานทางด้านนี้จะค่อยๆเพิ่มขึ้น โปรแกรมใช้งานทางด้านนี้, ถึงอำนวยความสะดวก, เทคโนโลยีใหม่ๆ จะเพิ่มตามขึ้นมาตามลำดับ มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาแทนที่ระบบเดิมที่ใช้แรงคน ก่อนที่จะมีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเกษตรกรรมภายในโรงเรือน เกษตรกรต้องมีการเตรียมข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมให้เพียงพอ ซึ่งต้องการความละเอียดเป็นอย่างมาก

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 โครงสร้างโรงเรือน

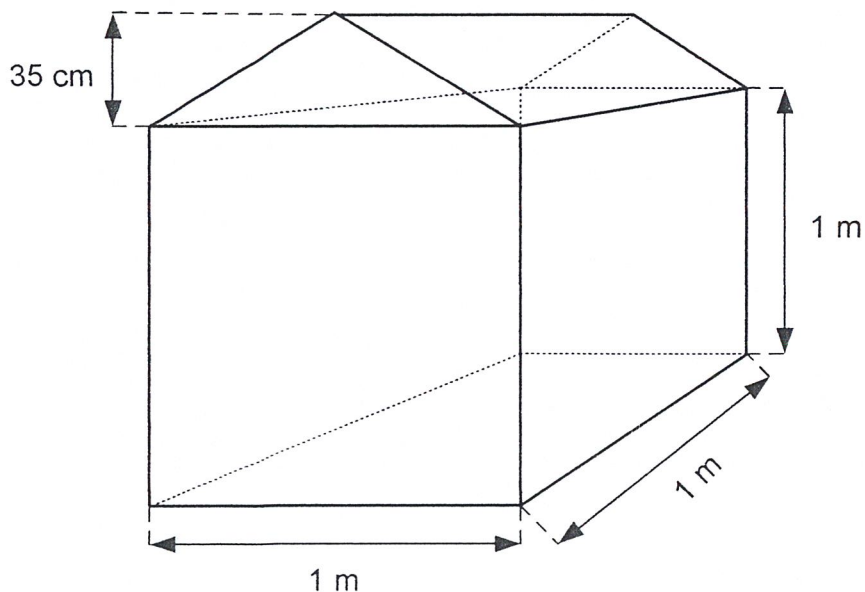
โรงเรือนพลาสติกเป็นโรงเรือนที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุพวกไม้เนื้อแข็ง หรืออลูมิเนียม หลังคาคลุมด้วยแผ่นไฟเบอร์กลาสหรือพลาสติกใส โครงสร้างทำได้หลายแบบเช่นแบบโค้ง สามเหลี่ยม หน้าจั่ว

โรงเรือนพลาสติกเขตร้อนส่วนใหญ่ใช้พลาสติกชนิดหนาประเภทโพลีเอทิลีน ซึ่งยอมให้แสงผ่านได้น้อยกว่ากระจกต้นทุนการสร้างต่ำกว่ากระจก

โครงสร้างและขนาดของโรงเรือนจำลอง

โรงเรือนจำลองเป็นโรงเรือนพลาสติก รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลังคาเป็นแบบหน้าจั่ว โครงทำมาจากท่อพีวีซี และคลุมด้วยพลาสติกใสที่ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเล็ต มีขนาดความกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1.35 เมตร

ที่โรงเรือนมีการติดอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ โดยมีพัดลมระบายอากาศ 3 ตัว หัวพ่นไอน้ำ และเครื่องทำหมอก



รูปที่ 3.1 โครงสร้างและขนาดของโรงเรือนจำลอง

3.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆของ โรงเรือนจะต้องมีการควบคุม เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติเฉพาะของพืชแต่ละชนิด การควบคุมสภาพแวดล้อมของเรือนกระจกในปัจจุบันส่วนมากมักจะใช้แรงงานคนในการควบคุม เช่นการใช้แรงงานคนเพื่อคอยตรวจสอบอุณหภูมิของโรงเรือนจากเทอร์โมมิเตอร์ หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพืชก็ทำการแก้ไขโดยการเปิดเครื่องทำความร้อนหรือพัดลมระบายอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยาก ดังนั้นโครงการนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน และทำการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร

ระบบควบคุมในโครงการนี้แบ่งออกเป็น

1. หน่วยอินพุต

- เซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในโรงเรือนแล้วเปลี่ยนการรับรู้ที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้วงจรรวมเบอร์ LM335 เป็นเซ็นเซอร์ (sensor) อุณหภูมิซึ่งจะเปลี่ยนค่า output voltage ของตัวมันเองเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป โดยค่าสัญญาณที่ได้จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมักมีค่าน้อยจึงทำการขยายสัญญาณโดยต่อกับวงจร Instrumentation Amplifier

สำหรับการส่งสัญญาณในสายสัญญาณนั้นได้ทำการเปลี่ยนความต่างศักย์เป็นกระแสก่อนเพื่อป้องกันความต่างศักย์ตกคร่อมในสายสัญญาณซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น และก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณกระแสกลับไปเป็นความต่างศักย์แล้วเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก (analog) เป็นสัญญาณดิจิทัล (digital) เสียก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการคำนวณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนทางด้านการตรวจจับความชื้นได้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวมันเองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้น และนำเซ็นเซอร์ดังกล่าวต่อกับวงจรรวมเบอร์ 555 ซึ่งจะสร้างสัญญาณความถี่และนำความถี่ที่ได้ไปประมวลผลต่อไป โดยค่าความถี่ที่ได้จะแปรผันโดยตรงกับค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ความชื้น ส่วนทางด้านการส่งสัญญาณในสายสัญญาณนั้น อาจจะทำให้ค่าความต่างศักย์ตกลงไปบ้างแต่ความถี่ของสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลง

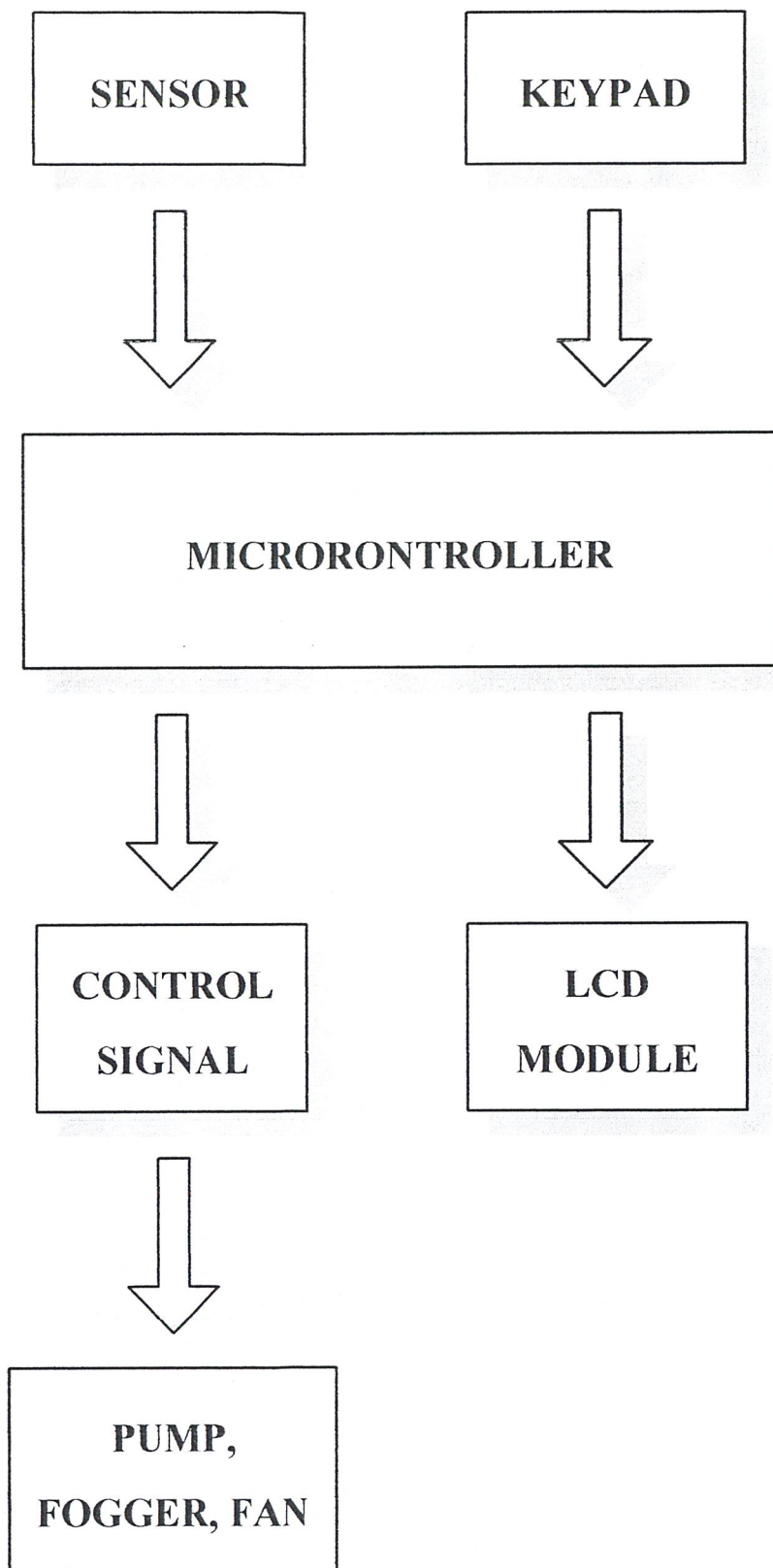
- คีย์แพด เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลกับผู้ใช้ โดยจะนำข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนสู่คีย์แพดซึ่งได้แก่ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับชนิดของพืช ส่งไปยังหน่วยประมวลผลต่อไป

2. หน่วยประมวลผล หน้าทีหลักของหน่วยประมวลผลคือการประมวลสัญญาณอินพุตต่างๆ ตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ ผลของการประมวลผลอาจแสดงออกมาเป็นตัวอักขระต่างๆ บนจอ LCD และสัญญาณควบคุมส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานตรงตามเป้าหมาย ซึ่งได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นหน่วยประมวลผลกลางซึ่งมีชื่อคืออยู่หลายประการ เช่น มีราคาถูก มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน มีการทำงานที่รวดเร็ว ชุดคำสั่งมีความสามารถสูงและมีแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มาก

โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องการสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณดิจิทัล แต่อุปกรณ์เซ็นเซอร์นั้นให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณอนาลอก จึงต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนจะเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. หน่วยเอาต์พุต เป็นส่วนที่แสดงผลหรือข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลเช่นการแสดงผลข้อมูลต่างๆ ในรูปของตัวอักขระบน LCD โมดูล เพื่อเป็นสิ่งที่แสดงให้ผู้รับรู้ถึงข้อมูลของต่างๆ ระบบที่เกิดขึ้น แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน แสดงค่าเป้าหมายของระบบ สัญญาณควบคุมก็เป็นเอาต์พุตตัวหนึ่งที่หน่วยประมวลผลสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นคำสั่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้กับอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

4. อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ได้แก่ชุดจ่ายไฟฟ้าพัดลมระบายอากาศเพื่อลดอากาศร้อนออกจากโรงเรือน ชุดจ่ายไฟฟ้าปั้มน้ำเพื่อปล่อยน้ำผ่านตาข่ายอุ้มน้ำ และจ่ายไฟให้แก่พัดลมเพื่อให้พัดเอาอากาศเย็นเข้ามาภายในโรงเรือน ชุดจ่ายไฟฟ้าเครื่องทำหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบของชุดควบคุมอัตโนมัติ

3.2.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ

3.2.1.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้น

คุณสมบัติ

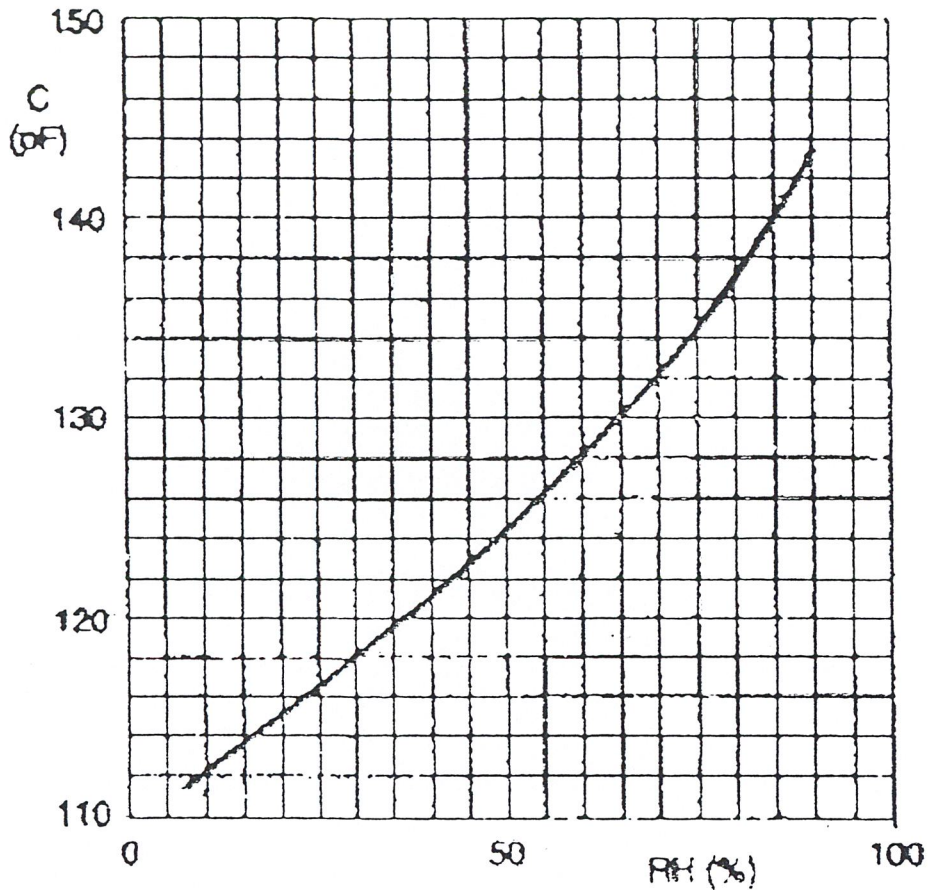
เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้น โดยใช้หลักการของความจุไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นฉนวนและประกบด้วยแผ่นทองบางๆซึ่งยอมให้อากาศไหลผ่านได้ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวทำให้เกิดค่าความจุไฟฟ้าขึ้นและเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ค่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ของแผ่นฉนวน จึงทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เปลี่ยนไปด้วย

Parameter	value	unit
Humidity range (RH)	10 to 90	%
Capacitance at +25C; 43% RH; 100kHz	122±15%	pF
Sensitivity between 12 and 75% RH	0.4±0.05	pF/%RH
Frequency range	1 to 1000	KHz
Response time in minute (to 90% of indicate RH change at +25°C in circulating air)		
between 10 and 43% RH	<3	
between 43 and 90% RH	<5	
Hysteresis (for RH excursion of 10 to 90 to 10%)	≈3	%
Maximum Ac or DC โวลต์age	15	V
Mass	≈1.3	g

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ความชื้น

ลักษณะเด่นของ Philips' humidity เซ็นเซอร์

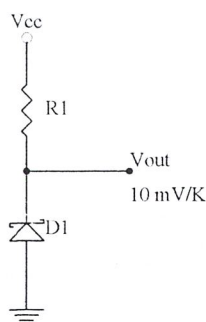
- มีความน่าเชื่อถือกับการใช้งานในระยะยาว
- ความไวสูง
- การตอบสนองเร็ว
- วงจรที่ใช้ไม่ยุ่งยาก



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและความชื้นสัมพัทธ์

3.2.1.2 วงจรรวมเบอร์ LM335

เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมาในการตรวจจับอุณหภูมิซึ่งอยู่ในย่านอุณหภูมิ ตั้งแต่ 0°C ถึง 100°C โดยอุปกรณ์ตัวนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางเทคนิคต่ำมาก โดยพื้นฐานแล้ว LM335 มีหลักการทำงานคล้ายกับ ZENER DIODE ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยแรงดันพังทลายซึ่งหมายถึง voltage output จากวงจรจะแปรค่าโดยตรงตามค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน โดยมีค่าเท่ากับ 10mV/K ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งาน ข้อดีของ LM335 ก็คือจะให้เอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้นซึ่งไม่เหมือนกับเอาต์พุตที่ได้จากการตรวจจับอุณหภูมิส่วนใหญ่ ซึ่งเอาต์พุตจะไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ



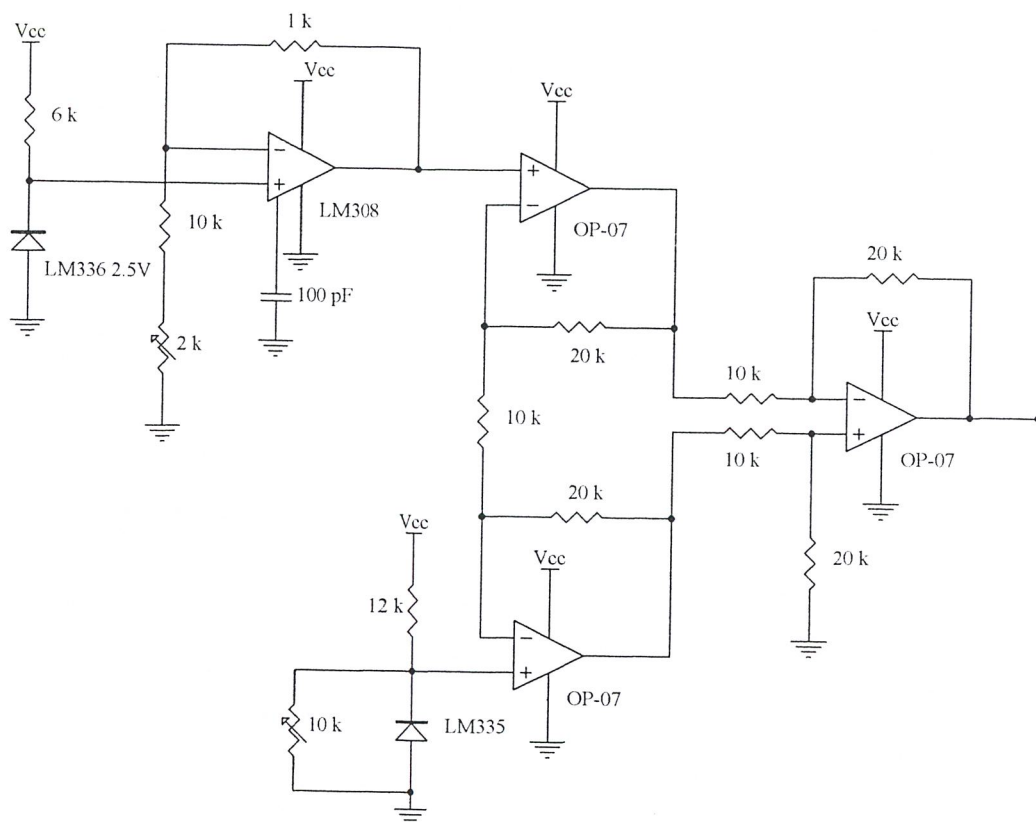
รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานในการใช้งานของ LM335

ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว

ไม่ว่าระบบตรวจจับอุณหภูมิใด ๆ ก็ตาม ความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ตรวจจับจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิของตัวมันตลอดจนแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้น สำหรับ LM335 นั้น เพื่อป้องกันปัญหานี้ ควรจะทำงานที่กระแสต่ำสุดซึ่งเพียงพอที่จะขับให้วงจรภายในทำงานได้โดยกระแสประมาณ $400 \mu A$ จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ LM335 จะทำงานได้ปกติ

ถ้าตัวตรวจจับถูกใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีค่าคงที่ ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองสามารถที่จะถูกปรับให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสที่โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ความร้อนเกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวเองจะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้

เนื่องจาก LM335 จะให้แรงดันเอาต์พุตแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิเคลวินจึงได้ทำการเพิ่มวงจรดังรูปที่ 3.5 เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าแปรผันกับอุณหภูมิเซลเซียส ดังวงจรรูปที่ 3.5 จากรูป LM336 จะเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงขนาด 2.5 โวลต์ที่ขา 3 ของออปแอมป์ การป้อนกลับขาลบที่ขา 2 จะถูกปรับได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 2 กิโลโอห์ม เพื่อให้เอาต์พุตของวงจรขยายมีค่าเท่ากับ 2.73 โวลต์ แรงดันที่แตกต่างระหว่างขาเอาต์พุตของออปแอมป์จะแทนด้วยการลบค่า 273 จากค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ เพื่อให้จะให้เอาต์พุตจาก LM335 แสดงค่าออกมาเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ

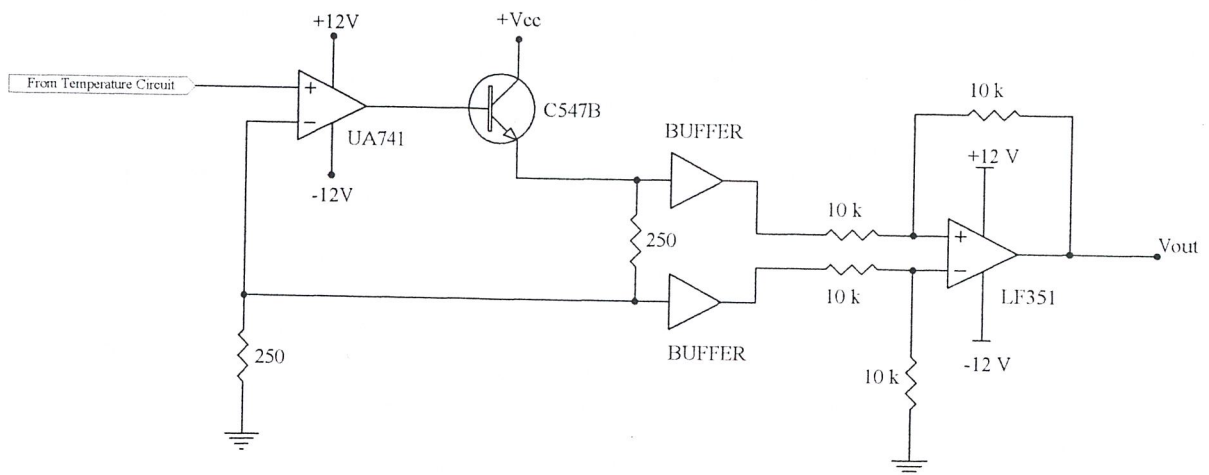
3.2.2 วงจรที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ

3.2.2.1 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส (voltage to current converter)

ในโครงการการควบคุมภายในโรงเรือนนั้นจะต้องมีการส่งสัญญาณที่ได้จากวงจร instrumentation amplifier ไปตามสายสัญญาณเพื่อเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในการใช้งานเซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกติดตั้งไว้คนละตำแหน่ง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นจากการรับส่งสัญญาณในระยะทางไกลๆคือการเกิดแรงดันตกคร่อมในสายสัญญาณตัวนำ ทำให้สัญญาณจากแหล่งจ่ายต้นทางกับตัวรับสัญญาณปลายทางมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นที่จะต้องส่งสัญญาณในรูปของกระแสแทน

วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสเป็นลักษณะของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน โดยจะทำหน้าที่รับแรงดันอินพุตมาเปลี่ยนให้เป็นกระแสเอาท์พุท วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทตามลักษณะการต่อโหลดคือชนิดที่โหลดแบบลอยตัว (floating load) และ

ชนิดที่ต่อโหลดแบบเทียบกราวด์ (grounded load) ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสแบบต่อ โหลดลอยตัวดังแสดงในรูปที่ 3.7 เป็นวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสที่มีการปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสและวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

จากคุณสมบัติของออปแอมป์จะได้ว่า

$$V_A = V_R$$

และ

$$I_L = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R}$$

ผลรวมของแรงดันในรูป V_m จนถึง V_{REF}

$$V_m - I_m(10k\Omega) - I_m(20k\Omega) - V_{REF} = 0$$

หรือ

$$I_m = \frac{V_m - V_{REF}}{30k\Omega}$$

ผลรวมของแรงดันในรูป V_m จนถึง V_A

$$V_m - I_m(10k\Omega) - V_A = 0$$

แทนค่า I_m จากสมการที่ จะได้

$$V_A = \frac{2V_m + V_{REF}}{3}$$

แทนค่า V_A ลงในสมการที่จะได้

$$I_L = \frac{2V_{in} + V_{REF}}{3R}$$

ดังนั้นจากกราฟคุณสมบัติของวงจรจะได้รับความสัมพันธ์ดังนี้

ที่จุด a;

$$I(a) = \frac{2V(a) + V_{REF}}{3R}$$

ที่จุด b;

$$I(b) = \frac{2V(b) + V_{REF}}{3R}$$

จากสมการที่ และ จะได้

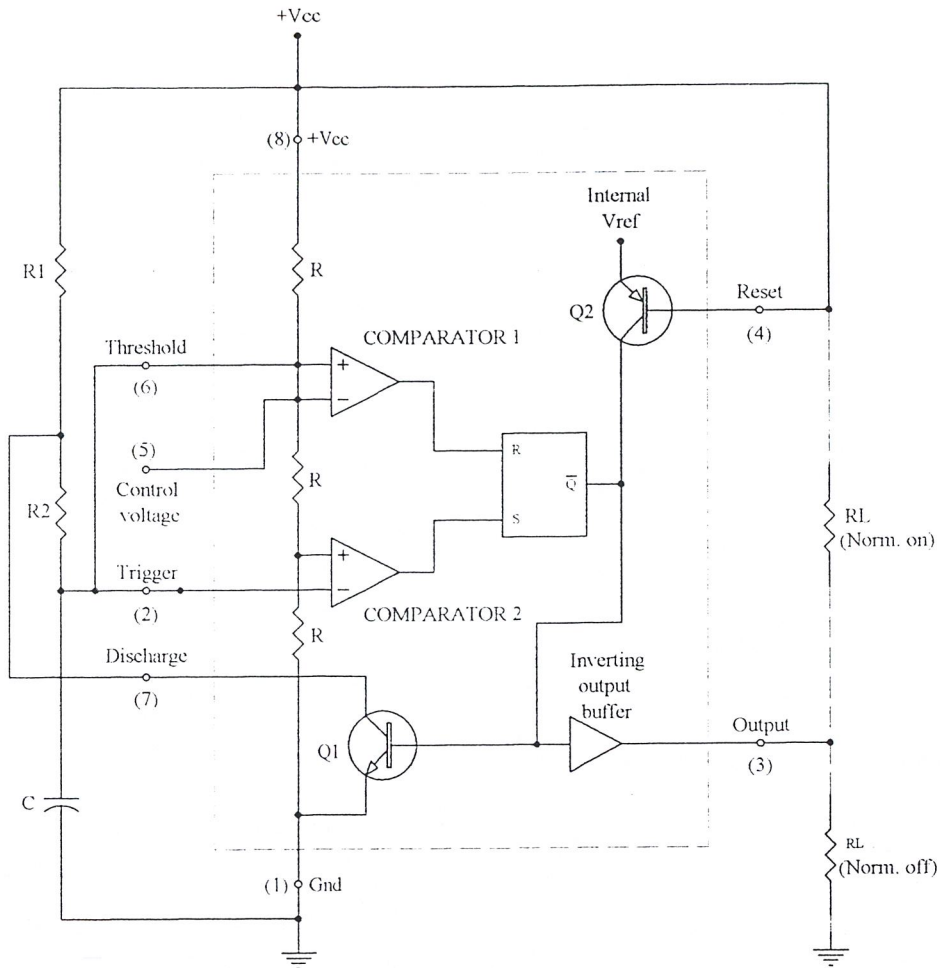
$$R = \frac{3[V(b) - V(a)]}{2[I(b) - I(a)]}$$

และ

$$V_{REF} = 3RI(b) - 2V(b)$$

3.2.2.2 วงจรสร้างสัญญาณความถี่จาก วงจรรวม 555timer

วงจรรวม 555 timer โดยทั่วไปแล้วประกอบด้วย คอมพาราเตอร์ 2 ตัว, ฟลิปฟลอป (flip-flop), discharge transistor, ค่าความต้านทานแบ่งแรงดัน ฟลิปฟลอปเป็นอุปกรณ์ทางดิจิทัลซึ่งให้ค่าเอาต์พุต 2 สถานะคือเซ็ท (set) (high voltage level) และรีเซ็ท (reset) (low voltage level) ค่าความต้านทานแบ่งแรงดันใช้ในการตั้งค่าระดับแรงดันของคอมพาราเตอร์ ซึ่งค่าความต้านทานทั้ง 3 ตัวมีค่าเท่ากันดังนั้นคอมพาราเตอร์ตัวบนจะมีแรงดัน reference เท่ากับ $2/3 V_{cc}$ ส่วนตัวล่างจะมีแรงดันอ้างอิงเท่ากับ $1/3 V_{cc}$ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากคอมพาราเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมสถานะของฟลิปฟลอป เมื่อแรงดัน trigger มีค่าน้อยกว่า $1/3 V_{cc}$ ฟลิปฟลอปจะ set ให้เอาต์พุตเป็น high level โดยปกติอินพุต threshold จะต่ออยู่กับวงจร RC timing ภายนอกเมื่อตัวเก็บประจุภายนอกมีแรงดันมากกว่า $2/3 V_{cc}$ คอมพาราเตอร์ตัวบนจะรีเซ็ทฟลิปฟลอปซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็น low level เมื่อเอาต์พุตมีค่าเป็น low ตัว discharge transistor (Q_d) จะทำให้ตัวเก็บประจุภายนอกเกิดการ discharge จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้นำเอา IC 555 ไปประยุกต์ใช้งานเป็นออสซิลเลเตอร์



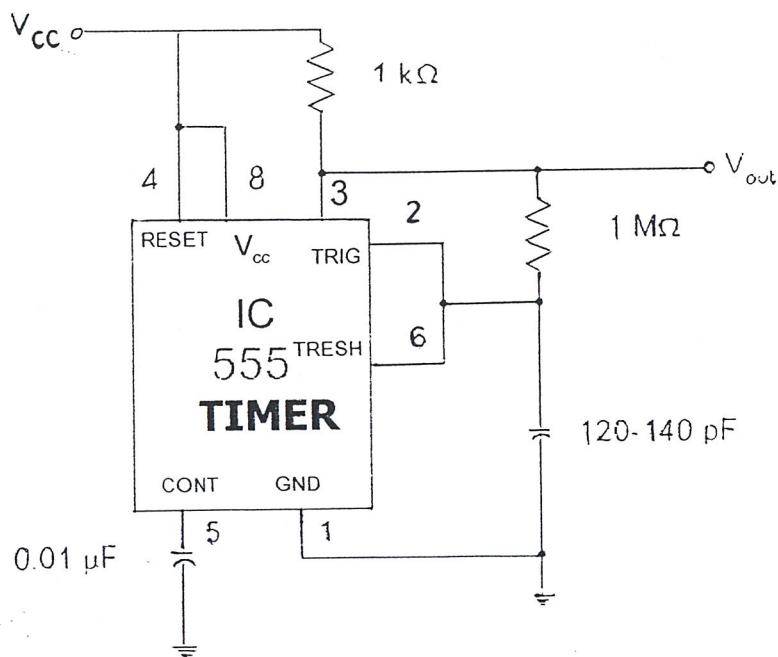
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสร้างสัญญาณความถี่จาก IC 555 timer

จากรูปที่ 3.9 เป็นการนำเอาวงจรรวม 555 timer มาประยุกต์ใช้เป็นวงจร astable multi vibrator จากรูปจะเห็นว่าอินพุท threshold (THRESH) จะต่ออยู่กับอินพุท trigger (TRIG) ส่วนประกอบภายนอก R_1 , R_2 และ C_{ext} จะเป็นตัวที่กำหนดสัญญาณความถี่

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของวงจรตัวเก็บประจุ C_{ext} จะยังไม่ทำการชาร์จประจุ ดังนั้นแรงดัน trigger จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ซึ่งทำให้เอาต์พุทของคอมพาราเตอร์ตัวล่างมีค่าเป็น high ส่วนตัวบนมีค่าเป็น low ขา base ของทรานซิสเตอร์ Q_d อยู่ในสถานะ low ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานหลังจากนี้ ตัวเก็บประจุ C_{ext} เริ่มที่จะทำการชาร์จประจุผ่านทาง R_1 และ R_2 เมื่อแรงดันที่ตัวเก็บประจุมีค่าถึง $1/3 V_{cc}$ เอาต์พุทของคอมพาราเตอร์ตัวล่างมีค่าเป็น low และเมื่อแรงดันที่ตัวเก็บประจุมีค่าถึง $2/3 V_{cc}$ เอาต์พุทของคอมพาราเตอร์ตัวบนจะมีค่าเป็น high ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานลำดับการทำงานเช่นนี้จะทำให้เกิดจะทำให้เกิดเส้นทาง discharge สำหรับตัวเก็บประจุผ่านทาง R_2 และทรานซิสเตอร์ ถึงตอนนี้ตัวเก็บประจุเริ่มที่จะทำการ discharge ทำให้เอาต์พุทของคอมพาราเตอร์ตัว

บนมีค่าเป็น low เมื่อตัวเก็บประจุทำการ discharge จนถึงค่า $1/3 V_{cc}$ เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์ตัวล่างมีค่าเป็น high ทำให้ฟลิปฟลอปเกิดการ set ทำให้ขา base ของทรานซิสเตอร์มีสถานะเป็น low ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานแล้วกระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นซ้ำๆ ไปอย่างนี้ ผลที่ได้จะเป็น rectangular wave ซึ่ง duty cycle จะขึ้นอยู่กับค่า R_1 และ R_2 ความถี่ที่ได้เป็นดังสูตร

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_{ext}}$$



รูปที่ 3.9 แสดงการนำ IC 555 timer มาประยุกต์ใช้ในการสร้าง astable multivibrator

สามารถที่จะปรับ duty cycle ได้จากการเลือก R_1 และ R_2 จากการ charge และ discharge ของ C_{ext} ซึ่งจะ charge ผ่านทาง R_1 และ R_2 แต่จะทำการ discharge ผ่านแค่ R_2 แค่นั้น ดังนั้น duty cycle ที่มีค่าประมาณ 50% สามารถเกิดขึ้นได้ถ้า $R_2 \gg R_1$

ช่วงเวลาที่เอาท์พุทมีค่า high คือช่วงเวลาที่ C_{ext} ทำการ charge ประจุจาก $1/3 V_{cc}$ ถึง $2/3 V_{cc}$

$$t_H = 0.693(R_1 + R_2)C_{ext}$$

$$t_H = 0.693(R_1 + R_2)C_{ext}$$

ช่วงเวลาที่เอาท์พุทมีค่า low คือช่วงเวลาที่ C_{ext} ทำการ discharge ประจุจาก $2/3V_{cc}$ ถึง $1/3V_{cc}$

$$t_L = 0.693R_2C_{ext}$$

คาบเวลา T ของเอาท์พุทของวงจรคือผลรวมของ t_H และ t_L

$$T = t_H + t_L = 0.693(R_1 + 2R_2)C_{ext}$$

ซึ่ง duty cycle จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Duty cycle} = \frac{t_H}{T} = \frac{t_H}{t_H + t_L}$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 100\%$$

จากหลักการของ 555 timer ข้างต้นได้นำมาประยุกต์ใช้งานในการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าประจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความชื้น ซึ่งเมื่อความชื้นเปลี่ยนไปค่าประจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทำให้ความถี่ที่ได้จากเอาท์พุทของวงจร astable multivibrator เปลี่ยนแปลงตามนำผลที่ได้นี้ส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

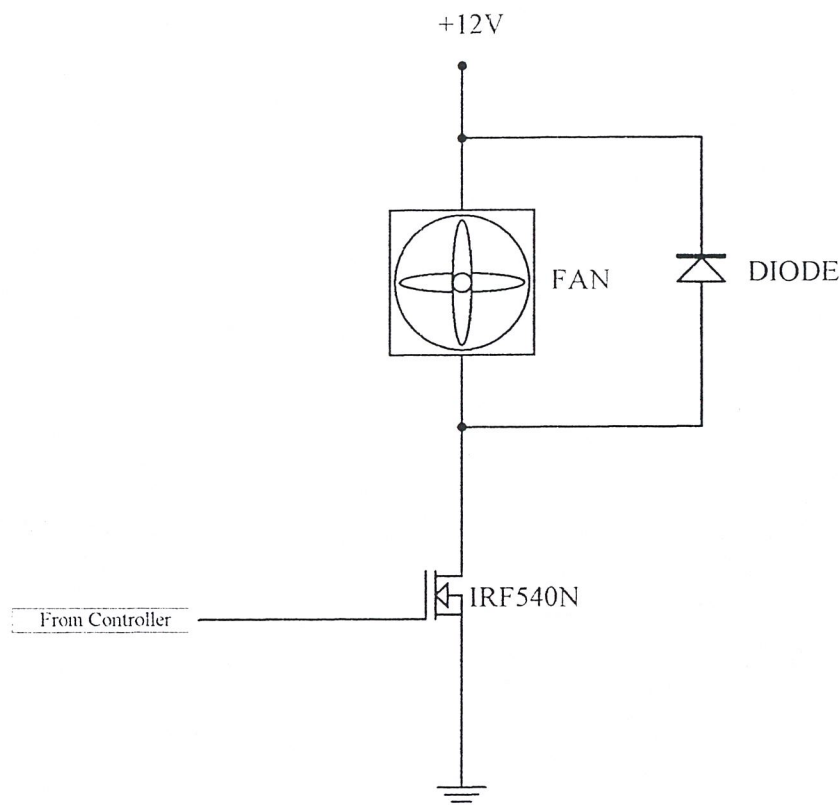
3.3 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3.3.1 การควบคุมอุณหภูมิ

ในการควบคุมอุณหภูมิได้ใช้พัดลมระบายอากาศซึ่งจะช่วยดูดอากาศร้อนออกไปภายนอกโรงเรือนและมีการเป่าอากาศเย็นเข้ามาภายในโรงเรือน อากาศเย็นเกิดจากการปล่อยน้ำผ่านแผงตาข่ายซึ่งอุณหภูมิต่ำได้พอสมควรแล้วใช้พัดลมเป่าลมผ่านแผงตาข่ายนี้ซึ่งจะทำให้อากาศเย็นผ่านเข้าไป มีการปรับความเร็วของพัดลมให้พอเหมาะกับการลดอุณหภูมิ

วงจรควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม

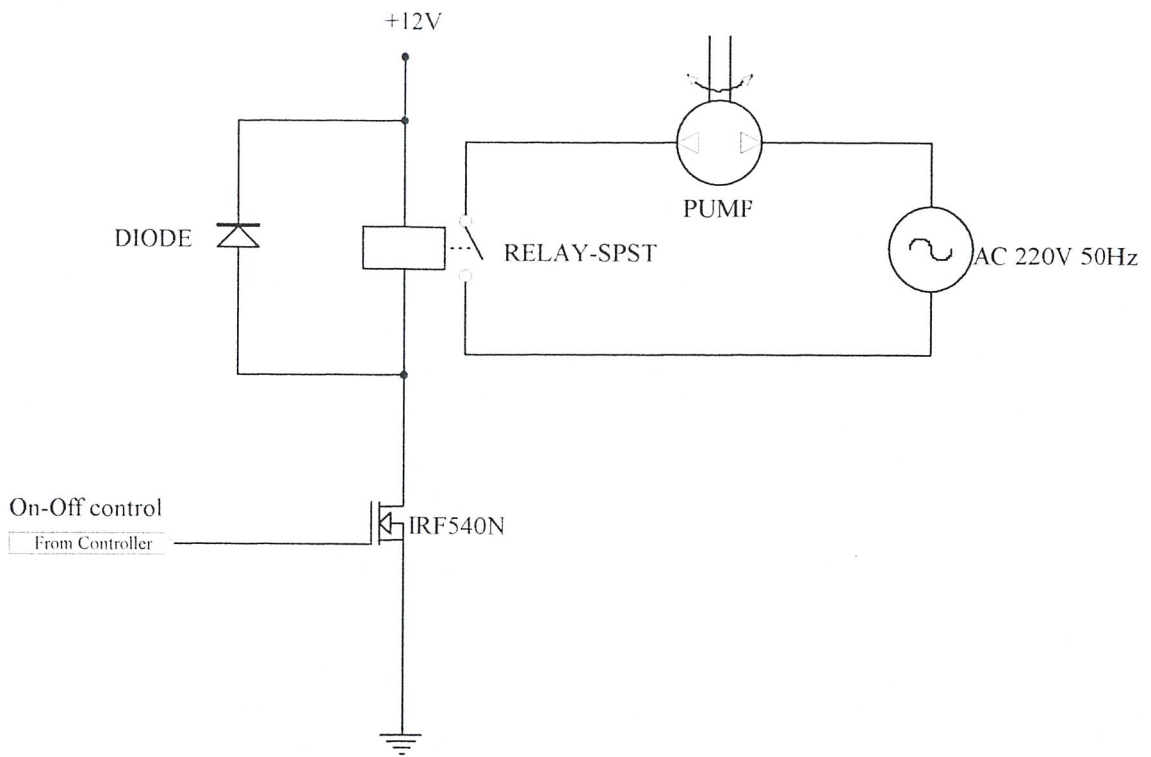
เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เพียงพอในการขับพัดลมให้ทำงาน จึงใช้ MOSFET เบอร์ IRF224N มาใช้ในการขับกระแส โดยใช้สัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่ขาเกตของ MOSFET



รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม

วงจรควบคุมการเปิด-ปิดปั้มน้ำ

เนื่องจากปั้มน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กระแสไฟสูงซึ่งกระแสไฟที่ส่งสัญญาณมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เพียงพอในการไปขับปั้มน้ำให้ทำงาน จึงใช้ทรานส์ซิสเตอร์ (transistor) เบอร์ IRF224N มาช่วยในการขับกระแสที่ผ่านขดลวดของรีเลย์ (relay) เพื่อจะเหนี่ยวนำ magnetic switch ซึ่งต่ออยู่กับไฟ 220 โวลต์ ที่จะจ่ายให้กับปั้มน้ำ



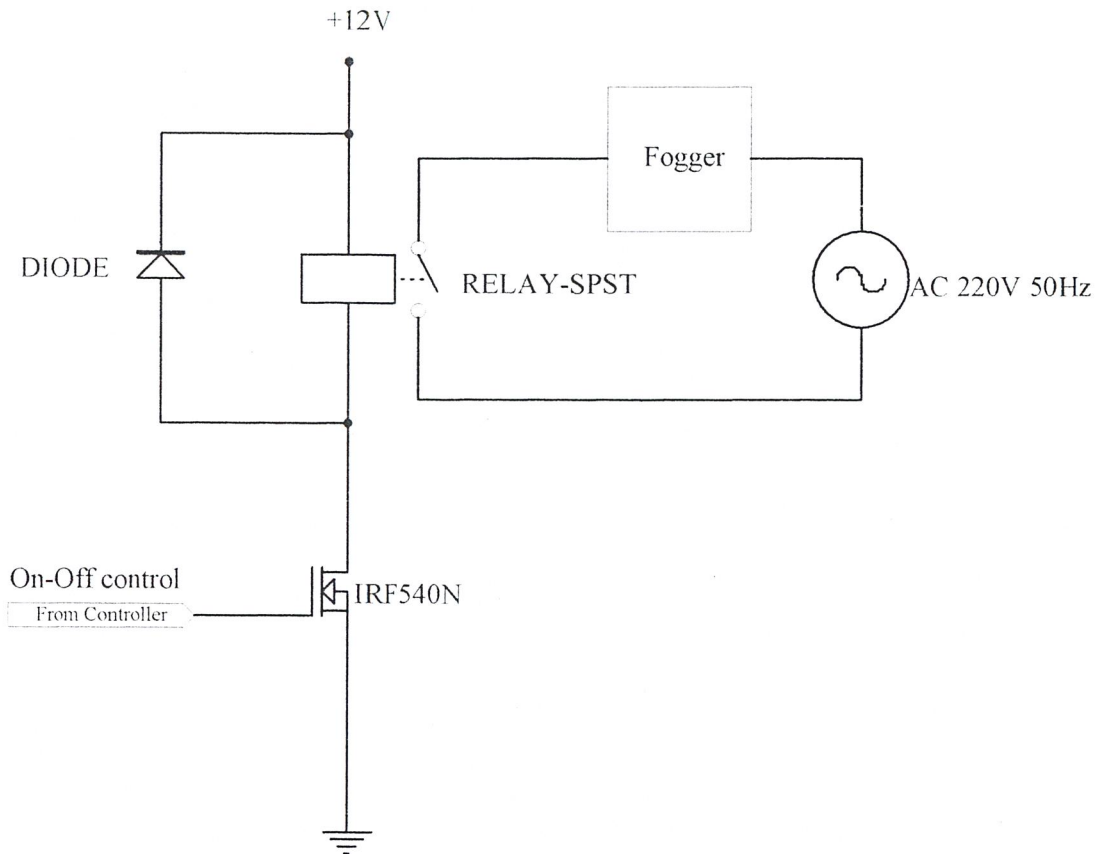
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำ

3.3.2 การควบคุมความชื้น

การเพิ่มความชื้นในโรงเรือนสามารถทำได้หลายวิธี ในโครงการนี้ได้เลือกใช้การควบคุมเครื่องทำหมอกให้เปิดหรือปิดและควบคุมพัลลวมซึ่งมีหน้าที่ในการเป่าหมอกให้กระจายทั่วโรงเรือนเพื่อควบคุมความชื้นให้ได้ตามเป้าหมาย

วงจรควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องทำหมอก

วงจรที่ใช้ในการควบคุมเครื่องทำหมอก จะใช้หลักการเดียวกับการควบคุมปั๊มน้ำคือใช้ MOSFET เบอร์ IRF224N มาช่วยในการขับกระแสที่ผ่านขดลวดของรีเลย์ (relay) เพื่อจะเหนี่ยวนำ magnetic switch ซึ่งต่ออยู่กับไฟ 220 โวลต์ให้ทำงานเพื่อที่จะให้กระแสไหลผ่านเครื่องทำหมอก



รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องทำหมอก

3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

3.4.1 โปรแกรมหลัก

โปรแกรมหลักถือเป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่งเพราะ โปรแกรมหลักจะคอยจัดการ ตรวจสอบค่าของกระบวนการต่างๆ โดยจะมีการเรียกโปรแกรมย่อยต่างๆ ให้มาทำงานตามการร้องขอของโปรแกรมหลัก

เริ่มต้นการทำงาน โปรแกรมหลักจะแสดงข้อความทางจอ LCD เพื่อให้ทำการป้อนข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการควบคุมให้ได้พอเหมาะกับชนิดของพืช จากนั้นจะเข้าสู่ส่วนของการควบคุมความชื้นและการควบคุมอุณหภูมิ ถ้าหากยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามเป้าหมาย โปรแกรมก็จะวนกลับสู่จุดเริ่มต้นใหม่เป็นอย่างไร้ไปเรื่อย ๆ จนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ค่าตามต้องการ พร้อมกันนั้นโปรแกรมหลักจะทำการเรียกโปรแกรมตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนและทำการแสดงผลค่าอุณหภูมิ และความชื้นของ

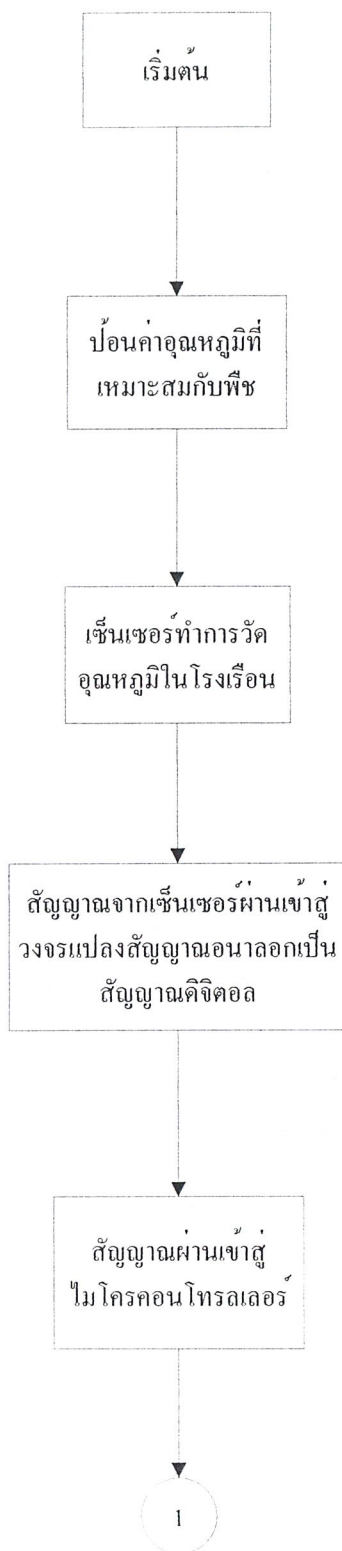
สภาพแวดล้อมภายในโรงเรียนขณะนั้นตลอดเวลาการควบคุม และจะเริ่มต้นการทำงานใหม่เมื่อมีการกรี๊ดหรือการทำงาน

3.4.2 โปรแกรมย่อยควบคุมอุณหภูมิ

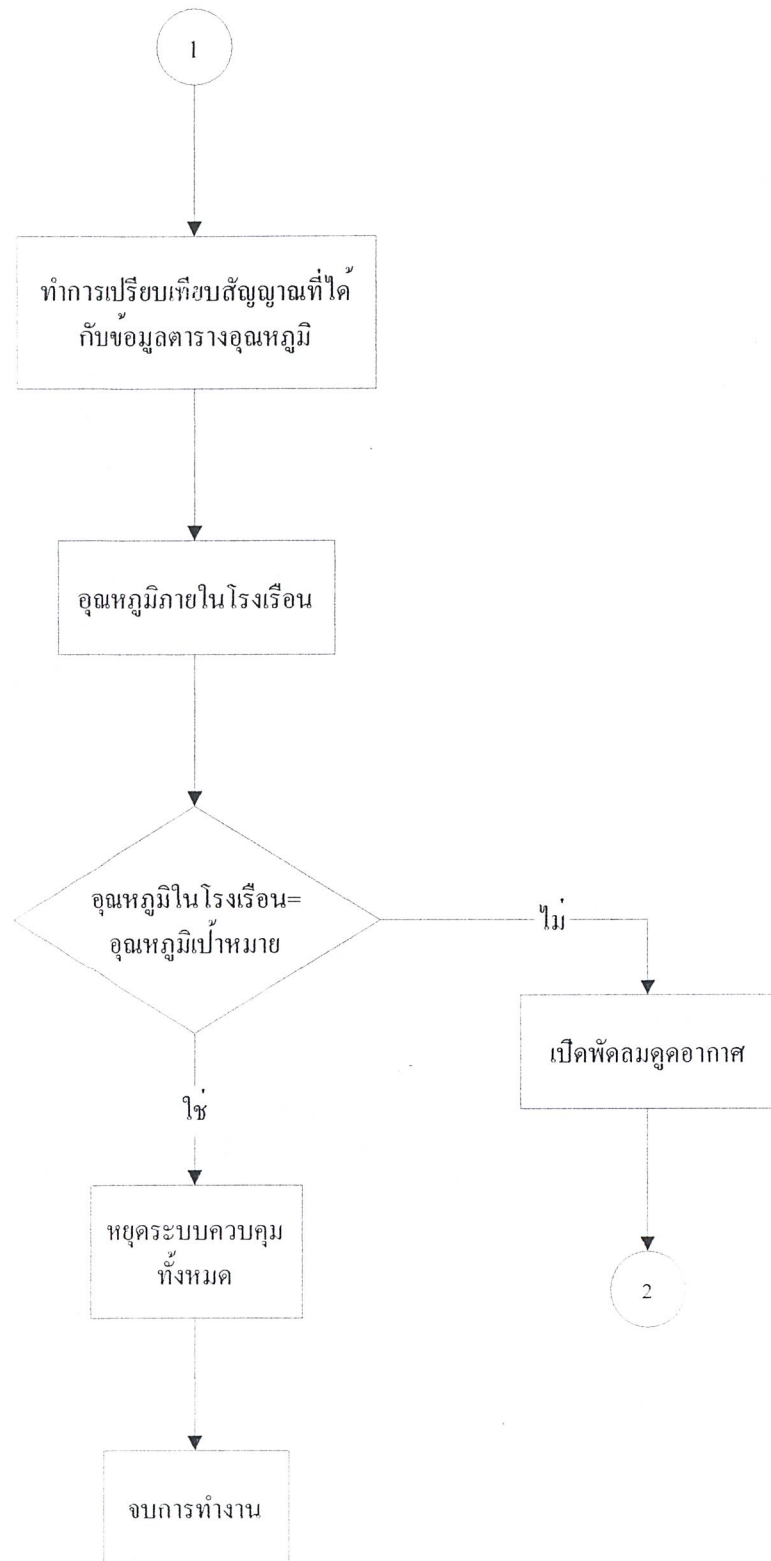
เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งอยู่ในส่วนของโปรแกรมหลัก โปรแกรมส่วนนี้จะทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิภายในโรงเรียน และทำการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิเป้าหมายที่กำหนดไว้ หากค่าทั้งสองเท่ากัน โปรแกรมก็จะเลยไปสู่โปรแกรมต่อไปพร้อมทั้งหยุดทำงานของอุปกรณ์ลดอุณหภูมิทุกตัว หยุดการทำงานของพัดลมและปั้มน้ำ

แต่ถ้าหากค่าอุณหภูมิในโรงเรียนและอุณหภูมิเป้าหมายมีค่าไม่เท่ากัน โปรแกรมจะทำงานเปรียบเทียบค่าทั้งสองว่าค่าอุณหภูมิของโรงเรียนสูงกว่าเป้าหมายเท่าไร และจะทำการสั่งให้พัดลมหมุนด้วยความเร็วต่างๆกัน พร้อมทั้งส่งสัญญาณให้ปั้มน้ำเปิดน้ำไหลผ่านตาข่ายอุ้มน้ำและส่งสัญญาณให้พัดลมอีกตัวทำงานเพื่อเป่าอากาศเย็นเข้ามาภายในโรงเรียนเพื่อลดอุณหภูมิภายในโรงเรียน พร้อมทั้งทำการตรวจสอบอุณหภูมิภายในโรงเรียนตลอดเวลาเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเป้าหมาย หากยังไม่ได้ค่าอุณหภูมิเป้าหมายก็ทำการสั่งพัดลมและปั้มน้ำให้ทำงานต่อไปเรื่อยๆจนได้ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรียนเท่ากับอุณหภูมิเป้าหมาย แต่หากค่าอุณหภูมิเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมายแล้ว จะส่งสัญญาณหยุดการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิทั้งหมด

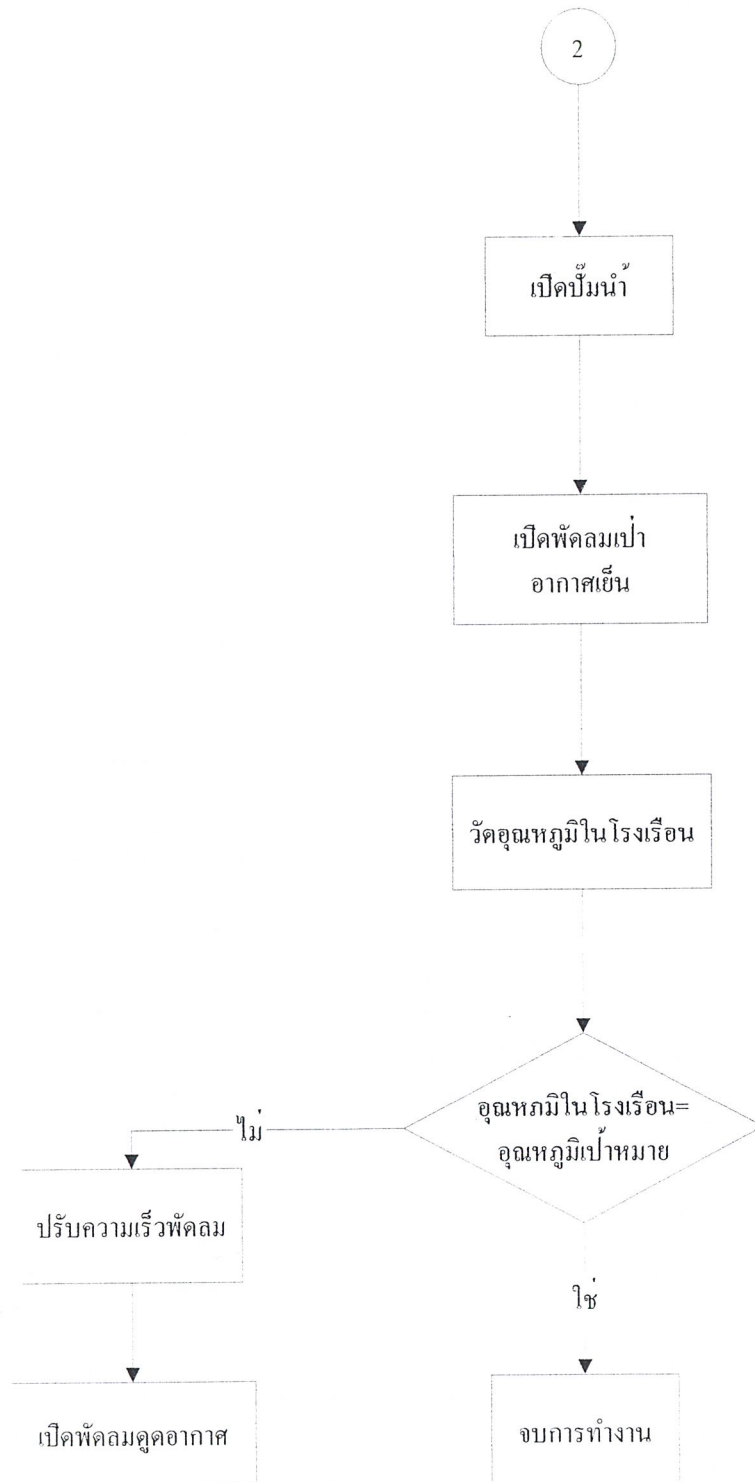
ไฟล์เวิร์ดแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิแสดงดังรูปที่3.13



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือน



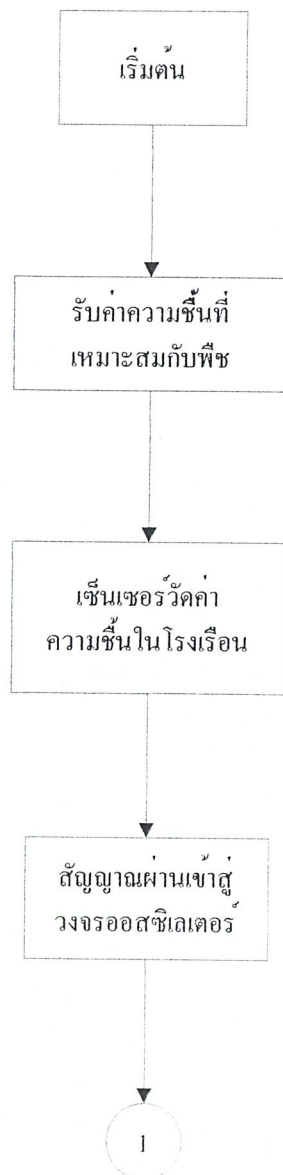
รูปที่ 3.13 (ต่อ) แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือน



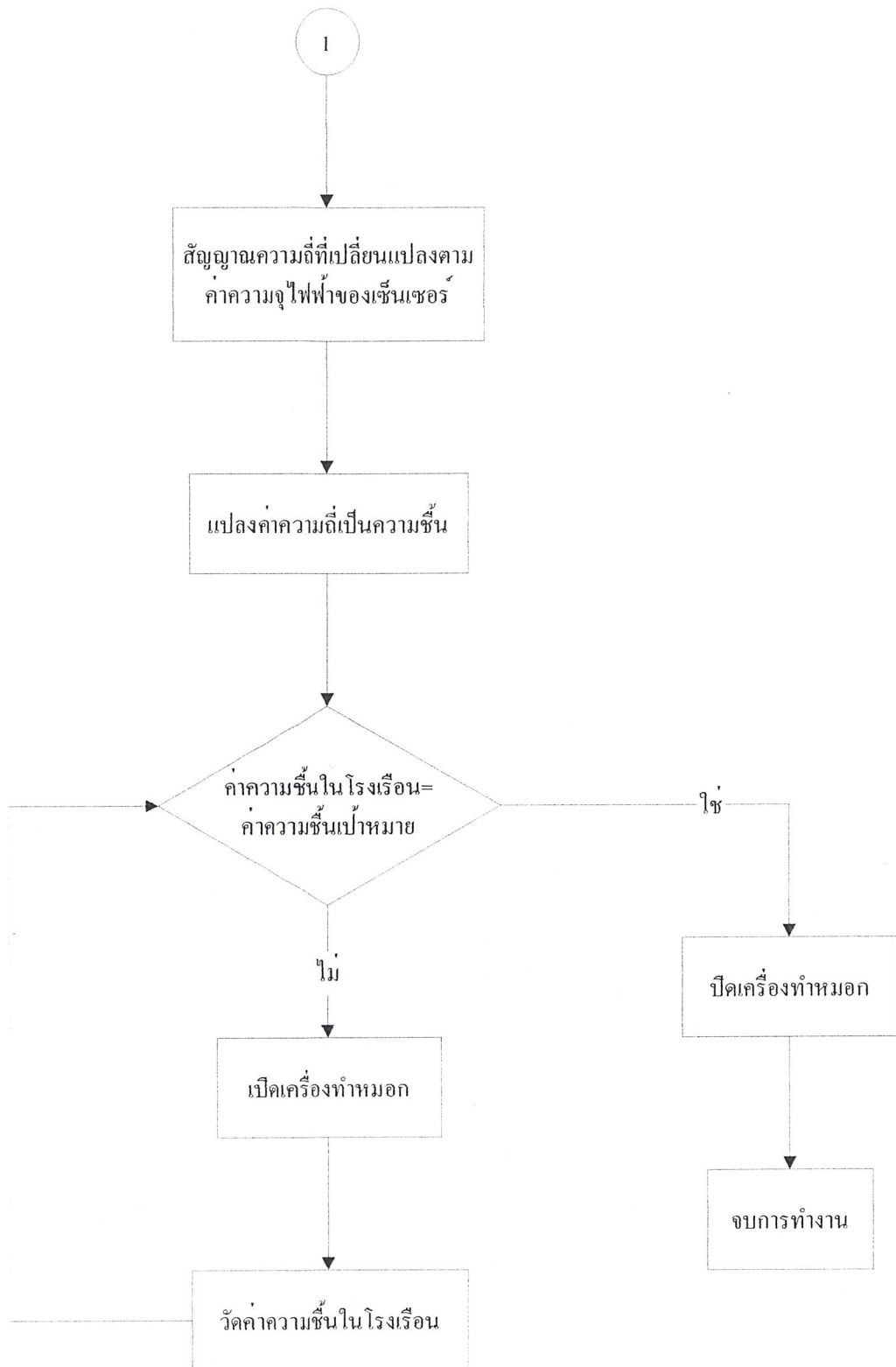
รูปที่ 3.13 (ต่อ) แผนผังการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรียน

3.4.3 โปรแกรมย่อยควบคุมความชื้น

จุดประสงค์ของโปรแกรมส่วนนี้คือการควบคุมความชื้นให้ได้ค่าความชื้นที่ต้องการ โดยจะทำการวัดความชื้นภายในโรงเรือนเปรียบเทียบกับค่าความชื้นเป้าหมายว่าได้ค่าตรงกันหรือไม่ หากได้ค่าตรงกันก็จะหยุดการทำงานของเครื่องทำหมอก แต่หากค่าความชื้นภายในโรงเรือนต่ำกว่าค่าเป้าหมายก็ทำการเปิดเครื่องทำหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศและ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าความชื้นภายในโรงเรือนตลอดเวลาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย หากยังไม่ได้ความชื้นเท่ากับค่าเป้าหมายก็จะทำการเปิดเครื่องทำหมอกต่อไปจนกระทั่งได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการ



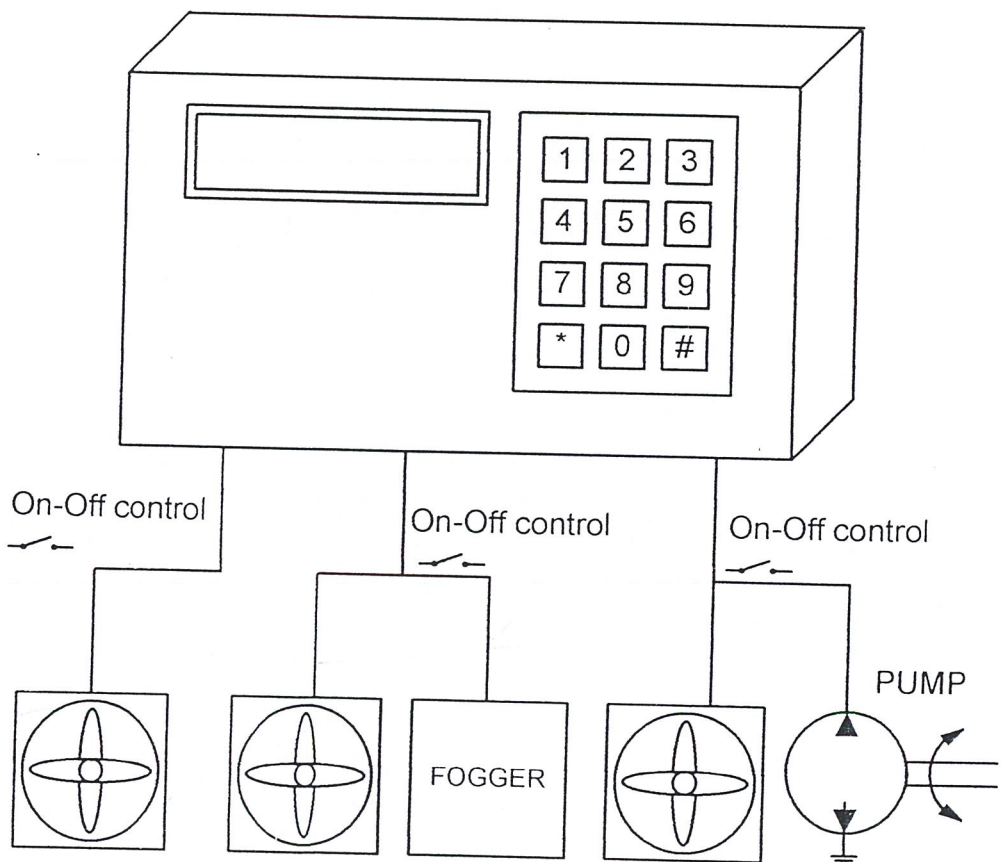
รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงการควบคุมความชื้น



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แผนผังแสดงการควบคุมความชื้น

3.5 การใช้งานโปรแกรมควบคุม

ระบบควบคุมจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ4ส่วนคือส่วนประมวลผล ส่วนแสดงผล ส่วนติดต่อผู้ใช้ อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ซึ่งเซ็นเซอร์และสัญญาณควบคุม โปรแกรมจะทำการเชื่อมโยงส่วนต่างๆเหล่านี้มาทำงานร่วมกันการทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ และเพื่อประโยชน์สูงสุด โปรแกรมควรจะสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้ตรงกับผู้ใช้งาน โปรแกรมควบคุมของโครงการนี้ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายต่างๆได้ คืออุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับชนิดของพืช โดยผู้ใช้สามารถติดต่อกับหน่วยประมวลผลผ่านทางคีย์แพดและจอแสดงผล LCD



รูปที่ 3.15 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

จากรูปข้างต้นแสดงถึงส่วนประกอบของส่วนติดต่อผู้ใช้งานซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่ได้ดังนี้

- จอแสดงผล จะเป็นจอภาพแบบ LCD ที่จะแสดงตัวอักษร สัญลักษณ์ต่าง ๆ เพื่อสื่อสารกับผู้ใช้หน่วยประมวลผล
 - คีย์แพด เป็นส่วนรับข้อมูลต่างๆจากผู้ใช้งานไปสู่อุปกรณ์ประมวลผล
- ปุ่มบนคีย์แพดสามารถแยกหน้าที่การทำงานได้ดังนี้
- ปุ่มหมายเลข “ 0-9 ” ใช้เพื่อป้อนข้อมูลเป้าหมาย
 - ปุ่ม “ * ” ใช้เพื่อยกเลิกค่าตัวเลขที่ป้อนผิดพลาด
 - ปุ่ม “ # ” ใช้เพื่อเริ่มต้นระบบใหม่

ขั้นตอนการใช้งาน

1. จ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบควบคุมภายในโรงเรือนจำลอง
2. เมื่อผู้ใช้งานจ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบแล้ว ที่จอจะปรากฏข้อความ “WELCOME !” ซึ่งข้อความนี้จะปรากฏทุกครั้งที่มีการเริ่มต้นระบบ
3. จากนั้นที่หน้าจอจะปรากฏข้อความ “TEMPERATURE ?” เพื่อให้ผู้ใช้ป้อนค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพืช หากป้อนตัวเลขผิดก็สามารถทำการลบได้โดยการกดปุ่ม*
4. เมื่อป้อนข้อมูลค่าอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว ที่หน้าจอจะปรากฏข้อความ “HUMIDITY ?” เพื่อให้ผู้ใช้ทำการป้อนค่าความชื้นที่เหมาะสมกับพืช
5. เมื่อป้อนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเรียบร้อยแล้วที่หน้าจอจะปรากฏค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนขณะนั้นและจะเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ จนค่าอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง วงจรตรวจจับความชื้น วงจรตรวจจับอุณหภูมิ ระบบควบคุมอัตโนมัติ ทำการสร้างโรงเรือนจำลองจึงได้นำวงจรและอุปกรณ์ควบคุมความชื้น และอุณหภูมิทั้งหมด มาทำการทดลองควบคุมความชื้นและอุณหภูมิว่าสามารถที่จะควบคุมได้มีประสิทธิภาพเท่าไร

4.1 การทดลองที่ 1 การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือนไปพร้อมๆกัน

ในการทดลองนี้ได้ทำการใช้โปรแกรมที่จะทำการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิไปพร้อมๆกัน จนได้ค่าความชื้นและอุณหภูมิเข้าสู่ค่าเป้าหมาย ได้แบ่งการทดลองเป็น 4 กรณี คือ

- กรณีลดอุณหภูมิ และ ลดความชื้นภายในโรงเรือน
- กรณีเพิ่มอุณหภูมิ และ เพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน
- กรณีเพิ่มอุณหภูมิ และ ลดความชื้นภายในโรงเรือน
- กรณีลดอุณหภูมิ และ เพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือน
2. ป้อนข้อมูลความชื้นที่ต้องการภายในโรงเรือน
3. ป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการภายในโรงเรือน
4. บันทึกผลการทดลอง
5. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

4.2 การทดลองที่ 2 การควบคุมความชื้นจนได้ค่าเป้าหมายก่อนที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิ

ในการทดลองนี้ได้ใช้โปรแกรมที่จะทำการควบคุมความชื้นก่อนจนได้ค่าความชื้นเท่ากับค่าเป้าหมาย แล้วจึงทำการควบคุมอุณหภูมิจนได้อุณหภูมิเท่ากับค่าเป้าหมาย แล้วกลับไปทำการควบคุมความชื้นอีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งทั้งอุณหภูมิและความชื้นเท่ากับค่าเป้าหมาย และได้ทำการทดลอง 4 กรณีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือน
2. ป้อนข้อมูลความชื้นที่ต้องการภายในโรงเรือน
3. ป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการภายในโรงเรือน
4. บันทึกผลการทดลอง

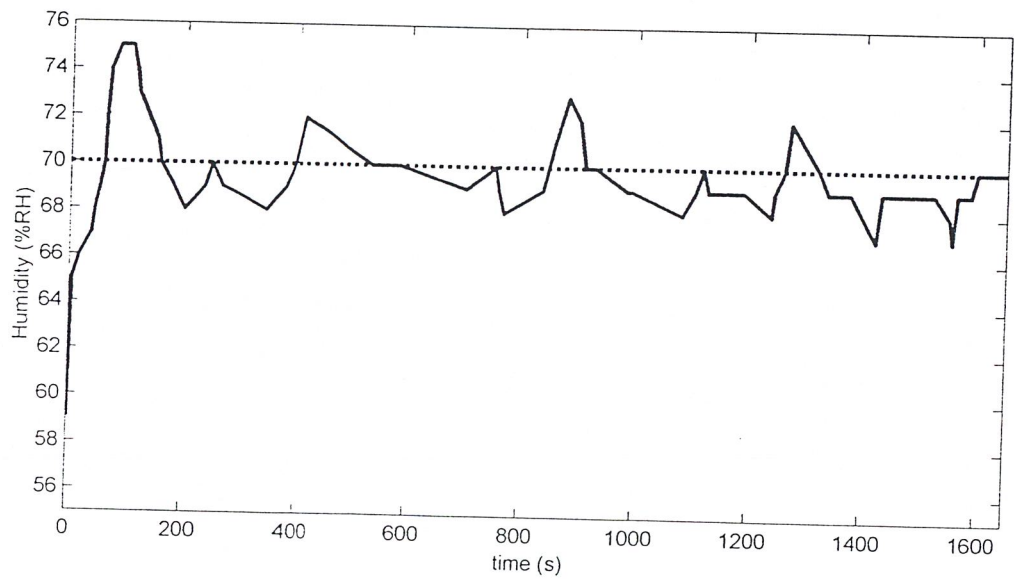
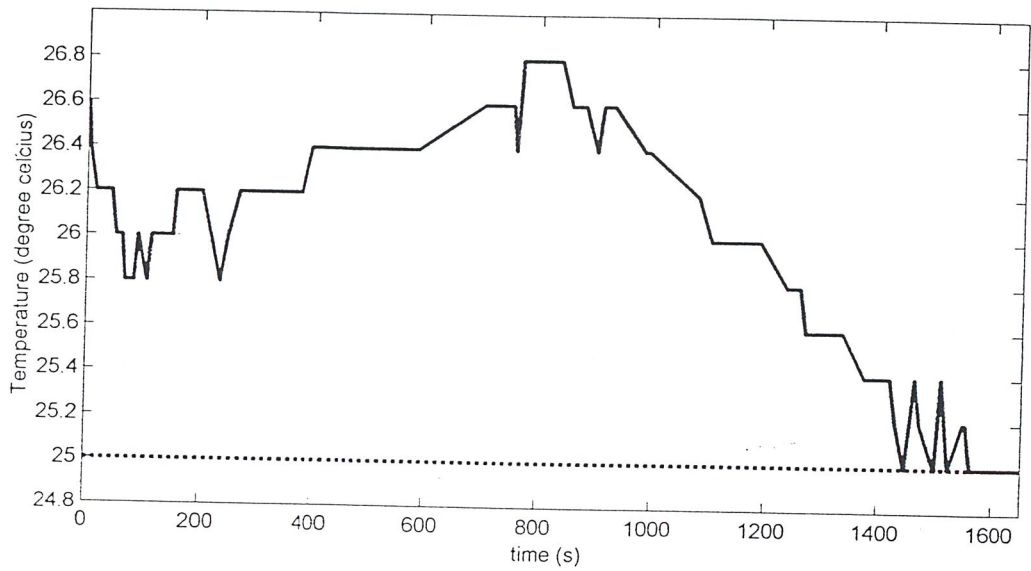
5. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

4.3 การทดลองที่ 3 การควบคุมอุณหภูมิจนได้ค่าเป้าหมายก่อนที่จะทำการควบคุมความชื้น

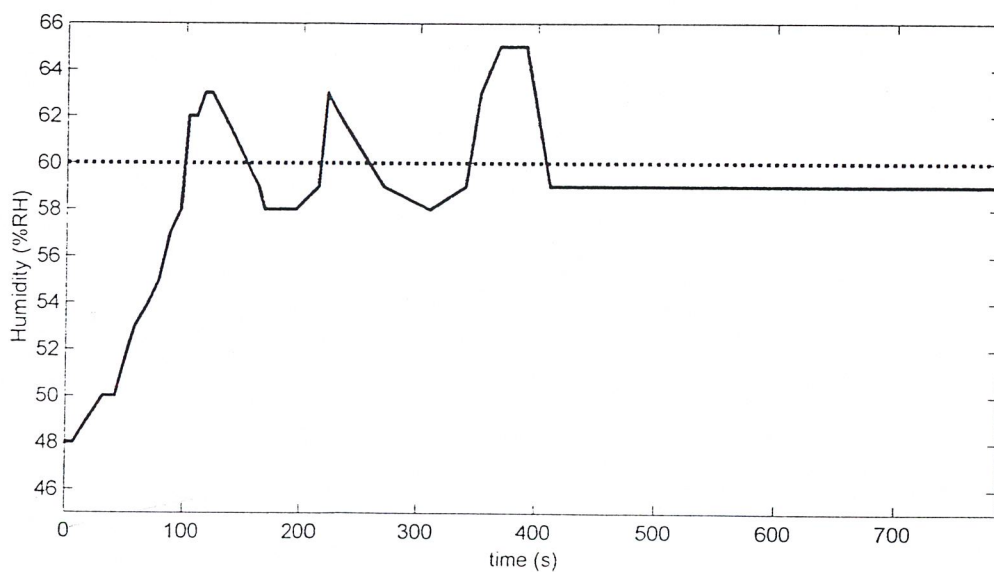
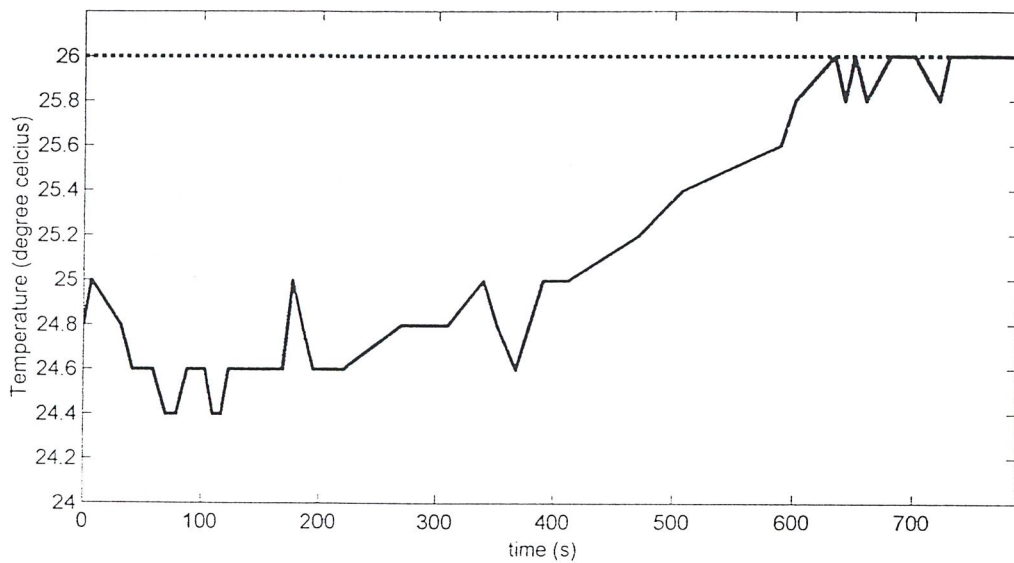
ในการทดลองนี้ได้ใช้โปรแกรมที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิก่อนจนได้อุณหภูมิเท่ากับค่าเป้าหมาย แล้วจึงทำการควบคุมความชื้นจนได้ความชื้นเท่ากับค่าเป้าหมาย แล้วกลับไปทำการควบคุมอุณหภูมิอีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งทั้งอุณหภูมิและความชื้นเท่ากับค่าเป้าหมาย และได้ทำการทดลอง 4 กรณีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1

ขั้นตอนการทดลอง

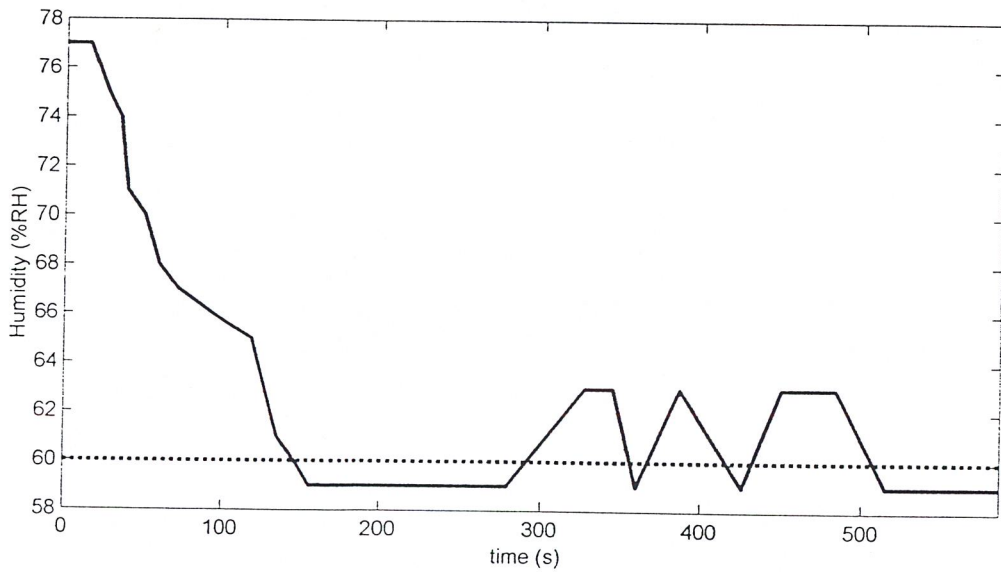
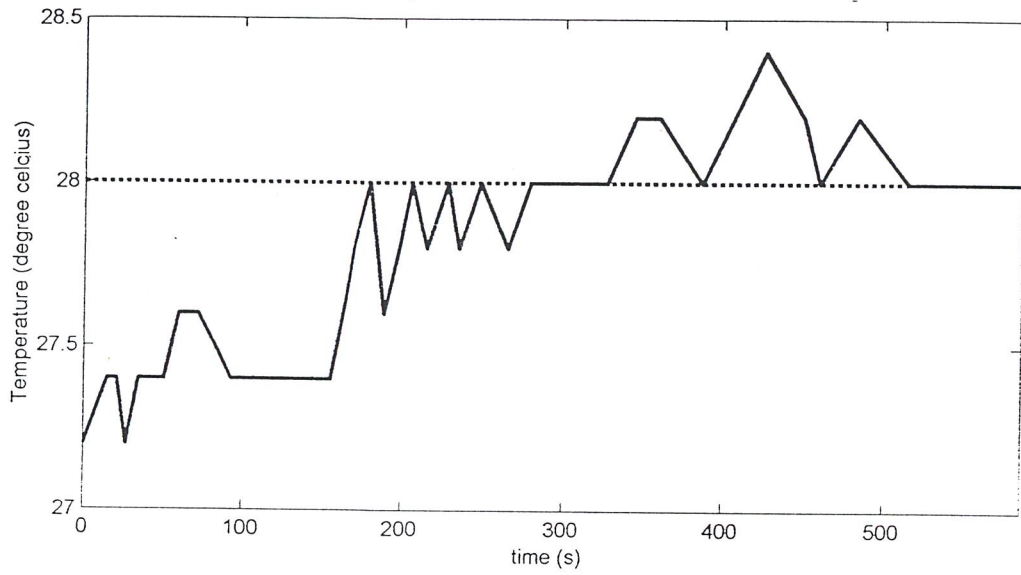
1. คัดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือน
2. ป้อนข้อมูลความชื้นที่ต้องการภายในโรงเรือน
3. ป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการภายในโรงเรือน
4. บันทึกผลการทดลอง
5. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9



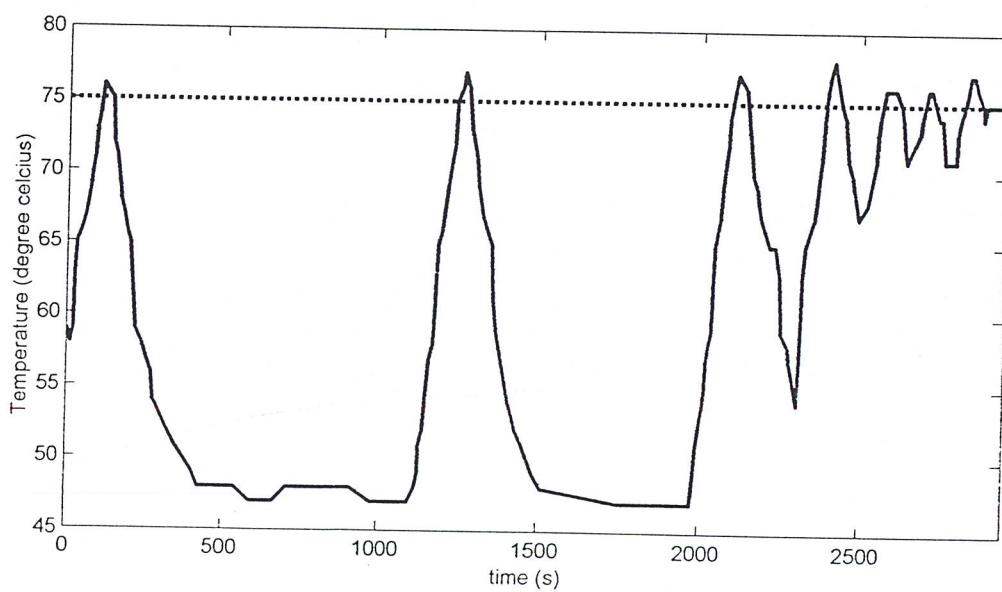
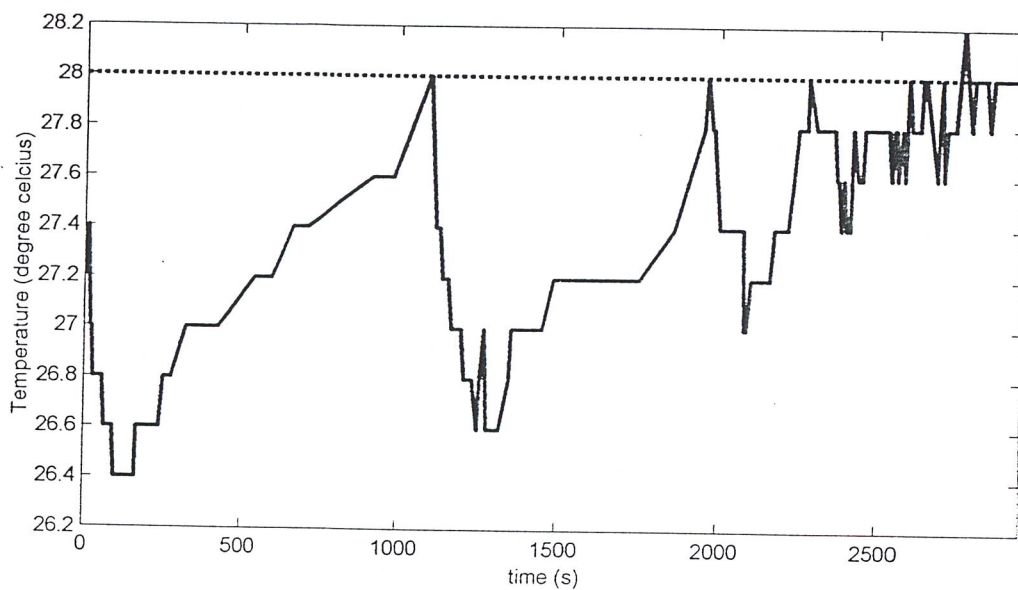
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิไปพร้อมๆกัน
กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส



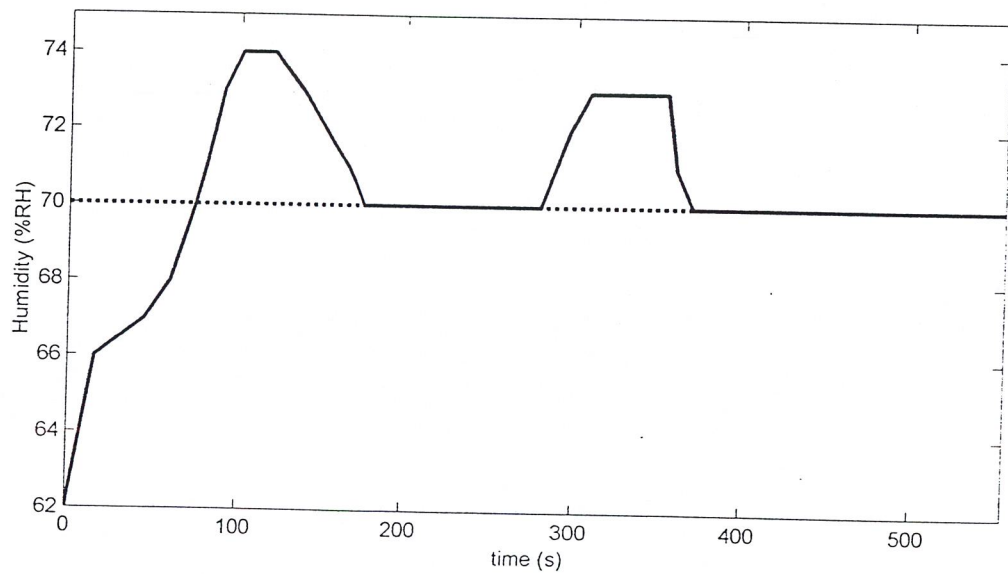
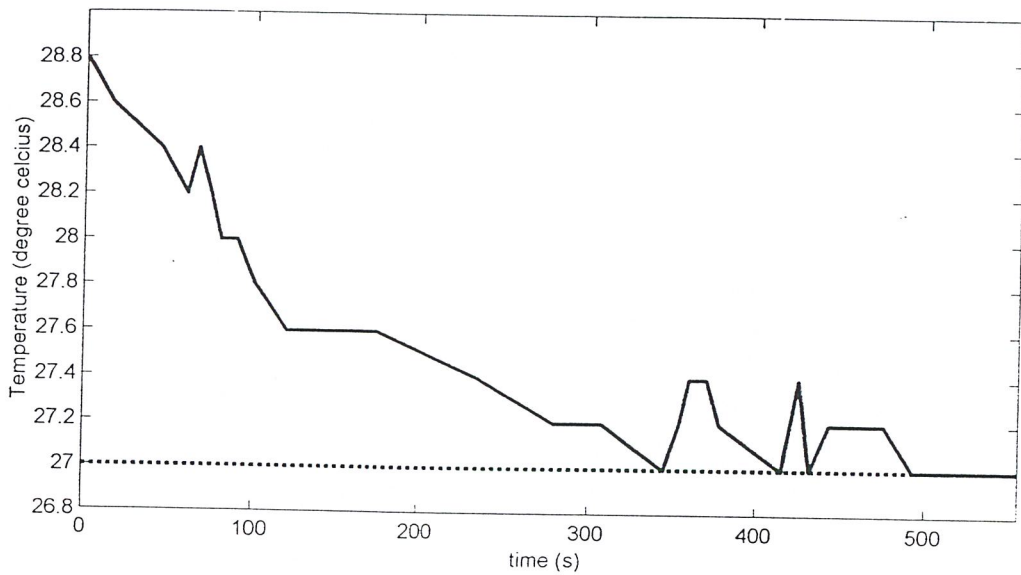
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิไปพร้อมๆกัน กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส



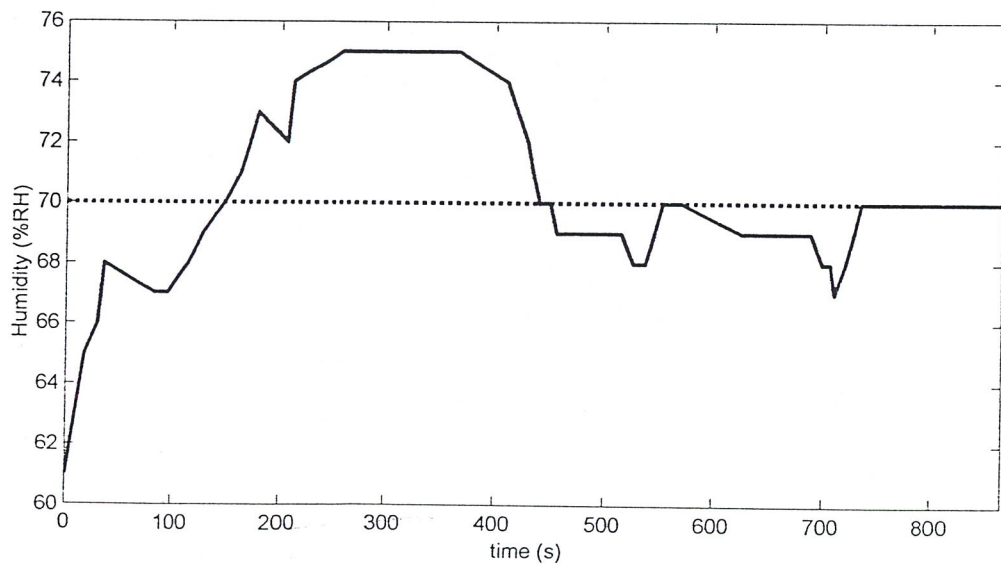
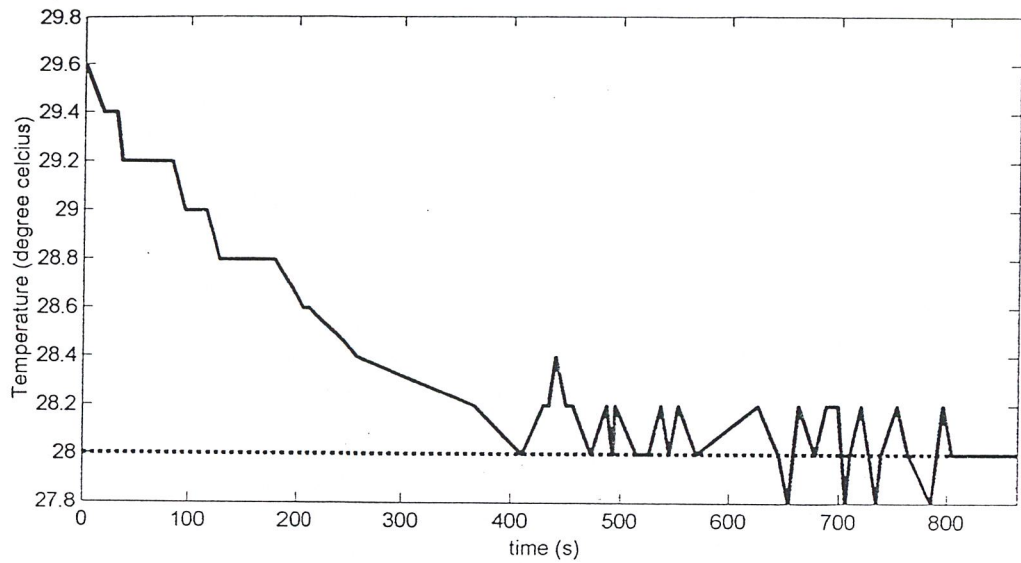
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ กรณีเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 29 องศาเซลเซียส



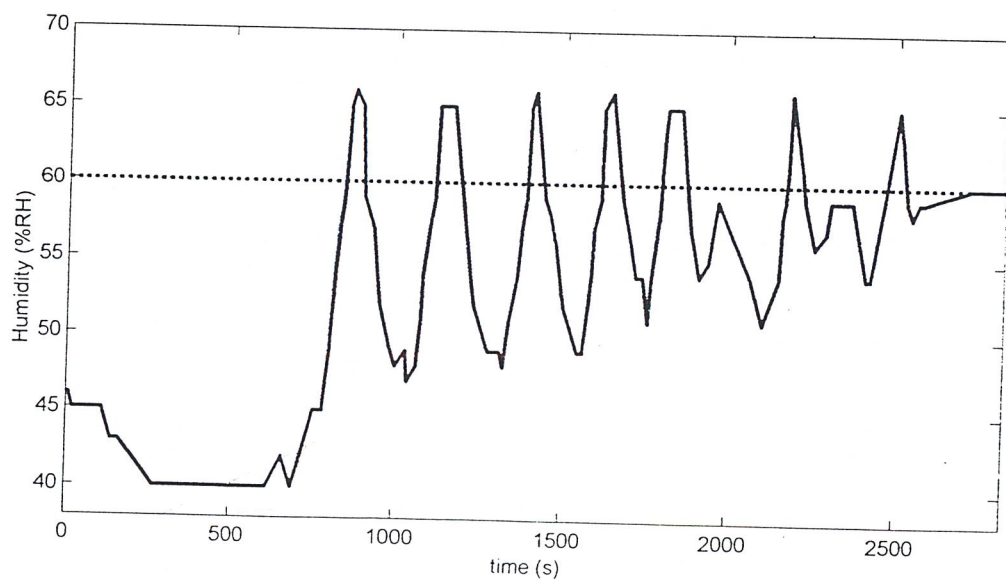
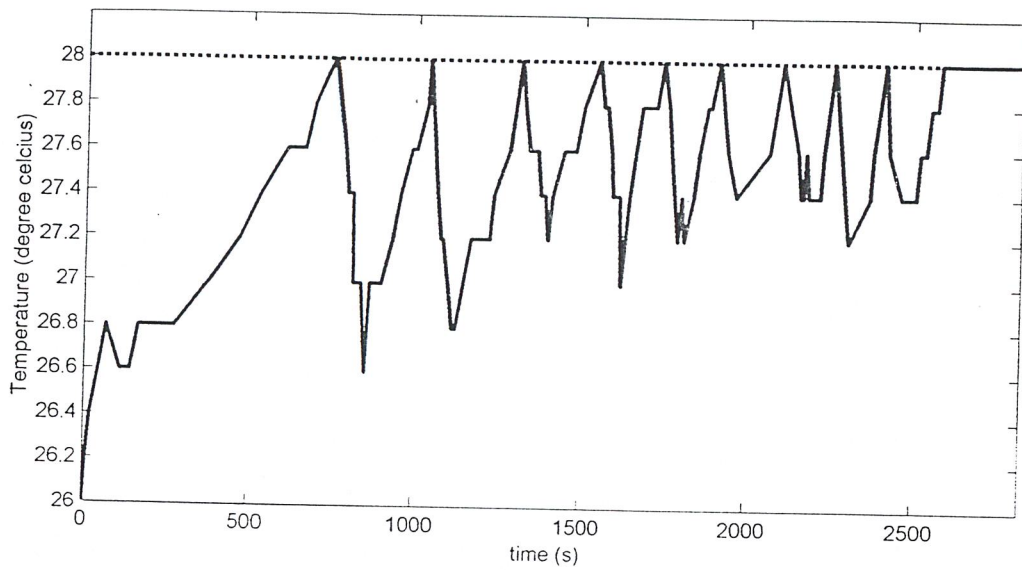
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ
กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 28.5 องศาเซลเซียส



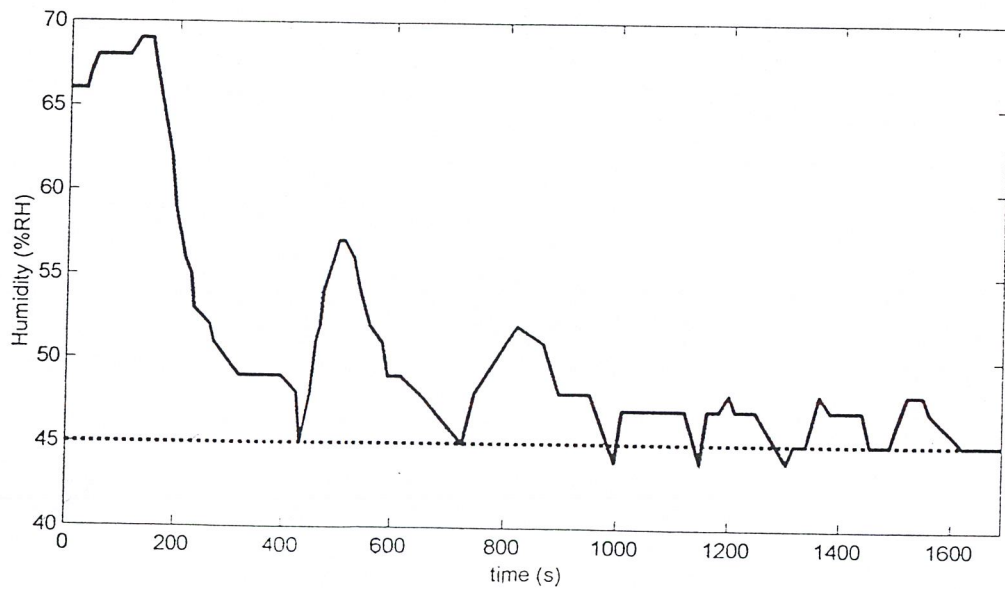
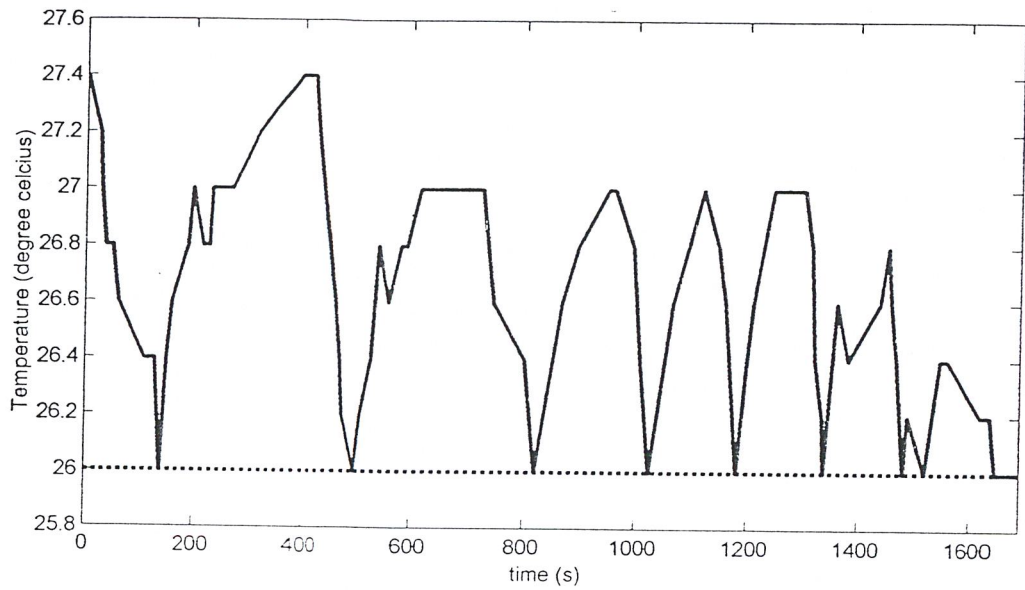
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการควบคุมความชื้นก่อนการควบคุมอุณหภูมิ กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 29 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น กรณีลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 29.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น กรณีเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 27.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิก่อนการควบคุมความชื้น
กรณีลดอุณหภูมิและลดความชื้นภายในโรงเรือน ณ อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

5.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. ปัญหาในการควบคุมความชื้นไม่สามารถควบคุมให้ได้ค่าตามที่ต้องการ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ตรวจจับความชื้น ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นชนิดนี้มีหลักการทำงานคือ เมื่อค่าความชื้นเปลี่ยนไป ค่าความจุไฟฟ้าของตัวมันจะเปลี่ยนแปลงค่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงไป 3-5% ค่าความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปประมาณ 1pF ซึ่งด้วยการทำงานลักษณะนี้ของอุปกรณ์ตรวจจับ ทำให้เกิดการผิดพลาดจากการควบคุมประมาณ 3-5 %

2. การคำนวณค่าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความยุ่งยากกว่าการใช้คอมพิวเตอร์
3. ตัวแปรที่ถูกควบคุมแบบ ON/OFF จะมีการแกว่งที่ steady state
4. ระบบไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มาก

5.2 แนวทางในการพัฒนา

1. ทำการควบคุมความชื้นให้มีค่าผิดพลาดน้อยกว่านี้ โดยใช้เซ็นเซอร์ที่มีความผิดพลาดน้อยกว่านี้
2. เพิ่มข้อมูลในส่วนของ การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ให้มีการควบคุมปัจจัยต่างๆเพิ่มมากขึ้น
3. เพิ่มการควบคุมระบบการรดน้ำ ให้ปุ๋ยและให้แสงสว่าง กับพืช
4. เปลี่ยนวิธีการควบคุมเป็นแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่น แบบ PI หรือ PID แทนการควบคุมแบบ ON/OFF
5. เปลี่ยนไปใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณซึ่งสามารถคำนวณค่าได้ง่ายและละเอียดกว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.3 สรุปและวิจารณ์

ความชื้นภายในโรงเรือนสามารถควบคุมให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายได้ถึงแม้ว่าจะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากเซ็นเซอร์ และการลดอุณหภูมิโดยใช้พัดลมดูดอากาศเย็นผ่านตาข่าย จะทำให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากละอองน้ำ จึงควรใช้การควบคุมโดยคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรควบคุม

อุณหภูมิภายในโรงเรือนสามารถควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่มีความแตกต่างจากค่าเริ่มต้นไม่มากนักเนื่องจากหลักการลดอุณหภูมิที่ใช้ไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มากนัก จึงควรใช้อุปกรณ์ที่สามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่านี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตศิริวัฒน์ ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ พร้อมทั้งคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ยืมอุปกรณ์ และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ผู้จัดทำ

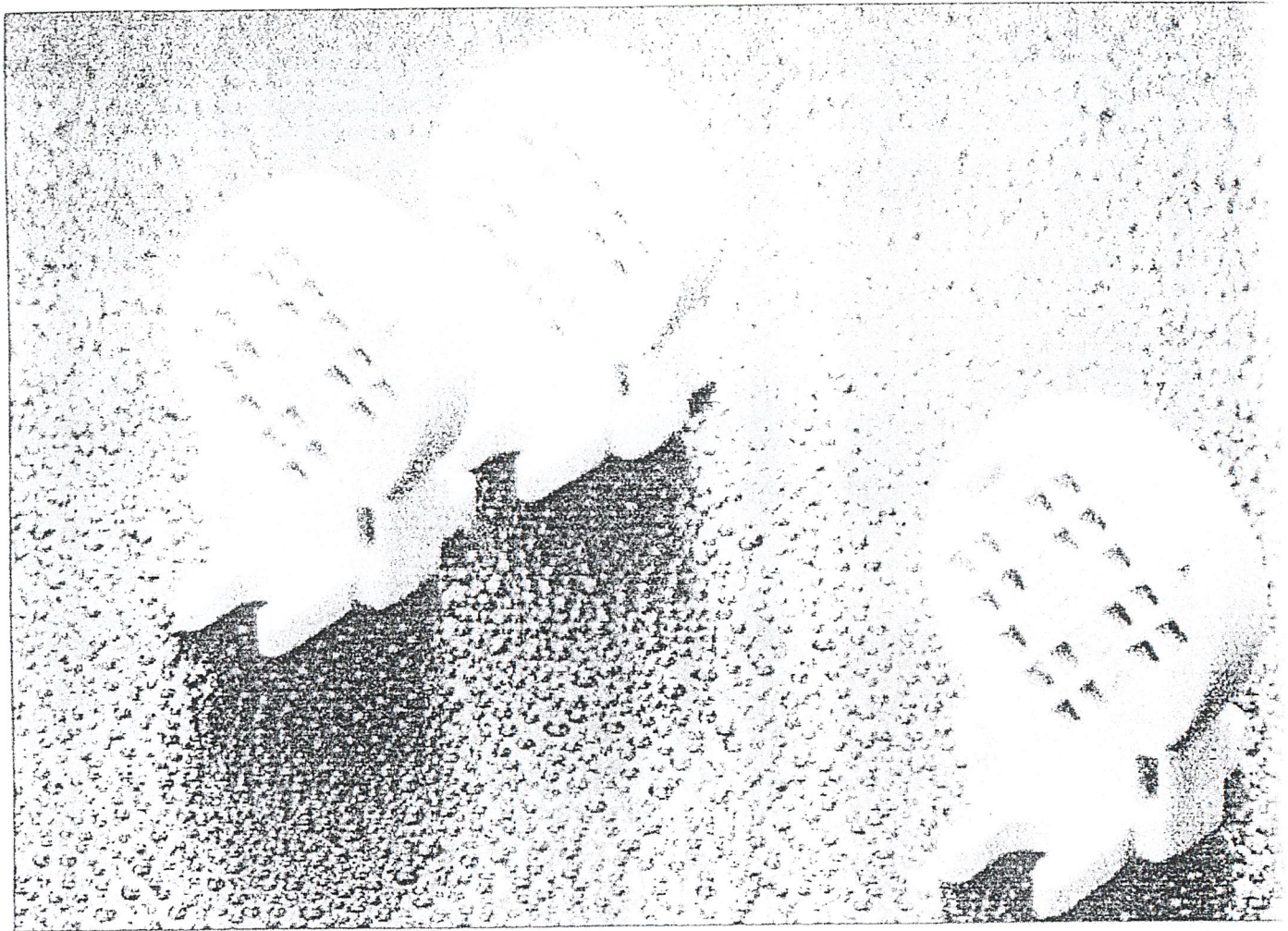
หนังสืออ้างอิง

E.J. Kennedy, Operational Amplifier Circuits Theory and Application,
Holt,Rinehart and Winston Inc,

Remakant A. Garakwad, Op-Amps and Linear Integrated Circuits, Prentice
Hall; 2000

Thomas L Floyd, Basic Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits,
Macmillan Publishing Company; 1994

ภาคผนวก ก



Moisture control with Philips' humidity sensor

Let's make things better.

Philips
Components



PHILIPS

Humidity sensor

2322 691 90001

APPLICATIONS

- Humidity measurements in electronic hygrometers for domestic use
- Self-regulating air humidifiers, etc.

DESCRIPTION

This capacitive atmospheric humidity sensor consists of a non-conductive foil, which is covered on both sides with a layer of gold. The dielectric constant of the foil changes as a function of the relative humidity of the ambient atmosphere and, accordingly, the capacitance value of the sensor is a measure for relative humidity. The foil is clamped between contact springs and assembled in a plastic housing. It is provided with two connecting pins which fit printed-circuit boards with a grid pitch of 2.54 mm, provision is also made for fastening with 3 mm bolts. The characteristics are not affected by incidental water condensation on the sensor foil. It should not be exposed to either acetone or chlorine vapours.

QUICK REFERENCE DATA

PARAMETER	VALUE	UNIT
Humidity range (RH)	10 to 90	%
Capacitance at +25 °C; 43% RH; 100 kHz	122 ±15%	pF
Sensitivity between 12 and 75% RH	0.4 ±0.05	pF/%RH
Frequency	1 to 1000	kHz
Maximum AC or DC voltage	15	V
Storage humidity range (RH)	0 to 100	%
Ambient temperature range:		
operating	0 to +85	°C
storage	-25 to +85	°C
Drop test:		
height of free fall	1	m
Mass	≈1.3	g

Humidity sensor

2322 691 90001

MECHANICAL DATA

Marking

PHILIPS H1

Mounting

The device can be soldered directly on to a printed-circuit board or fastened with 3 mm bolts.

Soldering

Solderability: $\leq 240\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\leq 4\text{ s}$.

Resistance to heat: $\leq 240\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\leq 4\text{ s}$.

Robustness of terminations

Tensile strength: 10 N.

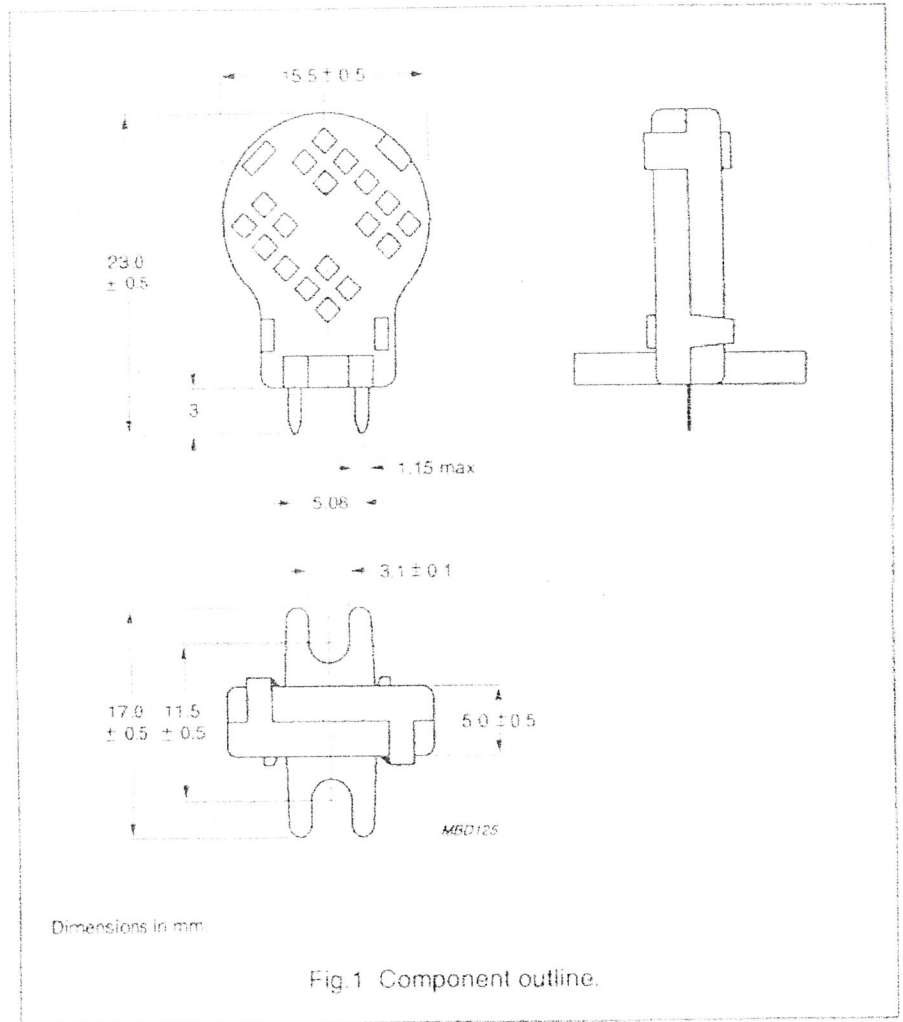


Fig.1 Component outline.

Humidity sensor

2322 691 90001

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Unless otherwise stated, measurements are in accordance with "IEC publication 539". Stability is in accordance with "CECC 43000" and "IEC 68-2".

PARAMETER	VALUE	UNIT
Humidity range (RH)	10 to 90	%
Capacitance at +25 °C; 43% RH; 100 kHz	122 ±15%	pF
Tan δ at +25 °C; 100 kHz; 43% RH	≤0.035	
Sensitivity between 12 and 75% RH	0.4 ±0.05	pF/%RH
Frequency range	1 to 1000	kHz
Temperature dependence	0.1	%RH/K
Response time in minutes (to 90% of indicated RH change at +25 °C, in circulating air):		
between 10 and 43% RH	<3	
between 43 and 90% RH	<5	
Hysteresis (for RH excursion of 10 to 90 to 10%)	≈3	%
Maximum AC or DC voltage	15	V
Storage humidity range (RH)	0 to 100	%
Ambient temperature range:		
operating	0 to +85	°C
storage	-25 to +85	°C
Mass	≈1.3	g

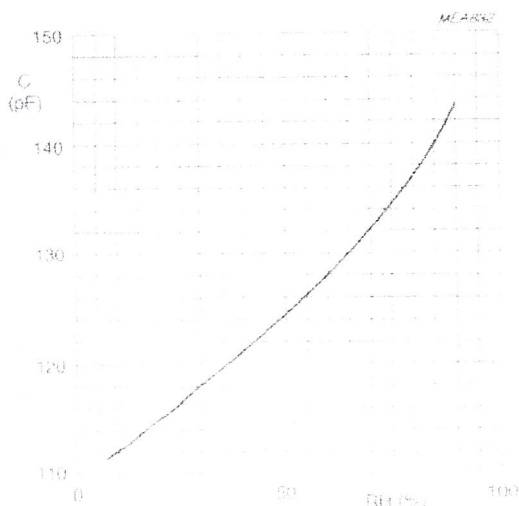


Fig.2 Typical capacitance as a function of relative humidity.

Moisture control with Philips' capacitive humidity sensor

Philips' capacitive humidity sensor has already proven itself over many years as one of the most effective and economical means of measuring and controlling humidity.

The sensor operates by sensing changes in capacitance of a thin film polymer membrane as it absorbs moisture from its surroundings. Compared with many alternatives, it's simple to operate, highly reliable and fast. What's more, its long-term characteristics are unaffected by condensation of water on the membrane surface and other aggressive pollutants in the air.

Used in, for example, home hygrometers, weather stations, air conditioners, climate controllers and tumble dryers, it's capable of providing long, trouble-free service with minimum maintenance.

Designed for a measuring range between 10% and 90% relative humidity the sensor's relatively linear characteristic allows it to be easily incorporated into simple, inexpensive measuring circuitry.

Features and benefits

- long-term reliability
- high sensitivity
- fast response
- high immunity against contaminants
- operates with simple measuring circuitry

Proven in a host of applications

Important application areas where Philips' sensor has already proven itself include:

- Heating, ventilating and air conditioning systems
- Industrial control installations
- Climate control systems in, for example, industrial clean rooms, operating theatres, computer rooms and green houses
- Climatic chambers
- Drying processes
- Printing industry

Humidity control the Philips way

Accurate measurement and control of humidity is an important requirement of today's world. The humidity of the air, i.e. the amount of water vapour it contains, influences not only our comfort but also the effectiveness of many professional and industrial processes. Though several types of electronic humidity sensor exist, Philips' capacitive sensor has long proven to be one of the most reliable, durable and easiest to use.

The sensor is made up of a polymer film coated on both sides with a very thin air-permeable gold layer to form a capacitive element. The film is clamped between spring contacts inside a perforated plastic housing. Changes in relative humidity (RH) of the surrounding air cause a change in dielectric constant of the polymer film leading to a change of sensor capacitance. The relationship between sensor capacitance and relative humidity is a rather simple one which means that the sensor can easily be incorporated into an electrical measuring circuit.

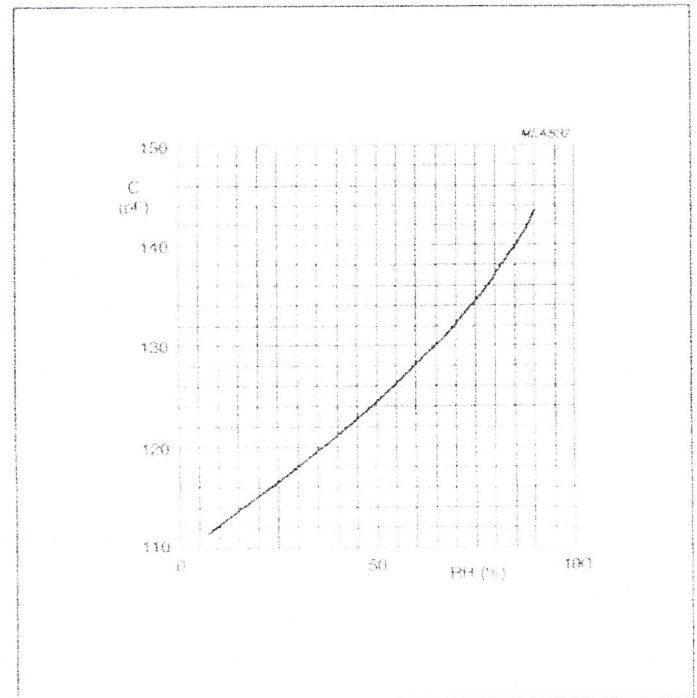


Fig. 1 A simple relationship between capacitance and RH means the sensor can easily be incorporated into an electrical measuring circuit.

Sensor specifications

Electrical	
Humidity range:	10 to 90%rh
Capacitance @ +25 °C, 43%rh, 100 kHz:	122 ± 15% pF
Dispensation factor @ -25 °C, 43%rh, 100 kHz:	≤ 0.035
Sensitivity between 12 and 75%rh:	0.4 ± 0.05 pF/%rh
Frequency range:	1 to 1000 kHz
Temperature dependence:	0.1%rh/K
Response time*:	
between 10 and 43%rh:	< 3 min
between 43 and 90%rh:	< 5 min
Hysteresis**:	≈ 3%
Maximum voltage:	15 V _{pp}
Operating and storage temperature range:	-25 to + 85 °C

Mechanical	
Height:	20.0 mm
Width:	15.5 mm
Thickness:	5.0 mm
Lead distance:	5.08 mm

* in 90% of indicated %rh change at + 25 °C, in circulating air
 ** for excursion from 10%rh to 90%rh and back to 10%rh

Working with Philips' humidity sensor

Measuring circuitry

Measuring relative humidity using Philips' sensor involves the detection of relatively small capacitance changes. Depending on the level of precision required, several measuring circuits are possible. The circuit of Fig.2, using a metastable flip-flop IC offers simple measurement without linearization.

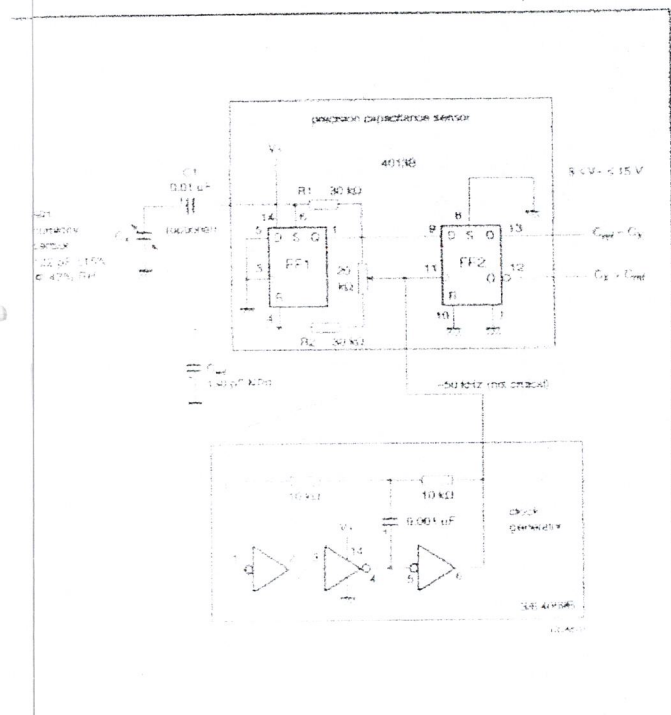


Fig.2 Measuring circuit without linearization based on metastable flip-flop. (Circuit courtesy of W. Stephen Woodward of University of North Carolina)

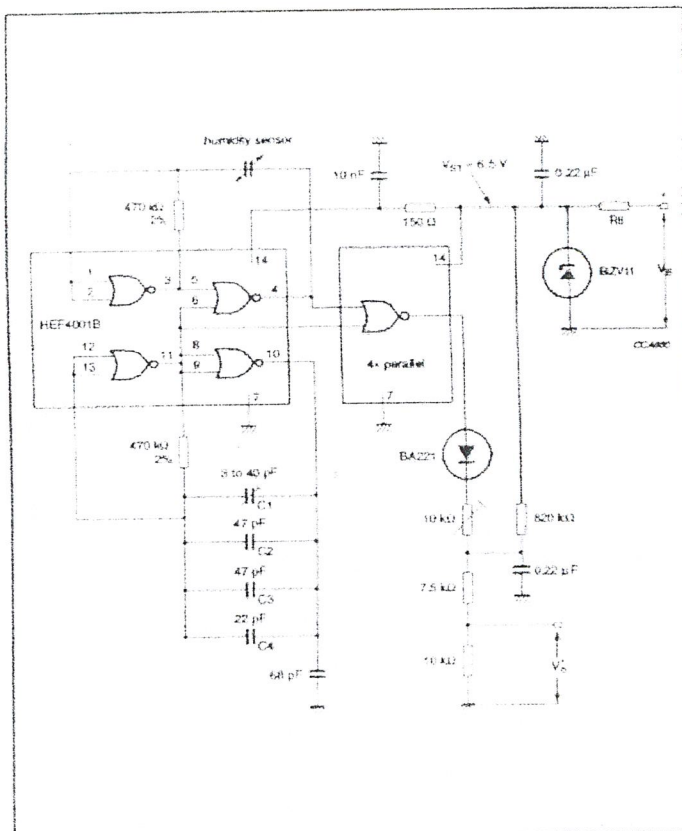


Fig.3 Measuring circuit with linearization. In the circuit, R_B is chosen so that $R_B = (V_B - V_{SP}) / (2 \text{ mA}) \Omega$

For higher precision, the measuring circuit of Fig.3 incorporating a linearizing network can be used. This circuit is suitable for connecting to an external power supply.

Measuring-circuit calibration

The measuring circuit may be calibrated using a saturated salt solution in a small airtight container to create a *standard relative humidity environment* (ASTM Designation E 104). The saturated salt solution should be prepared from reagent grade chemicals and reagent water produced by distillation or by ion exchange.

Recommended salts (ASTM E 104)

	RH @ 25 °C
Lithium chloride LiCl	11.3%
Potassium acetate $KC_2H_3O_2$	22.5%
Magnesium chloride $MgCl_2$	32.8%
Potassium carbonate K_2CO_3	43.2%
Magnesium nitrate $Mg(NO_3)_2$	52.9%
Sodium chloride NaCl	75.3%
Potassium chloride KCl	84.3%
Potassium nitrate KNO_3	93.6%
Potassium sulphate K_2SO_4	97.3%

Potassium carbonate is usually chosen as a reference since its RH (43.2%) falls approximately in the middle of the measuring range of the sensor and because its temperature stability is high (from 43.1%rh at 0 °C to 43.2%rh at 30 °C).

Response time and hysteresis

The response time is defined as the time it takes for the sensor's reading to change by 90% of the total change following an immediate change of relative humidity. The response time obviously varies according to the relative humidity level, being shorter for low humidity levels than for higher levels.

The sensor's response also shows hysteresis due to the difference between the speed of moisture absorption and the speed of evaporation. The hysteresis value in the specification is given for steps of 10%rh allowing a stabilization time of 30 minutes between steps.

Maximum applied voltage

The sensor is a tough component with high dielectric strength able to withstand both DC and AC voltages up

to 15 V. What's more, a low dissipation factor means it can accept high-amplitude measuring voltages without over heating. And in contrast to many competing technologies it meets the most stringent static-discharge specifications.

Operating frequency

The sensor's dissipation factor increases with humidity. It also falls with measuring frequency to a minimum value at around 1 kHz after which it increases again. When working at low levels of humidity (< 50%rh), it's therefore possible to use relatively low (< 1 kHz) measuring frequencies. But for the most reliable results over the total operating range of the sensor, measuring frequencies should be between 1 kHz and 1000 kHz.

Working in aggressive atmospheres

Although the sensor is virtually unaffected by most air pollutants including ammonia, the vapour of some solvents such as acetone will attack the foil and should be avoided when building the sensor into an assembly. Dusty environments should also be avoided since the hygroscopic properties of some dust particles can affect sensor reading if they're allowed to build up on the surface of the foil.

RELATIVE HUMIDITY

The humidity of the air is a measure of the amount of water vapour it contains. At any given temperature, water will continue to be absorbed by the air either until all available water has evaporated or the air has become saturated. Once the air is saturated, it contains its full capacity of water and no further evaporation will take place unless the temperature increases.

Defining relative humidity

Relative humidity (RH) is a convenient way of expressing the amount of water vapour contained in a volume of air. It's defined as the ratio (in percent) of the mass of water vapour in the air to the mass required to produce saturation at the same temperature. When the air is saturated, therefore, its RH is 100%.

The presence (or absence) of water vapour in air influences many physical, chemical and biological processes. Our comfort, for example, depends a lot on humidity since a very humid atmosphere (i.e. at or close to saturation) limits our bodies' ability to perspire and cool us. Usually, the most comfortable climatic conditions are between 45 and 65%rh and for us to remain comfortable, the humidity must decrease as the temperature rises. For example, at 30 °C, 70%rh is considered uncomfortable while 30%rh is quite tolerable.

By introducing humidity monitoring instrumentation, the energy management systems of office and industrial buildings could be better optimized and a lot of energy saved without loss of comfort by adapting the efficiency of energy management according to the season and the external climatic conditions.

Mechanical data and ordering

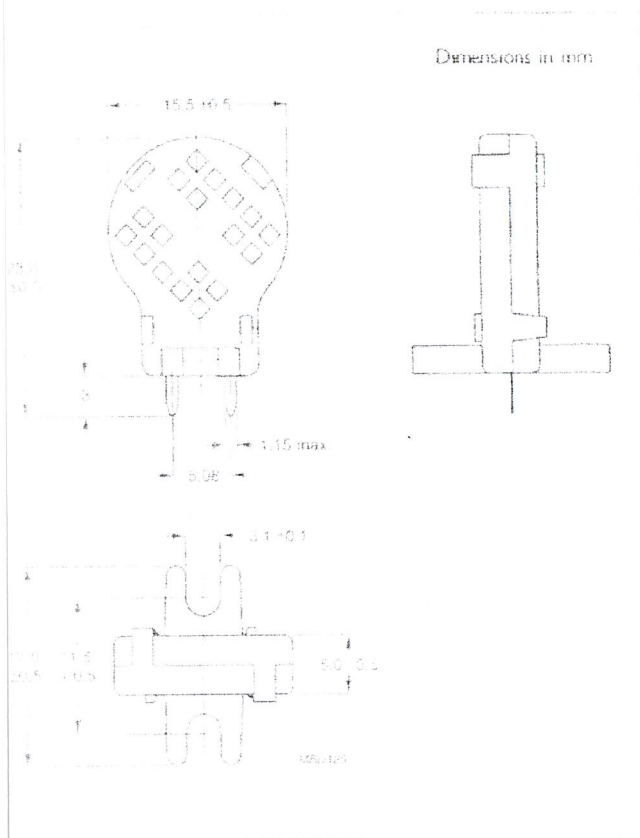


Figure 4 Component outline

Marking

PHI JPS H1

Mounting

The device can be soldered directly on to a printed circuit board or fastened with 3 mm bolts.

Soldering

Solderability: ≥ 240 °C; ≥ 4 s.

Resistance to heat: ≥ 240 °C; ≥ 4 s.

Robustness of terminations

Tensile strength: 10 N.

Ordering code

111 691 90001

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

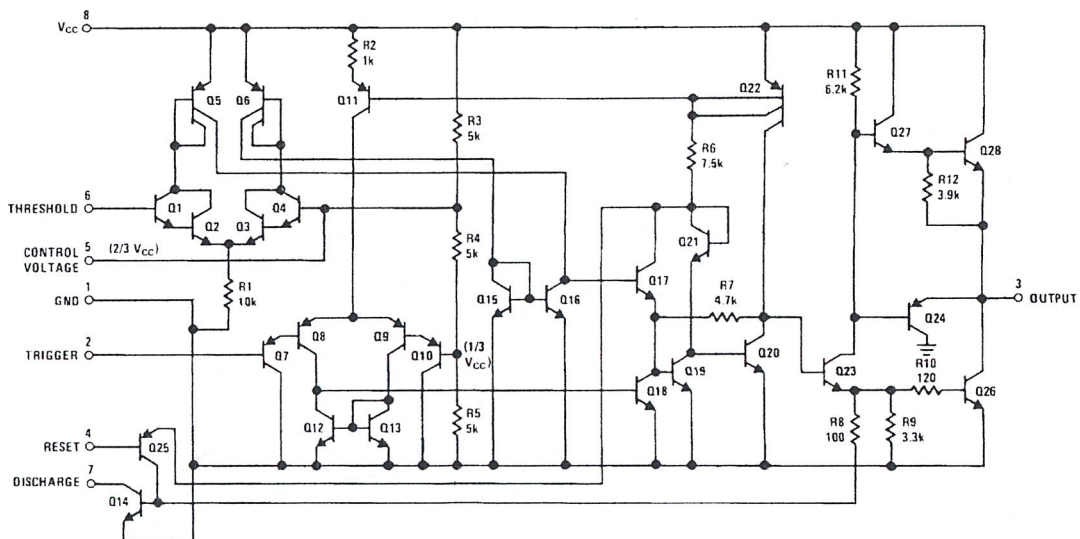
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

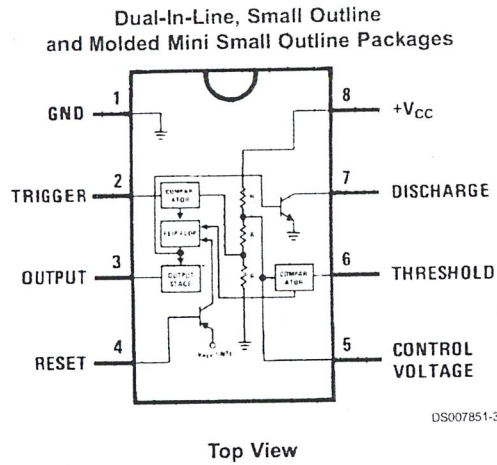
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



DS007851-1

Connection Diagram



Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

(T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	V _{CC} = 5V, R _L = ∞ V _{CC} = 15V, R _L = ∞ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	R _A = 1k to 100kΩ, C = 0.1μF, (Note 5)		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 = 1k to 100kΩ, C = 0.1μF, (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		x V _{CC}
Trigger Voltage	V _{CC} = 15V		5		V
	V _{CC} = 5V		1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	V _{CC} = 15V	9	10	11	V
	V _{CC} = 5V	2.6	3.33	4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	V _{CC} = 15V, I ₇ = 15mA		180		mV
Output Low	V _{CC} = 4.5V, I ₇ = 4.5mA		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$				
	$I_{\text{SINK}} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{\text{SINK}} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{\text{SINK}} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{\text{SINK}} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$				
	$I_{\text{SINK}} = 8\text{mA}$		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{SOURCE}} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
	$I_{\text{SOURCE}} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 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 guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (S0-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

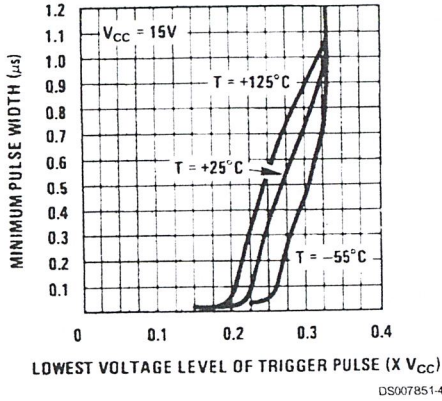
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

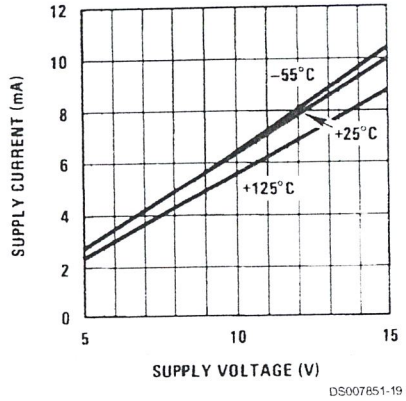
Note 8: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Typical Performance Characteristics

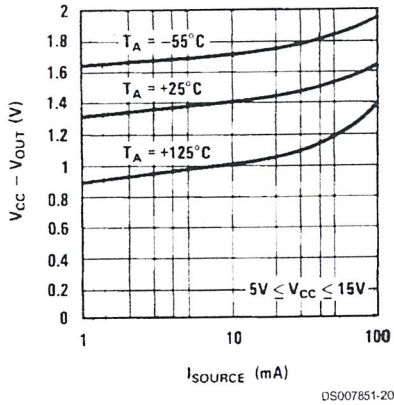
Minimum Pulse Width Required for Triggering



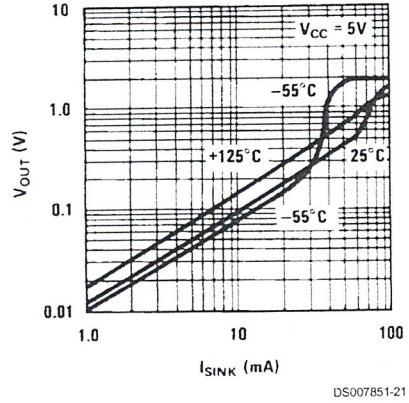
Supply Current vs. Supply Voltage



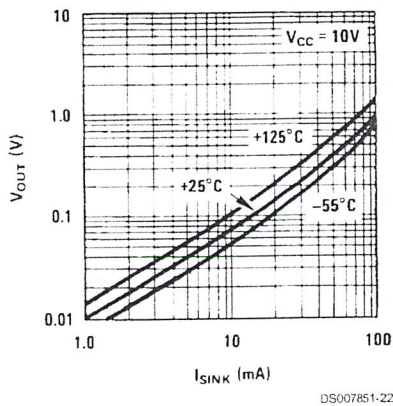
High Output Voltage vs. Output Source Current



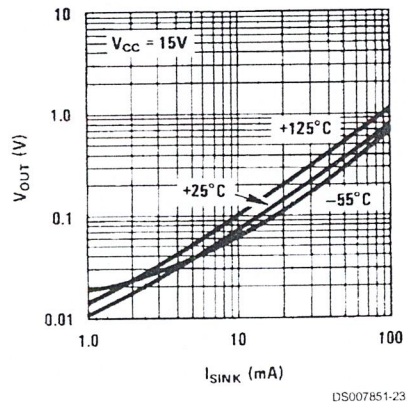
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current

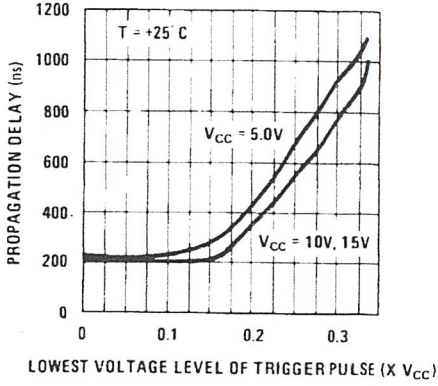


Low Output Voltage vs. Output Sink Current

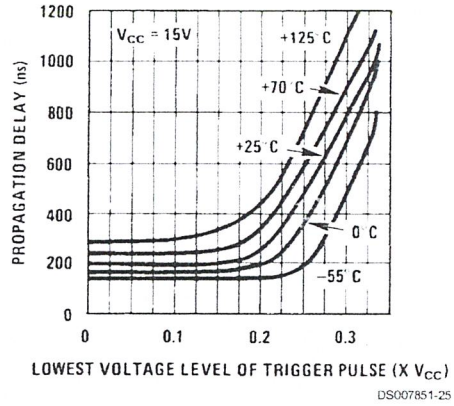


Typical Performance Characteristics (Continued)

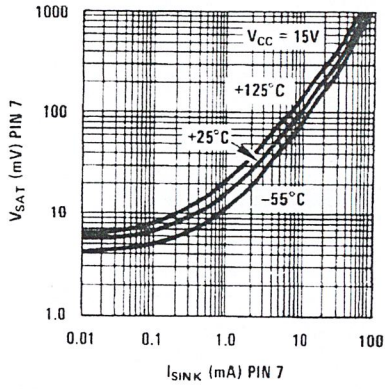
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



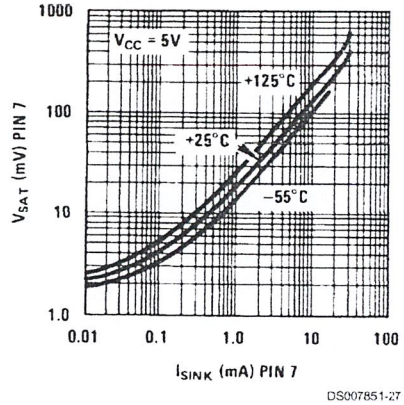
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Applications Information (Continued)

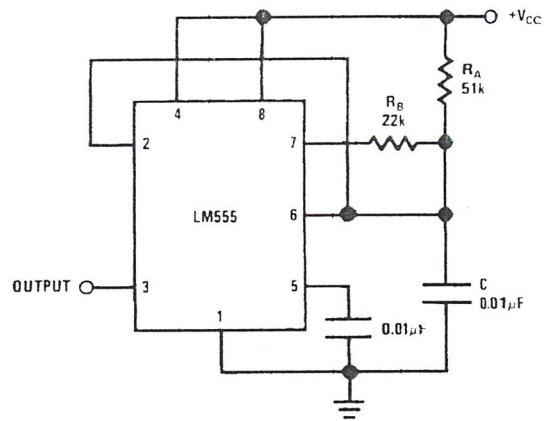
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in *Figure 14*. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



DS007851-1B

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1 \mu\text{F}$ in parallel with $1 \mu\text{F}$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10 \mu\text{s}$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10 \mu\text{s}$ minimum.

Delay time reset to output is $0.47 \mu\text{s}$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3 \mu\text{s}$, typical.

Pin 7 current switches within 30 ns of the output (pin 3) voltage.

LM136-2.5/LM236-2.5/LM336-2.5V Reference Diode

General Description

The LM136-2.5/LM236-2.5 and LM336-2.5 integrated circuits are precision 2.5V shunt regulator diodes. These monolithic IC voltage references operate as a low-temperature-coefficient 2.5V zener with 0.2Ω dynamic impedance. A third terminal on the LM136-2.5 allows the reference voltage and temperature coefficient to be trimmed easily.

The LM136-2.5 series is useful as a precision 2.5V low voltage reference for digital voltmeters, power supplies or op amp circuitry. The 2.5V make it convenient to obtain a stable reference from 5V logic supplies. Further, since the LM136-2.5 operates as a shunt regulator, it can be used as either a positive or negative voltage reference.

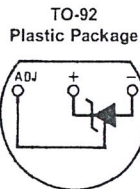
The LM136-2.5 is rated for operation over -55°C to +125°C while the LM236-2.5 is rated over a -25°C to +85°C temperature range.

The LM336-2.5 is rated for operation over a 0°C to +70°C temperature range. See the connection diagrams for available packages.

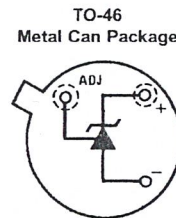
Features

- Low temperature coefficient
- Wide operating current of 400 μA to 10 mA
- 0.2Ω dynamic impedance
- ±1% initial tolerance available
- Guaranteed temperature stability
- Easily trimmed for minimum temperature drift
- Fast turn-on
- Three lead transistor package

Connection Diagrams



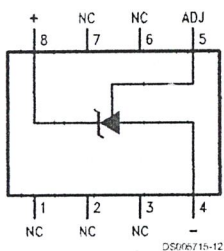
Bottom View
Order Number LM236Z-2.5,
LM236AZ-2.5, LM336Z-2.5 or LM336BZ-2.5
See NS Package Number Z03A



Bottom View
Order Number LM136H-2.5,
LM136H-2.5/883, LM236H-2.5,
LM136AH-2.5, LM136AH-2.5/883
or LM236AH-2.5
See NS Package Number H03H

Connection Diagrams (Continued)

SO Package



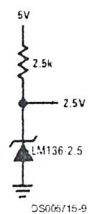
DS606715-12

Top View

Order Number LM236M-2.5,
LM236AM-2.5, LM336M-2.5
or LM336BM-2.5
See NS Package Number M08A

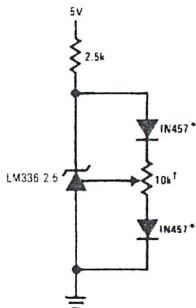
Typical Applications

2.5V Reference



DS606715-9

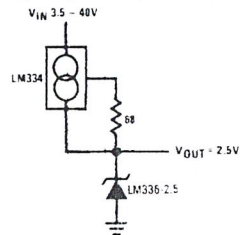
2.5V Reference with Minimum Temperature Coefficient



DS606715-10

[†]Adjust to 2.490V
^{*}Any silicon signal diode

Wide Input Range Reference



DS606715-11

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	-60°C to +150°C

Operating Temperature Range (Note 2)

LM136	-55°C to +150°C
LM236	-25°C to +85°C
LM336	0°C to +70°C

Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-46 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" (Appendix D) for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM136A-2.5/LM236A-2.5			LM336B-2.5			Units
		LM136-2.5/LM236-2.5			LM336-2.5			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$							V
	LM136, LM236, LM336 LM136A, LM236A, LM336B	2.440 2.465	2.490	2.540 2.515	2.390 2.440	2.490	2.590 2.540	V
Reverse Breakdown Change With Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		2.6	6		2.6	10	mV
Reverse Dynamic Impedance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$, $f = 100\text{ Hz}$		0.2	0.6		0.2	1	Ω
Temperature Stability (Note 4)	V_R Adjusted to 2.490V $I_R = 1\text{ mA}$, Figure 2 $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ (LM336)					1.8	6	mV
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM236H, LM236Z)		3.5	9				mV
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM236M)		7.5	18				mV
	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM136)		12	18				mV
Reverse Breakdown Change With Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		3	10		3	12	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.4	1		0.4	1.4	Ω
Long Term Stability	$T_A = 25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$, $t = 1000\text{ hrs}$		20			20		ppm

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: For elevated temperature operation, T_J max is:

LM136	150°C
LM236	125°C
LM336	100°C

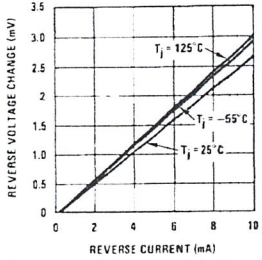
Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" lead)	440°C/W	165°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	n/a	80°C/W	n/a

Note 3: Unless otherwise specified, the LM136-2.5 is specified from $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, the LM236-2.5 from $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ and the LM336-2.5 from $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

Note 4: Temperature stability for the LM336 and LM236 family is guaranteed by design. Design limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels. Stability is defined as the maximum change in V_{ref} from 25°C to T_A (min) or T_A (max).

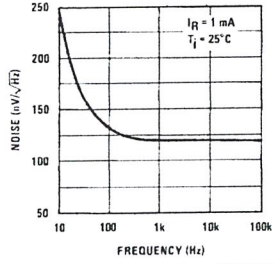
Typical Performance Characteristics

Reverse Voltage Change



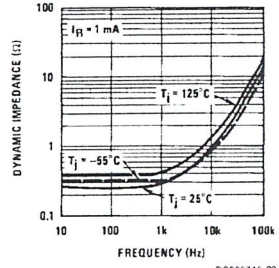
DS006715-21

Zener Noise Voltage



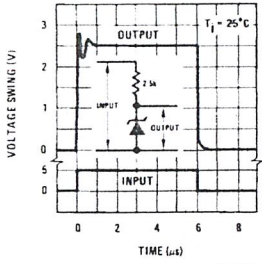
DS006715-22

Dynamic Impedance



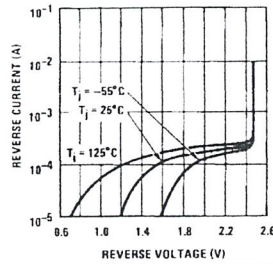
DS006715-23

Response Time



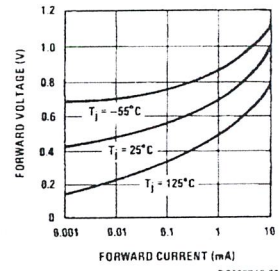
DS006715-24

Reverse Characteristics



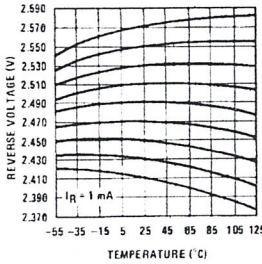
DS006715-25

Forward Characteristics



DS006715-26

Temperature Drift



DS006715-27

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/K. With less than 1 Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μ A to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

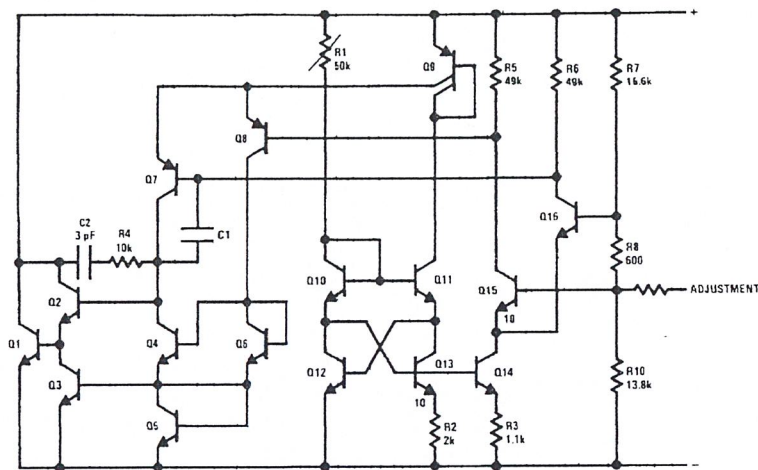
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μ A to 5 mA
- Less than 1 Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

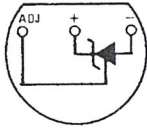
Schematic Diagram



DS005698-1

Connection Diagrams

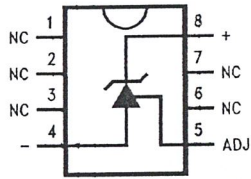
TO-92
Plastic Package



DS005698-8

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

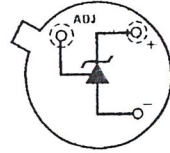
SO-8
Surface Mount Package



DS005698-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS005698-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-MIL, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H

Absolute Maximum Ratings (Note 4)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/khr

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

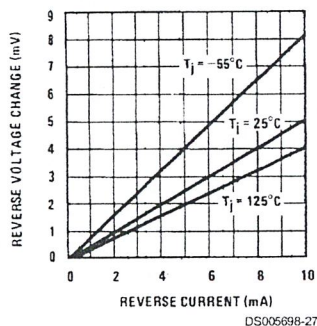
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

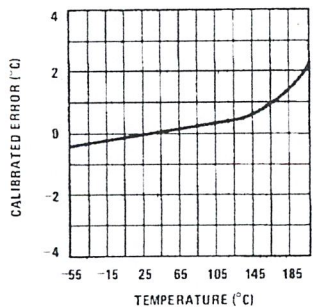
Typical Performance Characteristics

Reverse Voltage Change



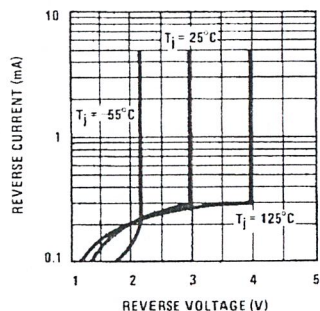
DS005698-27

Calibrated Error



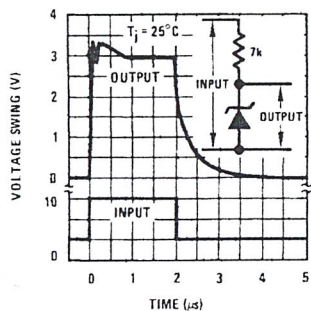
DS005698-28

Reverse Characteristics



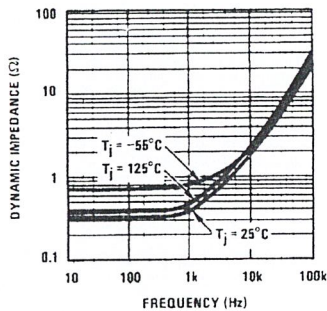
DS005698-29

Response Time



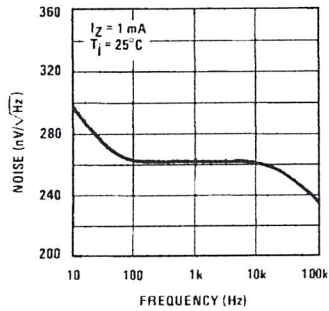
DS005698-30

Dynamic Impedance



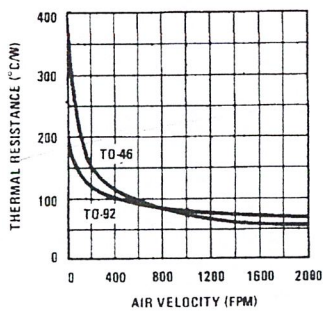
DS005698-31

Noise Voltage



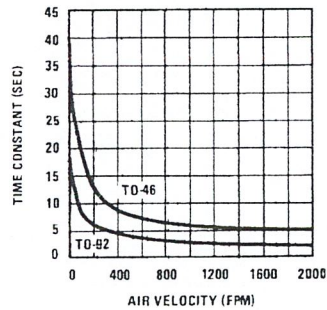
DS005698-32

Thermal Resistance Junction to Air



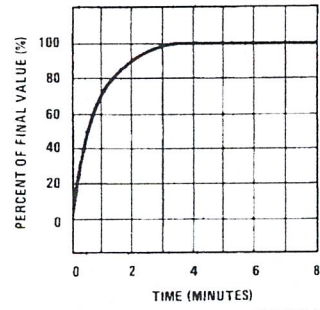
DS005698-33

Thermal Time Constant



DS005698-34

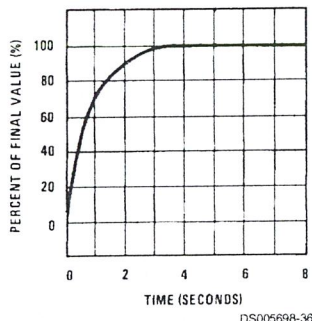
Thermal Response in Still Air



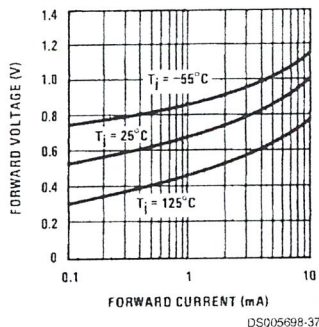
DS005698-35

Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

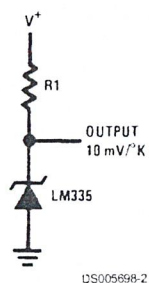
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

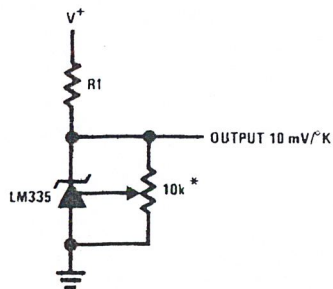
Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

Typical Applications

Basic Temperature Sensor

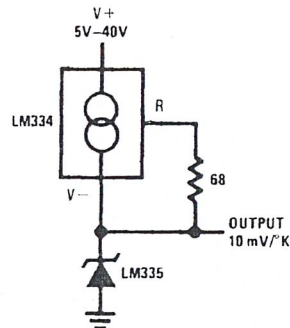


Calibrated Sensor



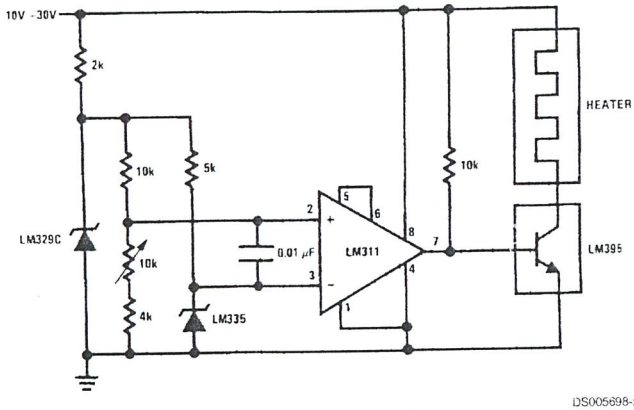
*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply

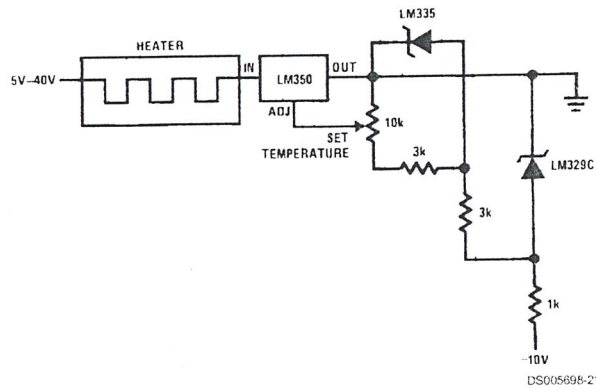


Typical Applications (Continued)

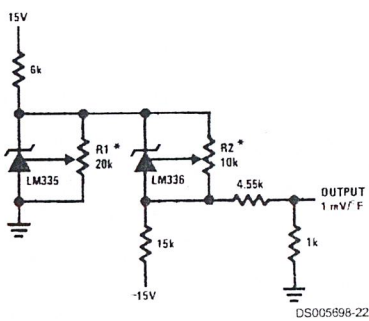
Simple Temperature Controller



Simple Temperature Control

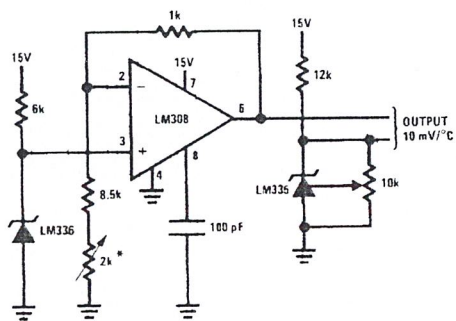


Ground Referred Fahrenheit Thermometer



*Adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

Centigrade Thermometer



*Adjust for 2.7315V at output of LM308

ภาคผนวก ข

```

DATA EQU P0
RS EQU P2.4
RW EQU P2.5
EN EQU P2.6
P_CON EQU 0403H
P_C EQU 0402H
P_B EQU 0401H
P_A EQU 0400H
ORG 0000H

CLR P1.2
CLR P1.3
CLR P1.7
CLR P1.6
SETB P1.6
MOV TMOD,#01000100B
LCALL DELAY_100MS
LCALL DELAY_100MS
LCALL DELAY_100MS
LCALL DELAY_100MS
LCALL DELAY_100MS
CLR P1.6
CLR P1.5
CLR P1.4

MOV R0,#00H ;FOR KEEP NUMBER
MOV DATA,#00H
MOV DPTR,#P_CON
MOV A,#91H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#P_A

```

```

MOV    A,#00H

MOVX   @DPTR,A
MOV    52H,#00H
MOV    53H,#00H
MOV    54H,#00H
MOV    68H,#00H
MOV    69H,#00H
LCALL  START_T1
LCALL  START_H
LCALL  DISPLAY_5
LCALL  DELAY_1S
LCALL  DELAY_1S

;##### BEGIN #####
START:  ACALL    DISPLAY_1
        MOV     R2,#01H
        LCALL  DELAY_1S
TEMP:   ACALL    DISPLAY_2
        MOV     R2,#02H
        MOV     R3,#00H

;##### KEY TEMP #####
        LCALL  SCAN           ; SCAN FOR FIRST KEY TEMP
        MOV    50H,R0         ; KEEP THE FIRST NUMBER OF TEMP
        LCALL  PLUS
        MOV    3BH,A          ;SHOW WITH LCD
TEMP_1: MOV    R3,#01H
        LCALL  SHOW
        LCALL  SCAN           ;SCAN FOR SECOND TEMP
        MOV    51H,R0         ;KEEP THE SECOND NUMBER OF TEMP
        LCALL  PLUS

```

```

MOV 3CH,A
TEMP_11: MOV R3,#02H
LCALL SHOW
LCALL DELAY_1S
;#####KEY HUMID#####
HUMID: LCALL DISPLAY_3
MOV R2,#03H
LCALL SCAN
MOV 60H,R0
LCALL PLUS
MOV 3BH,A
HUMID_1: LCALL SHOW
LCALL SCAN
MOV 61H,R0
LCALL PLUS
MOV 3CH,A
MOV R3,#04H
LCALL SHOW
;##### END OF FIRST DISPLAY #####
LCALL C_HUMID ;FIND SETPOINT
LCALL C_TEMP ;FIND SETPOINT
START_CON: LCALL START_H ;MEASURE HUMID
LCALL START_T ;MEASURE TEMP
LCALL DISPLAY_5 ;DISPLAY TEMP&HUMID
LJMP CONTROL_H ;CONTROL HUMID
;#####CHANGE VALUE HUMID#####
C_HUMID: MOV A,#09H
CLR CY
SUBB A,60H
LCALL CHECK_00

```

```

MOV  A,61H
ANL  A,#00001111B
MOV  61H,A
MOV  A,R1
ADD  A,61H
ADD  A,#01H
MOV  69H,A           ;KEEP THE HI SETPOINT OF TEMP
MOV  A,69H
SUBB A,#02H
MOV  6DH,A           ;KEEP THE LOW SETPOINT
RET

```

#####MEASURE HUMID#####

```

START_H:  MOV  TH0,#00H
          MOV  TL0,#00H
          SETB TR0
GATE_EN:  MOV  R7,#100
GATE_EN1: MOV  R6,#10
GATE_EN2: MOV  R5,#0E6H
GATE_EN3: NOP
          NOP
          DJNZ R5,GATE_EN3
          DJNZ R6,GATE_EN2
          DJNZ R7,GATE_EN1
          CLR  TR0
          MOV  62H,TH0
          MOV  A,TL0
          ANL  A,#00011111B
          MOV  63H,A
          MOV  R4,#00H
COMP_TH:  MOV  A,R4

```

```

MOV DPTR,#TH0_TAB
MOVC A,@A+DPTR
CLR CY
SUBB A,62H ;TABLE-TH0
JZ COMP_TL
JB CY,FIX_H
COMP_TH2: INC R4
AJMP COMP_TH
COMP_TL: MOV A,R4
MOV DPTR,#TL0_TAB
MOVC A,@A+DPTR
CLR CY
SUBB A,63H
JZ FIX_H
JB CY,FIX_H
INC R4
AJMP COMP_TH
FIX_H: MOV A,R4
MOV DPTR,#HUMID_TAB
MOVC A,@A+DPTR
MOV 64H,A ;KEEP HUMIDO
SJMP START_H1
;#####RECIEVE HUMID1#####
START_H1: MOV TH1,#00H
MOV TL1,#00H
SETB TR1
GATE_EN0: MOV R7,#100
GATE_EN11: MOV R6,#10
GATE_EN21: MOV R5,#0E6H
GATE_EN31: NOP

```

```

NOP
DJNZ R5,GATE_EN31
DJNZ R6,GATE_EN21
DJNZ R7,GATE_EN11
CLR TR1
MOV 65H,TH1
MOV A,TL1
ANL A,#00011111B
MOV 66H,A
MOV R4,#00H
COMP_TH1: MOV A,R4
MOV DPTR,#TH1_TAB
MOVC A,@A+DPTR
CLR CY
SUBB A,65H ;TABLE-TH0
JZ COMP_TL1
JB CY,FIX_H1
COMP_TH11: INC R4
AJMP COMP_TH1
COMP_TL1: MOV A,R4
MOV DPTR,#TL1_TAB
MOVC A,@A+DPTR
CLR CY
SUBB A,66H
JZ FIX_H1
JB CY,FIX_H1
INC R4
AJMP COMP_TH1
FIX_H1: MOV A,R4
MOV DPTR,#HUMID_TAB

```

```

    MOVC A,@A+DPTR
    MOV  67H,A
    SJMP AVG_HUMID
AVG_HUMID: MOV  A,64H
    ADD  A,67H
    MOV  B,#02H
    DIV  AB
    MOV  68H,A
    LCALL DISPLAY_H
    RET

```

```

;#####START CONTROL TEMP#####

```

```

C_TEMP:  MOV  A,#09H
    CLR  CY
    SUBB A,50H
    LCALL CHECK_00
    MOV  A,51H
    ANL  A,#00001111B
    MOV  51H,A
    MOV  A,R1
    ADD  A,51H
    MOV  52H,A           ;KEEP THE SETPOINT OF TEMP
    RET

```

```

;#####MEASURE TEMP#####

```

```

START_T: SETB    P1.5           ;SET ANALOG SWITCH TEMP1
    LCALL    DELAY_100MS
    LCALL    DELAY_100MS
    LCALL    DELAY_100MS
    LCALL    DELAY_100MS
    LCALL    DELAY_100MS
    MOV  58H,#00H

```

```

MOV 59H,#00H
MOV 5AH,#00H
REC_TEMP: MOV DPTR,#P_A
MOVX A,@DPTR
MOV 53H,A ;KEEP VALUE FROM TEMP1
;##### CHANGE TO TEMP #####
MOV A,53H
MOV B,#05H
DIV AB
MOV 54H,B
SUBB A,#01H
MOV 53H,A ;KEEP VALUE OF TEMP1
MOV A,54H
CJNE A,#00H,SADE
MOV 54H,#08H
LJMP DISPLAY_T
SADE: SUBB A,#01H
MOV B,#02H
MUL AB
MOV 54H,A ;KEEP SADE OF TEMP1
LJMP DISPLAY_T
;#####
DISPLAY_T: MOV A,53H
MOV B,#0AH
DIV AB
MOV 59H,A ;KEEP NUMBER OF TEMP1
MOV B,#0AH
MUL AB
MOV 5AH,A
MOV A,53H

```

```

SUBB A,5AH
MOV 5AH,A ;KEEP NUMBER OF TEMP2
MOV R0,59H
LCALL PLUS
MOV 59H,A ;KEEP DISPLAY OF TEMP1
MOV R0,5AH
LCALL PLUS
MOV 5AH,A ;KEEP DISPLAY OF TEMP2
MOV R0,54H
LCALL PLUS
MOV 54H,A
RET

```

```

:#####CONTROL TEMP#####

```

```

CONTROL_T: MOV A,52H
          SUBB A,53H
          JZ FAN
          JB CY,OPEN_FAN ;DECREASE TEMP
          AJMP OPEN_FAN1 ;INCREASE TEMP
FAN:      MOV A,54H
          ANL A,#00001111B
          CJNE A,#00H,OPEN_FAN
          SJMP STOP_FAN
STOP_FAN: CLR P1.2
          CLR P1.7
          LJMP START_CON
OPEN_FAN1: SETB P1.7 ;INCREASE
          CLR P1.2
          LCALL START_T
          LCALL START_H
          LCALL DISPLAY_5

```

```

        LCALL CONTROL_T1
        LJMP CONTROL_H
OPEN_FAN: CLR P1.7                ;DECREASE
        SETB P1.2
        LCALL START_H
        LCALL START_T
        LCALL DISPLAY_5
        LCALL CONTROL_T1
        LJMP CONTROL_H
CONTROL_T1: MOV A,52H
        SUBB A,53H
        JZ FAN1
        JB CY,OPEN_FAN2          ;DECREASE TEMP
        AJMP OPEN_FAN3          ;INCREASE TEMP
FAN1:    MOV A,54H
        ANL A,#00001111B
        CJNE A,#00H,OPEN_FAN2
        SJMP STOP_FAN1
STOP_FAN1: CLR P1.2
        CLR P1.7
RETURN:  LCALL START_H
        LCALL START_T
        LCALL DISPLAY_5
        RET
OPEN_FAN2: SETB P1.2
        CLR P1.7
        AJMP RETURN
OPEN_FAN3: CLR P1.2
        SETB P1.2
        AJMP RETURN

```

CONTROL H

```
CONTROL_H:      MOV  A,69H
                SUBB A,68H                ;SETPOINT-AVERAGE
                JZ   CHECK_LOW
                JB   CY,OPEN_FANG
                AJMP CHECK_LOW
CHECK_LOW:      MOV  A,6DH                ;LOW SETPOINT
                SUBB A,68H
                JZ   STOP_FOG
                JB   CY,STOP_FOG
                AJMP OPEN_FOG
STOP_FOG:      CLR  P1.3
                CLR  P1.7
                LCALL START_T
                LCALL START_H
                LCALL DISPLAY_5
                AJMP CONTROL_T
OPEN_FOG:      SETB P1.3
                CLR  P1.7
                LCALL START_H
                LCALL START_T
                LCALL DISPLAY_5
                AJMP CONTROL_T
OPEN_FANG:     CLR  P1.3
                SETB P1.7
                LCALL START_T
                LCALL START_H
                LCALL DISPLAY_5
                AJMP CONTROL_T
```

#####

```

DISPLAY_H: MOV A,68H
           MOV 6CH,68H
           MOV B,#0AH
           DIV AB
           MOV 6AH,A           ;KEEP FIRST NUMBER OF HUMID
           MOV A,6AH
           MOV B,#0AH
           MUL AB
           MOV 6BH,A
           MOV A,6CH
           SUBB A,6BH
           MOV 6BH,A           ;KEEP SECOND NUMBER OF HUMID
           MOV R0,6AH
           LCALL PLUS
           MOV 6AH,A
           MOV R0,6BH
           LCALL PLUS
           MOV 6BH,A
           RET                 ;BACK TO LCALL DISPLAY_H
;##### END MAIN#####
CHECK_00:  CJNE A,#00H,CHECK_10
           MOV R1,#5AH
           RET
CHECK_10:  CJNE A,#01H,CHECK_20
           MOV R1,#50H
           RET
CHECK_20:  CJNE A,#02H,CHECK_30
           MOV R1,#46H
           RET
CHECK_30:  CJNE A,#03H,CHECK_40

```

```

MOV R1,#3CH
RET
CHECK_40: CJNE A,#04H,CHECK_50
MOV R1,#32H
RET
CHECK_50: CJNE A,#05H,CHECK_60
MOV R1,#28H
RET
CHECK_60: CJNE A,#06H,CHECK_70
MOV R1,#1EH
RET
CHECK_70: CJNE A,#07H,CHECK_80
MOV R1,#14H
RET
CHECK_80: CJNE A,#08H,CHECK_90
MOV R1,#0AH
RET
CHECK_90: MOV R1,#00H
RET
;#####DISPLAY#####
DISPLAY_1: MOV 30H,#' '
MOV 31H,#' '
MOV 32H,#' '
MOV 33H,#' '
MOV 34H,#'W'
MOV 35H,#'E'
MOV 36H,#'L'
MOV 37H,#'C'
MOV 38H,#'O'
MOV 39H,#'M'

```

```
MOV 3AH,#'E'  
MOV 3BH,#00100001B  
MOV 3CH,#' '  
MOV 3DH,#' '  
MOV 3EH,#' '  
MOV 3FH,#' '  
LJMP SHOW
```

```
#####
```

```
DISPLAY_2: MOV 30H,#'T'
```

```
MOV 31H,#'E'  
MOV 32H,#'M'  
MOV 33H,#'P'  
MOV 34H,#'E'  
MOV 35H,#'R'  
MOV 36H,#'A'  
MOV 37H,#'T'  
MOV 38H,#'U'  
MOV 39H,#'R'  
MOV 3AH,#'E'  
MOV 3BH,#' '  
MOV 3CH,#00111111B  
MOV 3DH,#11011111B  
MOV 3EH,#'C'  
MOV 3FH,#' '  
LJMP SHOW
```

```
#####
```

```
DISPLAY_3: MOV 30H,#' '
```

```
MOV 31H,#' '  
MOV 32H,#'H'  
MOV 33H,#'U'
```

```
MOV 34H,#'M'  
MOV 35H,#'I'  
MOV 36H,#'D'  
MOV 37H,#'I'  
MOV 38H,#'T'  
MOV 39H,#'Y'  
MOV 3AH,#' '  
MOV 3BH,#' '  
MOV 3CH,#' '  
MOV 3DH,#00100101B  
MOV 3EH,#' '  
MOV 3FH,#' '  
LJMP SHOW
```

```
#####
```

```
DISPLAY_5: MOV 30H,#'T'  
MOV 31H,#'E'  
MOV 32H,#'M'  
MOV 33H,#'P'  
MOV 34H,59H  
MOV 35H,5AH  
MOV 36H,#'.'  
MOV 37H,54H  
MOV 38H,#'H'  
MOV 39H,#'U'  
MOV 3AH,#'M'  
MOV 3BH,#'I'  
MOV 3CH,#'D'  
MOV 3DH,6AH  
MOV 3EH,6BH  
MOV 3FH,#00100101B
```

AJMP SHOW

#####

SHOW: LCALL DELAY_10MS

 LCALL WAIT_LCD

 LCALL INT_LCD

 LCALL CLEAR_LCD

 SETB EN

 CLR RS

 MOV DATA,#00H

 CLR EN

 LCALL WAIT_LCD

 MOV A,30H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,31H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,32H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,33H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,34H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,35H

 LCALL WRITE_TEXT

 LCALL LCD_BLINK

 MOV A,36H

```
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,37H
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#0C0H
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
MOV A,38H
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,39H
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3AH
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3BH
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3CH
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3DH
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3EH
LCALL WRITE_TEXT
```

```
LCALL LCD_BLINK
MOV A,3FH
LCALL WRITE_TEXT
LCALL LCD_BLINK
RET
```

```
#####
```

```
WAIT_LCD: SETB EN
CLR RS
SETB RW
MOV DATA,#0FFH
MOV A,DATA
JB ACC.7,WAIT_LCD
CLR EN
CLR RW
RET
```

```
INT_LCD: SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#38H
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#0EH
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#06H
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
```

```
RET
CLEAR_LCD: SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#01H
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
RET
WRITE_TEXT: SETB EN
SETB RS
MOV DATA,A
CLR EN
LCALL WAIT_LCD
RET
LCD_BLINK: SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#00001111B
CLR EN
ACALL WAIT_LCD
RET
LCD_OFF: SETB EN
CLR RS
MOV DATA,#00001000B
CLR EN
ACALL WAIT_LCD
RET
;#####
DELAY_1MS: MOV R6,#0E6H
DELAY_1MS_1: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_1MS_1
```

```

RET
DELAY_10MS: MOV R7,#010H
DELAY_10MS_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_10MS_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_10MS_2
DJNZ R7,DELAY_10MS_1
RET
DELAY_100MS: MOV R7,#100H
DELAY_100MS_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_100MS_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_100MS_2
DJNZ R7,DELAY_100MS_1
RET
DELAY_1S: MOV R5,#100
DELAY_1S_1: ACALL DELAY_10MS
DJNZ R5,DELAY_1S_1
RET
;#####
SCAN: MOV DPTR,#P_C
MOVX A,@DPTR
LCALL DELAY_1MS
MOVX A,@DPTR
LCALL DELAY_1MS
ANL A,#00001111B
LCALL DELAY_1MS
CJNE A,#00001111B,SCAN
SCAN_1: MOV R0,#00000001B
MOV A,#11100000B

```

```

MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY_1MS
MOVX A,@DPTR
JNB ACC.0,ROW_0
JNB ACC.1,ROW_1
JNB ACC.2,ROW_2
JNB ACC.3,ROW_3
INC R0
MOV A,#11010000B
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY_1MS
MOVX A,@DPTR
JNB ACC.0,ROW_0
JNB ACC.1,ROW_1
JNB ACC.2,ROW_2
JNB ACC.3,ROW_3
INC R0
MOV A,#10110000B
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY_1MS
MOVX A,@DPTR
JNB ACC.0,ROW_0
JNB ACC.1,ROW_1
JNB ACC.2,ROW_2
JNB ACC.3,ROW_3
SJMP SCAN_1

;#####
ROW_0:    RET
ROW_1:    MOV A,R0
          ADD A,#00000011B

```

```

MOV R0,A
RET
ROW_2:    MOV A,R0
          ADD A,#00000110B
          MOV R0,A
          RET
ROW_3:    CJNE R0,#00000010B,PRESS0
          MOV A,R0
          SUBB A,#00000010B
          MOV R0,A
          RET
PRESS0:   CJNE R0,#00000001B,PRESS0_1
          CJNE R2,#00000001B,TEMP_2
PRESS0_1: LJMP START                                ;KEY # FOR RESTART
TEMP_2:   CJNE R2,#02H,HUM
          CJNE R3,#00H,TEMP2_1
          LJMP START
TEMP2_1:  CJNE R3,#01H,TEMP2_2
          LJMP TEMP
TEMP2_2:  CJNE R3,#02H,HUM
          LJMP TEMP_1
HUM:     CJNE R3,#03H,HUM_1
          LJMP TEMP_11
HUM_1:   LJMP HUMID
;#####
PLUS:    MOV A,R0
          ADD A,#00110000B
          RET
TH0_TAB: DB 10111100B
          DB 10111010B

```

DB 10111001B
DB 10110111B
DB 10110110B
DB 10110100B
DB 10110010B
DB 10110001B
DB 10101111B
DB 10101110B
DB 10101100B
DB 10101111B
DB 10101010B
DB 10101000B
DB 10100111B
DB 10100110B
DB 10100100B
DB 10100011B
DB 10111010B
DB 10110000B
DB 10011111B
DB 10011110B
DB 10011101B
DB 10011100B
DB 10011010B
DB 10011001B
DB 10011000B
DB 10010111B
DB 10010110B
DB 10010101B
DB 10010100B

TL0_TAB: DB 00010101B

DB 00011110B
DB 00001001B
DB 00010101B
DB 00000001B
DB 00001110B
DB 00011101B
DB 00001100B
DB 00011100B
DB 00001100B
DB 00011110B
DB 00000000B
DB 00000011B
DB 00010111B
DB 00001011B
DB 00000000B
DB 00010110B
DB 00001101B
DB 00000100B
DB 00011100B
DB 00010100B
DB 00001101B
DB 00000111B
DB 00000001B
DB 00011100B
DB 00010111B
DB 00010011B
DB 00001111B
DB 00001100B
DB 00001001B
DB 00000111B

THI_TAB: DB 10110100B

DB 10110010B

DB 10110000B

DB 10101111B

DB 10101101B

DB 10101100B

DB 10101010B

DB 10101001B

DB 10100111B

DB 10100110B

DB 10100101B

DB 10100011B

DB 10100010B

DB 10100001B

DB 10011111B

DB 10011110B

DB 10011101B

DB 10011100B

DB 10011010B

DB 10011001B

DB 10011000B

DB 10010111B

DB 10010110B

DB 10010100B

DB 10010011B

DB 10010010B

DB 10010001B

DB 10010000B

DB 10001111B

DB 10001110B

DB 10001101B

TL1_TAB: DB 00000011B

DB 00001111B

DB 00011100B

DB 00001010B

DB 00011001B

DB 00001000B

DB 00011001B

DB 00001010B

DB 00011100B

DB 00001111B

DB 00000011B

DB 00010111B

DB 00001100B

DB 00000010B

DB 00011000B

DB 00001111B

DB 00000111B

DB 00000000B

DB 00011001B

DB 00010010B

DB 00001100B

DB 00000111B

DB 00000010B

DB 00011110B

DB 00011011B

DB 00011000B

DB 00010101B

DB 00010011B

DB 00010010B

DB 00010001B

DB 00010000B

HUMID_TAB: DB 02H

DB 06H

DB 09H

DB 0CH

DB 10H

DB 14H

DB 17H

DB 1AH

DB 1DH

DB 20H

DB 24H

DB 27H

DB 2AH

DB 2DH

DB 30H

DB 34H

DB 36H

DB 39H

DB 3CH

DB 3EH

DB 41H

DB 43H

DB 45H

DB 48H

DB 4AH

DB 4CH

DB 4EH

DB 50H

DB 52H

DB 54H

DB 55H

END