

เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำ
LC METER

เต็มศิริ พวงบุบผา
Temsiri Puangbubpha

ธิตีพล คำทัง
Titipol Kumtung

อานนท์ ศรีชัยธำรง
Arnon Srichaitamrong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำ
(LC METER)



ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้
ประกาศหรือเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง

เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำ
(LC METER)

จัดทำโดย

นางสาวเต็มศิริ พวงบุบผา รหัส 54010492 ชั้นปีที่ 4C
นายธิตพล คำทัง รหัส 54010624 ชั้นปีที่ 4C
นายอานนท์ ศรีชัยธำรง รหัส 54011543 ชั้นปีที่ 4C

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา



รายงานฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่ 25 / 10 / 2558
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำ

นางสาวเต็มศิริ พวงบุบผา	รหัส 54010492
นายธิตินพล คำทัง	รหัส 54010624
นายอานนท์ ศรีชัยธำรง	รหัส 54011543
อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา	อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาคเรียนที่2	ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวัดค่าตัวเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจาก บางงานจำเป็นต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุในการคำนวณและตัวเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นเอง จะต้องใช้เครื่องวัดที่มีราคาสูงซึ่งเป็นการยากในการวัด ซึ่งเครื่องมือวัดนี้อาจมีความแม่นยำไม่สูงเท่าเครื่องวัดราคาสูง แต่สามารถระบุค่าที่มีความใกล้เคียงได้ โดยอาศัยสมการการคำนวณความถี่เรโซแนนซ์และค่าคาบเวลาในการชาร์จประจุ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการอ่านค่าความถี่ คาบเวลาและเปรียบเทียบกันเพื่อทำการปรับค่าให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น โดยจะมีการแสดงผลออกมาที่ทางหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LC Meter

Ms.Temsiri Puangbubpha 54010492
 Mr.Titipol Kumtung 54010624
 Mr.Arnon Srichaitamrong 54011543
 Chaleompan Wungwiwattana Advisor
 2nd Semester, Education Year 2014

Abstract

This project have purpose to create a device that used to measure the capacitance and the inductance of the capacitor and inductor. For convenience to the user and save cost because some project need to know value of capacitor labeled and inductor which create your own. If user doesn't use this device, user must use expensive LC Meter which is difficult to measure. Although this device precision is probably not as high as expensive LC Meter but this device can specify values that are close to the truth value. By use the equation to calculate the resonant frequency and RC time constant. Using a microcontroller to read and compare the frequency and period to be adjusted more precisely. There will be displays value on the LCD display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การออกแบบวงจรและการสร้างเครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำ รวมถึงรายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ อีกทั้งต้องกล่าวขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยเหลือด้วยดีเสมอ



เต็มศิริ พวงบุบผา

(นางสาว เต็มศิริ พวงบุบผา)

อิทธิพล คำทั้ง

(นาย อิทธิพล คำทั้ง)

อานนท์ ศรีชัยธำรง

(นาย อานนท์ ศรีชัยธำรง)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขต.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 Arduino.....	3
2.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม.....	4
2.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	4
2.4 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino Nano).....	6
2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่น.....	7
2.6 วงจรคอมพารเตอ์หรือวงจรถ่ายเทียบ (COMPARATOR).....	7
2.7 วงจร COMPARATOR แบบ 2 อินพุต.....	8
2.8 LCD Module.....	8
2.9 โครงสร้างภายในของ LCD Module.....	9
2.10 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor).....	10
2.11 ตัวเก็บประจุ หรือ คาปาซิเตอร์ (capacitor หรือ condenser).....	11
2.12 วงจร LC เรโซแนนซ์.....	12
2.13 ค่าคงที่เวลา (ไทม์คอนสแตนต์: time constant).....	13
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินการ.....	15
3.1 ส่วนประกอบของงานวิจัย.....	15
3.2 การออกแบบวงจร Power Supply.....	17
3.3 การออกแบบวงจรภาคอินพุต.....	17

3.4 การออกแบบวงจรภาคประมวลผล.....	17
3.5 การออกแบบวงจรเอาต์พุต.....	20
3.6 วงจรและโปรแกรมที่ออกแบบ.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	29
4.1 วงจรก่อนมีอินพุต.....	29
4.2 วงจรหลังต่อวัดตัวเก็บประจุ.....	30
4.3 วงจรหลังต่อวัดตัวเหนี่ยวนำ.....	31
4.4 วัดค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุด้วย LCR METER.....	32
4.5 ตารางสรุปผลการวัดตัวเก็บประจุ.....	38
4.6 ตารางสรุปผลการวัดตัวเหนี่ยวนำ.....	38
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
5.1 บทสรุป.....	39
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	39
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	40
บรรณานุกรม.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองการวัดตัวเก็บประจุ.....	38
4.2 ผลการทดลองการวัดตัวเหนี่ยวนำ.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Arduino.....	3
2.2 Arduino ต่อกับ LED.....	3
2.3 Arduino ต่อกับ Xbee Shield.....	4
2.4 ขั้นตอนการเลือกบอร์ดในโปรแกรม ArduinoIDE.....	4
2.5 ขั้นตอนการเลือกพอร์ทในโปรแกรม ArduinoIDE.....	5
2.6 ขั้นตอนการ Verify และ Burn Program เข้าใน Arduino จากโปรแกรม ArduinoIDE.....	5
2.7 การเชื่อมต่อ Arduino กับ Computer.....	6
2.8 Pin และ Interface ของ Arduino Nano.....	6
2.9 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง Arduino รุ่นต่างๆ.....	7
2.10 วงจร Comparator แบบ 2 อินพุต.....	8
2.11 ไดอะแกรมการทำงานของ LCD Module.....	9
2.12 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน.....	10
2.13 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม.....	11
2.14 วงจร Tank Circuit (LC Resonance).....	12
2.15 วงจร RL ไทม์คอนสแตนต์.....	13
2.16 วงจร RC ไทม์คอนสแตนต์.....	14
3.1 Block Diagram LC Meter.....	15
3.2 LC Tank Circuit เบื้องต้น.....	17
3.3 RC Circuit.....	18
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ.....	18
3.5 รูปคลื่นที่ Input และ Output ของวงจร Comparator.....	19
3.6 Pinout ของ IC LM339.....	20
3.7 LCD กับ Arduino ต่อแบบ I ² C.....	21
3.8 การต่อ LCD เข้ากับ Arduino.....	22
3.9 Schematic Inductor Meter.....	23
3.10 Schematic Capacitor Meter.....	23
3.11 Schematic LC Meter.....	24
3.12 PCB LC Meter.....	25
4.1 การแสดงผลขณะยังไม่มีอินพุต.....	29
4.2 การแสดงผลขณะวัด C ขนาด 100 uF.....	30

4.3 การแสดงผลขณะวัด C ขนาด 1000 uF.....	30
4.4 การแสดงผลขณะวัด L ขนาด 68 uH.....	31
4.5 การแสดงผลขณะวัด L ขนาด 2.2 mH.....	31
4.6 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 4.4 mH.....	32
4.7 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 10 uH.....	32
4.8 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 68 uH.....	33
4.9 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 2.2 mH.....	33
4.10 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 10 uF.....	34
4.11 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1000 uF.....	34
4.12 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1 uF.....	35
4.13 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 4.7 uF.....	35
4.14 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1 nF.....	36
4.15 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 100 nF.....	36
4.17 รูปสัญญาณที่ได้จากวัดที่ output ของ LM339 เทียบกับ gnd ขณะมี input.....	37
4.16 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 4700 uF.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากที่ได้สำรวจราคาและวิธีวัดค่าของอุปกรณ์พาสซีฟจะเห็นได้ว่า การวัดค่าตัวเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นเองจะมีความยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างสูง จึงเป็นที่มาของโครงการครั้งนี้เพื่อที่สามารถวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำได้เองโดยไม่ต้องซื้อเครื่องวัดราคาแพง ซึ่งถึงอุปกรณ์ที่วัดจะมีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องวัดมาตรฐาน แต่ก็สามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำที่มีความใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐานในต้นทุนที่ต่ำกว่าได้

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรและสมการความถี่เรโซแนนซ์

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการของ RC Time Constant

1.2.4 เพื่อศึกษาการใช้งาน Arduino

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและความเหนี่ยวนำสามารถวัดและแสดงผลค่าที่วัดได้โดยมีความใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากที่สุด และสามารถแปลงค่าตามหน่วยที่มีความเหมาะสมได้

1.4 ขอบเขต

1.4.1 arduino nano 3.1 ใช้ในการวัดและคำนวณความถี่จากวงจรและนำไปแสดงผล

1.4.2 ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ใช้ค่าที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาการทำงานและการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ Arduino Controller

1.5.2 นำวงจรที่เกี่ยวข้องของมาใช้งานร่วมกับ Arduino Controller และเขียนโปรแกรมให้สามารถอ่านค่าและแสดงผล

1.5.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างวงจร

1.5.4 สร้างวงจรตามส่วนของตัวอ่านค่าและส่วนแสดงผล

1.5.5 ศึกษาผลที่ได้ว่ามีผลลัพธ์ตรงตามที่ต้องการหรือไม่ รวมถึงศึกษาปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งาน หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้บททวนการทำรายงาน
- 1.5.2 ได้บททวนกระบวนการออกแบบลายวงจร
- 1.5.3 ได้บททวนความรู้ที่ได้ศึกษามา
- 1.5.4 ได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น
- 1.5.5 ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.5.6 ได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำโปรเจค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

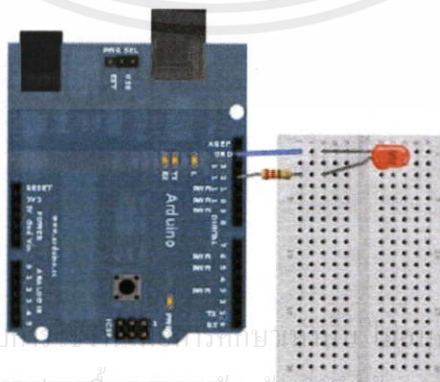
2.1 Arduino

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

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



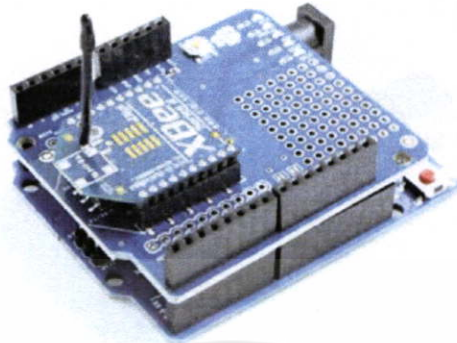
รูปที่ 2.1 Arduino



รูปที่ 2.2 Arduino ต่อกับ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



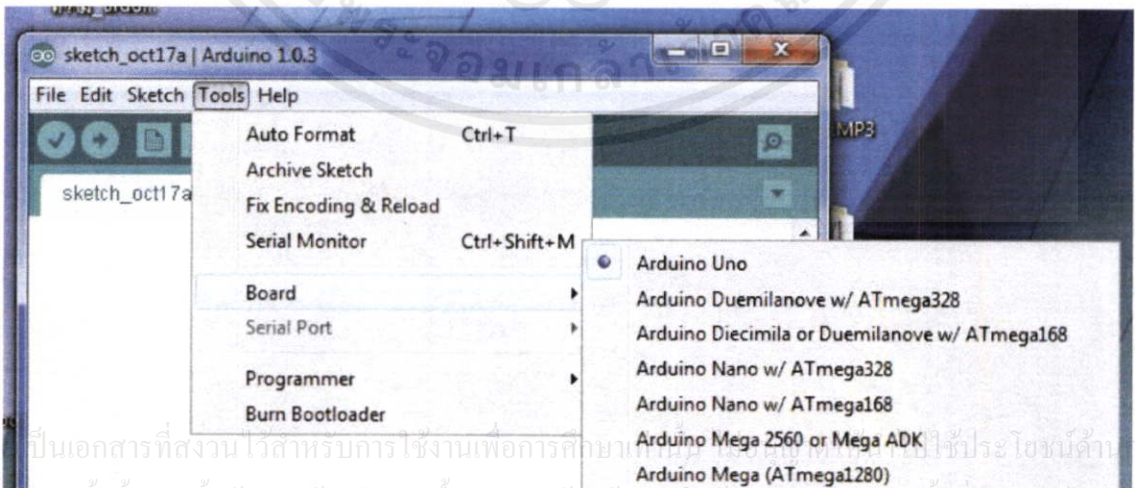
รูปที่ 2.3 Arduino ต่อกับ Xbee Shield

2.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

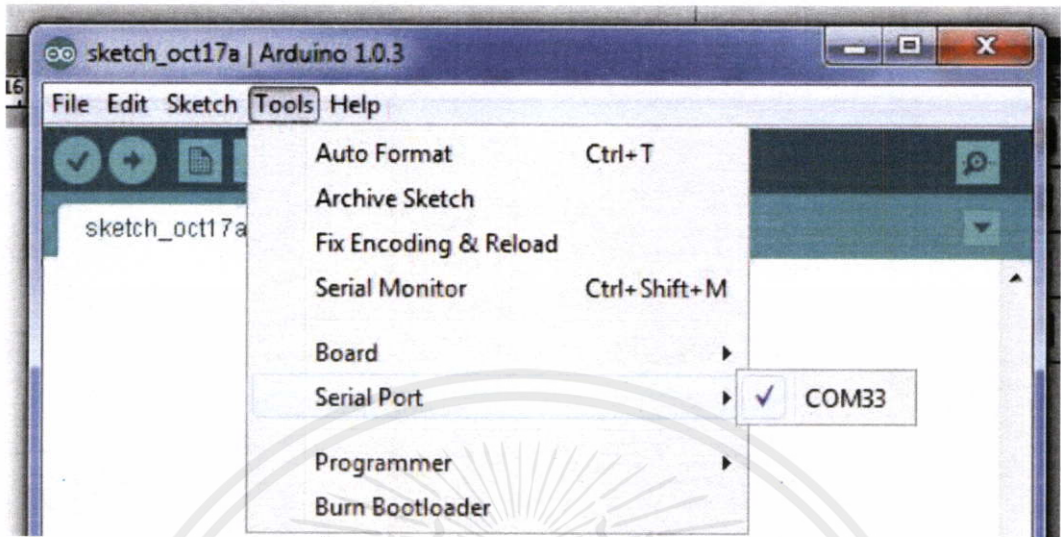
- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software
2. หลังจากเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

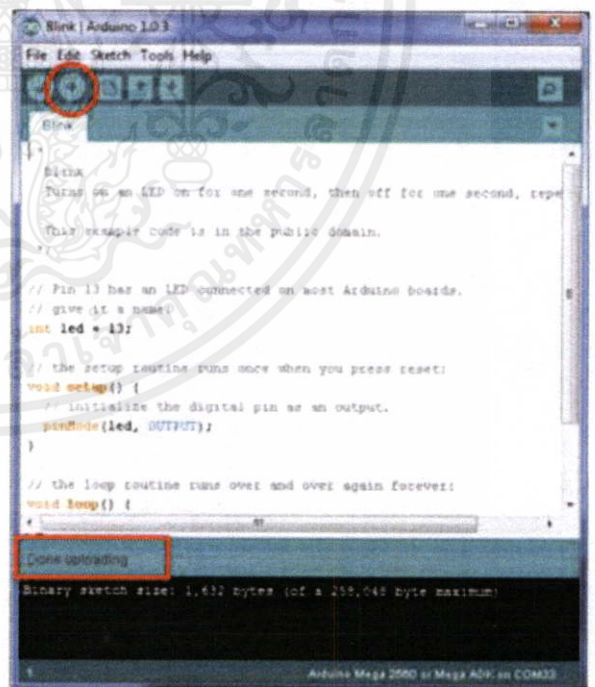
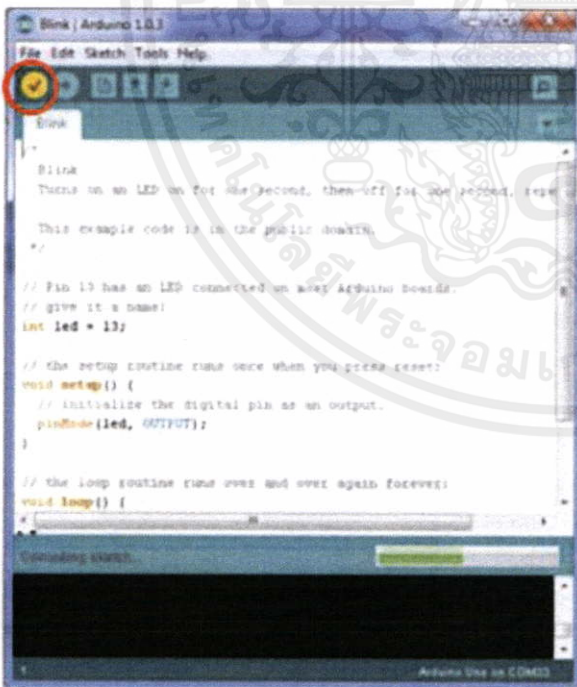


รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเลือกบอร์ดในโปรแกรม ArduinoIDE



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเลือกพอร์ทในโปรแกรม ArduinoIDE

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



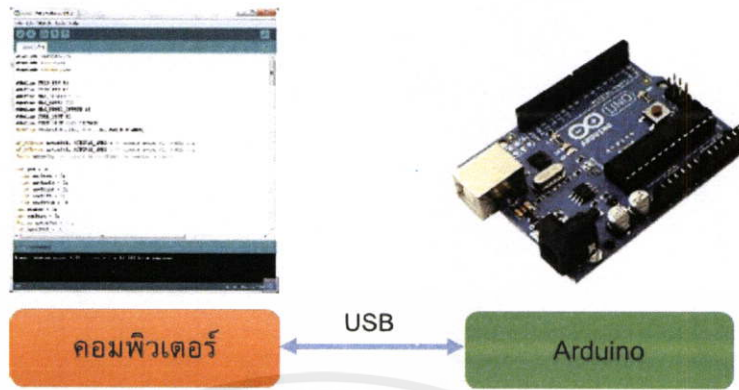
กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และ Compile โค้ดโปรแกรม

Upload โค้ดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

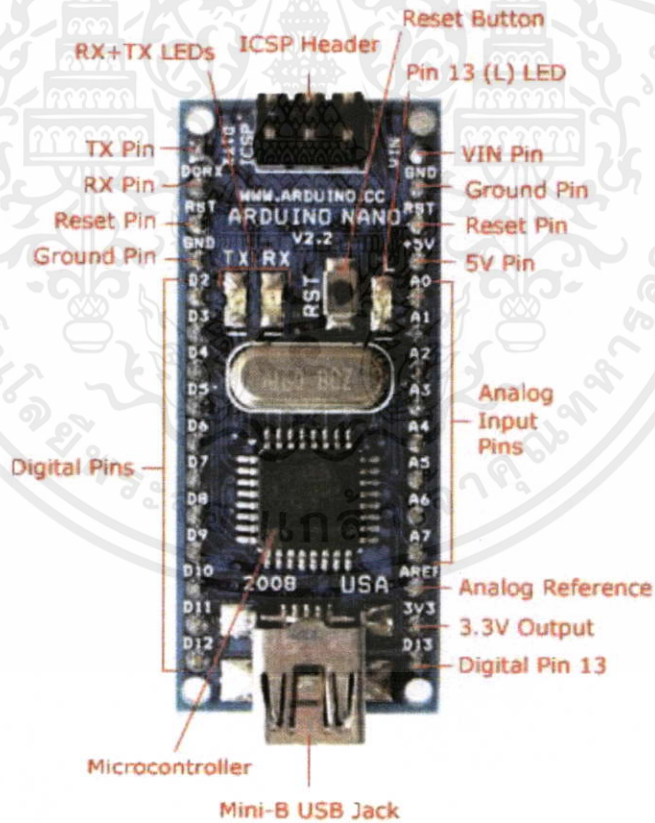
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีเก้ทห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการ Verify และ Burn Program เข้าใน Arduino จากโปรแกรม ArduinoIDE



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อ Arduino กับ Computer

2.4 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino Nano)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.8 Pin และ Interface ของ Arduino Nano
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. I/OPort: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
4. MCU: Atmega328P เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
5. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A7
6. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}

2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่น

	Processor				Input / Output							Power				Connectivity						
	Family	SRAM	FLASH	EEPROM	Clock	Digital I/O	Analog In	ADC Bits	PWM	UART	Analog Out	DAC Bits	VCC	Vin Range	5V	3V3	Serial	USB-Serial	I2C	Ethernet	USB-host	SD Card
Arduino UNO R3	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2		1	No	No	No
Arduino UNO SMD	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2		1	No	No	No
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2		1	No	No	No
Arduino Mega ADK	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2		1	MAX3421E	No	No
Arduino Leonardo	ATmega32U4	2.5k	32k	1k	16MHz	25	12	10	7	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	Built-in		1	No	No	No
Arduino Mini 05	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-9V	Yes	No	N/A		1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 3.3V	ATmega328	2k	32k	1k	8MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	3.3V	5V-12V	No	Yes	N/A		1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 5V	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-12V	Yes	No	N/A		1	No	No	No
Arduino Ethernet with PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A		1	No	No	No
Arduino Ethernet without PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A		1	No	No	No
Arduino DUE	SAM3X8E	96kb	512k	N/A	84MHz	70	12	12	12	4	2	12	3.3V	7-12V	No	VC C	Built-in		2	No	Yes	No

รูปที่ 2.9 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง Arduino รุ่นต่างๆ

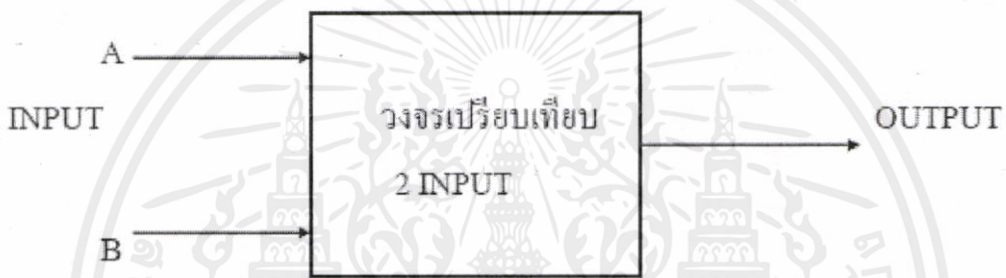
2.6 วงจรคอมพารเตเตอร์หรือวงจรเปรียบเทียบ(COMPARATOR)

วงจรคอมพารเตเตอร์หรือวงจรเปรียบเทียบ(COMPARATOR) เป็นวงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณลอจิกจำนวนมากกว่า 2 สัญญาณ โดยจะเป็นการเปรียบเทียบในลักษณะมากกว่า, น้อยกว่าหรือเท่ากัน ซึ่งในความหมายของคำว่ามากกว่า, น้อยกว่าหรือเท่ากัน ไม่ได้หมายถึงการเปรียบเทียบว่าสัญญาณ

นั้นๆ มีขนาดมากหรือน้อยกว่ากัน แต่จะเป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนสัญญาณนั้นมากกว่าหรือน้อยกว่ากัน โดยในการออกแบบวงจรคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นการออกแบบโดยใช้ตารางความจริงและการลดรูปสมการแบบ K - MAP โดยนำสมการที่ได้มาเขียนเป็นวงจรลอจิกโดยใช้ไอซีเกทพื้นฐาน นอกจากนี้ในการออกแบบวงจรคอมพิวเตอร์ยังแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน

2.7 วงจร COMPARATOR แบบ 2 อินพุต

เป็นวงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณ INPUT 2 สัญญาณว่ามีขนาดน้อยกว่า, มากกว่าหรือเท่ากัน โดยได้ OUTPUT เป็นรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.10 วงจร Comparator แบบ 2 อินพุต

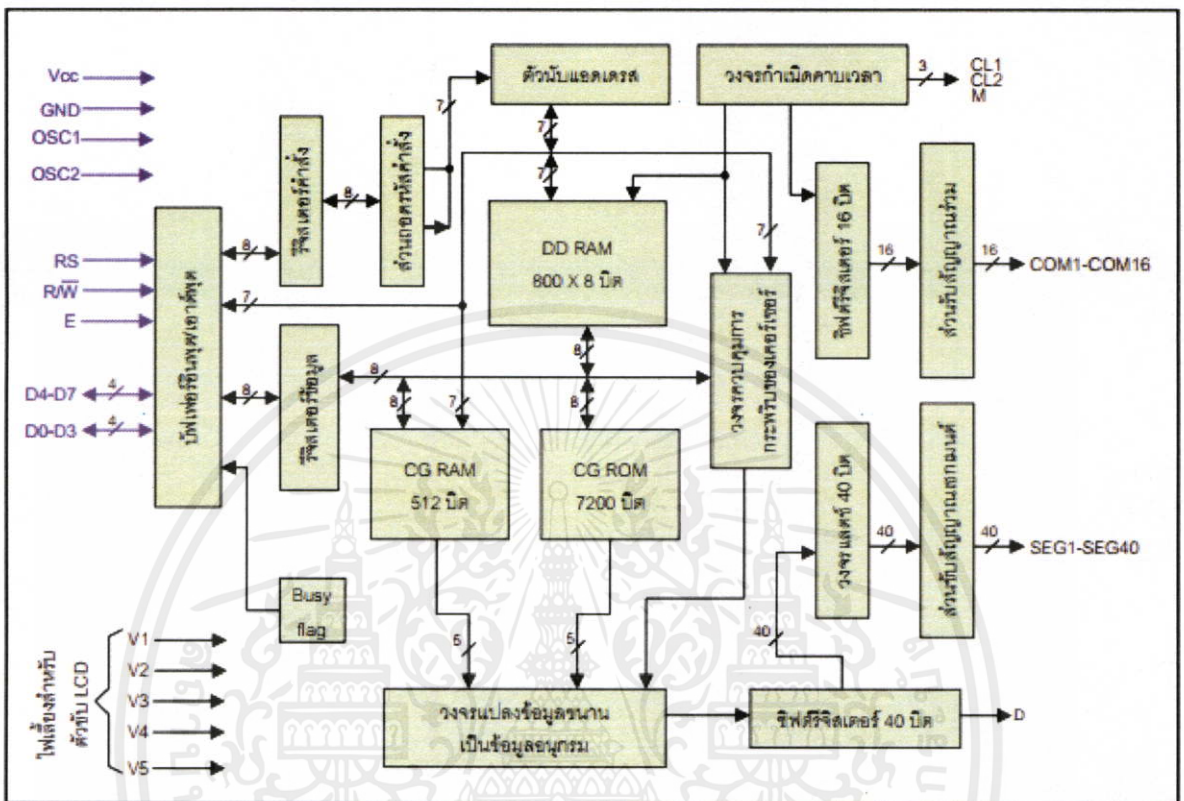
2.8 LCD Module

โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว หรือ Liquid Crystal Display module เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย มีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน คือ

1. ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลบนจอ LCD
2. ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ ควบคุม Cursor แสดงตัวอักษร
3. ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงผลข้อมูลตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 โครงสร้างภายในของ LCD Module



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมการทำงานของ LCD Module

1. บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกตัวควบคุม
2. รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล
3. รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register: DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลจากภายนอก เพื่อถ่ายทอดไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่แสดงผล หรือนำไปสร้างตัวอักษรพิเศษใน แรมเก็บตัวอักษร
4. แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM: DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลจาก DR โดยตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up table) เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
5. รมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) เป็นหน่วยความจำรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 bit
6. แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM: CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่สร้างขึ้นใหม่ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้ทำเป็นเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

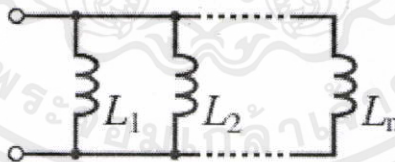
7. แพลก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุม พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่

2.10 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

บางครั้งถูกเรียกว่าคอยล์หรือรีแอคเตอร์ (coil หรือ reactor) เป็นชิ้นส่วนในวงจรไฟฟ้าแบบพาสซีฟสองขั้วไฟฟ้า (ขา) มีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมัน มันประกอบด้วยตัวนำ เช่นลวดทองแดงม้วนกันเป็นวงกลม เมื่อกระแสไหลผ่านตัวมัน พลังงานจะถูกเก็บไว้ชั่วคราวในรูปสนามแม่เหล็กในคอยล์นั้น เมื่อกระแสนั้นเปลี่ยนแปลง, สนามแม่เหล็กที่แปรตามเวลาจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในตัวนำนั้น ตามกฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ ซึ่งจะต้านกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่สร้างมัน

ตัวเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดยการเหนี่ยวนำของมัน หรืออัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็น Henries (H) ตัวเหนี่ยวนำมีค่าปกติตั้งแต่ $1 \mu\text{H}$ (10^{-6}H) จนถึง 1 H ตัวเหนี่ยวนำจำนวนมากมีแกนเป็นแม่เหล็กที่ทำจากเหล็ก หรือเฟอร์ไรต์ภายในคอยล์ เหมือนกับตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำเป็นหนึ่งในสามชิ้นส่วนวงจรเชิงเส้นแบบพาสซีฟที่ประกอบขึ้นเป็นวงจรไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กระแสสลับ (AC) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุปกรณ์วิทยุ มันถูกใช้ป้องกันการไหลของกระแส AC ขณะที่ยอมให้กระแส DC ผ่านไปได้ ตัวเหนี่ยวนำที่ถูกออกแบบมาเพื่อการนี้จะเรียกว่าโช้ค (choke) มันยังถูกใช้ในตัวกรองอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแยกสัญญาณที่มีความถี่ที่แตกต่างกันและใช้ร่วมกับตัวเก็บประจุเพื่อทำเป็นวงจรปรับหาความถี่ (tuner) ที่ใช้ในการปรับหาคลื่นสถานีของเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์

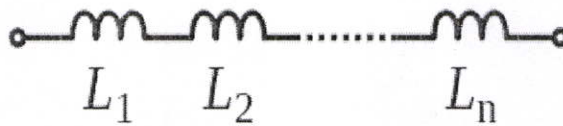
ตัวเหนี่ยวนำในวงจรขนานแต่ละตัวมีความต่างศักย์ (แรงดัน) เท่ากัน เพื่อหาการเหนี่ยวนำเทียบเท่า รวมของพวกมัน (L_{eq})



รูปที่ 2.12 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (2.10.1)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแต่ละที่ต่อแบบอนุกรมจะเป็นจำนวนเดียวกัน แต่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบนตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวจะแตกต่างกัน ผลรวมของความต่างศักย์ (แรงดัน) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟารวม เพื่อหาการเหนี่ยวนำรวมของพวกมันทั้งหมด:



รูปที่ 2.13 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (2.10.2)$$

ความสัมพันธ์ง่าย ๆ เหล่านี้จะเป็นจริงเมื่อไม่มีเกี่ยวพันซึ่งกันและกันของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นของแต่ละตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

2.11 ตัวเก็บประจุ หรือ คาปาซิเตอร์ (capacitor หรือ condenser)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ทำหน้าที่เก็บพลังงานในสนามไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นระหว่างคู่ฉนวน โดยมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากัน แต่มีชนิดของประจุตรงข้ามกัน บางครั้งเรียกตัวเก็บประจุนี้ว่า คอนเดนเซอร์ (condenser) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ และพบได้แทบทุกวงจรการเก็บประจุ

การเก็บประจุ คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุ เมื่อนำแบตเตอรี่ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่ จะเข้าไปรวมกันที่แผ่นเพลต ทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไป ผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมี ประจุเป็น + และ - ประปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูก ผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น

การคายประจุ

ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้าเรายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจร ระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไร อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เราเรียกว่า "การคายประจุ"

1. วงจรอนุกรม

การต่อวงจรอนุกรม คือการนำเอาตัวเก็บประจุตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาต่ออนุกรมหรืออันดับ การต่อลักษณะนี้จะทำให้พื้นที่รวมของแผ่นเพลตลดลง แต่ความหนาของไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การเก็บประจุมามีค่าน้อยลง อัตราหนาแรงไฟมากขึ้น ค่าการเก็บประจุมหาได้จากสูตร

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.11.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

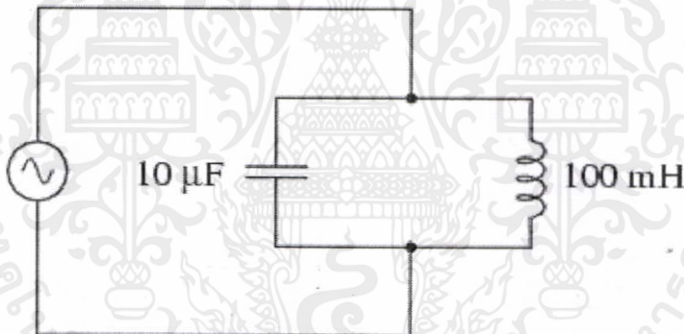
2. วงจรขนาน

การต่อวงจรขนาน คือการนำเอาตัวเก็บประจุมาต่อขนานกัน การต่อลักษณะนี้จะทำให้พื้นที่รวมของแผ่นเพลทเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การเก็บประจุรวมมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อัตราทอนแรงไฟ(WV) สูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับตัวที่มีอัตราทอนแรงไฟน้อยที่สุด ค่าการเก็บประจุรวมคำนวณจากการรวมพื้นที่ของแผ่นเพลททุกแผ่นรวมกันหาได้จากสูตร

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (2.11.2)$$

2.12 วงจร LC เรโซแนนซ์

เงื่อนไขในการ resonance จะเกิดจากวงจรทางค์ เมื่อรีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำสัมพันธ์กัน เนื่องจากเมื่อเพิ่มความถี่คาร์ีแอกแตนซ์ในตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นแต่คาร์ีแอกแตนซ์ในตัวเก็บประจุจะลดลง โดยจะมีแค่ความถี่ค่าเดียวที่ทำให้คาร์ีแอกแตนซ์ของทั้งสองอุปกรณ์นี้มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.14 วงจร Tank Circuit (LC Resonance)

โดยคาร์ีแอกแตนซ์ในตัวเก็บประจุจะเป็นดังสมการ

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.12.1)$$

และคาร์ีแอกแตนซ์ในตัวเหนี่ยวนำจะเป็นดังสมการ

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.12.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากทั้งสองสมการทำให้ได้สมการความถี่เรโซแนนซ์

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Hertz(Hz)} \quad (2.12.3)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \quad \text{Henry(H)} \quad (2.12.4)$$

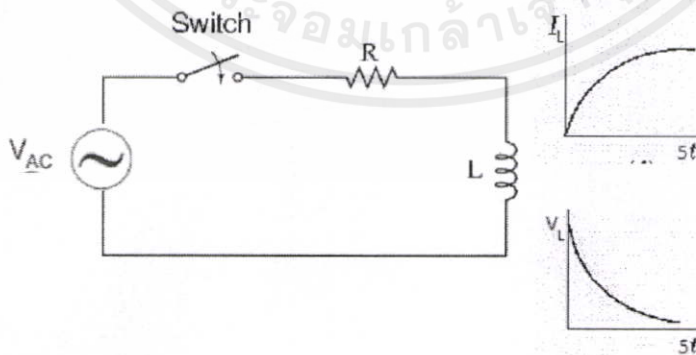
$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad \text{Farad(F)} \quad (2.12.5)$$

2.13 ค่าคงที่เวลา (ไทม์คอนสแตนต์: time constant)

จะมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ ค่าคงที่เวลาของการทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีค่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด เมื่อสวิตช์ SW ต่ วงจร แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายแรงดันในแก่วงจรทันทีที่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานเข้าไปสะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ แต่กระแสที่ไหลนี้จะไม่เพิ่มขึ้นในทันทีทันใด แต่จะค่อยๆเพิ่มขึ้น และจะมีกระแสไหลในวงจรสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งถูกกำหนดโดยค่าตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำหรือขดลวด ดังแสดงโดยสูตร

$$t = \frac{L}{R} \quad \text{second(s)} \quad (2.13.1)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี
R คือ ค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม

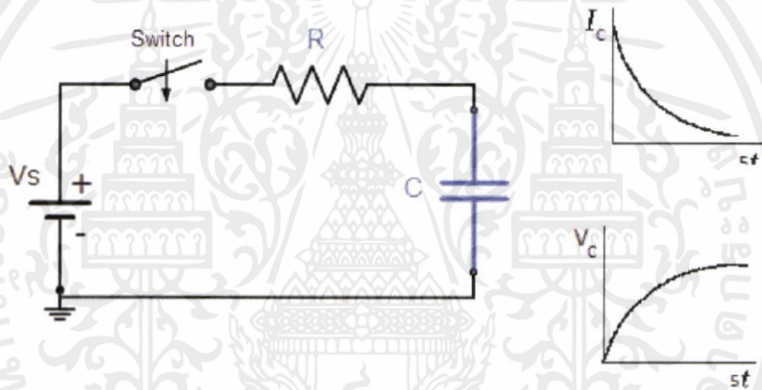


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า"
รูปที่ 2.15 วงจร RL ไทม์คอนสแตนต์
"ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

อีกลักษณะหนึ่งคือ ค่าคงที่ของเวลาที่ทำให้ตัวเก็บประจุสามารถประจุแรงดันได้สูงสุด จากรูปเมื่อต่อสวิตช์ SW แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายแรงดันไปประจุตัวเก็บประจุ โดยผ่านตัวต้านทานในช่วงนี้จะเกิดกระแสไหลใน วงจรค่าหนึ่ง และจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งแรงดันที่ตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ กระแสในวงจรจะกลายเป็นศูนย์ช่วงเวลาในตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุแรงดันนี้เองคือ ค่าคงที่เวลา ตามปกติในการประจุแรงดันจนเต็มจะใช้เวลาประมาณ $5t$ ค่าคงที่เวลานี้สามารถหาได้จากสูตร

$$t = CR \quad \text{second(s)} \quad (2.13.2)$$

โดยที่ C คือ ค่าของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด
 R คือ ค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม



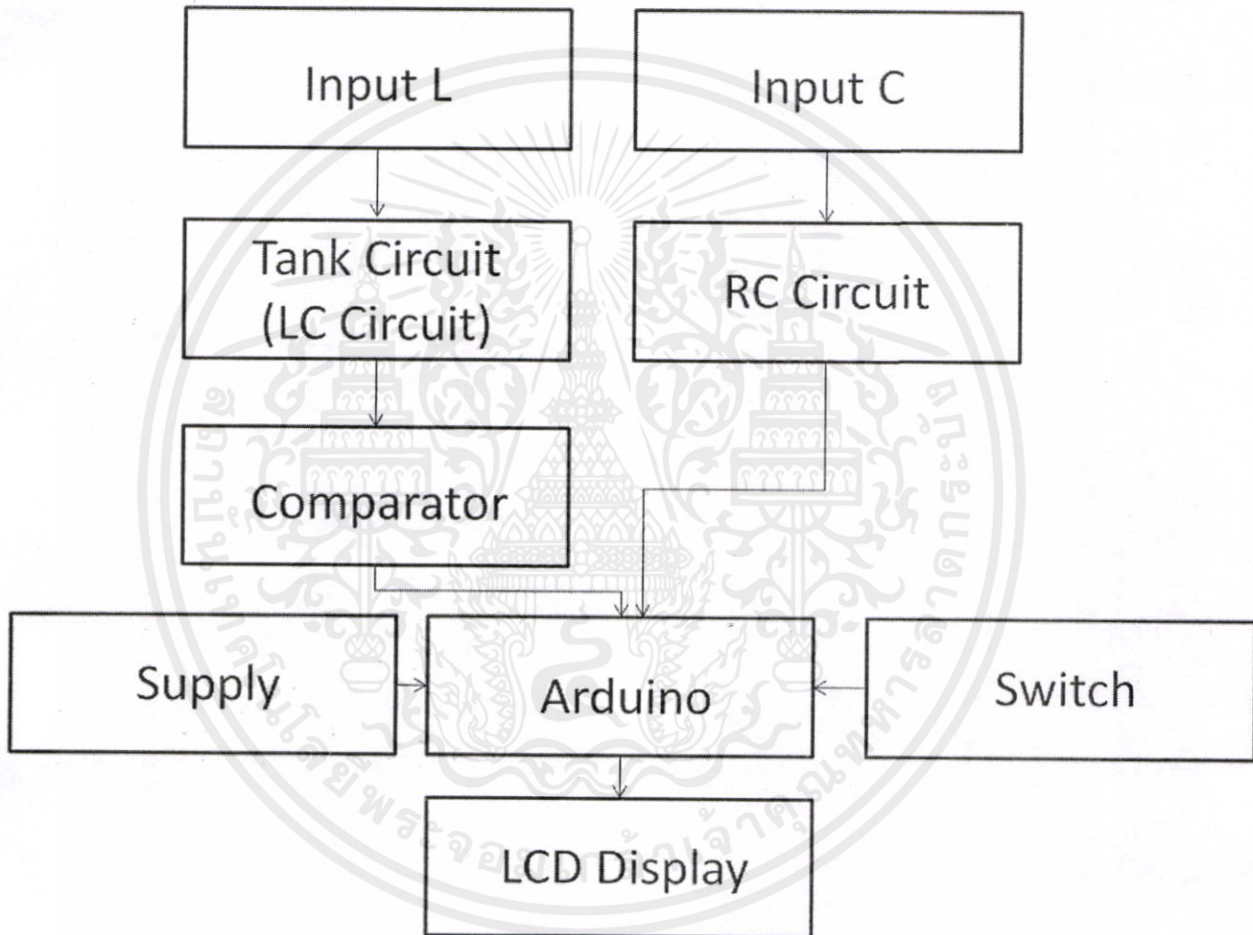
รูปที่ 2.16 วงจร RC ไทม์คอนสแตนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ส่วนประกอบของงานวิจัย



รูปที่ 3.1 Block Diagram LC Meter

1. Power Supply

ใช้จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ทุกส่วนทั้ง Arduino, IC Comparator, LCD, อุปกรณ์ RLC ในวงจร โดยใช้ไฟจาก USB port ขนาด 5V

Input

2. Input L

ตัวเหนี่ยวนำที่ต้องการวัดค่าเพื่อใช้ในการทดสอบความแม่นยำในการวัดของอุปกรณ์เทียบกับอุปกรณ์วัดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Input C ตัวเก็บประจุที่ต้องการวัดค่าเพื่อใช้ในการทดสอบความแม่นยำในการวัดของอุปกรณ์เทียบกับอุปกรณ์วัดอื่นๆ
4. Switch ใช้ในการเลือกโหมดการวัดว่าจะวัด ค่าตัวเก็บประจุ หรือ ความเหนียวนำ ในวงจรใช้เป็น Toggle Switch

Process

5. Tank Circuit (LC Circuit) เป็นวงจรที่เกิดจากการนำตัวเก็บประจุและตัวเหนียวนำมาต่อขนานกัน ใช้เพื่อสร้างความถี่อ้างอิงให้กับวงจรเพื่อใช้เปรียบเทียบกับความถี่ หลังจากมีตัวเหนียวนำที่ต้องการวัดค่ามาต่อเข้ากับอุปกรณ์ ซึ่งใช้หลักการของความถี่เรโซแนนซ์ในการคำนวณหาค่า โดยค่าตัวเหนียวนำจะเป็นค่าที่ผู้ใช้ต้องการวัด และค่าตัวเก็บประจุจะเป็นค่าที่กำหนดไว้แล้วโดยจะใช้ค่า $2\mu\text{F}$ ค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งหากเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการแก้ไขค่าในส่วนของ Software เพื่อให้การคำนวณเป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งจะมีผลต่อย่านการวัดของอุปกรณ์วัดด้วยว่าจะสามารถวัดค่าได้สูงที่สุดและต่ำที่สุดเท่าใด
6. RC Circuit เป็นวงจรที่เกิดจากการนำตัวต้านทานมาต่อกับตัวเก็บประจุเพื่อให้เกิดการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งใช้หลักการของ RC Time Constant ในการคำนวณหาค่า โดยค่าตัวเก็บประจุจะเป็นค่าที่ผู้ใช้ต้องการวัดและค่าตัวต้านทานจะเป็นค่าที่กำหนดไว้แล้วโดยจะใช้ค่า $10\text{k}\Omega$ ค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งหากเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการแก้ไขค่าในส่วนของ Software เพื่อให้การคำนวณเป็นไปอย่างถูกต้อง โดยค่าตัวต้านทานจะเป็นปัจจัยที่กำหนดคาบเวลาในการคำนวณ ซึ่งจะมีผลต่อย่านการวัดของอุปกรณ์วัดด้วยว่าจะสามารถวัดค่าได้สูงที่สุดและต่ำที่สุดเท่าใด
7. Comparator เป็นวงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณจาก LC Circuit ซึ่งจะให้ Output ออกมาเป็น Square Wave ซึ่งจะใช้ในการหาความถี่ของสัญญาณเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป
8. Arduino เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่านค่าความถี่ที่ได้จาก Comparator แล้วนำไปคำนวณตามสมการความถี่ และใช้ในการวัดคาบเวลาและความถี่เพื่อคำนวณหาค่าอุปกรณ์ที่กำลังนำมาวัดขณะนั้นข้อมูล

Output

9. LCD Display ใช้ในการแสดงผลค่าตัวเก็บประจุ หรือ ตัวเหนียวนำ โดยจะมีการแสดง mode ปัจจุบันที่กำลังแสดงผลอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจร Power Supply

เนื่องจากบอร์ด Arduino ต้องการไฟเลี้ยงเท่ากับไฟจาก USB port จึงออกแบบให้ Supply จ่ายไฟ $5V_{dc}$

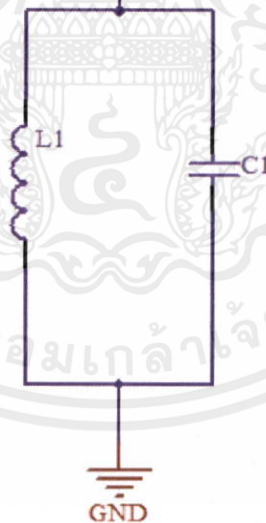
3.3 การออกแบบวงจรภาคอินพุต

ใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ต้องการทราบค่าและทราบค่าแน่นอนแล้วมาใช้วัดทดสอบเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องวัดและนำไปเปรียบเทียบกับค่าจริงซึ่งได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง

3.4 การออกแบบวงจรภาคประมวลผล

- LC Tank Circuit

เป็นวงจรที่เกิดจากการต่อขนานกันของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยตัวเหนี่ยวนำคืออุปกรณ์ที่ต้องการวัด ในที่นี้ใช้ตัวเก็บประจุขนาด $2\mu F$ ซึ่งเกิดจากการนำตัวเก็บประจุขนาด $1\mu F$ 2 ตัวมาต่อขนานกัน ซึ่งค่านี้ได้มาจากการทดลองหาความแม่นยำ โดยค่าตัวเก็บประจุนี้จะมีผลต่อความแม่นยำและความกว้างของย่านการวัดซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุนี้ได้ตามความเหมาะสมและย่านการวัดที่จะใช้งาน โดยต้องเข้าไปแก้ไขค่าในส่วนของ Software เพิ่มเติม



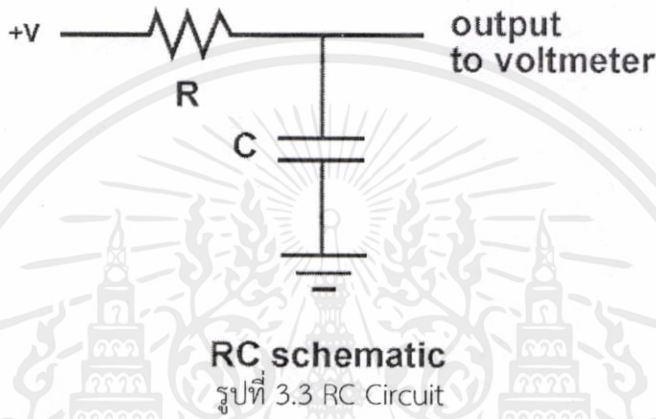
รูปที่ 3.2 LC Tank Circuit เบื้องต้น

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

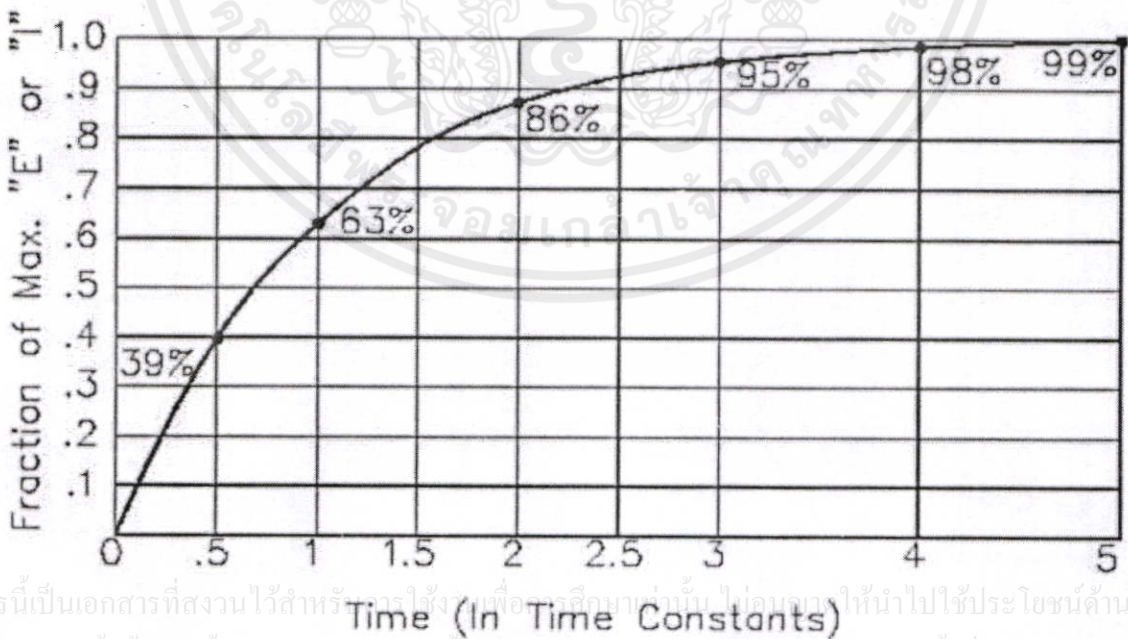
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก f_0 ลงมือ $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง (3.4.1) ไปใช้

- RC Circuit

เป็นวงจรที่เกิดจากการนำตัวต้านทานและตัวเก็บประจุมาต่อกัน ซึ่งทำให้เกิดการชาร์จและคายประจุของตัวเก็บประจุขึ้นโดยค่าตัวเก็บประจุคือตัวอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่า ส่วนค่าตัวต้านทานสามารถกำหนดขึ้นเองได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่า 10kOhm ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง โดยค่าตัวต้านทานนี้จะมีผลต่อย่านการวัดและความแม่นยำ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุนี้ได้ตามความเหมาะสมและย่านการวัดที่จะใช้งาน โดยต้องเข้าไปแก้ไขค่าในส่วนของ Software เพิ่มเติม



หลักการทํางานจะอาศัยหลักการชาร์จตัวเก็บประจุ กล่าวคือ 1TimeConstant จะเท่ากับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการชาร์จตัวเก็บประจุจนมีค่าแรงดันเป็น 63.2% ของแรงดันที่ใช้ในการชาร์จ ดังกราฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$TC = R \times C \quad (3.4.2)$$

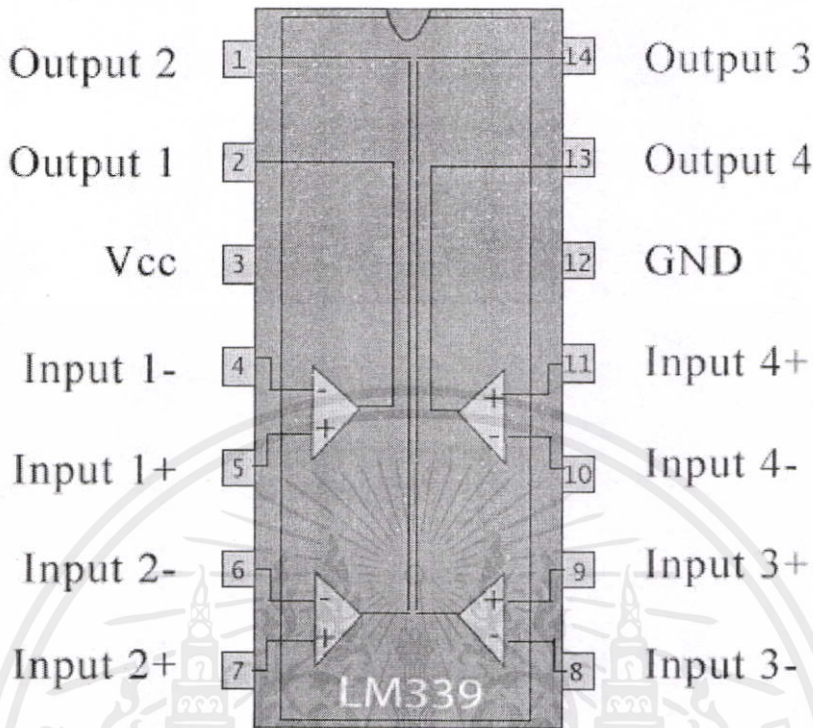
- Comparator

ใช้งาน IC LM339 ซึ่งมีวงจร Comparator อยู่ภายในถึง 4 วงจร แต่จะใช้งานแค่ 1 วงจร ใช้ไฟเลี้ยงที่ 5Vdc ที่ใช้ IC เบอร์นี้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่ Output จะมีค่าเป็นโฟลล เนื่องจาก IC นี้จะมี Output เป็นด้านไฟบวกทำให้ลดความยุ่งยากในการเตรียมไฟเลี้ยง โดยจะใช้ในส่วนของการวัดค่าตัวเหนี่ยวนำ โดย Input จะมาจากวงจร LC Tank Circuit และจะให้ Output เป็น Square Wave เพื่อให้ controller วัดหาความถี่ในการคำนวณต่อไป



รูปที่ 3.5 รูปคลื่นที่ Input และ Output ของวงจร Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Pinout ของ IC LM339

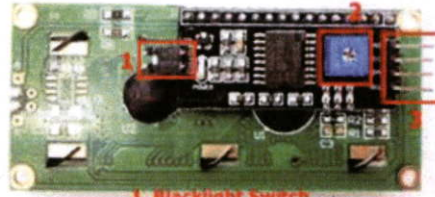
- Arduino

ในส่วนนี้จะเป็นการเขียนโปรแกรมเข้าไปใน Arduino เพื่อให้สามารถอ่านค่าความถี่จาก Frequency Counter ภายในและนำไปประมวลผล รวมถึงแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามสมควร

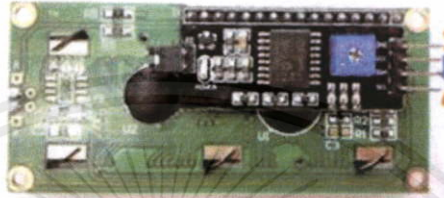
3.5 การออกแบบวงจรเอาต์พุต

ใช้งาน LCD โดยใช้การส่งข้อมูลแบบ I²C เนื่องจากประหยัดจำนวนสายไฟที่ใช้ มีความสะดวกมากขึ้น ลดความซับซ้อนลง และง่ายต่อการเขียนโปรแกรม
การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino แบบ I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Backlight Switch
2. Contrast Adjustment
3. I2C pin interface



Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

รูปที่ 3.7 LCD กับ Arduino ต่อแบบ I²C

การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD (I²C)

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอ LCD จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I²C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดา พุดง่าย ๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I²C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

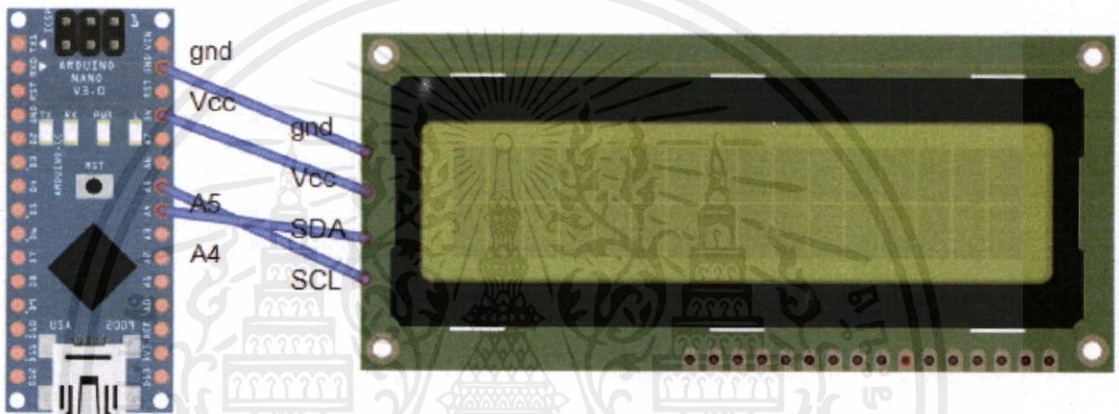
1. GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC
3. SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
4. SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I²C BUS

ในการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเนื้อหาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
MCU จะทำการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัสนี้

- แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วยรหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์รับทราบ ว่า MCU ต้องการจะติดต่อกับ ก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้อง
- และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับ อุปกรณ์ว่า สิ้นสุดการใช้บัส

การใช้งาน LCD I²C กับ Arduino Nano



รูปที่ 3.8 การต่อ LCD เข้ากับ Arduino

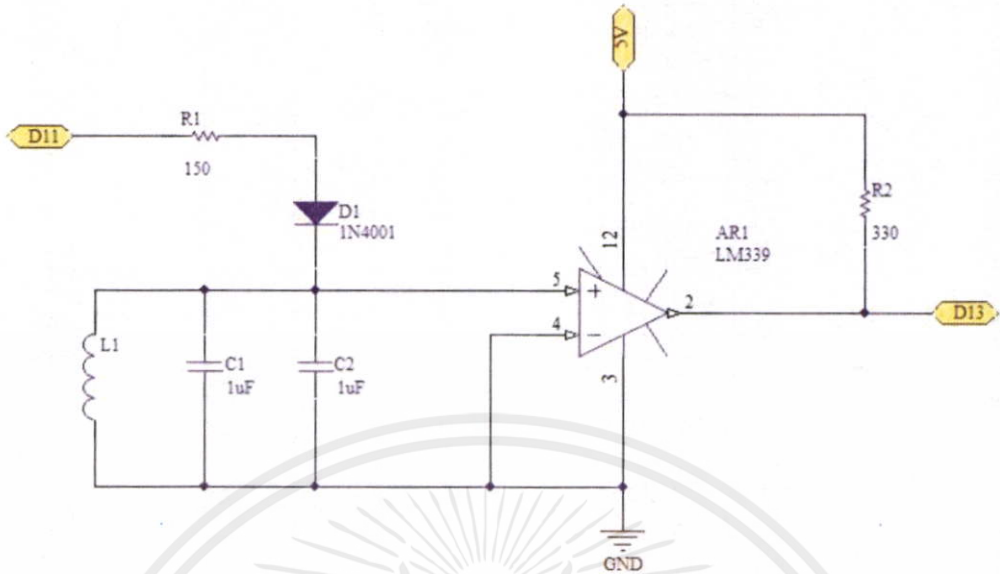
3.6 วงจรและโปรแกรมที่ออกแบบ

3.6.1 วงจรที่ออกแบบ

3.6.1.1 Inductor Meter

จะใช้ Arduino Pin D11 เป็นตัวจ่ายสัญญาณ Pulse ให้กับวงจรส่วนนี้ และใช้ Arduino Pin D13 ในการรับสัญญาณจาก Output ของ LM339 โดยมี ตัวต้านทานขนาด 330 Ohm เป็น Pull-up Resistor ค่าตัวเหนี่ยวนำในวงจรจะเป็นอินพุตที่ผู้ใช้ต้องการวัดค่า และค่าตัวเก็บประจุในวงจรสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมซึ่งการเปลี่ยนค่านี้จะต้องแก้ไข Software ด้วยซึ่งจะมีผลต่อย่านในการวัดด้วย

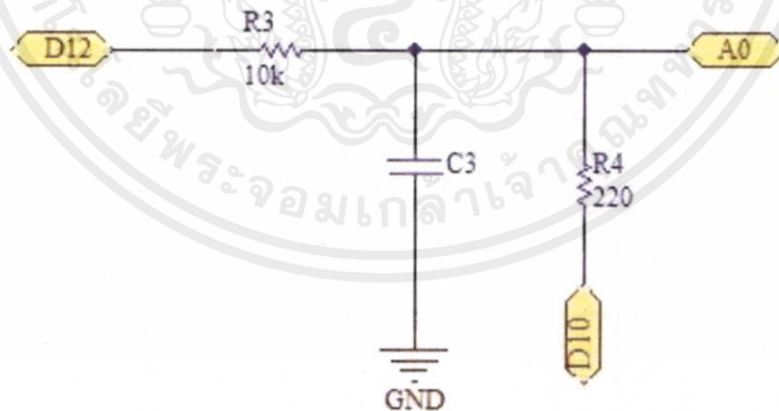
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Schematic Inductor Meter

3.6.1.2 Capacitor Meter

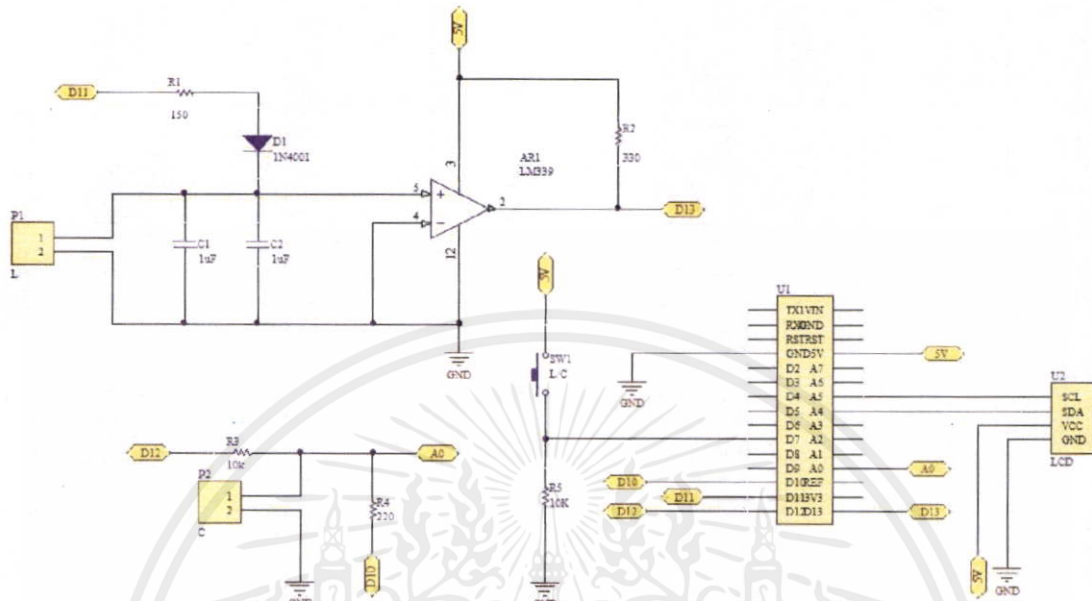
จะใช้ Arduino Pin D12 ในการชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุที่นำมาวัดและใช้ Arduino Pin D10 ในการคายประจุของตัวเก็บประจุที่นำมาวัด โดยมีตัวต้านทานขนาด 220 Ohm ซึ่งใช้ในการคายประจุของตัวต้านทาน ส่วนค่าตัวต้านทาน 10k Ohm จะใช้ในการอ้างอิงจากสมการเพื่อใช้ในการหาค่าตัวเก็บประจุที่นำมาวัด โดยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งหากเปลี่ยนแปลงจะต้องแก้ไข Software ด้วยซึ่งจะมีผลต่อย่านในการวัดด้วย



รูปที่ 3.10 Schematic Capacitor Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

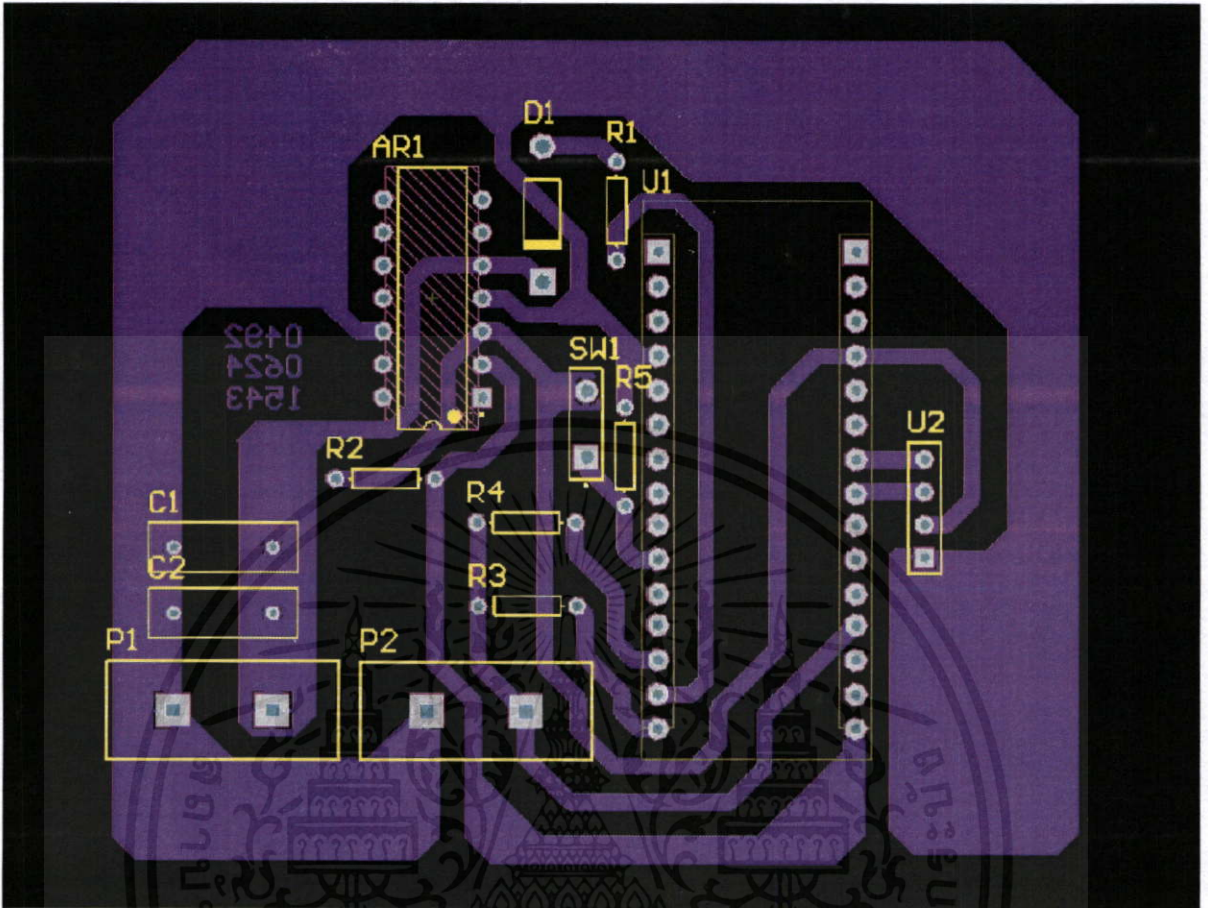
3.6.1.3 LC Meter with Arduino



รูปที่ 3.11 Schematic LC Meter

3.6.2 ลายวงจรที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 PCB LC Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 3.6.3 โค้ดโปรแกรมที่ใช้
 #define pulsePin 11

```
#define receivePin 13

#define analogPin 0
#define chargePin 12
#define dischargePin 10
#define resistorValue 10000.0F

#define SW 7
```

```
double pulse,frequency,capacitance,inductance,ind;
```

```
unsigned long startTime,elapsedTime;
float uF,nF;
```

```
void setup()
{
  pinMode(receivePin,INPUT);
  pinMode(pulsePin,OUTPUT);

  pinMode(chargePin,OUTPUT);
  digitalWrite(chargePin,LOW);
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("=== LC Meter ===");
  delay(1000);
}
```

```
void loop()
{
  if(digitalRead(SW)==LOW)
  {
    digitalWrite(chargePin, HIGH);
    startTime = micros();
    while(analogRead(analogPin) < 648){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elapsedTime= micros() - startTime;
uF = ((float)elapsedTime / resistorValue) * 1;
Serial.print(elapsedTime);
Serial.print(" uS  ");

```

```

if (uF > 1){
  Serial.print((long)uF);
  Serial.println(" uF");
}

```

```

else{
  nF = uF * 1000.0;
  Serial.print((long)nF);
  Serial.println(" nF");
}

```

```

digitalWrite(chargePin, LOW);
pinMode(dischargePin, OUTPUT);
digitalWrite(dischargePin, LOW);
while(analogRead(analogPin) > 0){
}

```

```

pinMode(dischargePin, INPUT);
delay(500);
}

```

```

else
{
  digitalWrite(pulsePin,HIGH);
  delay(5);
  digitalWrite(pulsePin,LOW);
  delayMicroseconds(10);
  pulse=pulseIn(receivePin,HIGH,5000);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

capacitance=0.0000002;
frequency=(1000000)/(2*pulse);
ind=1/(capacitance*frequency*frequency*4*3.14159*3.14159);
inductance=ind*1000000;
Serial.print("\tInductance : ");
Serial.print(inductance);
Serial.println(" uH");
delay(500);
}
}
}

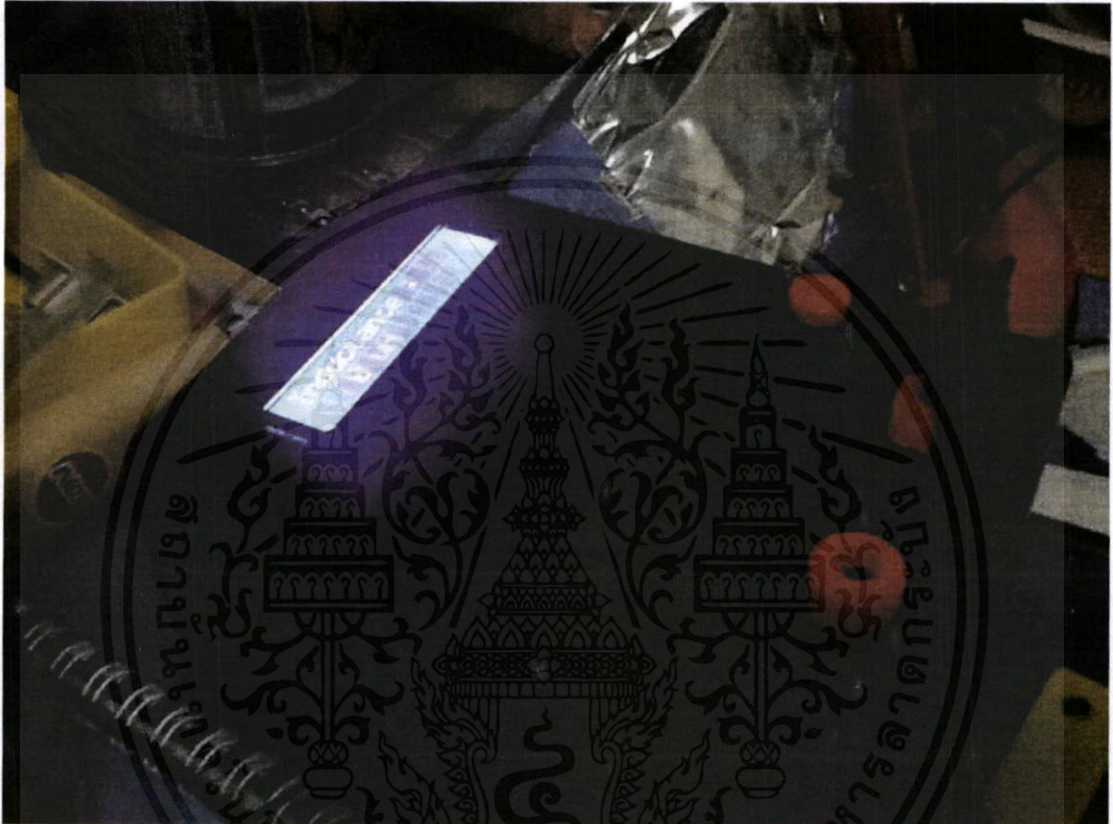
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

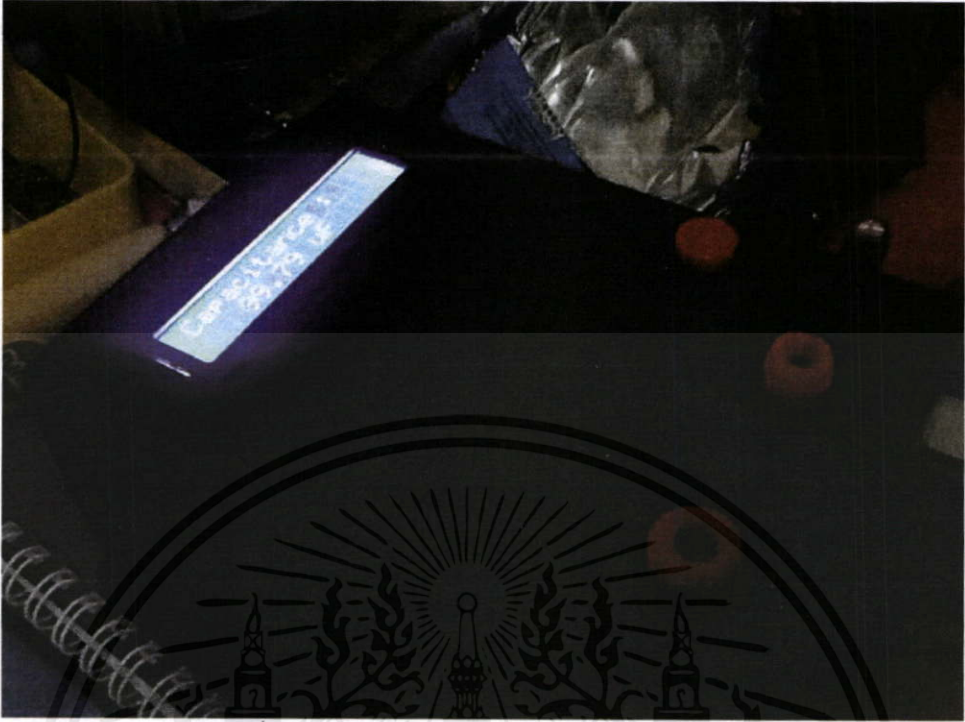
ผลการทดลอง

4.1 วงจรก่อนมีอินพุต

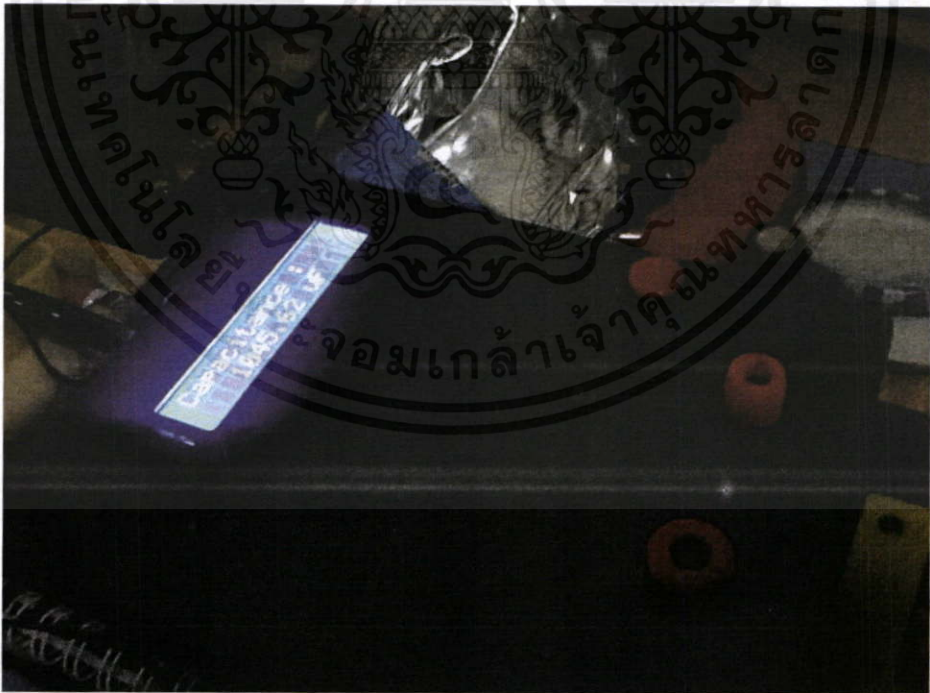


รูปที่ 4.1 การแสดงผลขณะยังไม่มีอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4.2 วงจรหลังต่อวัตต์ตัวเก็บประจุ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การแสดงผลขด C ขนาด 100 uF

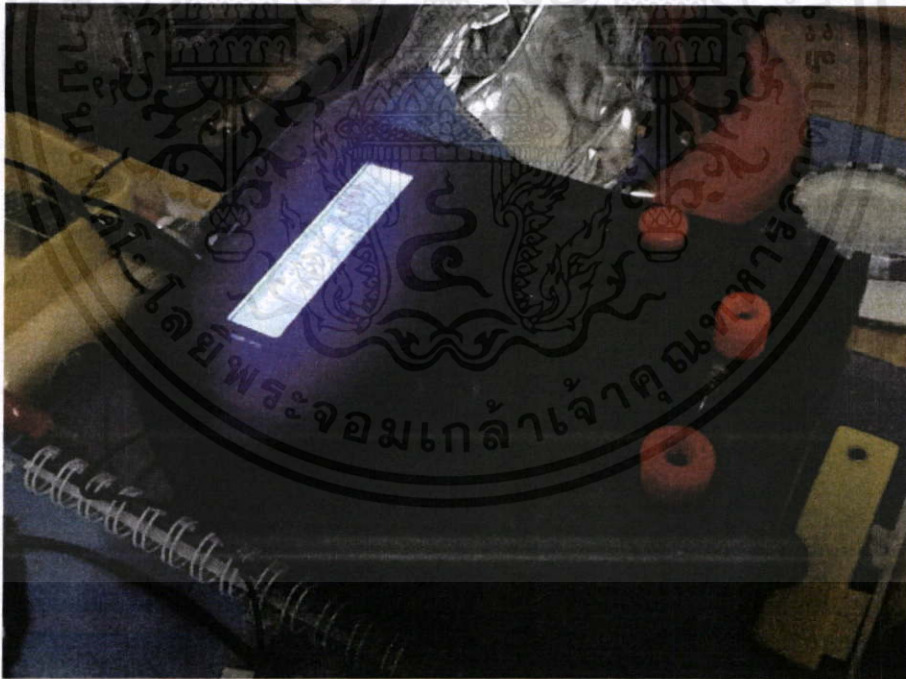


รูปที่ 4.3 การแสดงผลขด C ขนาด 1000 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4.3 วงจรหลังต่อวัตต์ตัวเหนียวน้ำ
 ไม่ว่าจะพิมพ์ได้ๆทั้งสื่อนี้ อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การแสดงผลขณะวัด L ขนาด 68 uH

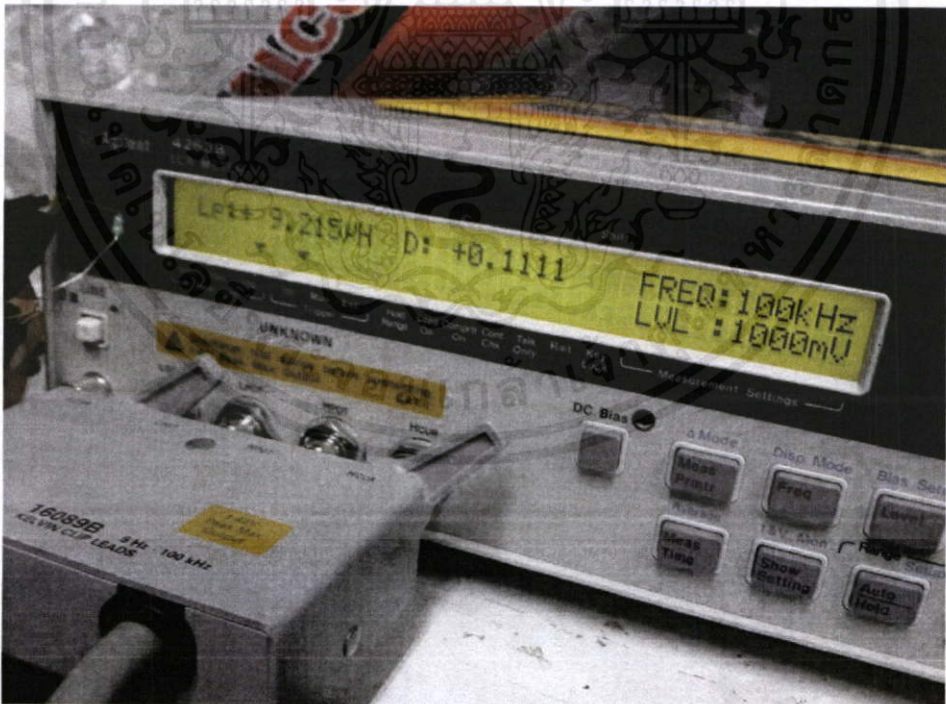


รูปที่ 4.5 การแสดงผลขณะวัด L ขนาด 2.2 mH

เอกสาร 4.4 วัดค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุด้วย LCR METER อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 4.4 mH

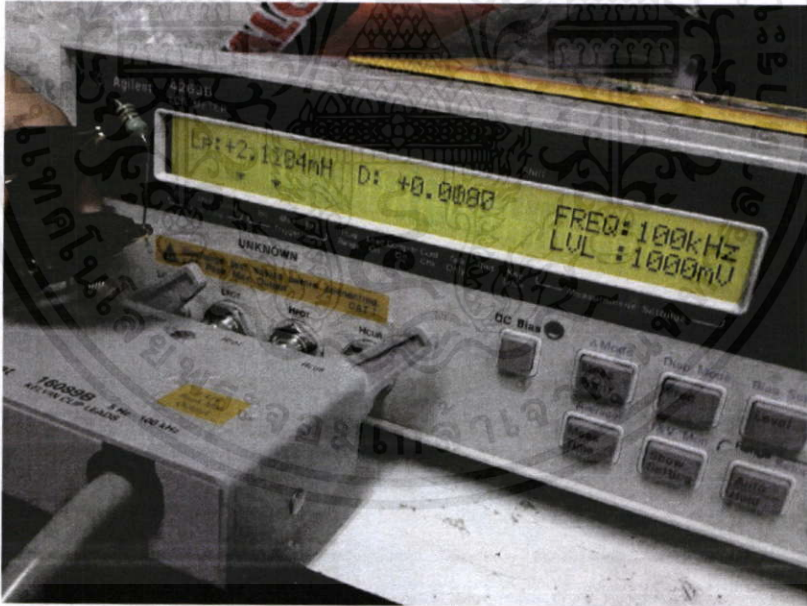


รูปที่ 4.7 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 10 uH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

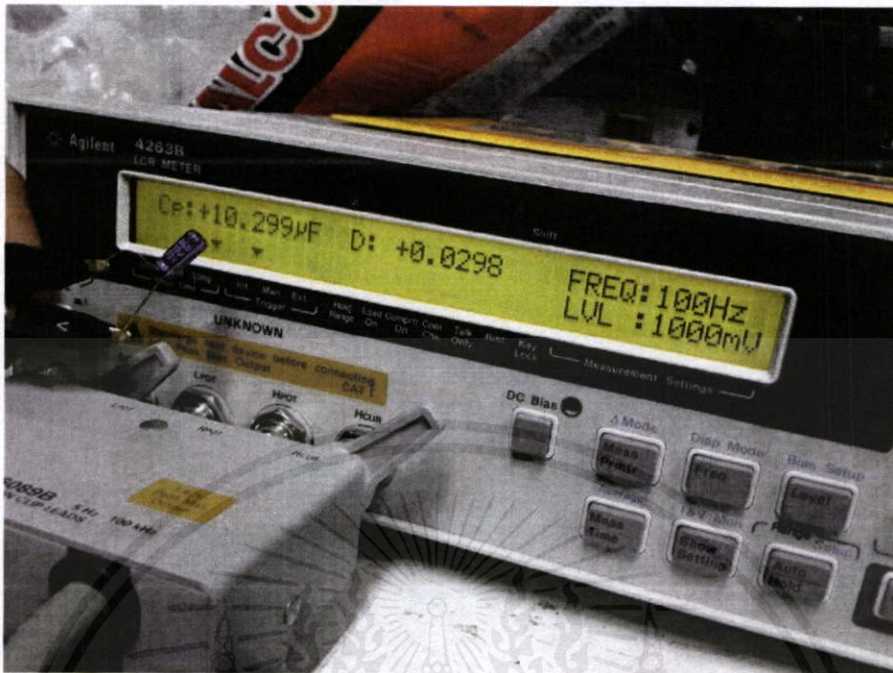


รูปที่ 4.8 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 68 uH

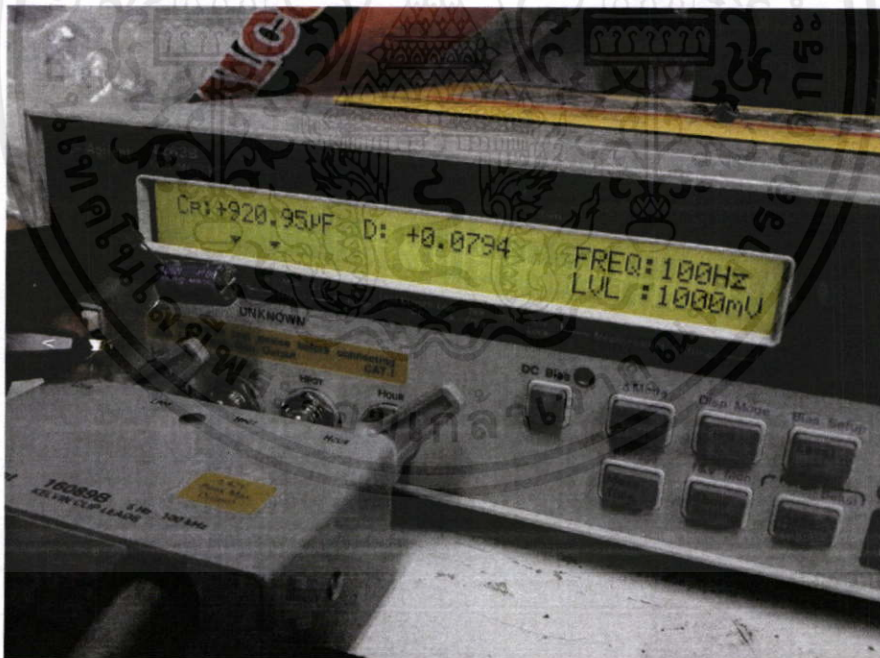


รูปที่ 4.9 การวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำขนาด 2.2 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

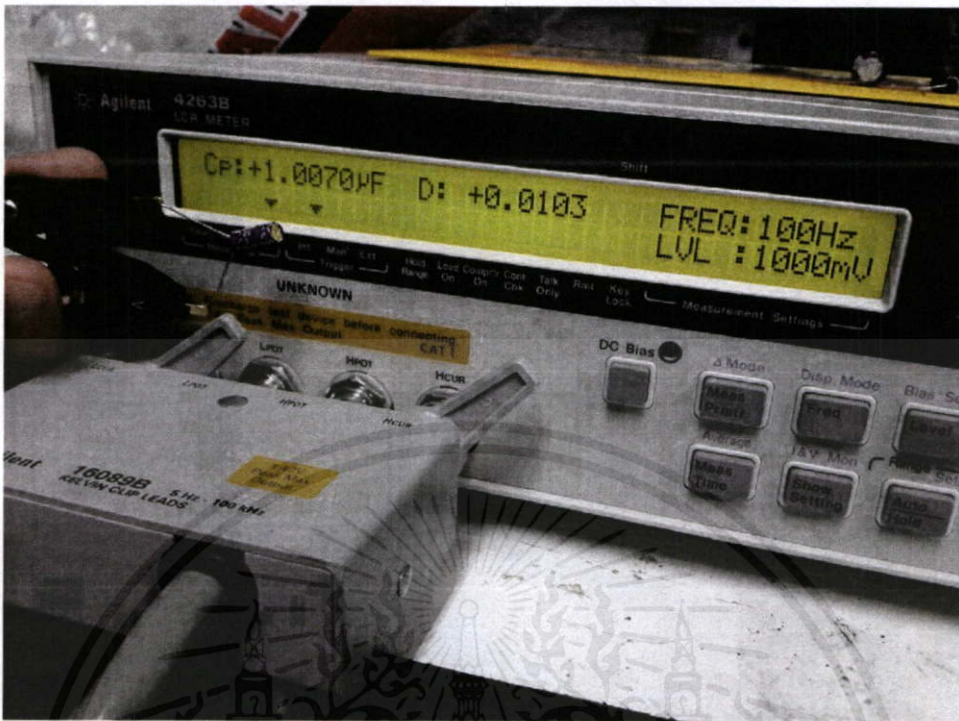


รูปที่ 4.10 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 10 uF

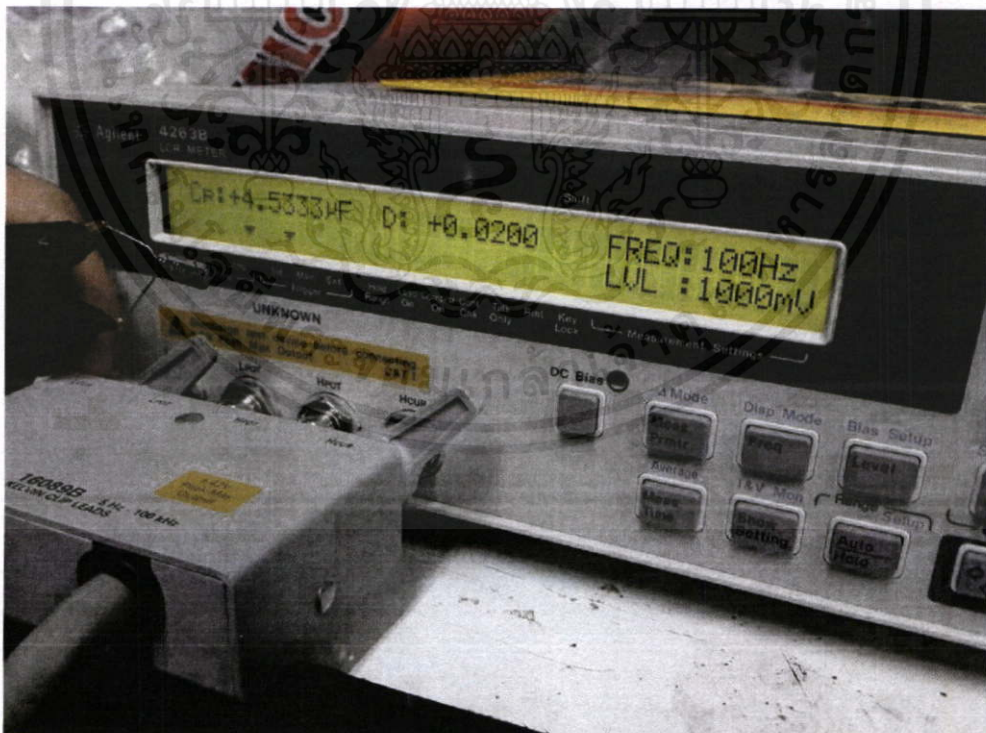


รูปที่ 4.11 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1000 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



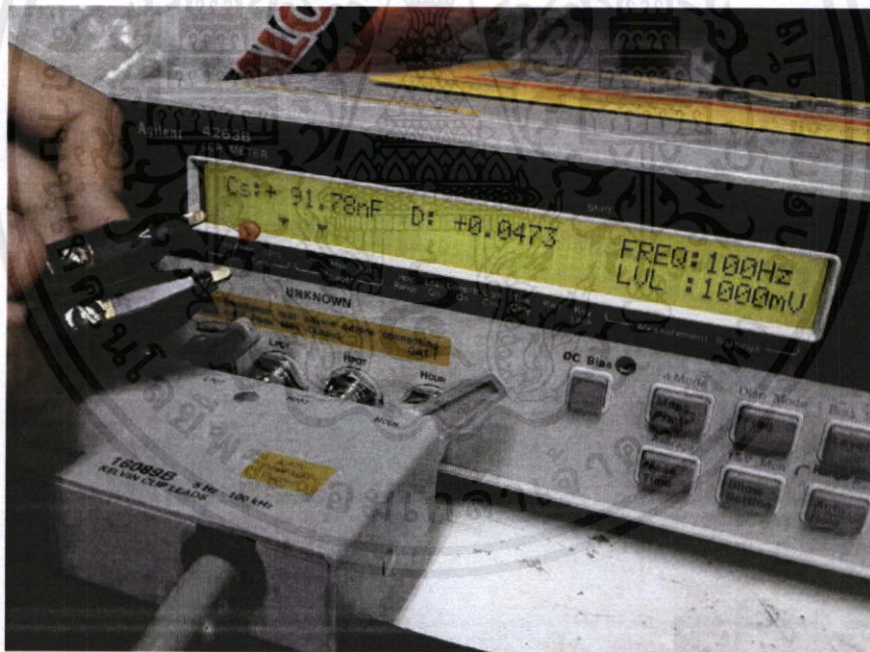
รูปที่ 4.12 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1 μF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น
รูปที่ 4.13 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 4.7 μF นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 1 nF

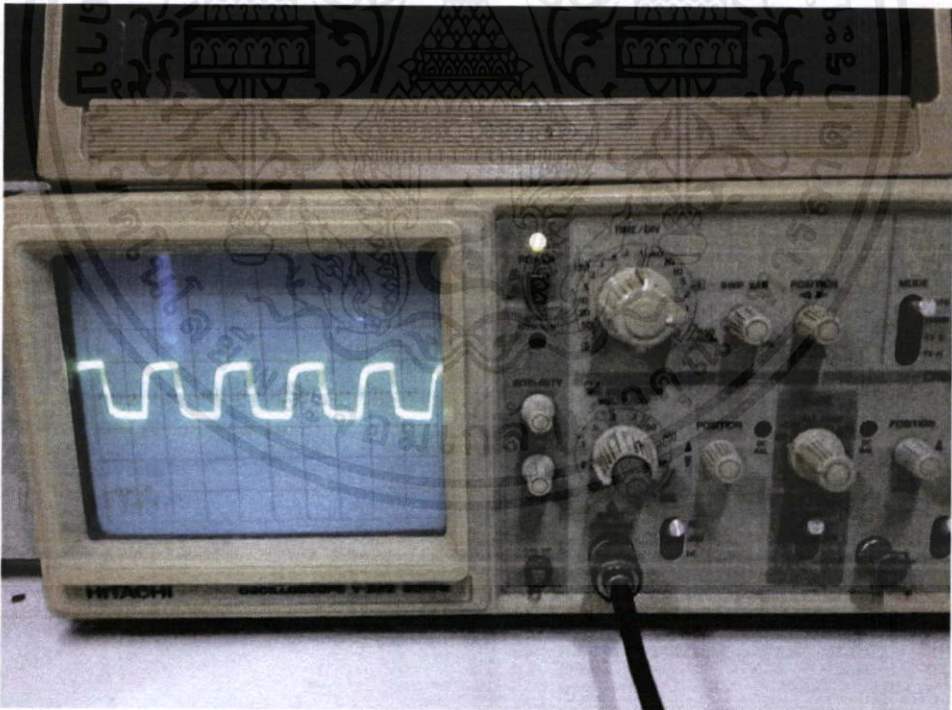


รูปที่ 4.15 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 100 nF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 4700 μ F



รูปที่ 4.17 รูปสัญญาณที่ได้จากวัดที่ output ของ LM339 เทียบกับ gnd ขณะมี input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางสรุปผลการวัดตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่นำมาวัด	ค่าที่วัดได้(LC METER)	ค่าจาก LCR METER	ความคลาดเคลื่อน
1 nF	-	0.9174 nF	-
100 nF	101.20 nF	91.78 nF	10.2637%
1 uF	1.02 uF	1.007 uF	1.2909%
10 uF	10.44 uF	10.298 uF	1.3800%
100 uF	99.65 uF	90.882 uF	9.6477%
1000 uF	1042.25 uF	920.95 uF	13.1712%
3300 uF	3236.84 uF	2921.9 uF	10.7786%
4700 uF	5616.74 uF	4947.3 uF	13.5314%

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องวัดมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 8.5816% และมีย่านการวัดที่ 100 nF – 4700 uF

4.6 ตารางสรุปผลการวัดตัวเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำที่นำมาวัด	ค่าที่วัดได้(LC METER)	ค่าจาก LCR METER	ความคลาดเคลื่อน
10 uH	-	9.896 uH	-
68 uH	68.66 uH	64.992 uH	5.6437%
2.2 mH	2.22 mH	2.0959 uH	5.9211%
2.268 mH	2.22 mH	2.1204 mH	4.6972%
4.4 mH	3.64 mH	4.1708 mH	12.7265%

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องวัดมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 7.2471% และมีย่านการวัดที่ 50 uH – 4.4 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทสรุป

ในรายงานได้กล่าวถึงความเป็นมาของโครงงาน แนวคิด ทฤษฎี รายละเอียดการทำงานของวงจร และการทดสอบเบื้องต้น โดยการใช้หลักการของ LC Tank Circuit, RC Circuit และ Comparator ในการคำนวณหาค่าเบื้องต้นของอุปกรณ์อินพุตที่ต่อเข้ากับวงจรและแสดงผลที่หน้าจอ LCD ทำให้ทราบค่าเบื้องต้นก่อนได้

5.1.1 การทำงานของวงจรโดยรวม

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในการวัดค่าตัวเหนี่ยวนำจะใช้ Input ซึ่งคือตัวเหนี่ยวนำที่ต้องการวัด มาต่อขนานกับตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดความถี่ขึ้นจากนั้นสัญญาณจะผ่านเข้าไปในวงจร Comparator และ Comparator จะปล่อยสัญญาณทาง Output เป็น Square Wave ซึ่งพร้อมที่ตัว Arduino จะวัดความถี่จากสัญญาณที่รับมาเพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการต่อไปจนได้ค่าของตัวเหนี่ยวนำซึ่งมาจากความถี่และค่าตัวเก็บประจุที่กำหนดไว้ จากนั้นจะนำไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในการวัดค่าตัวเก็บประจุจะใช้ Input ซึ่งคือตัวเก็บประจุที่ต้องการวัด มาต่อกับตัวต้านทาน เพื่อให้เกิดการชาร์จและคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งจะอาศัยหลักการนี้โดยให้ตัว Arduino เป็นตัวนับเวลาทั้งหมดตั้งแต่ตัวเก็บประจุเริ่มชาร์จจนมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 63.2% ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีกล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการชาร์จตัวเก็บประจุจนมีแรงดันเท่ากับ 63.2% จะเท่ากับ 1 Time Constant ซึ่งจะใช้เวลาที่นับได้นี้ กับ ตัวต้านทานที่ได้กำหนดค่าไว้แล้ว ในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่นำมาวัด จากนั้นจะนำไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) ความแม่นยำของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์โดยเฉพาะตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำอุปกรณ์ไปวัดกับเครื่องวัดที่แม่นยำก่อนเพื่อให้ทราบค่าที่แน่นอนเพื่อมาตั้งการชดเชยในส่วนของโปรแกรมได้ในภายหลัง

2) ขอบเขตในการวัดค่าจากอุปกรณ์อินพุต หากอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบมีค่ามากหรือน้อยจนเกินไปจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ซึ่งส่วนนี้จะแก้ไขด้วยการทำให้ขอบเขตการใช้งานอยู่ในระดับที่สามารถอ่านค่าของอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันมากหรือมีขายทั่วไปในท้องตลาดได้แม่นยำพอสมควร และแก้ไขได้ด้วยการเปลี่ยนค่าอุปกรณ์บางชนิดในอุปกรณ์เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ซึ่งจะทำให้ย่านการวัดที่สามารถใช้งานได้เปลี่ยนไปได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ในอุปกรณ์ต่างๆมักมีการใช้ตัวเหนี่ยวนำ และในงานที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงจะต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำที่พันขึ้นเอง จึงต้องหาอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำมาวัดค่าให้เหมาะสมกับงานนั้นๆจึงได้สร้างเครื่องวัดนี้ขึ้น เพื่อให้สามารถวัดอุปกรณ์ดังกล่าวได้สะดวกขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่ายขึ้น เมื่อเราต้องการแค่ทราบค่าคร่าวๆของอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์นี้สามารถสร้างขึ้นเองได้ โดยควรเข้าใจถึงการทำงานของวงจร RC, LC และวงจร Comparator อีกทั้งโครงงานนี้ยังช่วยเพิ่มประสบการณ์ในการทำงาน ทำให้ได้ความรู้จากการเขียนโปรแกรมและหลักการทำงานของวงจร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, คู่มืออิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ Pocket Book, --กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552
- [2] <http://kmutnb-virus.orgfree.com/web%20page/RcandRL.html>
- [3] <http://www.opensource2day.com/blog/89-arduino/1190-arduino.html>
- [4] <http://th.wikipedia.org/wiki/ตัวเหนี่ยวนำ>
- [5] <http://th.wikipedia.org/wiki/ตัวเก็บประจุ>
- [6] http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_6/2.html
- [7] <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/CapacitanceMeter>
- [8] <http://www.engineersgarage.com/contribution/inductance-meter-using-arduino>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้