

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้งาน

DESIGN OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY METER

AND ITS APPLICATION



นายคาร์ณ เสนานูช
นายปรมวชิ ฤกษ์สฤกษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62481
วัน,เดือน,ปี.....18 ส.ค. 2549

b.....11822217
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY METER
AND ITS APPLICATION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

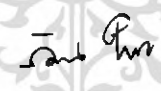

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2005

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้งาน
DESIGN OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY METER
AND ITS APPLICATION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายคำณ เสนานุช รหัสประจำตัว 45010085
นายปรมวชิ คุกุลสกุต รหัสประจำตัว 45010436
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท		ลายมือชื่อ
ผศ. อัมพวัน ใจกล้า		
รศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์		

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้งาน
DESIGN OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY METER
AND ITS APPLICATION

นักศึกษาคำนำ นายคำรณ เสนานุช รหัสประจำตัว 45010085
นายปรมวชิ สกุลสกุล รหัสประจำตัว 45010436

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อัมพวัน ใจกล้า
รศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเพื่อการประยุกต์ใช้งานในระบบไฮโดรโพนิคส์ การออกแบบหัวโพรบสามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดยใช้หลักการค่าความนำ และหลักการค่าเก็บประจุ จากผลการทดลองจะได้ว่า โพรบที่ออกแบบโดยพื้นฐานของหลักการค่าความนำมีความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างตัวมิเตอร์มากกว่า สมรรถนะของมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นศึกษาได้จากการวัดค่าของสารละลายมาตรฐาน โดยมิเตอร์ที่นำเสนอนั้นสามารถแสดงค่าได้ 2 หลักบน 7 เซกเมนต์ ซึ่งผลการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Electrical Conductivity Meter and Its Application	
Authors	Mr. Kumron	Senanuch
	Mr. Paramawajee	Sukonsakoon
Thesis Advisor	Asst.Prof. Amphawan	Chaikla
	Assoc.Prof. Prasit	Julsereewong
Year	2005	

ABSTRACT

This project presents the design of solution's electrical conductivity meter to apply for hydroponics system. The design of sensor falls into one of two categories: the conductance and capacitance principles. From experimental results, the conductance-based probe is more suitable to implement the EC meter. The performances of the developed meter were studied using measurement of standard solutions. The proposed meter can display 2 digits on 7 segments. Experimental results verifying the meter performances are agreed with the standard values.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยปราศจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.อัมพันธ์ ใจกล้า และ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ที่คอยดูแลให้ความเอาใจใส่ และสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อสงสัยในหลายๆ จุดแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณอาจารย์ธีรวัฒน์ เทพมณี สำหรับห้องทำโครงการและอุปกรณ์วัดที่ทันสมัยที่สุดในภาค ขอขอบคุณ รศ.ประภาส อุกคฤมาพันธุ์ และ ศศ.ไสว พงศ์สวัสดิ์ สำหรับคำแนะนำเรื่องวงจรต่างๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ทั้งสิ้น

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบและเครื่องมือมาตรฐาน

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ทุกสิ่งก้าวไปสู่ความสำเร็จ และขอบคุณเพื่อน ๆ 4J ที่อยู่เคียงข้างร่วมสุขและทุกข์ตลอด 4 ปี

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้จะก่อประโยชน์ให้แก่ผู้สนใจได้ไม่มากก็น้อย ขอบกพร่องผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว แต่คุณค่าและคุณประโยชน์ทั้งหมดที่มีอยู่ขอมอบไว้แก่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การปลูกพืชแบบโดยไม่ใช้ดิน	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ประวัติการปลูกพืชไม่ใช้ดิน.....	3
2.3 วิธีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน.....	5
2.4 ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน.....	8
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการออกแบบ.....	10
3.1 บทนำ.....	10
3.2 ทฤษฎีและหลักการออกแบบหัวโพรบ.....	12
3.2.1 หลักการค่าความนำ.....	12
3.2.2 หลักการตัวเก็บประจุ.....	13
3.3 การออกแบบหัวโพรบในโครงงาน.....	14
3.3.1 กล่าวนำ.....	14
3.3.2 หลักการค่าความนำ.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 หลักรการตัวเก็บประจุ.....	14
3.4 ทฤษฎีและหลักการออกแบบวงจรจัดการสัญญาณ.....	15
3.5 การออกแบบวงจรจัดการสัญญาณในโรงงาน.....	16
3.5.1 กล่าวนำ.....	16
3.5.2 วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator).....	16
3.5.3 วงจรแปลงสัญญาณไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ.....	18
3.5.4 วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ (Ripple Filter using capacitors).....	21
3.5.5 วงจรปรับสัญญาณ (Signal Condition).....	23
3.5.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter).....	24
3.5.7 ส่วนประมวลผล (Microcontroller).....	24
3.5.8 ส่วนแสดงผล.....	25
3.5.9 วงจรแปลงแรงดัน (Regulator).....	26
3.5.10 ส่วนควบคุมปั๊มน้ำ.....	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการเลือกหัวโพรบ.....	29
4.2 ผลทดลองจากโพรบที่ออกแบบโดยหลักการค่าความนำ.....	30
4.3 ผลทดลองจากโพรบที่ออกแบบโดยหลักการค่าเก็บประจุ.....	31
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	33
4.5 รายละเอียดของเครื่องมือวัดค่า EC ที่ได้ออกแบบ.....	34
4.5.1 ความแม่นยำ (Accuracy).....	34
4.5.2 ย่านการวัด (Range).....	36
4.5.3 ความจำแนกชัด (Resolution).....	37
4.5.4 ระยะเวลาการใช้งาน.....	37
4.5.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือ.....	38
4.5.6 วิธีการใช้งาน.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 สรุปผลการทดลอง.....	41
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งาน.....	42
5.1 การควบคุม.....	42
5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พื้นที่การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในปี ค.ศ. 1996 (Kao,1997).....	4
2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	8
3.1 ค่า EC ที่เหมาะสมกับการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ.....	11
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC กับแรงดันตกคร่อมหัวโพรบ.....	22
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานที่วัดได้จากหัวโพรบกับค่า EC.....	30
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่วัดได้กับค่า EC.....	31
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในการวัดค่า EC.....	32
4.4 ตัวแปรผกผันที่นำไปคำนวณ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	34
4.5 ค่าที่วัดได้จากส่วนแสดงผลเมื่อทดสอบกับน้ำยาคลิเบทที่มีค่า EC ต่างๆ.....	35
4.6 ระยะเวลาการใช้งานเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงจนหมดสำหรับถ่านก้อนที่จ่ายไฟลบ.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	3
2.2 การปลูกแบบบิโพรบให้รากลอยอยู่ในอากาศ.....	5
2.3 การปลูกในวัสดุปลูกโดยใช้แรงโน้มถ่วง.....	6
2.4 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร.....	7
3.1 EC Meter ที่มีใช้กันโดยทั่วไปซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ.....	10
3.2 หลักการค่าความนำในของเหลว.....	13
3.3 หลักการในการวัดค่าตัวเก็บประจุ.....	13
3.4 การออกแบบหัวโพรบที่ใช้หลักการค่าความนำทางไฟฟ้า.....	14
3.5 การออกแบบหัวโพรบที่ใช้หลักการค่าตัวเก็บประจุ.....	15
3.6 วงจรกำเนิดความถี่.....	16
3.7 สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่.....	18
3.8 วงจรแปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ.....	18
3.9 สัญญาณตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ.....	19
3.10 สัญญาณที่ออกมาจากวงจร RC คิฟเฟอเรนเชียล.....	20
3.11 วงจรลดแรงดันกระแสเพิ่มโดยใช้ตัวเก็บประจุ.....	21
3.12 สัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองลดแรงดันกระแสเพิ่ม โดยใช้ตัวเก็บประจุ.....	22
3.13 วงจรรับสัญญาณ.....	23
3.14 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D Converter).....	24
3.15 ส่วนประมวลผล (Microcontroller).....	25
3.16 ส่วนแสดงผล.....	25
3.17 วงจรแปลงแรงดัน (Regulator).....	26
3.18 วงจรของ Relay (FICA005V).....	26
3.19 แผนผังการนำสัญญาณจากหัวโพรบมาแสดงเป็นเลขดิจิตอล.....	27
3.20 วงจรจัดการสัญญาณ.....	28
3.21 วงจรแสดงค่า EC จากหัวโพรบ.....	28
4.1 น้ำยาкалиเบร EC Meter.....	29
4.2 EC Meter มาตรฐานที่ใช้ทำน้ำยาкалиเบร.....	29
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของหัวโพรบกับค่า EC.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่วัดได้จากหัวโพรบกับค่า EC.....	31
4.5 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าความต้านทาน.....	32
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC ที่แสดงกับค่า EC มาตรฐาน.....	35
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC ที่ผิดพลาดกับค่า EC มาตรฐาน.....	36
4.8 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือวัดค่า EC.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันผู้คนโดยทั่วไปนิยมให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพกันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ สะอาด และที่สำคัญคือต้องปลอดสารพิษ จึงมักเลือกรับประทานพืชผักที่ปลอดสารพิษเพิ่มมากขึ้นหรือแม้กระทั่งปลูกผักรับประทานเองที่บ้านเพื่อเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัย ในปัจจุบันระบบการปลูกพืชที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากคือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics) แต่กลับมีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมือวัดสัดส่วนปริมาณปุ๋ยในสารละลาย (น้ำปุ๋ย) หรือ EC Meter ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้มีราคาสูง ดังนั้นโครงการนี้จึงพยายามออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดนี้ขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. สามารถออกแบบหัวโพรบที่มีราคาถูกและมีสมรรถนะใกล้เคียงกับหัวโพรบที่นำเข้าจากต่างประเทศได้
2. สามารถนำค่าที่วัดได้จากหัวโพรบไปแสดงค่าเป็นเลขดิจิตอล 2 หลักด้วย 7 segments ได้ เช่น 1.2 mS/cm
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนแรกศึกษาทฤษฎีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินทางอินเทอร์เน็ต แล้วศึกษาการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในสถานที่จริง คือ “ศูนย์เกษตรบางไทร”, “บริษัท เอซีเค ไฮโดรฟาร์ม จำกัด” และโครงการในพระราชดำริ “Golden Place” ทำให้ทราบลักษณะของหัวโพรบที่เหมาะสมกับการปลูกพืชจริงนอกเหนือจากทฤษฎี พร้อมทั้งหาข้อมูลเกี่ยวกับ EC Meter ซึ่งจะเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือวัดต่อไป (ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 และ 3) หลังจากนั้นศึกษาวิธีการออกแบบหัวโพรบแล้วทำการจัดเตรียมและหาซื้ออุปกรณ์ตามที่ต้องการ แล้วทำการออกแบบหัวโพรบตามหลักการและทฤษฎีที่ได้ศึกษาด้วยโปรแกรม AutoCAD ทำการกัดชิ้นงานและประกอบเข้าเป็นหัวโพรบตามที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งมีอยู่หลายแบบ

ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการทดลองด้วยการอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้ โดยทำการทดลองตามหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อเลือกหัวโพรบที่ถูกออกแบบจากหลักการที่ดีที่สุด แล้วนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวโพรบนั้นไปทำการทดสอบต่อเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการวัด แล้วทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนในส่วนของวงจรจัดการสัญญาณ โดยเริ่มจากเลือกแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อการวัด แล้วทำการตั้งสัญญาณจากหัวโพรบส่งไปประมวลผลยังไม่โครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลเป็น 7 segments ตามต้องการ

ในส่วนขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนการหารายละเอียดเกี่ยวกับหัวโพรบที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมกับหาแนวทางในการนำหัวโพรบไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เกษตรกรหรือผู้คนที่ทั่วไปสามารถนำเครื่องมือวัดที่ได้สร้างขึ้นจากโครงงานนี้ไปใช้งานได้จริงและมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดจากต่างประเทศ อันจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปกับการใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ดังภาพที่ 2.1 [1] กำลังได้รับความนิยมสูงมาก เนื่องจากการปลูกพืชผักสวนครัวที่สามารถปลูกได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องดูแลรักษามาก และที่สำคัญเป็นการปลูกพืชแบบปลอดสารพิษ



ภาพที่ 2.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.2 ประวัติการปลูกพืชไม่ใช้ดิน [2]

การปลูกพืชไร้ดินเริ่มในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยทหารอเมริกันที่อยู่ตามเกาะต่าง ๆ จำเป็นต้องมีผักสดบริโภค แต่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำจืด ตลอดจนสภาพดินไม่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก ทางสหรัฐอเมริกาจึงได้หาแนวทางการปลูกพืชผักโดยไม่ใช้ดิน โดยทำกระบะคอนกรีตและใช้กรวดเป็นวัสดุปลูก และให้ปุ๋ยในรูปสารละลาย ส่วนในยุโรปเริ่มจากการปลูกในดินพีท (peat) โดยใส่ลงไปนกระถางและใช้ถาดรองบรรจุปุ๋ยในรูปสารละลาย นิยมใช้ในการปลูกไม้ดอก ต่อมาในปี ค.ศ.1967 ได้พัฒนาใช้ดินพีทบรรจุลงเป็นวัสดุปลูก (peat bag or gro bag) มะเขือเทศและให้ปุ๋ยในระบบน้ำหยดหรือให้น้ำไหลผ่านก้นถุงบาง ๆ จำนวน 20 ไร่ ต่อมาในปี ค.ศ.1974 ได้ขยายพื้นที่ปลูกเป็น 1000 ไร่ ในปี ค.ศ.1973 เดนมาร์กได้ศึกษาการปลูกผักโดยใช้วัสดุสังเคราะห์ (rock wool) เป็นวัสดุปลูกซึ่งต่อมานิยมใช้อย่างแพร่หลายในยุโรปตอนใต้ วิธีการปลูกพืชไร้ดินอีกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำ หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-254-2000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีหนึ่งที่ถูกนิยมใช้กันมากคือ nutrient film technique (NFT) ซึ่งค้นพบโดย Dr.Cooper จาก Glasshouse Crops Research Institute, Littlehamton, England. อาศัยหลักการปล่อยสารละลายให้ไหลหมุนเวียนผ่านรากพืชเป็นชั้นบาง ๆ ในสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะแถบอริโซนา เริ่มทำงานวิจัยและปลูกผักในสารละลายเป็นการค้า ในต้นปี ค.ศ.1970 แต่ส่วนใหญ่จะไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากขาดความรู้ทางวิชาการ ประสบการณ์ การจัดการ และทางด้านวิศวกรรม จากการมุ่งค้นคว้าวิจัยอย่างจริงจัง ทั้งทางอเมริกา ยุโรป โดยเฉพาะประเทศฮอลแลนด์ แต่ภายหลังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างได้ผลในแถบตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา จึงทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังได้ทำการวิจัยด้าน Aeroponics เพื่อใช้ปลูกผักบนสถานีอวกาศในอนาคต

ตารางที่ 2.1 พื้นที่การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในปี ค.ศ. 1996 (Kao,1997)

COUNTRY	PRODUCTION AREA (ha*)	COUNTRY	PRODUCTION AREA (ha)
Holland	3700	Italy	60
Israel	650	USA	65
France	620	Portugal	45
Spain	510	Taiwan	50
United Kingdom	510	Bulgaria	32
Belgium	420	Ireland	30
Japan	550	Switzerland	25
South Africa	440	Finland	17
Germany	260	Greece	20
Australia	220	Poland	20
Canada	220	China	40
Russia	170	Singapore	3
America	22	Thailand	1
New Zealand	110	Hong Kong	1
Sweden	110		

* 1 ha = 1 hectare = 10,000 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

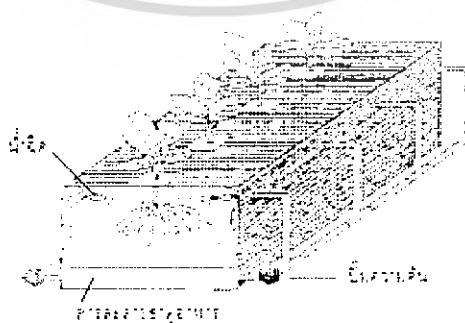
ในการปลูกพืชโดยปกติทั่วไปมักจะมีปัญหาเรื่องโรคและแมลงต่าง ๆ มากมาย ซึ่งปัญหาส่วนหนึ่งมาจากดินที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องโรคต่าง ๆ ได้ ทำให้ได้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ และผลผลิตมีความสม่ำเสมอ ถ้าสามารถวางแผนการปลูกได้ และกำหนดปริมาณการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายหรือความต้องการของตลาดได้ดีกว่า ที่สำคัญในขณะนี้คือผลผลิตสามารถขายได้ราคา

เทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ตรงกับคำในภาษาอังกฤษคือ Hydroponics โดย W.F.Gericke มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เป็นคนตั้งขึ้นจากคำในภาษากรีก 2 คำคือ Hydro ที่แปลว่า น้ำ (Water) และ Ponos ที่แปลว่า ทำงานหรือแรงงาน (Labor) รวมกันเป็น การทำงานที่เกี่ยวกับน้ำ (Water Working)

2.3 วิธีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน [3]

ปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีอยู่มากมายหลายระบบ เนื่องจากมีการพัฒนากันมาเป็นเวลานาน ให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของประเทศต่าง ๆ อย่างไรก็ตามระบบต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้น มีพื้นฐานมาจากระบบหลัก ๆ ตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารแก่บริเวณรอบ ๆ รากพืช 3 ระบบ ได้แก่

1. **แบบปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (Aeroponics)** เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ส่วนรากของพืชจะแขวนห้อยกลางอากาศลอยอยู่ภายในกล่องหรือตู้ที่เป็นห้องมืด (ภาพที่ 2.2) จากนั้นจึงเติมธาตุอาหารแก่รากพืชด้วยการใช้ปั๊มอัดผ่านหัวฉีด ฉีดพ่นสารละลายให้เป็นฝอยละเอียด เป็นระยะ ๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง ร้อยละ 95-100 ข้อดีของระบบนี้คือ รากพืชไม่ขาดออกซิเจนและจะเจริญเติบโตได้เต็มที่ แต่ข้อเสียของระบบนี้คือ ตู้ปลูกมักมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก และต้องลงทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูง จึงมักใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาทางสรีระวิทยาของพืชหรือใช้ระบบขนาดเล็กเพื่อปลูกพืชเป็นงานอดิเรกมากกว่าที่จะใช้ในเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไม่เหมาะสมประการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **แบบปลูกในวัสดุปลูก (Substrate Culture)** เป็นการปลูกในลักษณะที่คล้ายกับการปลูกพืชบนดินมากที่สุด การดูแลรักษาจึงคล้ายกับการปลูกพืชในกระถาง แต่ใช้วัสดุปลูกอื่นแทนดินเพื่อให้รากพวงลำต้นอยู่ได้ การปลูกในวัสดุปลูกปริมาณของวัสดุปลูกจะน้อยกว่าดินมาก คือรากพืชจะมีพื้นที่ในการหาน้ำและอาหารไม่เกิน 5 ลิตรต่อต้น ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับน้ำและธาตุอาหารจะต้องดูแลเป็นพิเศษ ต้องควบคุมปริมาณน้ำในวัสดุปลูกให้เหมาะสม โดยนอกจากใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้น้อย มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องควบคุมการให้สารละลาย ต้องระวังไม่ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้งจนไม่มีความชื้นเหลืออยู่ เพราะถ้าแห้งถึงระดับหนึ่งรากอาจไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ ทำให้เกิดความเสียหายได้ วิธีที่เหมาะสมคือ ให้น้ำและธาตุอาหารครั้งละน้อยๆ แต่ให้บ่อยๆ ด้วยเหตุนี้ทำให้เองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น สูตรและความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะต้องเหมาะสมกับชนิดพืช ช่วงการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ ก่อนปลูกควรปรับ pH ของวัสดุปลูกให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเจือจาง ข้อควรระวังอีกอย่างหนึ่ง คือต้องเก็บเศษรากพืชที่เหลือออกจากวัสดุปลูกให้หมดเมื่อต้องเริ่มปลูกพืชครั้งใหม่



ภาพที่ 2.3 การปลูกในวัสดุปลูกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

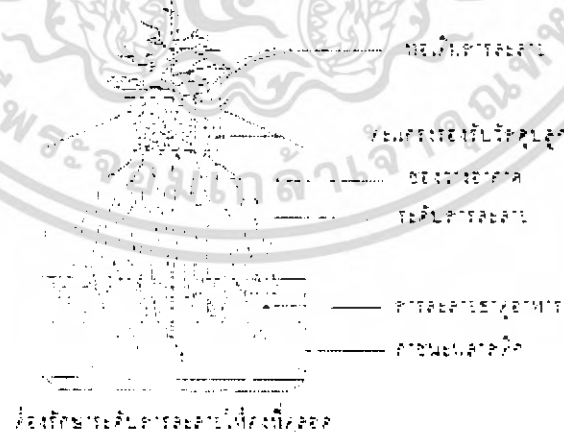
3. **แบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร (Liquid Culture)** เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินซึ่ง

ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่น ๆ และใช้ได้ดีในที่มีแคดจัด วิธีการหลักคือการนำรากพืชจุ่มลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารละลายโดยตรง รากพืชไม่มีการเกาะยึดกับวัสดุใด ๆ ยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ดังนั้นจึงมักใช้การยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นไว้แทนเป็นการรองรับรากของต้นพืชเพื่อการทรงตัว

หลักการนำรากพืชจุ่มในสารละลายและข้อสังเกตในการปลูกพืชในน้ำ คือ ปกติถ้านำต้นพืชที่ขึ้นอยู่บนดินมาวางแช่น้ำ ในระยะแรกต้นพืชจะยังสามารถเจริญงอกงามต่อไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งกลับพบว่า ต้นพืชที่เจริญต่อไปนั้นกลับแสดงอาการเหี่ยวเฉา โดยสาเหตุมาจากเมื่อรากพืชแช่อยู่ในน้ำนาน ๆ จะเกิดการขาดออกซิเจนจึงทำให้พืชเฉาตาย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีหลักและเทคนิควิธีการที่แตกต่างจากวิธีอื่น คือต้องพัฒนารากพืชในต้นเดียวกันนั้นให้สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่พร้อม ๆ กัน คือ รากดูดออกซิเจน (oxygen roots) และรากดูดน้ำและธาตุอาหาร (water nutrient roots)

การจะทำให้รากพืชทำงานได้ทั้ง 2 หน้าที่นั้น ต้องพยายามให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสกับอากาศได้โดยตรงบริเวณโคนราก (ส่วนนี้ต้องให้มีช่องว่างของอากาศไว้สำหรับให้รากหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป และอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย) ซึ่งหลักการคือ รากส่วนที่มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารสามารถพัฒนาเป็นรากดูดอากาศได้ แต่รากดูดอากาศจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นรากดูดน้ำและแร่ธาตุได้ ดังนั้นจึงต้องไม่เติมสารละลายทั่วมารากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดอากาศ เพราะพืชจะไม่สามารถดูดออกซิเจนและตายได้ในที่สุด ด้วยหลักการดังกล่าวต้นพืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เน่าตาย และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืชบางชนิด ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระดับของสารละลาย ให้มีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช



ภาพที่ 2.4 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน [4]

เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีการจัดปัจจัยต่าง ๆ เช่น น้ำ แร่ธาตุ แสงและอุณหภูมิ ให้แก่พืชอย่างเหมาะสม พืชจึงเจริญเติบโตเร็ว และให้ผลผลิตมากกว่าเสมอ สะอาด มีคุณภาพดี ปลูกได้ต่อเนื่องตลอดปี สามารถปลูกพืชได้ในพื้นที่ไม่มีดิน หรือมีดินไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช การให้น้ำใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้แรงงานน้อย การควบคุมโรค แมลงศัตรูพืชทำให้ง่ายกว่า ข้อเสียมักจะเป็นเรื่องการลงทุนในระยะแรก มีการลงทุนสูง แต่ในระยะยาวนับว่าน่าลงทุน ดังสรุปในตารางที่ 2.2

เพราะความต้องการในตลาดปัจจุบันมีแนวโน้มการบริโภคที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากขึ้นทุกวัน จะสังเกตเห็นได้ว่า ราคาผักทั่วไปในตลาดสดและราคาผักที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินมีราคาที่แตกต่างกันมาก

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน [5]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ในบริเวณพื้นที่ไม่ดี หรือ สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก	1. การลงทุนเริ่มต้นสูงกว่าการปลูกบนดิน
2. ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกที่สูงกว่าและสามารถทำการผลิตได้สม่ำเสมอและต่อเนื่อง	2. ผู้ปลูกต้องมีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคการปลูกพืชแบบไร้ดินเป็นอย่างดีและมีประสบการณ์มากพอในการควบคุมดูแล
3. อัตราการใช้แรงงานเวลาในการปลูกและค่าใช้จ่ายต่ำกว่า	3. ต้องการการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ
4. ใช้น้ำและแร่ธาตุได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ เช่น ใช้น้ำลดลงถึง 10 เท่าตัวของการปลูกแบบธรรมดา	4. เป็นสิ่งใหม่สำหรับเกษตรกรที่ต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจ
5. ประหยัดเวลาและแรงงานในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช	
6. ลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันและกำจัดแมลงได้ 100%	
7. สามารถปลูกได้ในเมืองเพราะใช้พื้นที่น้อยทำให้ประหยัดค่าขนส่ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
8. ผลผลิตมีคุณภาพและไม่มีสารพิษตกค้าง และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน	
9. ผลผลิต คุณภาพ และราคา ดีกว่าการปลูกบนดินมากเพราะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การเจริญเติบโตของพืช ได้อย่างถูกต้อง แน่นนอนและรวดเร็ว	
10. ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ เช่น สารเคมีตกค้างในดิน การบุกรุกทำลายป่า เป็นต้น	
11. คนพิการก็สามารถทำการปลูกได้ เป็นการส่งเสริมอาชีพให้กับผู้ด้อยโอกาส	
12. เป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรรุ่นใหม่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและการออกแบบ

3.1 บทนำ

สิ่งสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน คือ น้ำปุ๋ย ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำและแร่ธาตุ โดยการเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับว่าพืชนั้นได้รับปริมาณสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ วิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารอาหารนั้นก็คือ การวัดความเข้มข้นของสารละลายโดยอาศัยหลักของค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ยิ่งค่า EC มากยิ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายยิ่งมาก นั่นคือปริมาณสารอาหารก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเครื่องมือที่จะนำมาวัดค่าความนำไฟฟ้าจึงถูกเรียกว่า “EC Meter” นั้นเองดังตัวอย่างในภาพที่ 3.1 โดยค่า EC จะมีหน่วยเป็น Millimhos ต่อ Centimeter (mMho/cm) หรือ Millisiemen ต่อ Centimeter (mS/cm) ซึ่งทั้งสองหน่วยเป็นหน่วยที่เทียบเท่ากัน



ภาพที่ 3.1 EC Meter ที่มีใช้กัน โดยทั่วไปซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเข้มข้นของสารละลายไม่เท่ากัน นั่นคือ ค่า EC ที่เหมาะกับพืชแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน แต่จะอยู่ในช่วง 1.0 – 4.0 mS/cm ดังแสดงในตารางที่ 3.1 [6]

ตารางที่ 3.1 ค่า EC ที่เหมาะสมกับการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ

ชื่อพืชผล	ค่า EC (mS/cm)	ชื่อพืชผล	ค่า EC (mS/cm)
หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus)	1.4 – 1.8	หัวหอม (Onions)	1.4 – 1.8
ถั่วเหลือง (Bean (common))	2.0 – 4.0	ผักถอย (Pak Choi)	1.5 – 2.0
ถั่วแระ (Broad Bean)	1.8 – 2.2	ถั่วชนิดเล็ก เช่น ถั่วถัสนเตา (Pea)	1.0 – 1.8
บรอกโคลี (Broccoli)	2.8 – 3.5	มันฝรั่ง (Potatoes)	2.0 – 2.5
กะหล่ำปลี (Cabbage)	2.5 – 3.0	ข้าวโพดหวาน (Sweet Corns)	1.5 – 2.5
พริกชี้หนูและพริกชี้ฟ้า (Capsicum)	2.0 – 2.5	มะเขือเทศ (Tomatoes)	2.0 – 5.0
แครอท (Carrots)	1.5 – 2.0	ผักซุกินี (Zucchini)	1.8 – 2.5
กะหล่ำดอก (Cauliflower)	1.5 – 2.0	สับปะรด (Pincapple)	2.0 – 2.5
ผักเซลเลอรี (ไม้ตระกูลตีน- ฉายดอกใช้รับประทานได้)	2.0 – 2.5	สตอเบอรี่ (Strawberries)	2.0 – 2.5
แตงกวา (Cucumber)	2.0 – 2.5	แตงโม (Watermelon)	1.8 – 2.5
มะเขือยาวหรือม่วง (Eggplant)	2.5 – 3.5	เบญจมาศ (Chrysanthemum)	1.8 – 2.5
กระเทียม (Garlic)	1.4 – 1.8	มินท์ (Mint , พืชจำพวก สะระแหน่)	2.0 – 2.5
ผักกาดหอม (Lettuces)	1.0 – 1.5	ผักชี (Parsley)	1.0 – 1.8

ดังนั้นหากต้องการวัดปริมาณสารอาหารจึงสามารถทำได้โดยการวัดค่า EC นั้นเอง ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่จะวัดค่า EC โดยใช้ EC Meter ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศในราคาประมาณ 3,000 – 4,000 บาท ซึ่งนับว่ามีราคาแพงเกินไป ดังนั้นหากสามารถผลิต EC Meter ได้ด้วยตัวเองในราคาที่ถูกลง และสามารถนำไปใช้งานได้ใกล้เคียงกับ EC Meter ที่นำเข้าจากต่างประเทศย่อมเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรและส่งเสริมให้คนทั่วไปสามารถปลูกพืชผักสวนครัวที่ปลอดสารพิษรับประทานได้ด้วยตนเองที่บ้าน

หลักการและทฤษฎีในการออกแบบ EC Meter ในโครงการได้ศึกษา 2 หลักการ [6] คือ หลักการของค่าความนำ และหลักการของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทฤษฎีและหลักการออกแบบหัวโพรบ

3.2.1 หลักการค่าความนำ

ค่าความนำ (Conductance : G) ในหน่วยซีเมนส์ (S) ที่เกิดขึ้นในสารละลายแต่ละชนิด สามารถพิจารณาได้ด้วยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) ดังนี้

$$E = IR \quad (3.1)$$

เมื่อ E คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแส (A)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

เนื่องจาก

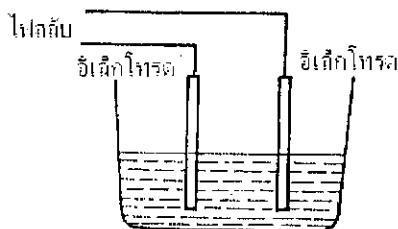
$$G = 1/R \quad (3.2)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการที่ (3.2) ลงในสมการที่ (3.1) จะได้ว่า

$$G = I/E \quad (3.3)$$

จากภาพที่ 3.2 เมื่อต่อแรงดันไฟฟ้า E ให้กับแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง ที่วางขนานกันและจุ่มอยู่ในของเหลว จะทำให้กระแส I ไหลผ่านระหว่างแท่งอิเล็กโทรดซึ่งเหมือนกับกรณีกระแสไหลผ่านตัวนำโลหะ แต่ในตัวนำโลหะนั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่วนตัวนำของเหลวนั้นกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของไอออน

จากสมการที่ (3.3) ถ้ากำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้า E คงที่ จะได้ว่าค่าความนำ G แปรผันตามค่ากระแส I (หรือการเคลื่อนที่ของไอออน)



ภาพที่ 3.2 หลักการค่าความนำในของเหลว

3.2.2 หลักการของตัวเก็บประจุ

จากภาพที่ 3.3 เมื่อนำแผ่นโลหะสองแผ่นวางขนานกัน โดยมีวัสดุฉนวนวางคั่นกลาง ครั้นเมื่อต่อขั้วออกจากแผ่นโลหะทั้งสอง ผลที่ได้ก็คือตัวเก็บประจุนั่นเอง ค่าของตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้จาก

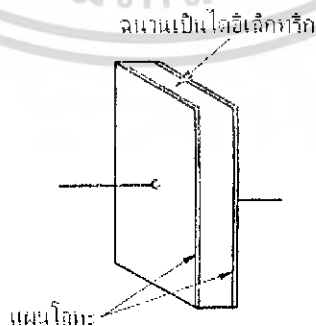
$$C = \epsilon A / d \quad (3.4)$$

เมื่อ ϵ เป็นค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (F/m)

A เป็นพื้นที่ผิวแผ่นโลหะ (m^2)

d เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ (m)

เมื่อกำหนดให้ค่าพื้นที่ A และค่าระยะห่าง d คงที่ จะทำให้ค่าตัวเก็บประจุ C แปรค่าตามค่าคงที่ ϵ ดังนั้นค่าของตัวเก็บประจุจะแปรผันไปตามความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง จึงสามารถใช้ค่าของตัวเก็บประจุนำมาใช้ตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป



หลักการของตัวเก็บประจุอย่างง่าย

ภาพที่ 3.3 หลักการในการวัดค่าตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

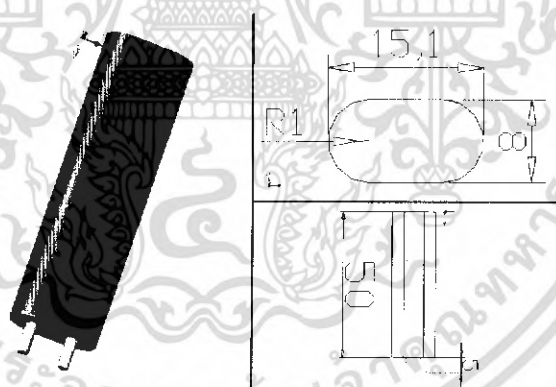
3.3 การออกแบบหัวโพรบในโรงงาน

3.3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบหัวโพรบ (Probe) จำเป็นจะต้องคำนึงถึงชิ้นส่วนหรือวัสดุที่มีการสัมผัสกับสารละลายเป็นหลัก ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรง ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารละลายและทนทานต่อการกัดกร่อน ดังนั้นจึงเลือกใช้สแตนเลสเป็นวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด และใช้แผ่นอะคริลิก (Acrylic) เป็นวัสดุที่ใช้ยึดแท่งอิเล็กโทรดทั้งสอง ในการออกแบบหัวโพรบจะใช้หลักการออกแบบในหัวข้อ 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.2 การออกแบบหัวโพรบจากหลักการค่าความนำทางไฟฟ้า

การออกแบบหัวโพรบโดยใช้หลักการค่าความนำทางไฟฟ้างดภาพที่ 3.4 ได้ใช้แท่งสแตนเลส ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm. จำนวน 2 แท่งแล้วก็นำไปเสียบกับแท่งอะคริลิก โดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางระหว่างทั้งสองแท่งมีระยะห่าง 10 mm. และส่วนของแท่งสแตนเลสที่ยื่นออกมาสัมผัสกับของเหลวหรือสารละลายมีความยาว 5 mm. หลังจากนั้นก็นำสายไฟ 2 เส้นมาทำการบัดกรีที่แท่ง สแตนเลสทั้งสองนี้เพื่อเป็นการนำสัญญาณที่ได้จากหัวโพรบเข้าสู่วงจรจัดการสัญญาณต่อไป

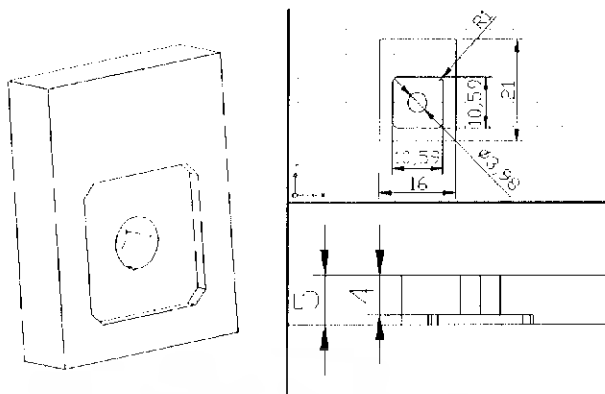


ภาพที่ 3.4 การออกแบบหัวโพรบที่ใช้หลักการค่าความนำทางไฟฟ้า

3.3.3 การออกแบบหัวโพรบจากหลักการของตัวเก็บประจุ

การออกแบบหัวโพรบโดยใช้หลักการของตัวเก็บประจุดังภาพที่ 3.5 ได้ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 0.5 mm. นำมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 แผ่น โดยแต่ละด้านมีความยาว 10 mm. แล้วนำไปฝังที่แผ่นอะคริลิกให้มีพื้นผิวเรียบเสมอกับแผ่นอะคริลิก โดยระยะห่างระหว่าง 2 แผ่นนี้เท่ากับ 1 mm. แล้วก็บัดกรีกับสายเพื่อเป็นการนำสัญญาณจากหัวโพรบนี้เข้าสู่วงจรจัดการสัญญาณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 การออกแบบหัวโพรบที่ใช้หลักการค่าของตัวเก็บประจุ

3.4 ทฤษฎีและหลักการออกแบบวงจรจัดการสัญญาณ

ในส่วนของวงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการออกแบบโดยคำนึงถึงผลกระทบของแหล่งจ่าย เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เข้าไปที่ขั้วอินพุต โทรคหรือแผ่นเพลตสองแผ่นจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองแผ่น ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้ไอออนที่อยู่ในสารละลายจะปล่อยพลังงานไปยังแผ่นเพลตทั้งสองข้าง ไอออนบวกจะเคลื่อนเข้าไปหาแผ่นเพลตที่ต่ออยู่กับขั้วลบ และไอออนลบก็จะถูกดูดให้เข้าไปหาแผ่นเพลตที่ต่ออยู่กับขั้วบวก เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้สารละลายแตกตัวไปเกาะที่ขั้วอินพุต โทรคหรือที่แผ่นเพลตหรือที่เรียกว่า “โพลาไรซ์เซชัน (Polarization)”

จากหลักการใช้ค่าความนำทางไฟฟ้า เมื่อเกิดโพลาไรซ์เซชันจะทำให้เกิดความต้านทานขึ้นที่บริเวณขั้วอินพุต โทรค โดยของเหลวที่ต้องการวัดค่าความนำก็จะมีค่าความต้านทานโดยเฉพาะอยู่แล้ว ดังนั้นการเกิดโพลาไรซ์เซชันจะมีผลต่อปริมาณการไหลของกระแสในวงจร

ในทำนองเดียวกันจากหลักการของตัวเก็บประจุ เมื่อเกิดโพลาไรซ์เซชันจะทำให้ค่าไดอิเล็กทริกระหว่างแผ่นเพลตมีค่าผิดไป โดยค่าไดอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมระหว่างค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายกับค่าไดอิเล็กทริกตรงบริเวณแผ่นเพลต ซึ่งจากความเป็นจริงแล้วควรที่จะมีค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายเพียงค่าเดียวทำให้ได้ค่าเก็บประจุ C ที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

จากปัญหาในการเกิดโพลาไรซ์เซชันที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการวัดค่าของอุปกรณ์ลดน้อยลงสามารถป้องกันได้โดยการป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แทนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แต่ในความเป็นจริงแล้วมักนิยมพกพา EC Meter ไปในบริเวณเพาะปลูกซึ่งยากแก่การเดินสายไฟมาใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จึงควรใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงแล้วนำไปแปลงเป็นสัญญาณกระแสสลับแทน โดยแหล่งจ่ายกระแสตรงที่จะใช้ในโครงการนี้จะป้อนไฟฉาย

และ Adapter จากไฟบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

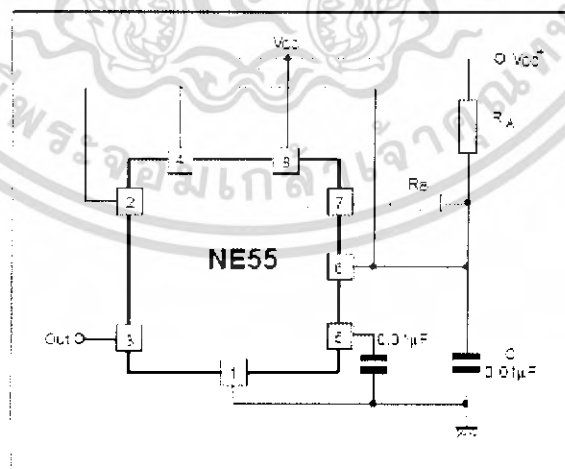
3.5 การออกแบบวงจรจัดการสัญญาณในโครงการ

3.5.1 กล่าวนำ

การออกแบบวงจรจัดการสัญญาณในโครงการนี้เป็นการออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้แก่หัวโพรบแล้วนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ไปแสดงยังส่วนแสดงผล 7 ส่วน (7 Segments) ซึ่งประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ หลายส่วน ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทํางานและรายละเอียดของวงจรในแต่ละส่วน รวมถึงการคำนวณหาค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาใช้ในวงจร

3.5.2 วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) [7]

สิ่งที่ควรคำนึงถึงสำหรับการออกแบบวงจรจัดการสัญญาณคือแหล่งจ่าย จากหลักการและทฤษฎีการออกแบบหัวโพรบ ทำให้ทราบว่าแหล่งจ่ายที่ใช้ไม่ควรเป็นสัญญาณกระแสตรงหรือดีซี เพราะจะทำให้เกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันได้ แต่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องมือวัดต้องการสัญญาณกระแสตรง ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมจึงมีการออกแบบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็นสัญญาณกระแสสลับที่ใช้ตามบ้านเรือน 220 Volt 50 Hz ทำการลดระดับแรงดันลงมาเป็น 9 Volt DC ผ่าน Adapter แล้วลดระดับแรงดันลงอีกเป็น 5 Volt ผ่านวงจรแปลงแรงดัน เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตามที่ต้องการ (9 และ 5 Volt) แต่เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตจาก Adapter เป็นสัญญาณกระแสตรง ผู้จัดทำจึงพยายามทำให้สัญญาณที่จะป้อนให้กับหัวโพรบเป็นสัญญาณกระแสสลับเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาโพลาไรซ์เซชัน โดยการนำสัญญาณกระแสตรงมาผ่านวงจรถ่ายความถี่ (Oscillator) โดยใช้ไอซีเบอร์ NE555 ของบริษัท STMicroelectronics ดังภาพที่ 3.6 เพื่อให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave)



ภาพที่ 3.6 วงจรกำเนิดความถี่

จากหลักการทำงานของไอซี NE555 หากต้องการให้ Duty Cycle มีค่าเป็น 50% ต้องคำนวณหาค่า R_A และ R_B ที่เหมาะสมจากสมการที่ (3.5) และ (3.6) โดยให้เวลา t_1 (ช่วงเวลาที่มิลลิจิกเป็น 1) มีค่าใกล้เคียงกับเวลา t_2 (ช่วงเวลาที่มิลลิจิกเป็น 0) ให้มากที่สุด

$$t_1 = 0.693 R_A C \tag{3.5}$$

$$t_2 = \frac{R_A R_B}{(R_A + R_B)} C \cdot \ln \frac{(R_B - 2R_A)}{2R_B - R_A} \tag{3.6}$$

ถ้ากำหนดให้ C มีค่าเป็น $0.01 \mu\text{F}$ แล้วต้องการให้ความถี่อยู่ในช่วง 1 – 2 kHz ทำการเลือกความต้านทานให้สอดคล้องกับสมการที่ (3.5) และ (3.6) และมีจำหน่ายในท้องตลาดจะได้ว่าค่า R_A มีค่าเป็น $47 \text{ k}\Omega$ และค่า R_B มีค่าเป็น $20 \text{ k}\Omega$ เมื่อนำไปคำนวณหาค่า t_1 และ t_2 ตามสมการที่ (3.5) และ (3.6) จะได้ว่า

$$t_1 = 0.32571 \text{ ms}$$

และ

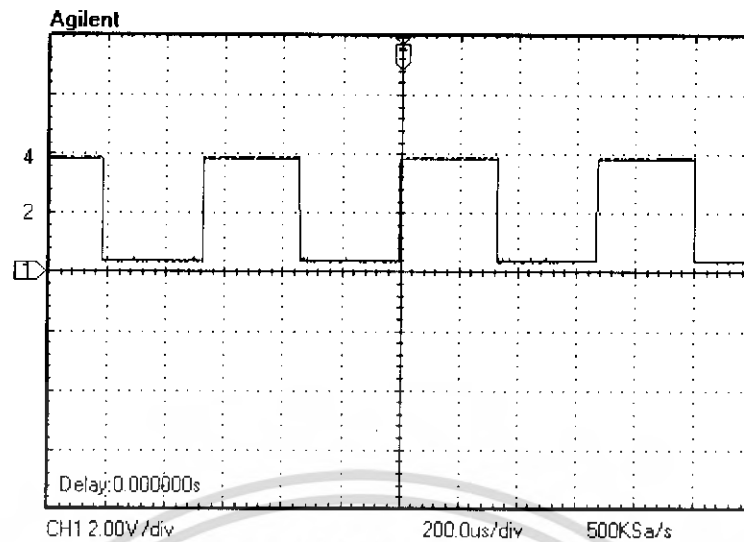
$$t_2 = 0.330846 \text{ ms}$$

ค่าความถี่สามารถคำนวณได้จาก

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} \tag{3.7}$$

เมื่อแทนค่า t_1 และ t_2 ลงในสมการที่ (3.7) จะได้ความถี่ที่ออกมาจากวงจรกำเนิดความถี่มีค่าเท่ากับ 1523 Hz ในภาพที่ 3.7 แสดงผลจากการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่ที่ Duty Cycle มีค่าเท่ากับ 50 %

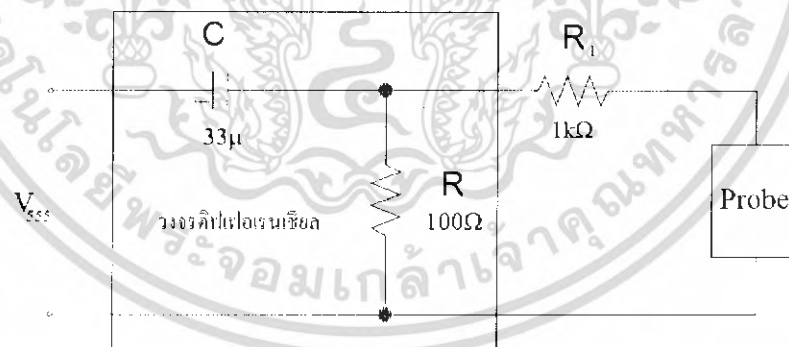
62481



ภาพที่ 3.7 สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่

3.3.3 วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ [8]

วงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (RC differentiator) คือ วงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานต่ออันดับกับตัวเก็บประจุและแหล่งจ่ายแรงดัน โดยค่าแรงดันเอาต์พุตคือค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งแรงดันที่ป้อนเข้ามาจะเป็นแรงดันแบบคลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือคลื่นพัลส์จากวงจรกำเนิดความถี่ดังภาพที่ 3.8 ทำให้ได้เอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทานเป็นรูปคลื่นแบบดิฟเฟอเรนชิเอต



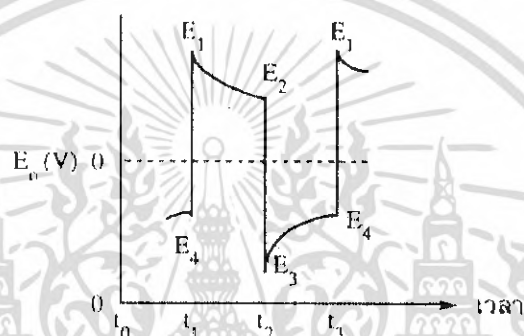
ภาพที่ 3.8 วงจรแปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

จากคุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่ทราบกันแล้วว่าจะไม่ยอมให้แรงดันไฟตรงผ่าน ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณขึ้นันันใดป้อนเข้าวงจร RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ ในตอนแรกตัวเก็บประจุจะเสมือนลัดวงจรได้ออกแรงดันออกเอาต์พุตสูงสุดเท่ากับอินพุตที่จ่าย ในเวลาต่อมาแรงดันจะค่อย ๆ ลดลง

เป็น 0V เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเวลาที่มีค่ามากขึ้น ทำให้การประจุและคายประจุของ C ต้องใช้เวลามากขึ้น ดังนั้น ถ้าความถี่ของพัลส์ที่ป้อนเข้ามามีความถี่สูง การเปลี่ยนแปลงระดับของพัลส์เร็ว การประจุของ C อาจไม่ถึงค่าสูงสุดของแรงดันที่ป้อน และการคายประจุของ C อาจคายประจุได้ไม่หมด ทำให้ระดับแรงดันของสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลที่ได้ออกมาลดลง

โดยปกติแล้วรูปคลื่นเอาต์พุตที่วัดได้จะเป็นรูปคลื่นที่อยู่ในสถานะคงที่แล้ว ซึ่งเรียกว่า “รูปคลื่นคงที่ (Settled waveform)” ในการวิเคราะห์สัญญาณเอาต์พุตของวงจร RC ดิฟเฟอเรนเชียลเตอร์ นั้นจะวิเคราะห์สัญญาณที่คงที่นี้ได้ดังภาพที่ 3.9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (3.8) ถึง (3.11)



ภาพที่ 3.9 สัญญาณตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ

$$E_2 = E_1 \varepsilon^{-t_1/RC} \quad (3.8)$$

$$E_4 = E_3 \varepsilon^{-t_2/RC} \quad (3.9)$$

$$E_1 - E_4 = E \quad (3.10)$$

$$E_2 - E_3 = E \quad (3.11)$$

เมื่อ	t	คือ	คาบเวลาของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (s)
	R	คือ	ค่าตัวต้านทานของตัวต้านทานในวงจร (Ω)
	C	คือ	ค่าความจุของตัวเก็บประจุในวงจร (F)
	ε	คือ	ค่าเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งเป็นค่าคงที่เท่ากับ 2.718
	E	คือ	ค่าแรงดันคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับวงจร (V)
	E_1	คือ	แรงดันบวกสูงสุดครั้งสุดท้าย (V)
	E_2	คือ	แรงดันบวกที่ลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลครั้งสุดท้าย (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E_1 คือ แรงดันลบสูงสุดครั้งสุดท้าย (V)

E_2 คือ แรงดันลบที่ลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลครั้งสุดท้าย (V)

สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับวงจร RC คิฟเฟอร์เชอเตอร์ (V_{555}) มีแรงดันเท่ากับ 4 Volt และมีความถี่เป็น 1523 Hz ดังนั้นคาบเวลาของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็น 0.657 ms ถ้ากำหนดให้ C มีค่าเป็น 33 μ F และ R มีค่าเป็น 100 Ω เมื่อนำตัวแปรต่าง ๆ ไปคำนวณในสมการที่ (3.8) ถึง (3.11) จะได้ว่า

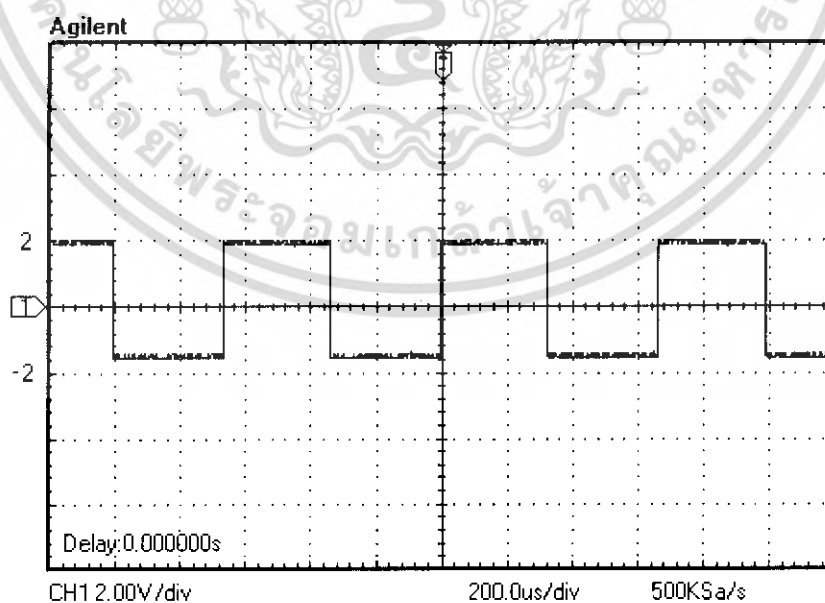
$$E_1 = 2.2 \text{ V}$$

$$E_2 = 1.8 \text{ V}$$

$$E_3 = -2.2 \text{ V}$$

$$E_4 = -1.8 \text{ V}$$

เมื่อนำแรงดันทางด้านบวกคือ E_1 และ E_2 มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ 2 Volt และนำแรงดันทางด้านลบคือ E_3 และ E_4 มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ -2 Volt นั่นแสดงว่าแรงดันที่ออกมาจากวงจรคิฟเฟอร์เชอจะเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่าประมาณ -2 ถึง 2 Volt ดังภาพที่ 3.10 แล้วนำสัญญาณนี้ไปป้อนให้แก่หัวโพรบที่ต่อแบบแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ในภาพที่ 3.8 ซึ่งจะลดปัญหาจากการเกิดโพลาริเซชัน



ภาพที่ 3.10 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร RC คิฟเฟอร์เชอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 วงจรกรองแรงดันกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ (Ripple Filter Using Capacitors)

เนื่องจากสัญญาณที่นำไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องเป็นสัญญาณกระแสตรง แต่สัญญาณที่ออกมาจากหัวโพรบเป็นกระแสสลับจึงต้องนำมาทำการปรับให้เป็นสัญญาณกระแสตรงก่อนโดยใช้วงจรกรองแรงดันกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 วงจรลดแรงดันกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ

ค่าแรงดันขดถึงขด (Peak to Peak : V_{pp}) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{PR} = E_p - V_D \quad (3.12)$$

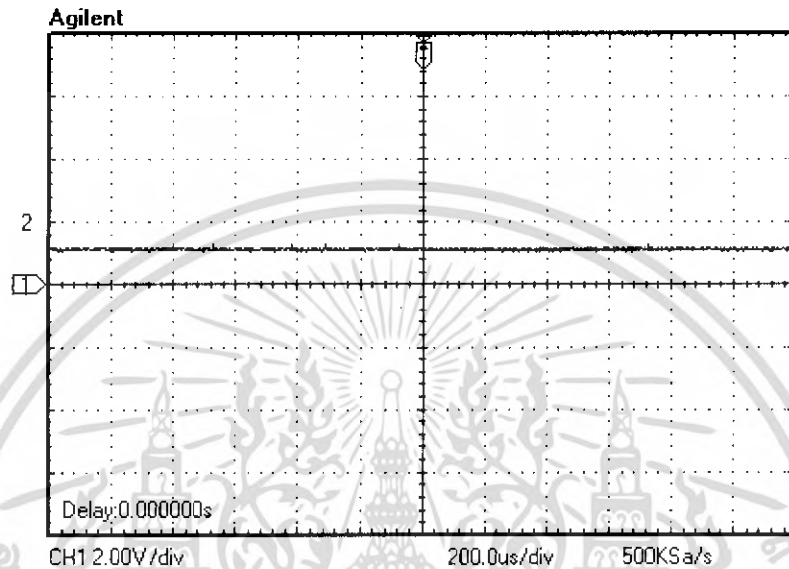
$$V_{dc} = \frac{V_{PR}}{1 + \frac{1}{2f_r R_L C}} \quad (3.13)$$

$$V_{pp} = \frac{V_{dc}}{f_r R_L C} \quad (3.14)$$

- เมื่อ E_p = แอมพลิจูดของสัญญาณก่อนเข้าไดโอด
 V_D = แรงดันตกคร่อมไดโอด
 f_r = ความถี่สัญญาณก่อนเข้าไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณก่อนเข้าไดโอด (สัญญาณที่ออกมาจากหัวโพรบ) อยู่ในช่วง 0-2 Volt แรงดันตกคร่อมไดโอดมีค่า 0.72 Volt ถ้าใช้ R_L มีค่า 12 k Ω และ C มีค่า 470 μ F จะทำให้เกิด V_{pp} มากที่สุดไม่เกิน 0.3 V โดยสามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองลดแรงดันกระแสเพิ่มโดยใช้ตัวเก็บประจุได้ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองลดแรงดันกระแสเพิ่ม โดยใช้ตัวเก็บประจุ

เมื่อนำโพรบไปจุ่มน้ำยาคลิเบทจำนวน 10 ค่า แล้ววัดค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_L ได้ผลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC กับค่าแรงดันตกคร่อมหัวโพรบ

EC	Volt			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1.0	0.323	0.349	0.324	0.332
1.5	0.233	0.237	0.262	0.244
2.0	0.215	0.208	0.209	0.211
2.5	0.206	0.197	0.199	0.201
3.0	0.191	0.203	0.203	0.199
3.5	0.183	0.198	0.197	0.193
4.0	0.180	0.195	0.196	0.190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 วงจรปรับสัญญาณ [9]

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรลดแรงดันกระแสเพื่อม โดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นสัญญาณกระแสตรง ซึ่งไม่สามารถส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลได้ เนื่องจากเป็นระดับสัญญาณที่ยังไม่เป็นมาตรฐานจึงต้องนำสัญญาณมาผ่านวงจรปรับสัญญาณ (Signal Condition) เพื่อปรับสัญญาณจาก 0.332 ถึง 0.190 Volt (จากผลการทดลองในตารางที่ 3.2) ไปเป็น 0.5 ถึง 4.5 Volt เสียก่อน โดยสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต (V_i) และเอาต์พุต (V_o) ได้ดังนี้

$$v_o = -28.2v_i + 9.85 \quad (3.15)$$

จากสมการที่ (3.15) สามารถออกแบบวงจรปรับสัญญาณได้ด้วยการใช้วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Summer) ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$v_o = -\left[\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 \right] \quad (3.16)$$

ในการคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังสมการที่ (3.16) เพื่อให้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.15) จะกำหนดให้

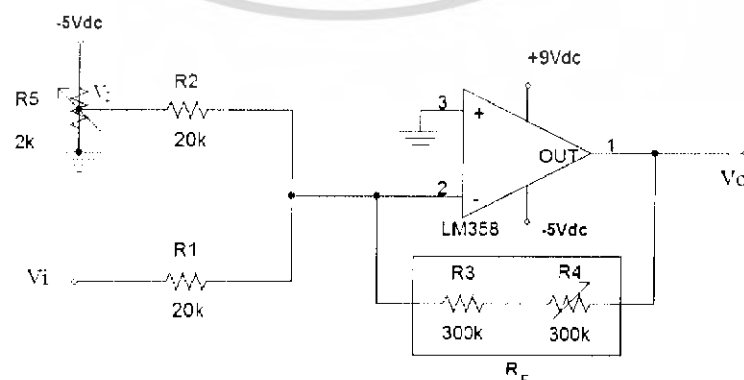
$$v_1 = v_i$$

และ $R_1 = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$

จะได้ $R_f = 563 \text{ k}\Omega$

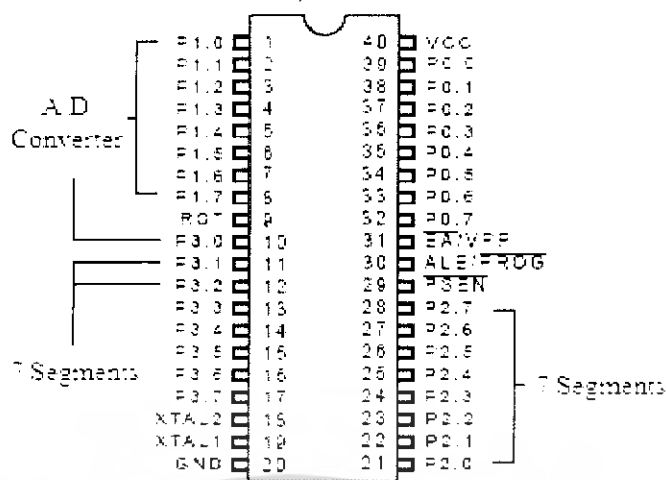
และ $v_2 = -0.35 \text{ Volt}$

โดย R_f จะเป็นการต่ออนุกรมระหว่าง R_3 กับ R_4 โดยที่ $R_3 = 300 \text{ k}\Omega$ ซึ่งมีค่าคงที่กับ $R_4 = 300 \text{ k}\Omega$ ซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อใช้ในการปรับ Span ส่วนการปรับ Zero สามารถปรับได้จาก R_5 ซึ่งใช้เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ -5 Volt เพื่อปรับ v_2 ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วงจรปรับสัญญาณ

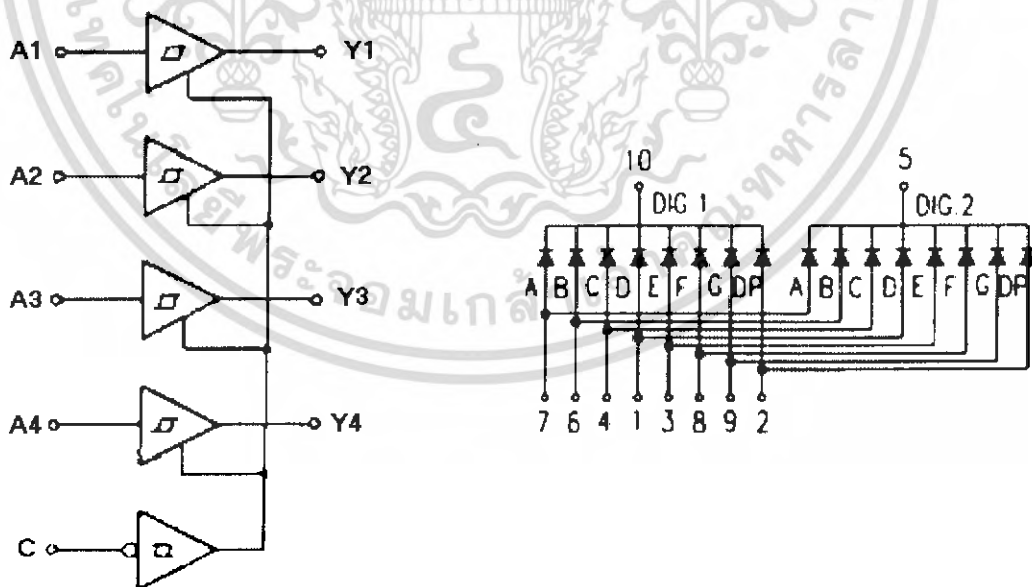
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (RD2)

3.5.8 ส่วนแสดงผล

ในส่วนแสดงผลจะใช้ส่วนแสดงผล 7 ส่วน (7 Segments) เพื่อบอกค่า EC ที่จะอยู่ในช่วง 0.5 – 4.9 mS/cm (แต่ช่วงที่ใช้จริงเป็น 1 – 4 mS/cm) ดังนั้นในการแสดงผลจึงแสดงผลเป็นเลข 2 หลัก โดยมีหนึ่งหลักแสดงเป็นเลขในส่วนของจุดทศนิยมตัวอย่างเช่น 3.5 ซึ่งจะอยู่ในหน่วยของ mS/cm แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถจ่ายกระแสให้ 7 Segments ได้เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้อิซี HD74LS244P มาเป็นส่วน Buffer ที่ใช้ขับกระแสแก่ 7 Segments แทน ดังแสดงในภาพที่ 3.16



(ก) ส่วน Buffer (HD74LS244P)

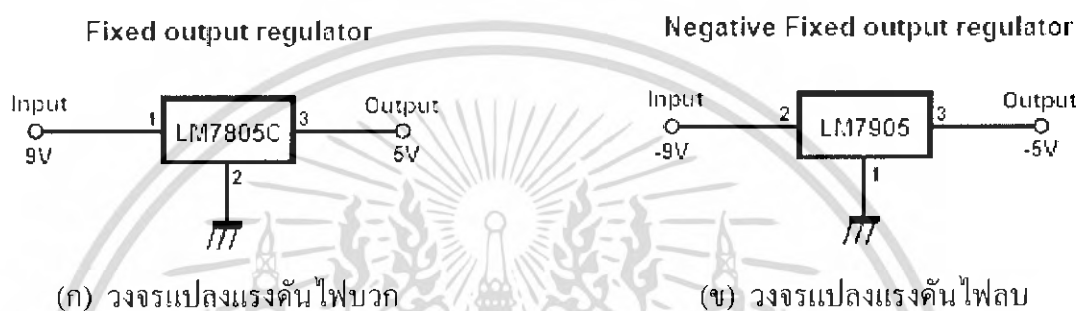
(ข) ส่วนแสดงผล 7 ส่วน (7 Segments)

ภาพที่ 3.16 ส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.9 วงจรแปลงแรงดัน

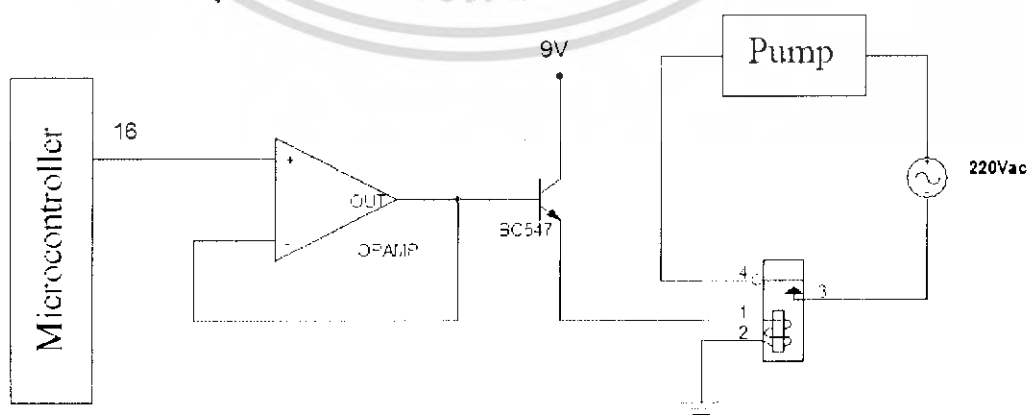
ในวงจรไฟฟ้าจะมีอุปกรณ์บางตัวที่ใช้แหล่งจ่ายเพียงแค่ 5 Volt ได้แก่ วงจรกำเนิดความถี่, A/D Converter, Microcontroller และ Buffer แต่แหล่งจ่ายที่ใช้ในโครงการจะเป็นไฟจาก Adaptor 9 Volt จึงจำเป็นต้องปรับระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 9 Volt ลงมาเป็น 5 Volt โดยใช้วงจรแปลงแรงดัน (Regulator) LM7805C ดังแสดงในภาพที่ 3.17 (ก) และในการปรับ Span ต้องใช้ไฟลบจึงแปลงไฟ -9 Volt จากถ่านไฟฉายลงมาเป็น -5 Volt โดยใช้ LM7905 ดังแสดงในภาพที่ 6.12 (ข)



ภาพที่ 3.17 วงจรแปลงแรงดัน

3.5.10 ส่วนควบคุมปั้มน้ำ

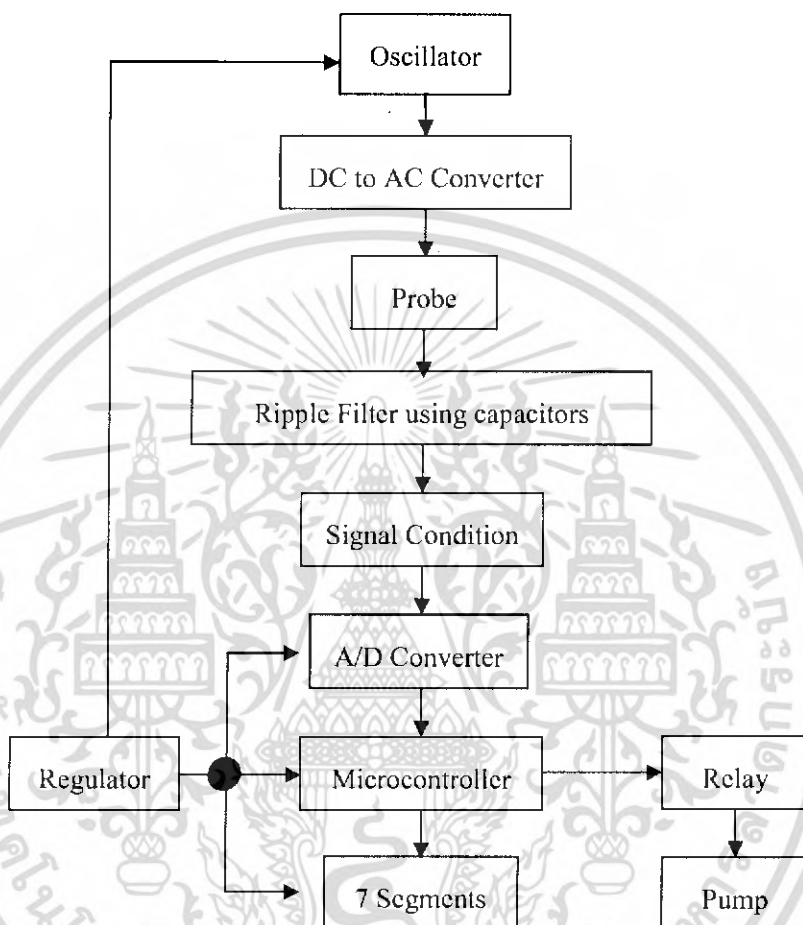
ส่วนควบคุมปั้มน้ำจะเป็นส่วนที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยถ้าค่า EC มีค่าสูงกว่าค่าเป้าหมาย (Set Point) ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ 5 Volt มาให้ Relay จากนั้น Relay ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์ จะเหนี่ยวนำทำให้หน้าคอนแท็ค (Contact) เชื่อมถึงกันหรือปิดวงจรให้กระแสไหล ปั้มน้ำจึงทำงาน ค่า EC จึงลดลงไปสู่ค่าเป้าหมาย เมื่อค่า EC ลดลงมาถึงค่าเป้าหมายจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ 0 Volt มาสั่งให้ Relay หยุดเหนี่ยวนำ หน้าคอนแท็คจึงเปิดออก ทำให้ปั้มน้ำหยุดทำงาน ซึ่งวงจรของ Relay แสดงดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 วงจรของ Relay (F1CA005V)

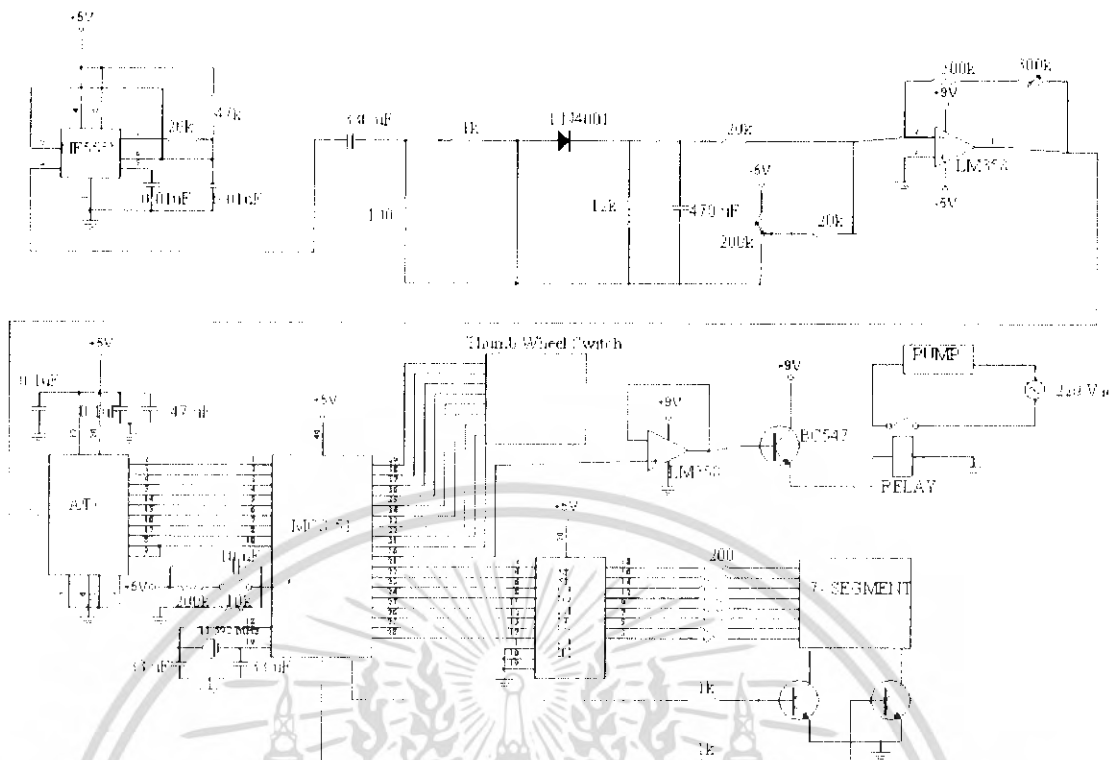
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานทั้งหมดข้างต้นจะสามารถเขียนแผนผังของวงจรจัดการสัญญาณได้ในภาพที่ 3.19 ในส่วนของวงจรที่ได้ออกแบบจะแสดงไว้ในภาพที่ 3.20 ในภาพที่ 3.21 เป็นวงจรจริงที่ทำการติดตั้งบนแผ่นทดลอง

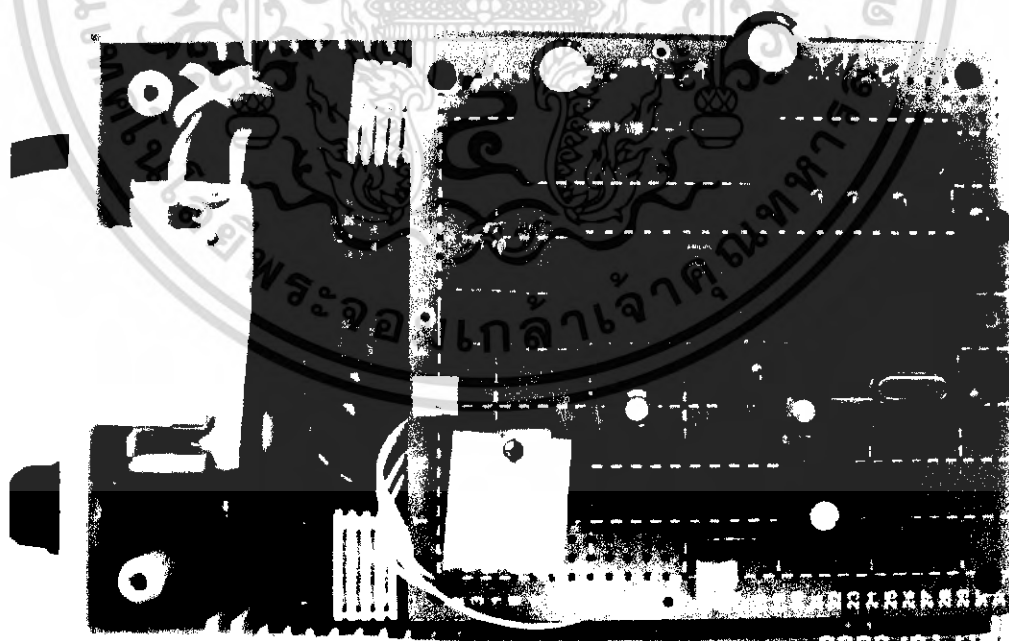


ภาพที่ 3.19 แผนผังการนำสัญญาณจากหัวโพรบมาแสดงเป็นเลขดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 วงจรจัดการสัญญาณ



ภาพที่ 3.21 วงจรแสดงค่า EC จากหัวโพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการเลือกหัวโพรบ

ในส่วนของการทดลองเพื่อทำการเลือกหัวโพรบที่เหมาะสมที่สุดจากสองหลักการดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 จะทำการนำหัวโพรบทั้งสองแบบมาจุ่มลงในสารละลายที่รู้ค่า EC ที่แน่นอนจำนวน 10 ค่าตามช่วงที่ครอบคลุมการใช้วัดจริงดังภาพที่ 4.1 ซึ่งมีค่า EC เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 mS/cm เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่าความนำและค่าของตัวเก็บประจุโดยใช้น้ำยาคาลิเบต แต่เนื่องจากน้ำยาคาลิเบตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีเพียงค่าเดียวคือ 1.4 mS/cm จึงจำเป็นต้องผสมน้ำเกลือเพื่อให้ได้ค่า EC ตามต้องการเองโดยใช้ EC Meter มาตรฐานในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 น้ำยาคาลิเบต EC Meter



ภาพที่ 4.2 EC Meter มาตรฐานที่ใช้ทำน้ำยาคาลิเบต

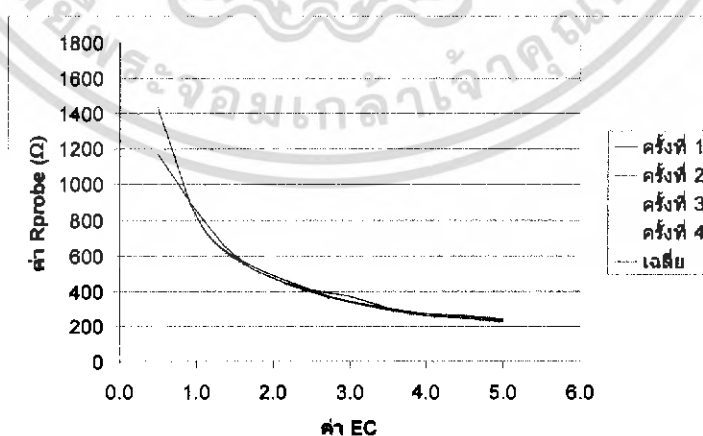
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลทดลองจากโพรบที่ออกแบบโดยหลักการค่าความนำ

เมื่อนำหัวโพรบที่ออกแบบด้วยวิธีนี้จุ่มลงไปในการละลายมาตรฐานที่มีค่าต่าง ๆ กันไป แล้ววัดค่าความนำในเทอมของค่าความต้านทานที่ได้ออกมา เนื่องจากสามารถวัดค่าได้สะดวกกว่า การวัดค่าความนำโดยตรง ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถนำมาสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานที่วัดได้จากหัวโพรบกับค่า EC

EC	Rprobe(Ω)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
0.5	1176	1538	1533	1506	1438.3
1.0	851	817	817	794	819.8
1.5	603	586	594	580	590.8
2.0	492	473	458	464	471.8
2.5	410	404	395	395	401.0
3.0	371	345	321	323	340.0
3.5	306	305	287	287	296.3
4.0	277	273	252	255	264.3
4.5	262	257	241	238	249.5
5.0	242	235	219	216	228.0



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของหัวโพรบกับค่า EC

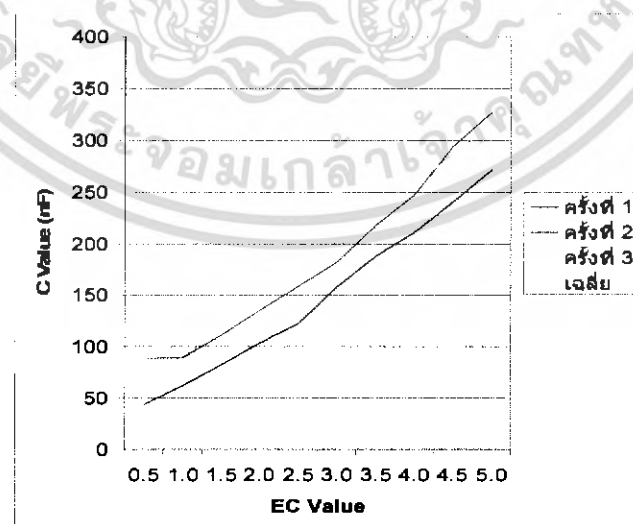
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลทดลองจากโพรบที่ออกแบบโดยหลักการค่าเก็บประจุ

เมื่อนำหัวโพรบที่ออกแบบด้วยวิธีนี้จุ่มลงไปในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าต่าง ๆ กันไป แล้ววัดค่าของตัวเก็บประจุที่ได้ออกมา จะได้ผลการวัดดังตารางที่ 4.2 และสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟได้ในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่วัดได้กับค่า EC

EC	ค่า Capacitance (nF)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.5	44	89	87	73.33
1.0	62	90	120	90.67
1.5	83	112	154	116.33
2.0	104	135	189	142.67
2.5	123	159	214	165.33
3.0	158	182	248	196.00
3.5	188	218	281	229.00
4.0	211	247	306	254.67
4.5	240	294	330	288.00
5.0	272	327	336	311.67



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่วัดได้จากหัวโพรบกับค่า EC

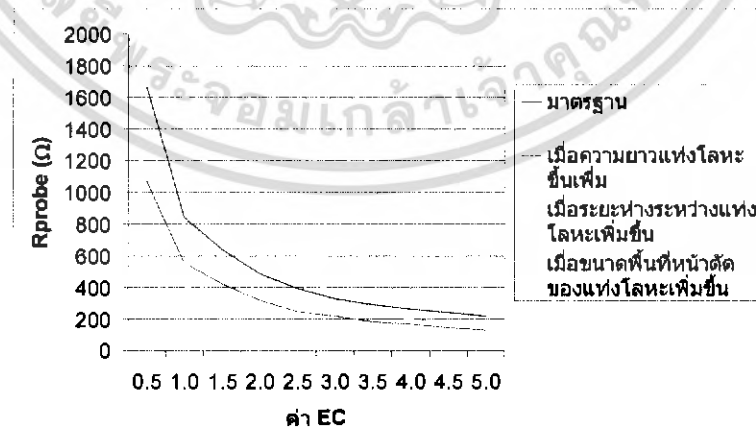
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในภาพที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่า EC ของสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนค่าความนำ (หรือค่าความต้านทาน) และค่าตัวเก็บประจุ แต่จะเห็นว่าหลักการออกแบบ โดยใช้ค่าความนำไฟฟ้าจะให้ผลการทดลองที่มีความแปรปรวนน้อยกว่าการวัดแบบค่าตัวเก็บประจุ อีกทั้งหัวโพรบจากหลักการของตัวเก็บประจุมักจะเกิดการอุดตันจากฟองอากาศและเศษตะกอน เนื่องจากระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตที่ให้สารละลายไหลผ่านมีค่าน้อยมาก จึงเลือกใช้หัวโพรบที่ออกแบบด้วยหลักการของค่าความนำไฟฟ้า แล้วทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในการวัดค่า EC โดยทดลองปรับเปลี่ยนความยาว ระยะห่าง และเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งอิเล็กโทรดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในการวัดค่า EC

ปัจจัยที่ศึกษา	Dimension (mm.)		
	ขนาด ϕ	ความยาว	ระยะห่าง
มาตรฐาน	2	5	8
(เพิ่ม) ความยาว	2	7	8
(เพิ่ม) ระยะห่าง	2	5	12
(เพิ่ม) ขนาด ϕ	3	5	8

เมื่อทำการทดลองโดยจุ่มหัวโพรบที่มีตัวแปรต่าง ๆ เปลี่ยนไปในสารละลายที่รู้ค่า EC แน่แน่นอน แล้ววัดค่าความต้านทานที่ได้ออกมา พร้อมกับนำค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าวมาพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบปัจจัยข้างต้นทั้งสามปัจจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความยาวของแท่งอิเล็กโทรดขึ้นจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากค่าความต้านทานมีแนวโน้มลดลง เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับสารละลายเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดขึ้น ในส่วนของการเพิ่มระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรดขึ้นจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มระยะที่อิออนต้องเคลื่อนที่ในสารละลายเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าเราไม่ควรเลือกใช้หัวโพรบที่มีบริเวณสัมผัสกับสารละลายมีค่ามากจนเกินไปเพราะจะทำให้ค่าความนำระหว่างค่า EC แต่ละค่ามีความแตกต่างกันน้อยลงซึ่งยากแก่การนำสัญญาณไปจัดการต่อ

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับการเลือกหัวโพรบ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าควรเลือกใช้หัวโพรบที่ออกแบบโดยอาศัยค่าความนำไฟฟ้าเนื่องจากมีความเที่ยงตรง (Precision) ดีกว่า ไม่เกิดการอุดตันของเศษตะกอนและฟองอากาศ เมื่อมาพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานในการวัดค่า EC ค่าเดียวกันมีดังนี้

- 1) ความยาวของอิเล็กโทรด โดยค่าความต้านทานจะแปรผกผันกับความยาวของอิเล็กโทรด
- 2) ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด โดยค่าความต้านทานจะแปรผันตรงกับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด
- 3) พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรด โดยค่าความต้านทานจะแปรผกผันกับค่าความต้านทาน

เมื่อทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าวทั้ง 3 ข้างต้นให้มีความคงที่ค่าหนึ่ง จะทำให้หัวโพรบที่ออกแบบไว้จากหลักการค่าความนำมีความสามารถในการตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าในสารละลายได้ดี ซึ่งหัวโพรบที่ได้ออกแบบไว้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm. ความยาวของแท่งอิเล็กโทรดเป็น 5 mm. และระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรดเป็น 8 mm. แล้วจึงนำหัวโพรบมาต่อเข้ากับวงจรเพื่อแสดงผลเป็นดิจิตอลด้วย 7 เซกเมนต์

แต่ในความเป็นจริงแล้วปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าคือ อุณหภูมิ โดยค่าความต้านทานจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำปุ๋ย กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า EC ก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิลดลงจะทำให้ค่า EC ลดลง จึงจำเป็นต้องมีตัวแปรผกผัน (Temperature Correction Factor) ที่จะต้องนำไปคำนวณเพื่อหาค่า EC ที่แท้จริงดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวแปรผกผันที่นำไปคำนวณ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ [10]

อุณหภูมิสารละลาย		ตัวแปรผกผัน*
องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	
10	50.0	1.411
13	55.4	1.309
16	60.8	1.218
20	68.0	1.112
22	71.6	1.064
25	77.0	1.000
28	82.4	0.943
32	89.6	0.873
35	95.0	0.829
38	100.2	0.788

*ค่า EC ที่วัดได้ (mS/cm) x ตัวแปรผกผัน = EC ที่ 25 องศาเซลเซียส

4.5 รายละเอียดของเครื่องมือวัดค่า EC ที่ได้ออกแบบ

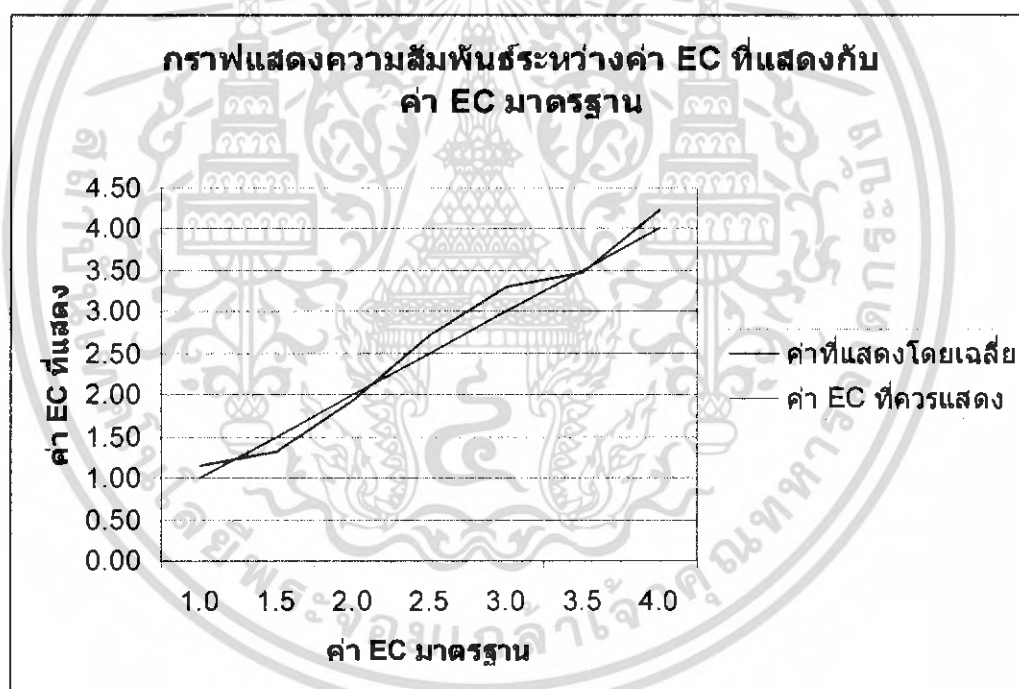
4.5.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำ คือ ความถูกต้องใกล้เคียงกันระหว่างผลของการวัดกับค่าจริง (สัญญาณ) ของปริมาณที่วัด [11]

หลังจากทำการทดสอบในน้ำยาคาลิเบรทที่มีค่า EC ต่าง ๆ กัน แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จำนวน 5 ครั้ง แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.5 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงเฉลี่ยกับค่า EC มาตรฐานจะแสดงได้ดังภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้จากส่วนแสดงผลเมื่อทดสอบกับน้ำยาคลิเบทที่มีค่า EC ต่างๆ

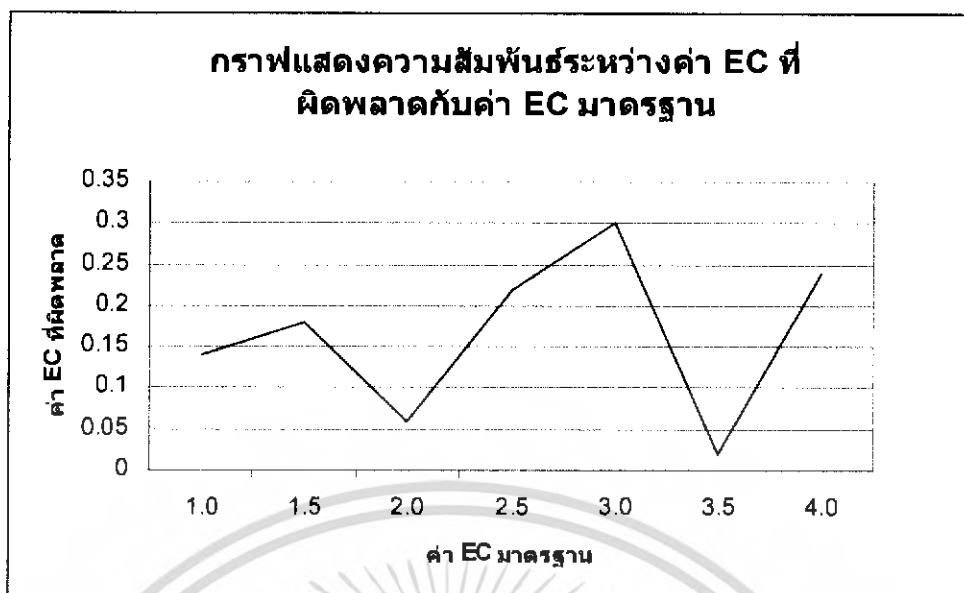
EC	ค่าที่แสดง						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	Error
1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.14	0.14
1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3	1.32	0.18
2.0	2.2	2.2	1.9	1.7	1.7	1.94	0.06
2.5	3.1	2.8	3.0	2.4	2.3	2.72	0.22
3.0	3.5	3.5	3.3	3.1	3.1	3.30	0.3
3.5	3.6	3.9	3.5	3.2	3.2	3.48	0.02
4.0	4.4	4.5	4.3	3.9	4.1	4.24	0.24



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC ที่แสดงกับค่า EC มาตรฐาน

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC ที่ผิดพลาดกับค่า EC มาตรฐานจะแสดงได้ดังภาพที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC ที่ผิดพลาดกับค่า EC มาตรฐาน

เมื่อทำการตีกรอบของค่าความผิดพลาดว่าจะไม่เกิน 0.3 mS/cm อย่างแน่นอน จึงนำค่านี้ไปคำนวณหาค่าความแม่นยำดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Error}}{\text{Full Scale}} \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อให้

$$\text{Error} = 0.3 \text{ mS/cm}$$

และ

$$\text{Full Scale} = 4 \text{ mS/cm}$$

จะได้

$$\text{Accuracy} = \pm 7.5\% \text{ of Full Scale}$$

4.5.2 ย่านการวัด

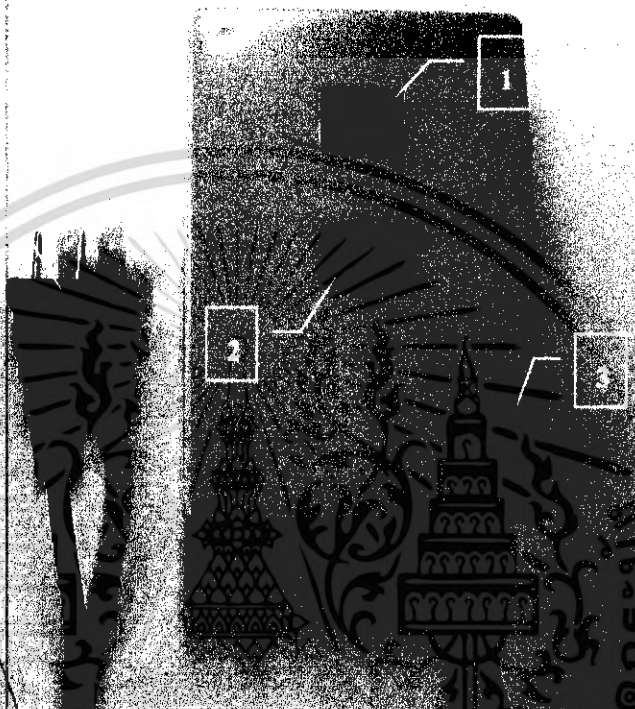
ย่านการวัด (Range) คือ ช่วงที่เครื่องมือวัดสามารถวัดได้จากการออกแบบ EC มิเตอร์ในโรงงานจะได้ว่า

$$\text{Range} = 0.0 - 4.9 \text{ mS/cm}$$

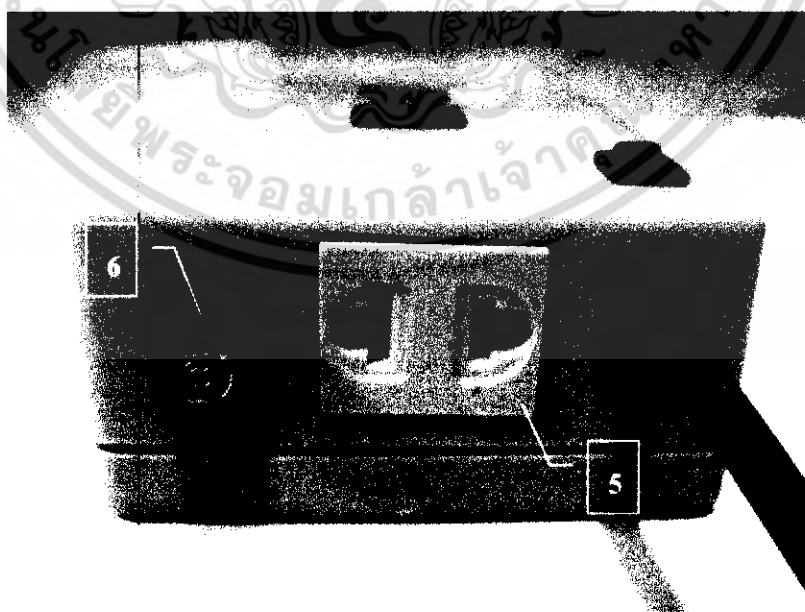
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นแสดงว่าระยะเวลาการใช้งานของถ่านไฟฉายก้อนที่จ่ายไฟลบจะใช้งานได้ประมาณ 44 ชั่วโมง

4.5.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือวัดค่า EC

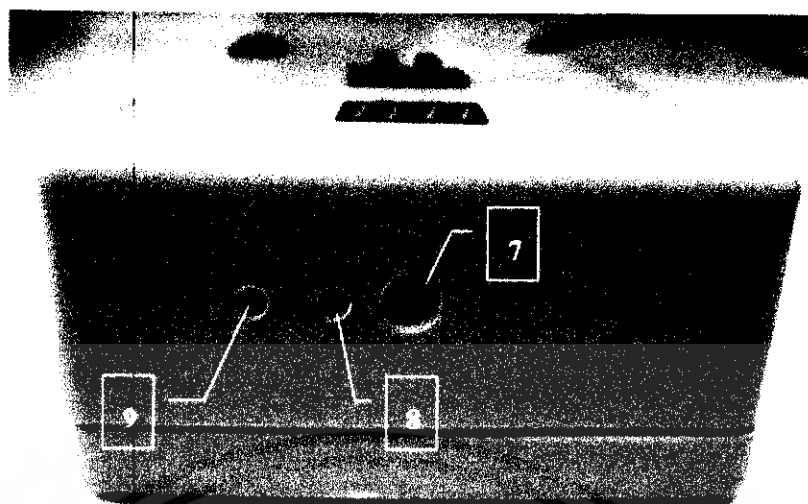


(ก) ด้านหน้า

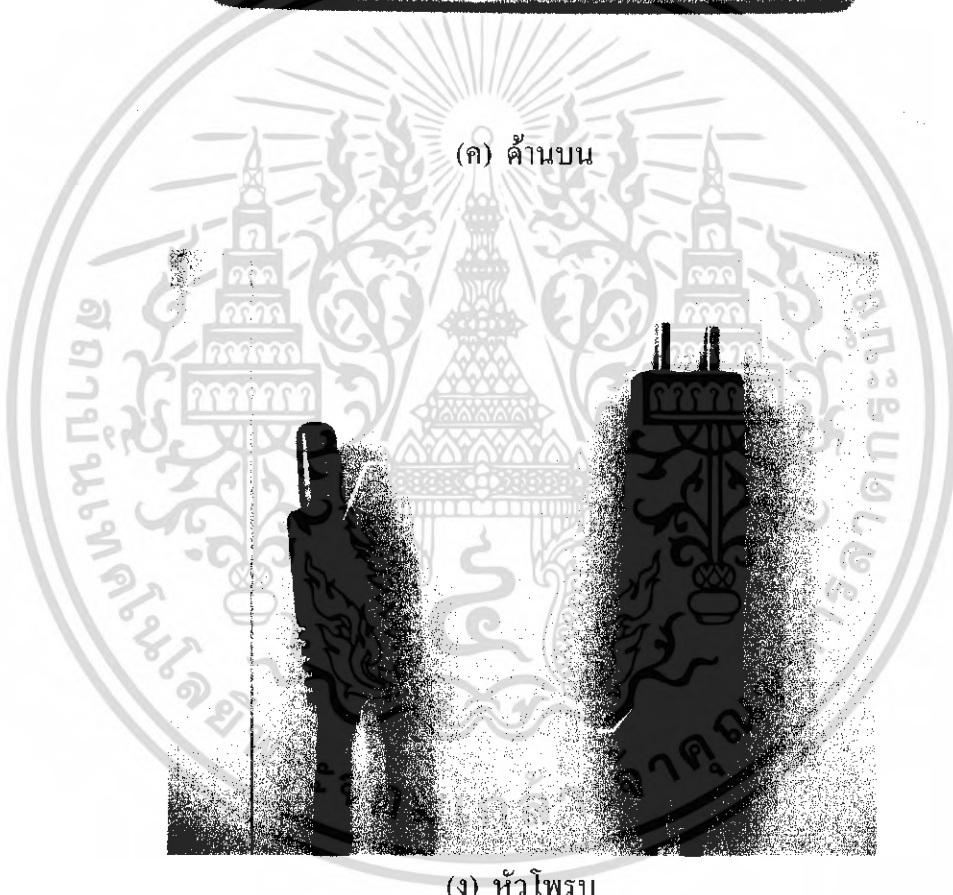


(ข) ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ค้านบน



(ง) หัวโพรบ

ภาพที่ 4.8 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือวัดค่า EC

ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือมีดังภาพที่ 4.8 คือ

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1. ส่วนแสดงผล 7 ส่วน (7 Segments) | แสดงค่า EC ที่วัดได้ |
| 2. Thumb Wheel Switch | กำหนดค่าเป้าหมาย (Set point) |
| 3. สวิตช์ (Switch) | เปิด - ปิด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปลั๊กตัวผู้ (Male Plug)	ส่วนต่อกับแหล่งจ่าย 220 V เพื่อจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ต่อพ่วง
5. ปลั๊กตัวเมีย (Female Plug)	ส่วนต่ออุปกรณ์ต่อพ่วงเข้ากับเครื่องมือ
6. ฟิวส์ (Fuse)	ป้องกันกระแสเกิน (5 mA)
7. ช่องต่อหัวโพรบ	ช่องต่อหัวโพรบเข้ากับเครื่องมือ
8. ช่องปรับ Zero	ส่วนสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)
9. ช่องปรับ Span	ส่วนสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)
10. หัวโพรบ (Probe)	ส่วน Sensor ที่ใช้ตรวจวัดค่า EC
11. ขั้วต่อ (Jack)	ส่วนของหัวโพรบที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องมือ

4.5.6 วิธีการใช้งาน

1. นำหัวโพรบต่อเข้ากับตัวเครื่อง
2. ตั้งค่าเป้าหมายที่ Thumb Wheel Switch ไปที่ 0.0
3. ทำการกดสวิตช์ ON-OFF เพื่อเปิดเครื่อง
4. รอจนส่วนแสดงผลแสดงค่า 0.0
5. นำหัวโพรบจุ่มลงไปในการละลายที่ต้องการทราบค่าความนำ
6. อ่านค่าที่วัดได้จากส่วนแสดงผล
7. นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณกับตัวแปรผกผันของการชดเชยอุณหภูมิจะได้ค่า EC ที่แท้จริง
8. หากต้องการนำไปใช้ในการควบคุมให้เสียบปลั๊กไฟเข้ากับแหล่งจ่าย 220V (ไฟบ้าน)
9. นำป้อนน้ำ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่ต้องการควบคุม มาต่อพ่วงเข้ากับตัวเครื่อง
10. ป้อนค่าเป้าหมาย (Set point) ผ่าน Thumb Wheel Switch ตามต้องการ
11. หากค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายจะทำให้ไฟจากแหล่งจ่ายไหลให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อพ่วง

หมายเหตุ หากค่าที่อ่านได้จากส่วนแสดงผลมีความผิดพลาดให้ทำการสอบเทียบ (Calibration) จากช่องปรับ Span และ Zero จนได้ค่าตามต้องการ

4.6 สรุปผลการทดลอง

หัวโพรบที่ออกแบบด้วยหลักการของค่าความนำมีความเหมาะสมในการวัดค่า EC ดีกว่าหัวโพรบที่ออกแบบด้วยหลักการของค่าเก็บประจุ โดยหัวโพรบที่ใช้จะมีความยาวของอิเล็กโทรดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด และเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดคงที่ และค่าที่วัดได้ต้องนำไปคำนวณกับตัวแปรผกผันเพื่อชดเชยอุณหภูมิก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้งาน

5.1 การประยุกต์ใช้งาน

จากผลการทดลองทำให้เราสามารถสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย โดยอาศัยหลักการออกแบบที่ใช้ค่าความนำไฟฟ้าที่ได้ศึกษามาข้างต้น ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและประสิทธิภาพในการวัดมีความใกล้เคียงกับอุปกรณ์จากต่างประเทศ พร้อมทั้งสามารถแสดงผลเป็น 7 segments จำนวน 2 หลักได้ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวกในการอ่านค่ามากกว่าแสดงเป็นเข็ม

โดยค่าที่ได้จากการวัดจะแปรผกผันไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงควรนำค่า EC ที่อ่านได้ไปคูณเข้ากับตัวแปรผกผัน ณ อุณหภูมิของน้ำปุ๋ยในขณะนั้นเพื่อหาค่า EC ที่แท้จริงว่ามีความเหมาะสมกับพืชหรือไม่

ในส่วนของการควบคุมได้พัฒนาเครื่องมือให้มีความสามารถในการควบคุมปริมาณน้ำเพื่อรักษาระดับของค่าความนำไฟฟ้าให้คงที่แบบเปิด - ปิด (On-Off Control) จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากส่วนควบคุมจะคอยตรวจวัดอัตราส่วนของสารอาหารกับน้ำให้มีความคงที่ ถ้าอัตราส่วนของสารอาหารเพิ่มขึ้นเครื่องมือจะส่งสัญญาณควบคุมปริมาณน้ำให้เติมน้ำเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติ ย่อมอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้โดยไม่ต้องตรวจวัดค่า EC บ่อย ๆ เพียงสัปดาห์ละ 1 ครั้ง แทนที่จะต้องคอยหมั่นตรวจค่า EC ทุกวัน และลดความยุ่งยากในการเติมน้ำลงอีกด้วย

5.2 แนวทางพัฒนาต่อ

เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อค่า EC ซึ่งในโครงการนี้ทำเพียงแค่นำค่า EC ที่ได้มาคำนวณกับตัวแปรผกผันเพื่อหาค่า EC ที่แท้จริง จึงน่าจะนำไปพัฒนาต่อด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) และทำการเขียน โปรแกรมเพื่อนำค่าอุณหภูมิไปชดเชยค่า EC ให้กับเครื่องมือวัด ทำให้ค่าที่อ่านได้เป็นที่ EC ที่แท้จริง ซึ่งจะช่วยลดเวลาและความยุ่งยากที่จะต้องไปคำนวณกับตัวแปรผกผันอีกครั้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ราชนทร์ วิสุทธิแพทย์, สยาม สิ้นสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงโต, ประธาน โปธิสวัสดิ์. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน (Soil less Culture)**. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548.
- [2] นิพนธ์ ไชยมงคล. **การปลูกผักไร้ดิน**. [Online]. Available :
<http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/hydroponic/hydroponics.pdf>
- [3] ขนิษฐา พงษ์ปรีชา. **เทคนิคการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์**. [Online]. Available :
<http://www.doae.go.th/library/html/detail/hydroponic/index.htm>
- [4] เหมือนชนก บุญเกียรติ. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. [Online]. Available :
<http://www.archeep.com/agricultural/hydroponic1.htm>
- [5] ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. [Online]. Available :
<http://www.bangsaiaagro.com/general.asp>
- [6] ยืน ภู่วรรณ. **อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2524.
- [7] STMicroelectronics. **NE555N**. [Online]. Available : <http://pdf.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/23385/STMICROELECTRONICS/NE555N.html>
- [8] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิต. **วงจรพัลส์และสวิตซิ่ง**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2539.
- [9] วิศรุต ศรีรัตนะ, อัมพวัน ใจกล้า, พิทยา ปานนิล. **ปฏิบัติการวิศวกรรมการวัดคุม 1**. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2546.
- [10] John M. Ruter and Melvin P. Garber. **Measuring Soluble Salts and pH with the Pour-Through Method**. [online]. Available :
<http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/horticulture/solublesalts.html>
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม. **นิยามศัพท์มาตรฐาน**. กรุงเทพฯ : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.235 เล่ม 14, 2531.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Specification of Standard EC Meter

HI8633 · HI8733

*Multi-Range Conductivity Meters for
Laboratory Use*



HI8633 and **HI8733** have been designed specifically for use in the areas of production and quality control. It is often necessary to test samples with different concentrations ranging from demonized water to brine. The amperometric system would require constant recalibration and probe changes. Thus making the measurement process very time consuming and unreliable. To solve this problem Hanna has developed the **HI8633** which uses a 4-Ring potentiometric probe. The rugged probes made in PVC, are ideal for indoor as well as outdoor measurements.

By using one point calibration, it is now possible to obtain accurate readings across a very wide range from 0.1 to 199900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

If the temperature of the solution fluctuates, the **HI8733** with a built-in temperature sensor and Automatic Temperature Compensation, is the perfect instrument.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

MODEL	HI8633	HI8733
RANGE		
$\mu\text{S/cm}$	0.0 to 199.9	
$\mu\text{S/cm}$	0 to 1999	
mS/cm	0.00 to 19.99	
mS/cm	0.0 to 199.9	
RESOLUTION		
$\mu\text{S/cm}$	0.1	
$\mu\text{S/cm}$	1	
mS/cm	0.01	
mS/cm	0.1	
ACCURACY(@20 °C/68 °F)	±1% Full Scale (excluding probe error)	
TYPICAL EMC DEVIATION	±2% Full Scale	
CALIBRATION	Manual single point through trimmer	
TEMPERATURE COMPENSATION	Manual from 10 to 40 °C (50 to 104 °F) with β of 2% per degree °C	Automatic from 0 to 50 °C (32 to 122 °F) with an adjustable β from 0 to 2.5% per degree °C
BATTERY TYPE/LIFE	1x9V /100 approximately hours of continuous use	
ENVIRONMENT	0 to 50 °C (32 to 122 °F); RH 95%	
DIMENSIONS	185 x 82 x 45 mm (7.3x3.2x1.8")	
WEIGHT	355g (13 oz.)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Source Code

```

;*****;
; 7-segment Display refer EC value ;
;*****;

org 0000h
setb P3.7
setb P3.1
setb P3.2
setb P3.6
setb P3.5
setb P3.4
readinput: clr P3.7
mov a,P1
setb P3.7
mov r1,a

clr P3.7
mov a,P1
setb P3.7
mov r2,a

clr P3.7
mov a,P1
setb P3.7
mov r3,a

clr P3.7
mov a,P1
setb P3.7

mov r2,a

clr c
add a,r3
rre a
mov r3,a

clr c
mov a,r2
add a,r1
rre a
mov r1,a

clr c
add a,r3
rre a
mov r1,a

mov a,P0
cpl a
mov r7,a

clr c
mov r2,#00h
index: clr a

```


	subb a,#02h		ajmp ctrl
	ajmp ctrl		
show03:	cjne r2,#03h,show04	show05:	cjne r2,#05h,show06
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop03:	mov P2,#4fh	loop05:	mov P2,#6dh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0bfh		mov P2,#0bfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop03		djnz r6,loop05
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#03h		subb a,#05h
	ajmp ctrl		ajmp ctrl
show04:	cjne r2,#04h,show05	show06:	cjne r2,#06h,show07
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop04:	mov P2,#66h	loop06:	mov P2,#7dh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0bfh		mov P2,#0bfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		seth P3.2
	djnz r6,loop04		djnz r6,loop06
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#04h		subb a,#06h
	ajmp ctrl		ajmp ctrl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ได้รับความยินยอม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
show07:    cjne    r2,#07h,show08
```

```
           mov     r6,#0ffh
```

```
loop07:   mov     P2,#07h
```

```
           clr     P3.1
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.1
```

```
           mov     P2,#0bfh
```

```
           clr     P3.2
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.2
```

```
           djnz   r6,loop07
```

```
           mov     a,r7
```

```
           subb   a,#07h
```

```
           ajmp   ctrl
```

```
show08:   cjne    r2,#08h,show09
```

```
           mov     r6,#0ffh
```

```
loop08:   mov     P2,#7fh
```

```
           clr     P3.1
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.1
```

```
           mov     P2,#0bfh
```

```
           clr     P3.2
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.2
```

```
           djnz   r6,loop08
```

```
           mov     a,r7
```

```
           subb   a,#08h
```

```
           ajmp   ctrl
```

```
show09:   cjne    r2,#09h,show10
```

```
           mov     r6,#0ffh
```

```
loop09:   mov     P2,#6fh
```

```
           clr     P3.1
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.1
```

```
           mov     P2,#0bfh
```

```
           clr     P3.2
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.2
```

```
           djnz   r6,loop09
```

```
           mov     a,r7
```

```
           subb   a,#09h
```

```
           ajmp   ctrl
```

```
show10:   cjne    r2,#0ah,show11
```

```
           mov     r6,#0ffh
```

```
loop10:   mov     P2,#3fh
```

```
           clr     P3.1
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.1
```

```
           mov     P2,#86h
```

```
           clr     P3.2
```

```
           acall  delay
```

```
           setb   P3.2
```

```
           djnz   r6,loop10
```

```
           mov     a,r7
```

```
           subb   a,#10h
```

```
           ajmp   ctrl
```

```
show11:   cjne    r2,#0bh,show12
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	mov	r6,#0ffh	loop13:	mov	P2,#4fh
loop11:	mov	P2,#06h		clr	P3.1
	clr	P3.1		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.1
	setb	P3.1		mov	P2,#86h
	mov	P2,#86h		clr	P3.2
	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djnz	r6,loop13
	djnz	r6,loop11		mov	a,r7
	mov	a,r7		subb	a,#13h
	subb	a,#11h		ajmp	ctrl
	ajmp	ctrl	show14:	cjne	r2,#0eh,show15
show12:	cjne	r2,#0ch,show13		mov	r6,#0ffh
	mov	r6,#0ffh	loop14:	mov	P2,#66h
loop12:	mov	P2,#5bh		clr	P3.1
	clr	P3.1		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.1
	setb	P3.1		mov	P2,#86h
	mov	P2,#86h		clr	P3.2
	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djnz	r6,loop14
	djnz	r6,loop12		mov	a,r7
	mov	a,r7		subb	a,#14h
	subb	a,#12h		ajmp	ctrl
	ajmp	ctrl	show15:	cjne	r2,#0fh,show16
show13:	cjne	r2,#0dh,show14		mov	r6,#0ffh
	mov	r6,#0ffh	loop15:	mov	P2,#6dh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	clr	P3.1		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.1
	setb	P3.1		mov	P2,#86h
	mov	P2,#86h		clr	P3.2
	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djnz	r6,loop17
	djnz	r6,loop15		mov	a,r7
	mov	a,r7		subb	a,#17h
	subb	a,#15h		ajmp	ctrl
	ajmp	ctrl			
show16:	cjne	r2,#10h,show17	show18:	cjne	r2,#12h,show19
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop16:	mov	P2,#7dh	loop18:	mov	P2,#7fh
	clr	P3.1		clr	P3.1
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.1		setb	P3.1
	mov	P2,#86h		mov	P2,#86h
	clr	P3.2		clr	P3.2
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.2		setb	P3.2
	djnz	r6,loop16		djnz	r6,loop18
	mov	a,r7		mov	a,r7
	subb	a,#16h		subb	a,#18h
	ajmp	ctrl		ajmp	ctrl
show17:	cjne	r2,#11h,show18	show19:	cjne	r2,#13h,show20
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop17:	mov	P2,#07h	loop19:	mov	P2,#6fh
	clr	P3.1		clr	P3.1
				acall	delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	setb P3.1		mov P2,#0dbh
	mov P2,#86h		clr P3.2
	clr P3.2		acall delay
	acall delay		setb P3.2
	setb P3.2		djnz r6,loop21
	djnz r6,loop19		mov a,r7
	mov a,r7		subb a,#21h
	subb a,#19h		ajmp ctrl
	ajmp ctrl		
show20:	cjne r2,#14h,show21	show22:	cjne r2,#16h,show23
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop20:	mov P2,#3fh	loop22:	mov P2,#5bh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0dbh		mov P2,#0dbh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop20		djnz r6,loop22
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#20h		subb a,#22h
	ajmp ctrl		ajmp ctrl
show21:	cjne r2,#15h,show22	show23:	cjne r2,#17h,show24
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop21:	mov P2,#06h	loop23:	mov P2,#4fh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0dbh		mov P2,#0dbh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djnz	r6,loop25
	djnz	r6,loop23		mov	a,r7
	mov	a,r7		subb	a,#25h
	subb	a,#23h		ajmp	ctrl
	ajmp	ctrl			
show24:	cjne	r2,#18h,show25	show26:	cjne	r2,#1ah,show27
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop24:	mov	P2,#66h	loop26:	mov	P2,#7dh
	clr	P3.1		clr	P3.1
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.1		setb	P3.1
	mov	P2,#0dbh		mov	P2,#0dbh
	clr	P3.2		clr	P3.2
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.2		setb	P3.2
	djnz	r6,loop24		djnz	r6,loop26
	mov	a,r7		mov	a,r7
	subb	a,#24h		subb	a,#26h
	ajmp	ctrl		ajmp	ctrl
show25:	cjne	r2,#19h,show26	show27:	cjne	r2,#1bh,show28
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop25:	mov	P2,#6dh	loop27:	mov	P2,#07h
	clr	P3.1		clr	P3.1
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.1		setb	P3.1
	mov	P2,#0dbh		mov	P2,#0dbh
	clr	P3.2		clr	P3.2
	acall	delay		acall	delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับความยินยอม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	setb P3.2		djnz r6,loop29
	djnz r6,loop27		mov a,r7
	mov a,r7		subb a,#29h
	subb a,#27h		ajmp ctrl
	ajmp ctrl		
show28:	cjne r2,#1ch,show29	show30:	cjne r2,#1eh,show31
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop28:	mov P2,#7fh	loop30:	mov P2,#3fh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0dbh		mov P2,#0cfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop28		djnz r6,loop30
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#28h		subb a,#30h
	ajmp ctrl		ajmp ctrl
show29:	cjne r2,#1dh,show30	show31:	cjne r2,#1fh,show32
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop29:	mov P2,#6fh	loop31:	mov P2,#06h
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0dbh		mov P2,#0cfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop31		djnz r6,loop31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	mov a,r7		subb a,#33h
	subb a,#31h		ajmp ctrl
	ajmp ctrl		
show32:	cjne r2,#20h,show33	show34:	cjne r2,#22h,show35
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop32:	mov P2,#5bh	loop34:	mov P2,#66h
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0cfh		mov P2,#0cfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop32		djnz r6,loop34
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#32h		subb a,#34h
	ajmp ctrl		ajmp ctrl
show33:	cjne r2,#21h,show34	show35:	cjne r2,#23h,show36
	mov r6,#0ffh		mov r6,#0ffh
loop33:	mov P2,#4fh	loop35:	mov P2,#6dh
	clr P3.1		clr P3.1
	acall delay		acall delay
	setb P3.1		setb P3.1
	mov P2,#0cfh		mov P2,#0cfh
	clr P3.2		clr P3.2
	acall delay		acall delay
	setb P3.2		setb P3.2
	djnz r6,loop33		djnz r6,loop35
	mov a,r7		mov a,r7
	subb a,#35h		subb a,#35h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ajmp	ctrl			
show36:	cjne	r2,#24h,show37	show38:	cjne	r2,#26h,show39
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop36:	mov	P2,#7dh	loop38:	mov	P2,#7fh
	clr	P3.1		clr	P3.1
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.1		setb	P3.1
	mov	P2,#0cfh		mov	P2,#0cfh
	clr	P3.2		clr	P3.2
	acall	delay		acall	delay
	seth	P3.2		setb	P3.2
	djnz	r6,loop36		djnz	r6,loop38
	mov	a,r7		mov	a,r7
	subb	a,#36h		subb	a,#38h
	ajmp	ctrl		ajmp	ctrl
show37:	cjne	r2,#25h,show38	show39:	cjne	r2,#27h,show40
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop37:	mov	P2,#07h	loop39:	mov	P2,#6fh
	clr	P3.1		clr	P3.1
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.1		setb	P3.1
	mov	P2,#0cfh		mov	P2,#0cfh
	clr	P3.2		clr	P3.2
	acall	delay		acall	delay
	setb	P3.2		setb	P3.2
	djnz	r6,loop37		djnz	r6,loop39
	mov	a,r7		mov	a,r7
	subb	a,#37h		subb	a,#39h
	ajmp	ctrl		ajmp	ctrl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
show40:    cjne    r2,#28h,show41
```

```
          mov     r6,#0ffh
```

```
loop40:   mov     P2,#3fh
```

```
          clr     P3.1
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.1
```

```
          mov     P2,#0e6h
```

```
          clr     P3.2
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.2
```

```
          djnz   r6,loop40
```

```
          mov     a,r7
```

```
          subb   a,#40h
```

```
          ajmp   ctrl
```

```
show41:   cjne    r2,#29h,show42
```

```
          mov     r6,#0ffh
```

```
loop41:   mov     P2,#06h
```

```
          clr     P3.1
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.1
```

```
          mov     P2,#0e6h
```

```
          clr     P3.2
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.2
```

```
          djnz   r6,loop41
```

```
          mov     a,r7
```

```
          subb   a,#41h
```

```
          ajmp   ctrl
```

```
show42:   cjne    r2,#2ah,show43
```

```
          mov     r6,#0ffh
```

```
loop42:   mov     P2,#5bh
```

```
          clr     P3.1
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.1
```

```
          mov     P2,#0e6h
```

```
          clr     P3.2
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.2
```

```
          djnz   r6,loop42
```

```
          mov     a,r7
```

```
          subb   a,#42h
```

```
          ajmp   ctrl
```

```
show43:   cjne    r2,#2bb,show44
```

```
          mov     r6,#0ffh
```

```
loop43:   mov     P2,#4fh
```

```
          clr     P3.1
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.1
```

```
          mov     P2,#0e6h
```

```
          clr     P3.2
```

```
          acall  delay
```

```
          setb   P3.2
```

```
          djnz   r6,loop43
```

```
          mov     a,r7
```

```
          subb   a,#43h
```

```
          ajmp   ctrl
```

```
show44:   cjne    r2,#2ch,show45
```

```
          mov     r6,#0ffh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

loop44:	mov P2,#66h	clr P3.1
	clr P3.1	acall delay
	acall delay	setb P3.1
	setb P3.1	mov P2,#0e6h
	mov P2,#0e6h	clr P3.2
	clr P3.2	acall delay
	acall delay	setb P3.2
	setb P3.2	djnz r6,loop46
	djnz r6,loop44	mov a,r7
	mov a,r7	subb a,#46h
	subb a,#44h	ajmp ctrl
	ajmp ctrl	
show45:	cjne r2,#2dh,show46	show47: cjne r2,#2fh,show48
	mov r6,#0ffh	mov r6,#0ffh
loop45:	mov P2,#6dh	loop47: mov P2,#07h
	clr P3.1	clr P3.1
	acall delay	acall delay
	setb P3.1	setb P3.1
	mov P2,#0e6h	mov P2,#0e6h
	clr P3.2	clr P3.2
	acall delay	acall delay
	setb P3.2	setb P3.2
	djnz r6,loop45	djnz r6,loop47
	mov a,r7	mov a,r7
	subb a,#45h	subb a,#47h
	ajmp ctrl	ajmp ctrl
show46:	cjne r2,#2eh,show47	show48: cjne r2,#30h,show49
	mov r6,#0ffh	mov r6,#0ffh
loop46:	mov P2,#7dh	loop48: mov P2,#7fh
	clr P3.1	clr P3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับความยินยอม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	acall	delay		setb	P3.1
	setb	P3.1		mov	P2,#0edh
	mov	P2,#0e6h		clr	P3.2
	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djnz	r6,loop50
	djnz	r6,loop48		mov	a,r7
	mov	a,r7		subb	a,#50h
	subb	a,#48h		ajmp	ctrl
	ajmp	ctrl			
show49:	cjne	r2,#31h,show50	showEE:	mov	P2,#40h
	mov	r6,#0ffh		mov	r6,#0ffh
loop49:	mov	P2,#6fh	loopEE:	clr	P3.1
	clr	P3.1		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.1
	setb	P3.1		mov	P2,#40b
	mov	P2,#0e6h		clr	P3.2
	clr	P3.2		acall	delay
	acall	delay		setb	P3.2
	setb	P3.2		djaz	r6,loopEE
	djnz	r6,loop49		setb	P3.6
	mov	a,r7		ajmp	readinput
	subb	a,#49h	ctrl:	jc	pump
	ajmp	ctrl		clr	P3.6
				clr	P3.5
show50:	cjne	r2,#32h,showEE		clr	P3.4
	mov	r6,#0ffh		ajmp	readinput
loop50:	mov	P2,#3fh			
	clr	P3.1	pump:	setb	P3.6
	acall	delay		setb	P3.5

```

setb    P3.4
ajmp   readinput

range:  db    11h,0dh,0eh,0fh
        db    10h,12h,13h,14h
        db    15h,17h,20h,30h
        db    3fh,4eh,5eh,6ah
        db    6fh,75h,7bh,80h
        db    88h,8dh,93h,99h
        db    9fh,0a4h,0a5h,0a6h
        db    0a7h,0a7h,0ach,0b1h
        db    0b7h,0bdh,0c2h,0c9h
        db    0cdh,0d1h,0d5h,0d8h
        db    0deh,0e2h,0e7h,0ech
        db    0f1h,0f5h,0f7h,0f9h
        db    0fah,0fch,0ffh
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้