เครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์

ELECTRONIC MUSICAL INSTRUMENT USING LASER ALIGNMENT

ทิพย์อุษา กล้าไพรี
ปณิดา ปรังประโคน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRONIC MUSICAL INSTRUMENT USING LASER ALIGNMENT

THIPAUSA KLAPHAIRI
PANIDA PRANGPRAKHON

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์ Electronic Musical Instrument Using Laser Alignment
ชื่อนักศึกษา	นางสาวทิพย์อุษา กล้าไพรี รหัสนักศึกษา 56051146 นางสาวปณิดา ปรังประโคน รหัสนักศึกษา 56051164
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวทิพย์อุษา กล้าไพรี รหัสนักศึกษา 56051146
	นางสาวปณิดา ปรังประโคน รหัสนักศึกษา 56051164
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์ หรือเรียกว่าเลเซอร์ฮาร์ป เพื่อนำแสงเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ โดยประยุกต์ใช้ ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล AVR (บอร์ดอาร์ดูโน่) ซึ่งออกแบบโดยการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ดอาร์ดูโน่ ให้มีค่าความถี่ที่ต่างกันทั้งหมด 13 ค่า เพื่อให้ได้ตัวโน๊ตทั้งหมด 13 เสียง โดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อยิงแสงเลเซอร์ไปตกกระทบที่เซนเซอร์รับแสงซึ่งเป็นตัวตรวจจับแสงเลเซอร์ ตัวตรวจจับแสงจะส่งสัญญาณไปที่อาร์ดูโน่ จากนั้นจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของเสียงโน้ตต่างๆตามตัวโน๊ตที่ผู้เล่นใช้มือบังลำแสง แล้วแสดงผลออกมาทางลำโพง ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความถี่ที่ออกมาทางลำโพงพบว่า ความถี่ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีเพียง 0.178%

คำสำคัญ : เซนเซอร์รับแสง เลเซอร์ฮาร์ป อาร์ดูโน่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Electronic Musical Instrument Using Laser Alignment
Student	Miss. Thipausa Klaphairi Student ID 56051146
	Miss. Panida Prangprakhon Student ID 56051164
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Mr. Surachart Kamoldilok

Abstract

Electronic Musical Instrument Using Laser Alignment (Laser Harp) was studied and designed in this project, which create different 13 frequencies of audio notes. The different frequencies of audio notes were controlled by Arduino controller. The LDR sensors were used in laser detector. The signal output voltage of LDR detectors were controlled by Arduino controller. The signal outputs were shown by loudspeaker and dislocation of frequencies was 0.178 %.

Keywords: Arduino, Laser harp, LDR, Step motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูง จาก อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขการดำเนินการจัดโครงงานพิเศษ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและเป็นพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณอาจารย์ในสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และความให้ความคิดเห็นเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ได้ข้อมูลครบถ้วนและถูกต้องในงานวิจัยครั้งนี้

คุณงามความดีอันพึงมีจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสาทวิชาความรู้ตลอดจนทุกๆท่านที่ให้กำลังใจช่วยเหลือจนกระทั่งโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ทิพย์อุษา กล้าไพรี

ปณิดา ปรังประโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แสงเลเซอร์	3
2.1.1 หลักการเกิดแสงเลเซอร์	3
2.1.2 คุณสมบัติหลักๆ ของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงสว่างทั่วไป	4
2.2 เสียง	5
2.2.1 ระดับเสียง	5
2.2.2 ความถี่ของคลื่นเสียง	5
2.2.3 คุณลักษณะของเสียง	6
2.2.4 โน๊ตดนตรี	7
2.3 Arduino	7
2.3.1 Arduino Model: Arduino UNO R3	9
2.4 Breadboard	11
2.4.1 ตัวต้านทาน	11
2.4.2 LDR: Light Dependent Resistor	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	16
3.1.1 อุปกรณ์ประกอบเลเซอร์ฮาร์ป	16
3.1.2 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง	18
3.2 การทดสอบและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาร์ป	19
3.2.1 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป	19
3.3 การสร้างและการออกแบบโครงสร้าง	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	27
4.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง	35
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.1.1 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	41
5.1.2 การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจร โดยใช้เครื่อง Oscilloscope	41
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	41
5.2.1 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	42
5.2.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน	1
4.1 ตารางแสดงค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	27
4.2 ตารางแสดงค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแบบจำลองการเปล่งแสงแบบถูกเร้า	3
2.2 แสดงความเข้มของแสงสีต่างๆ	5
2.3 แสดงความถี่ต่ำและความถี่สูง	6
2.4 แสดงบอร์ด Arduino ต่อกับ LED	8
2.5 แสดงบอร์ด Arduino ต่อออกับบอร์ด XBee Shield	8
2.6 แสดงผังของบอร์ด Arduino UNO R3	9
2.7 แสดง Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)	10
2.8 แสดงโครงสร้าง LDR	12
2.9 แสดงตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	13
2.10 แสดงผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	14
2.11 แสดงตัวอย่างวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณเสียง	15
3.1 บอร์ด Arduino	16
3.2 Light Dependent Resistor	16
3.3 ถ่าน AA	16
3.4 สวิตช์	16
3.5 Laser Diode	17
3.6 ลำโพง	17
3.7 DC Adapter	17
3.8 สายไฟ	17
3.9 ตัวต้านทาน	17
3.10 รางถ่าน	17
3.11 ไม้อัด	18
3.12 Multimeter	18
3.13 ปืนกาว	18
3.14 หัวแล้ง	18
3.15 สว่าน	18
3.16 เรื่อยไฟฟ้า	18
3.17 น็อต	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 วงจรรับสัญญาณจากแสงเลเซอร์	19
3.19 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป	19
3.20 Code Arduino สั่งการวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป	20
3.21 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป	21
3.22 ติดตั้งและทดสอบการทำงานของเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์	21
3.23 หาค่าความถี่จาก Electronics tuning	22
3.24 หาค่าความถี่จาก Oscilloscope	22
3.25 ตีเส้นและวัดขนาดไม้อัด	23
3.26 ตัดไม้อัดตามขนาดที่ออกแบบไว้	23
3.27 ทำการเจาะรูทั้งหมด 13 รู	24
3.28 ยึดติดชิ้นส่วนต่างๆด้วยน็อต	24
3.29 โครงสร้างเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อย	25
3.30 ทาแล็กเกอร์เคลือบไม้	25
3.31 ติดวงจรรับสัญญาณลงบนไม้อัด	26
4.1 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด	28
4.2 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโดชาร์ฟ	29
4.3 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเร	29
4.4 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเรชาร์ฟ	30
4.5 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงมี	30
4.6 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟา	31
4.7 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟาชาร์ฟ	31
4.8 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอล	32
4.9 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอลชาร์ฟ	32
4.10 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลา	33
4.11 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลาชาร์ฟ	33
4.12 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงที	34
4.13 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด'	34
4.14 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโด	36
4.15 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโดชาร์ฟ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงเร	37
4.17	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงเรชาร์ฟ	37
4.18	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงมี	37
4.19	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงฟา	38
4.20	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงฟาชาร์ฟ	38
4.21	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงซอล	38
4.22	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงซอลชาร์ฟ	39
4.23	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงลา	39
4.24	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงลาชาร์ฟ	39
4.25	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงที	40
4.26	รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโด'	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
LDR	Light Dependent Resistor
E	ระดับพลังงาน
F	ความถี่ของเสียง (Hz)
N	จำนวนครั้งเสียง
P	ความถี่ของเสียงในระบบ MIDI (Hz)
R	ความต้านทาน (Ω)
V	แรงดันไฟฟ้า(V)
I	กระแสไฟฟ้า (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการใช้งานเลเซอร์ฮาร์ปในรูปแบบเดิม ผู้ศึกษาพบว่าเสียงที่ใช้เล่นมีเสียงที่ออกมาเพี้ยนจากเสียงมาตรฐานและมีจำนวนตัวโน๊ตน้อย ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะสร้างเลเซอร์ฮาร์ปในอีกรูปแบบหนึ่งให้มีเสียงที่ตรงตามมาตรฐานและมีจำนวนตัวโน๊ตเพิ่มมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อนำแสงเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์
2) เพื่อให้ได้โทนเสียงของเครื่องดนตรีที่ตรงตามเสียงมาตรฐาน
3) เพื่อประยุกต์ใช้ ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล AVR (บอร์ดอาร์ดูโน่) สร้างเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ผู้ศึกษาจะจัดทำเลเซอร์ฮาร์ปโดยใช้ Microprocessor Arduino เป็นตัวควบคุมให้ได้เสียงตรงตามมาตรฐาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินการ
สิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2559	-ศึกษาค้นคว้าข้อมูล และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างและควบคุมเลเซอร์ฮาร์ป
ตุลาคม พ.ศ. 2559 - มกราคม พ.ศ. 2560	-จัดเตรียมอุปกรณ์ และออกแบบ -ทดลองเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ -เขียนโปรแกรมสั่งงานวงจร
มกราคม - เมษายน พ.ศ. 2560	-ทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้เสียงตัวโน๊ตที่ตรงตามมาตรฐาน -สรุปและวิจารณ์โครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้เสียงตัวโน๊ตดนตรีที่ตรงตามเสียงมาตรฐาน
2) ได้ทักษะในการแก้ปัญหาในการทำงาน
3) ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน
4) ได้ทักษะการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ
5) ได้เครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายต่อการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

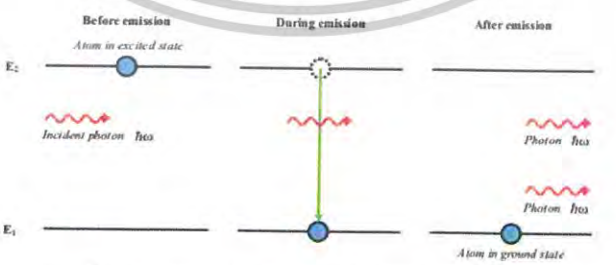
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของเลเซอร์ (LASER), เสียง, หลักการทำงานของอุปกรณ์, โครงสร้างของอุปกรณ์ วงจรอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ Arduino, Breadboard โดยที่กล่าวมานั้นจะเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการทดลองในงานวิจัยของโครงงานพิเศษเรื่อง Electronic Musical Instrument Using Laser Alignment

2.1 แสงเลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หมายถึง การขยายแสงโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีแบบกระตุ้น แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากแสงทั่วๆไป มีลำแสงขนาดเล็ก มีความเข้มสูงกว่าแสงธรรมดา ทั้งยังมีความเบี่ยงเบนของแสงน้อยกว่า (low-divergence beam) มีความถี่ของแสงเพียงความถี่เดียว

2.1.1 หลักการเกิดแสงเลเซอร์

การขยายแสงคือการเพิ่มจำนวนโฟตอนหรือเพิ่มความเข้มแสงให้มีมากขึ้นกว่าเดิม โดยอะตอมหรือโมเลกุลจะอยู่ในชั้นพลังงานที่ต่ำเสมอ (E1) เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีความเสถียรภาพมากกว่า แต่เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้นจะเกิดการดูดกลืนแสงหรือพลังงานที่มากระตุ้นทำให้อะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไปอยู่ในชั้นพลังงานที่สูงกว่า (E2) แต่สถานะพลังงานในชั้นพลังงาน E2 นี้มีความไม่เสถียรจึงสามารถคงตัวได้ระยะเวลาหนึ่งจึงคายพลังงานออกมาเพื่อทำให้ตัวเองอยู่ในสภาวะเสถียรอีกครั้งในชั้นระดับพลังงาน E1 ดังนั้นพลังงานที่อะตอมหรือโมเลกุลปล่อยออกมาจึงมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานระหว่าง E2-E1 การคายพลังงานออกมาหรือการเปล่งแสงในลักษณะนี้เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission)



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองการเปล่งแสงแบบถูกเร้า [5]

สำหรับการเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission) อันเป็นหลักการสำคัญของเลเซอร์ จะแตกต่างกับการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง คือเมื่อ อะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไปอยู่ที่ระดับ

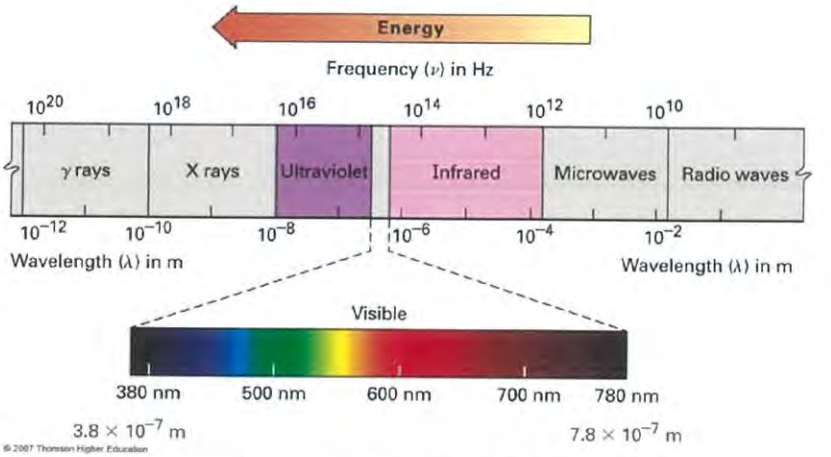
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่สูงกว่าใน E2 และมีการฉายแสงเข้าไปโดยแสงที่ฉายเข้าไปนั้นจะต้องมีค่าพลังเท่ากับผลต่างของชั้นพลังงานE2-E1ที่อะตอมหรือโมเลกุลได้ดูดกลืนเอาไว้ และแสงที่เข้าไปนี้เองที่จะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลคายพลังงานที่ดูดกลืนเอาไว้ก่อนเวลา ทำให้เกิดแสงที่มีขนาดเท่าๆกันทั้งแสงที่ถูกปล่อยออกมาและแสงที่ถูกฉายเข้าไปเพื่อเร้า มีทั้งพลังงานที่เท่ากัน มีทิศทางการเคลื่อนที่เดียวกัน และเฟสของคลื่นที่เหมือนกัน ซึ่งหลักการอันนี้เองที่นำมาใช้กับเทคโนโลยีเลเซอร์ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของเนื้อวัสดุที่นำมาใช้ทำเลเซอร์อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นดังกล่าวแสงเคลื่อนที่ผ่านเนื้อวัสดุของเลเซอร์ที่ถูกกระตุ้นก็ยิ่งทำให้ เกิดการคายแสงมากขึ้นทำให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นนั้นเอง หรือการได้ว่าจำนวนโฟตอนเพิ่มมากขึ้นนั้นเองหลักการนี้คือการขยายแสงเพื่อให้โฟตอนมีจำนวนมากพอ ซึ่งกระทำโดยการใช้กระจก 2 ชิ้นวางขนานกันที่ปลายทั้งสองของเนื้อวัสดุ กระจกทั้งสองนี้เรียกว่า Optical Cavity ที่จะทำหน้าที่สะท้อนส่องให้โฟตอนวิ่งไปวิ่งมาในเนื้อวัสดุอันเป็นตัวกลางเลเซอร์จนได้ปริมาณมากพอและเมื่อมีความเข้นสูงจนเกิด Gain ที่มีค่ามากกว่าพลังงานของระบบลำแสงของเลเซอร์จึงพุ่งออกมา เลเซอร์จัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติที่เรียกว่า คุณสมบัติโคฮีเรนต์ (coherent) คือ มีแสงสีเดียว มีเฟสเดียวกัน มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเข้มของแสงสูง

2.1.2 คุณสมบัติหลักๆ ของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงสว่างทั่วไป

แสงเลเซอร์มีการปล่อย พลังงานที่มีค่าเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน จึงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งแสงจากเลเซอร์ยังมี ลักษณะเป็นลำแสง การกระจายของลำแสงน้อย แสงเลเซอร์จึงเคลื่อนที่ได้ไกลมาก ที่สำคัญแสงเลเซอร์ เป็นพลังงานที่มีความเข้มสูงมาก สามารถเจาะทะลุแผ่นโลหะได้ ขณะที่แสงสว่างทั่วไป เช่น แสงสว่างจาก หลอดไฟ มีค่าความถี่ที่ไม่เท่ากัน เคลื่อนที่ไม่พร้อมเพรียงกัน ลำแสงจึงมีการกระจายตัวกว้าง ส่องสว่างได้ ไม่ไกลมากนัก สำหรับในส่วนของสีนั้นหากเป็นแสงสว่างทั่วไป เป็นที่ทราบดีว่า แสงในบรรยากาศที่เราเห็นเป็น แสงสีขาวแท้จริงแล้วประกอบด้วยแสง 7 สีมารวมกัน คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง ซึ่ง แต่ละสีก็จะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยสีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด ขณะที่สีแดงมีความยาวคลื่น มากที่สุด หรือแม้แต่หลอดไฟสีต่างๆ ทั่วไป เช่น หลอดไฟสีฟ้า ก็ไม่ได้มีแต่เพียงสีฟ้าเท่านั้น แต่อาจจะมีสี น้ำเงิน สีครามผสมอยู่ด้วย ขณะที่แสงเลเซอร์ประกอบด้วยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากันหมด จึงเป็นลำแสงที่มีสีเดียวอย่างแท้จริง ส่วนแสงเลเซอร์จะเป็นสีใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงที่นำมาใช้ในการ ผลิตแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเข้มของแสงสีต่างๆ [5]

2.2 เสียง

เสียง เป็นคลื่นเชิงกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือน ก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ไปยังหู เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ คลื่นเสียงเกิดจาก การสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคของตัวกลาง ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่น แล้วถ่ายโอนไปยังอนุภาคอื่นๆที่อยู่ข้างเคียงให้สั่นตาม เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยจนกระทั่งถึงอนุภาคตัวกลางที่อยู่ติดกับเยื่อแก้วหู อนุภาคเหล่านี้สั่นไปกระทบเยื่อแก้วหู ทำให้เยื่อแก้วหูสั่นตาม จึงทำให้เราได้ยินเสียง

2.2.1 ระดับเสียง

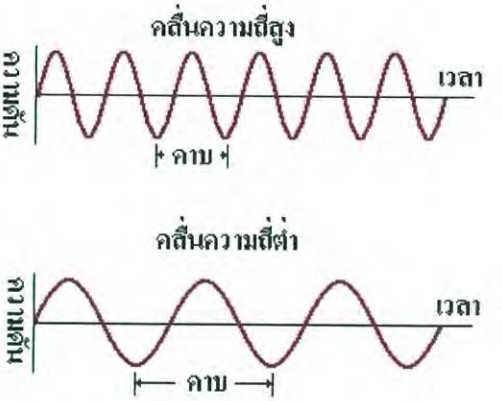
ระดับเสียง (pitch) หมายถึง เสียงสูงเสียงต่ำ สิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของอากาศ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้า โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนต่อวินาที เช่น 60 รอบต่อวินาที, 2,000 รอบต่อวินาที (Hertz) และนอกจาก วัตถุที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนมากกว่า จะมีเสียงที่สูงกว่าแล้ว หากความถี่มากขึ้นเท่าตัว ก็จะมีระดับเสียงสูงขึ้นเท่ากับ 1 ออกเตฟ (octave) ภาษาไทยเรียกว่า 1 ช่วงคู่แปด

2.2.2 ความถี่ของคลื่นเสียง

โดยธรรมชาติของมนุษย์สามารถรับรู้ความถี่เสียงได้ตั้งแต่ 20 Hz – 20 kHz ความสามารถ ในการรับรู้ในย่านของความถี่นั้นก็จะแตกต่างไปซึ่งในผู้หญิงและชายหนุ่มสามารถได้ยินที่ความถี่สูงสุดที่ 20,000 Hz หรือเรียกย่อ ๆ ว่า 20 kHz ส่วนในวัยกลางคนและผู้สูงอายุจะได้ยินลดลงไปในย่านความถี่สูงสุด อาจได้สูงสุดที่ 14 kHz

ความเร็วของคลื่นเสียงนั้นเรียกว่าความถี่ (frequency) ส่วนหน่วยวัดค่าความถี่นั้นเรียกว่าเฮิรต์ซ (hertz) ใช้อักษรย่อว่า Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงความถี่ต่ำและความถี่สูง [4]

2.2.3 คุณลักษณะของเสียง

คุณลักษณะของเสียง คลื่นเสียง คือ คลื่นตามยาวซึ่งหูของคนเราสามารถได้ยินเสียงได้ โดยคลื่นนี้มีความถี่ตั้งแต่ประมาณ 20 Hz ถึง 20,000 Hz ความถี่เสียงในช่วงนี้เรียกว่า audio frequency

เสียงที่คนเราสามารถได้ยินแต่ละเสียงอาจเหมือนกันหรือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเสียงซึ่งมีอยู่ 3 ข้อ คือ

1) ความดัง (Loudness) หมายถึง ความรู้สึกได้ยินของมวลมนุษย์ว่าดังมากดังน้อย ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่อาจวัดด้วยเครื่องมือใด ๆ ได้โดยตรง ความดังเพิ่มขึ้นตามความเข้มเสียง ความรู้สึกเกี่ยวกับความดังจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความเข้มเสียง โดยถ้า I แทนความเข้มเสียง ความดังของเสียงจะแปรผันโดยตรงกับ log I หรืออาจกล่าวได้ว่า ความดังก็คือระดับความเข้มเสียงนั่นเอง หูของคนสามารถรับเสียงที่มีความดังน้อยที่สุดคือ 0 dB และมากที่สุดคือ 120 dB

2) คุณภาพของเสียง (quality) หมายถึง คุณลักษณ์ของเสียงที่เราได้ยิน เมื่อเราฟังเพลงจากวงดนตรีวงหนึ่งนั้น เครื่องดนตรี ทุกชนิดจะเล่นเพลงเดียวกัน แต่เราสามารถแยกได้ว่า เสียงที่ได้ยินนั้นมาจากดนตรีประเภทใด เช่น มาจากไวโอลิน หรือเปียโน เป็นต้นการที่เราสามารถแยกลักษณะของเสียงได้นั้นเพราะว่าคลื่นเสียงทั้งสองมีคุณภาพของเสียงต่างกัน คุณภาพของเสียงนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนโอเวอร์โทนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ๆ และแสดงออกมาเด่น จึงไพเราะต่างกัน นอกจากนี้คุณภาพของเสียงยังขึ้นกับ ความเข้มของเสียงอีกด้วย

3) ระดับเสียง (pitch) หมายถึง เสียงที่มีความยาวคลื่นและความถี่ต่างกัน โดยเสียงที่มีความถี่สูงจะมีระดับเสียงสูงส่วนเสียงที่มี ความถี่ต่ำจะมีระดับเสียงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 โน้ตดนตรี

โน๊ตดนตรี หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า โน๊ต มีความหมายได้สองทาง หมายถึงสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในการนำเสนอระดับเสียง (pitch) และความยาวของเสียงในทางดนตรี หรือหมายถึงตัวเสียงเองที่เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ โน๊ตดนตรีแต่ละเสียงจะมีชื่อเรียกประจำของมันเองในแต่ละภาษา เช่น โด-เร-มี-ฟา-ซอล-ลา-ที บางครั้งอาจเขียน A ถึง G แทนโน้ตดนตรี

ในทางเทคนิค ดนตรีสามารถสร้างขึ้นได้จากโน้ตที่มีความถี่ของเสียงใดๆก็ได้ เนื่องจากเสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุและวัดได้ในหน่วยเฮิรตซ์(Hz) ซึ่ง 1 เฮิรตซ์เท่ากับการสั่นครบหนึ่งรอบต่อวินาที ตั้งแต่สมัยก่อนมีเพียงโน้ตที่มีความถี่คงตัวแค่ 12เสียงเท่านั้นโดยเฉพาะดนตรีตะวันตก ซึ่งความถี่เสียงคงตัวเหล่านี้มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ต่อกัน และถูกนิยามไว้ที่โน้ตตัวกลาง A4 (เสียงลา อ็อกเทฟที่สี่) ซึ่งเป็นสาเหตุที่เสียงลาเริ่มต้นเขียนแทนด้วยอักษร A ปัจจุบันโน้ต A4 มีความถี่อยู่ที่ 440 เฮิรตซ์ (ไม่มีเศษทศนิยม) หลักการตั้งชื่อโน้ตจะระบุเป็นอักษรละติน เครื่องหมายแปลงเสียง (ชาร์ป/แฟลต) และหมายเลขอ็อกเทฟตามลำดับ โน้ตทุกตัวจะมีเสียงสูงหรือต่ำกว่า A4 เป็นจำนวนเต็ม n ครึ่งเสียง นั่นหมายความว่าโน้ตที่มีเสียงสูงกว่า n จะเป็นจำนวนบวก หากเสียงต่ำกว่า n จะเป็นจำนวนลบ ความถี่ f ของโน้ตตัวอื่นเมื่อเทียบกับโน้ต A4 จึงมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$F = 2^{n/12} \times 440$$

ตัวอย่างเช่น เราสามารถคำนวณหาความถี่ของโน้ต C5 ซึ่งเป็นโน้ต C ตัวแรกที่อยู่สูงกว่า A4 และโน้ตดังกล่าวมีระดับเสียงที่สูงกว่า A4 เป็นจำนวน 3 ครึ่งเสียง (A4 ⟶ A#4 ⟶ B4 ⟶ C5) จะได้ n = +3 ดังนั้นความถี่ของโน้ต C5 คือ

$$F = 2^{n/12} \times 440 = 523.2511\ Hz$$

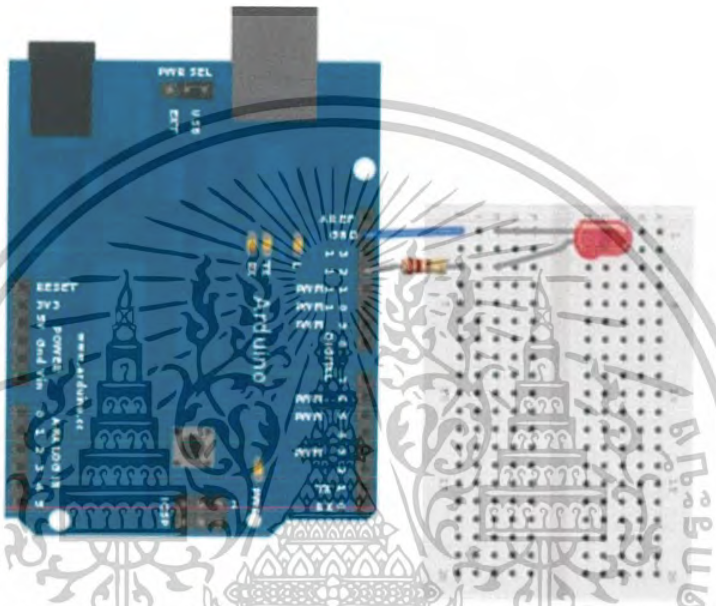
2.3 Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้ง ด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ผู้ใช้งานสามารถดัดแปลง เพิ่มเติมและพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย บอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดดูตัวอย่างรูปที่ 4 หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ ดูตัวอย่างรูปที่ 5 เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music

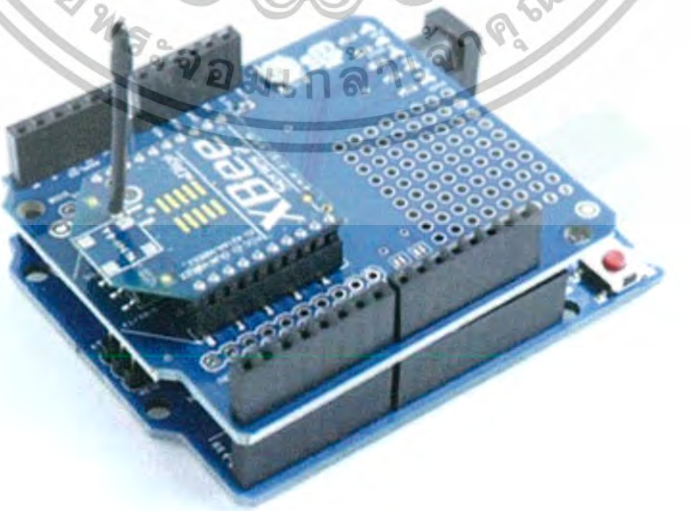
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

จุดเด่นของบอร์ด Arduino ที่ทำให้เป็นที่นิยม คือ ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น, มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง , Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน, ราคาไม่แพง และ Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้



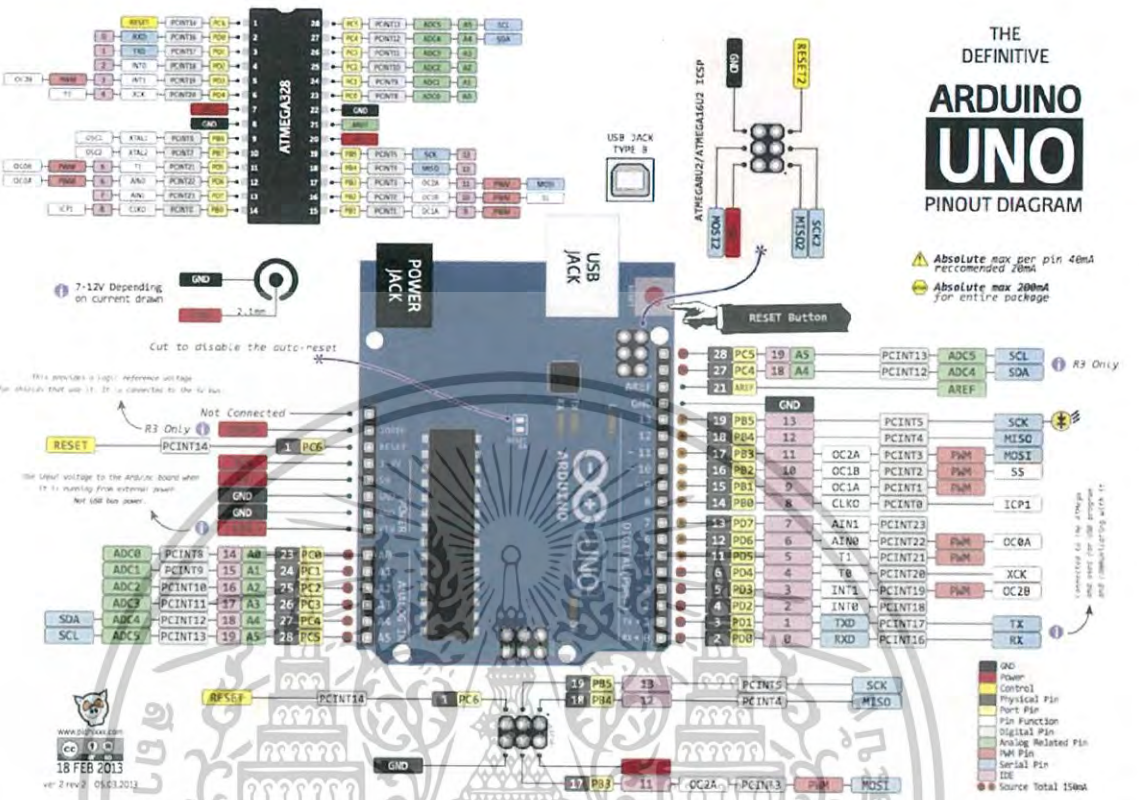
รูปที่ 2.4 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED [2]



รูปที่ 2.5 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBeeShield [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

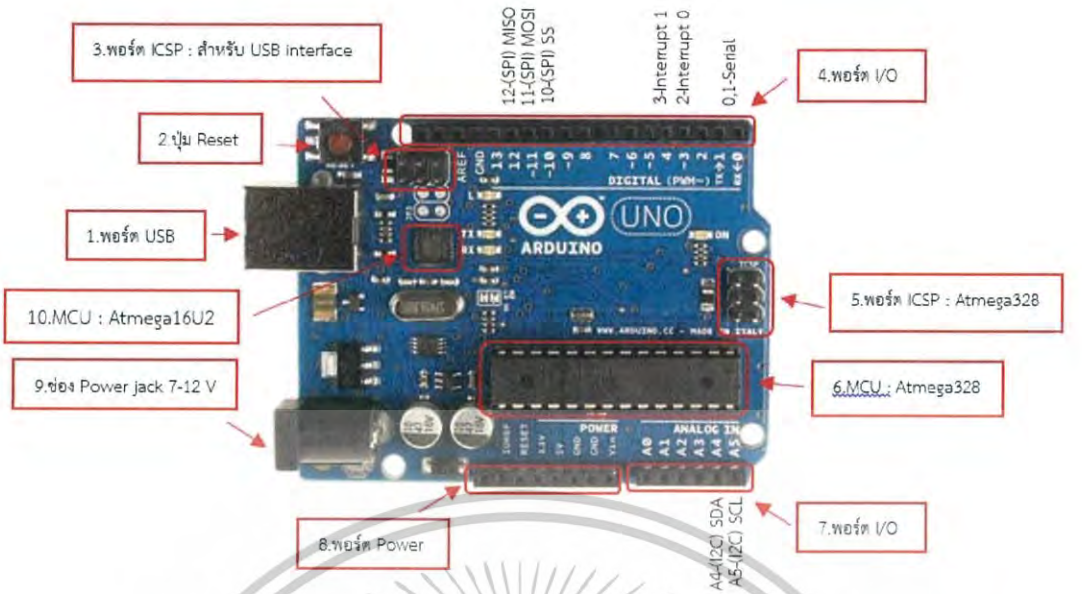
2.3.1 Arduino Model: Arduino UNO R3



รูปที่ 2.6 ผังของบอร์ด Arduino UNO R3 [3]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Model: Arduino UNO R3 ใช้ชิพ ATmega328 รันที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟท์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3) [2]

1. **USB Port:** ใช้สาหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. **Reset Button:** เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทางานใหม่
3. **ICSP Port** ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. **I/O Port:** Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทาหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. **ICSP Port:** Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. **MCU:** Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. **I/O Port:** นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8. **Power Port:** ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. **Power Jack:** รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. **MCU** ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทาหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่านAtmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Breadboard

2.4.1 ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน หรือ รีซิสเตอร์ (อังกฤษ: resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า ทำด้วยลวดต้านทานหรือถ่านคาร์บอน เป็นต้น นั่นคือ ถ้าอุปกรณ์นั้นมีความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะน้อยลง เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดพาสซีฟสองขั้ว ที่สร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมขั้วทั้งสอง (V) โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (I) อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หรือค่าความต้านทานของตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม (สัญลักษณ์ : Ω) เขียนเป็นสมการตามกฎของโอห์ม ดังนี้

$$R = \frac{V}{I}$$

ค่าความต้านทานนี้ถูกกำหนดว่าเป็นค่าคงที่สำหรับตัวต้านทานธรรมดาทั่วไปที่ทำงานภายในค่ากำลังงานที่กำหนดของตัวมันเอง

ตัวต้านทานทำหน้าที่ลดการไหลของกระแสและในเวลาเดียวกันก็ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าภายในวงจรทั่วไป Resistors อาจเป็นแบบค่าความต้านทานคงที่ หรือค่าความต้านทานแปรได้ เช่นที่พบใน ตัวต้านทานแปรตามอุณหภูมิ (thermistor), ตัวต้านทานแปรตามแรงดัน (varistor), ตัวหรี่ไฟ (trimmer), ตัวต้านทานแปรตามแสง (photoresistor) และตัวต้านทานปรับด้วยมือ (potentiometer)

<u>กฎของโอห์ม</u>

พฤติกรรมของตัวต้านทานในอุดมคติจะถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ที่ระบุไว้ในกฎของโอห์ม ดังนี้

$$V = IR$$

กฎของโอห์ม ระบุว่า แรงดันไฟฟ้า(V) ที่ตกคร่อมความต้านทานจะเป็นสัดส่วนกับกระแส (I) เมื่อค่าคงที่ของสัดส่วนเป็นความต้านทาน(R)

ในส่วนที่เท่าเทียมกัน กฎของโอห์มสามารถระบุได้ว่า

$$I = \frac{V}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้กำหนดว่ากระแส (I) เป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้า(V)และแปรผกผันกับความต้านทาน(R) สมการนี้จะถูกนำมาใช้โดยตรงในการคำนวณในทางปฏิบัติ ตัวอย่างเช่นถ้าตัวต้านทาน 300 โอห์มต่อคร่อมระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ดังนั้นกระแส 12/300 = 0.04 แอมแปร์ (หรือ 40 milliamperes) จะไหลผ่านตัวต้านทานตัวนั้น

2.4.2 LDR: Light Dependent Resistor

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตรีซีสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดัคเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมี่ยมซัลไฟด์ (Cds: Cadmium Sulfide) หรือแคดเมี่ยมซิลินายส์ (CdSe: Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไว้ออกมา

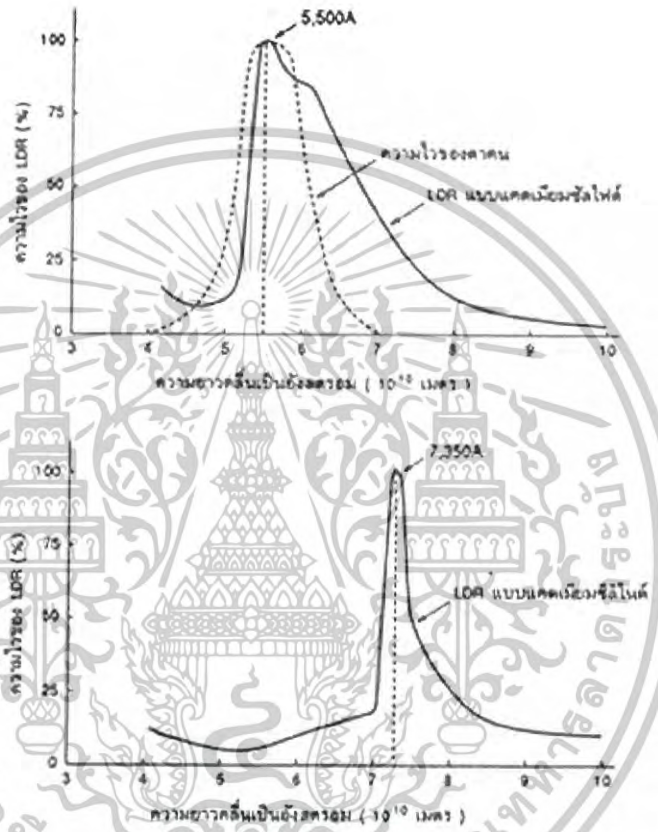
รูปที่ 2.8 โครงสร้าง LDR [7]

รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 2.8 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆสี ดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลามีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสาร ที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน. การที่มีโฮล กับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่ง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน [7]

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10 - 10 เมตร) ถึงแระมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็เป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลาย ความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม. ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลือง สำหรับ บางตัวแล้ว ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความ ยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซีลิไนด์ก็จะไวต่อ ความ ยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดแล้ว

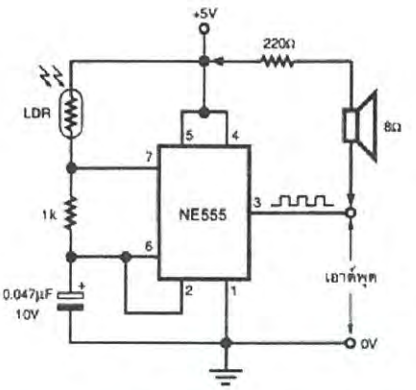
ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มืดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึงโอห์มก็ได้. ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW

รูปที่ 2.10 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR [7]

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความ เข้มแสดง เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.10 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่า ต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง. แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับ เพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้า เก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดเลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีนิไนด์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบ แคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และ อีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก. ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บาง ทีก็เป็นวินาที เลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณเสียง [7]

นอกจากวงจรเครื่องวัดแสง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในการประยุกต์ LDR ให้ใช้งานแบบทุกช่วงการเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังมีคน ดัดแปลงไปใช้ในวงจรอื่นๆ อีก เช่น วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อเชื่อมต่อส่วนที่เป็นวงจรอะนาล็อก ให้ส่งสัญญาณผ่านเข้าไปทำงานในวงจรดิจิตอลได้ ดังเช่น รูปที่ 2.11 เป็นวงจรแปลงระดับความเข้มแสง ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาล็อกให้ออกมาเป็นจำนวนลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ยิ่งความเข้มแสงมากเท่าไหร่ จำนวนลูกคลื่นสี่เหลี่ยมก็จะยิ่งออกมามากเท่านั้น วงจรนี้ใช้ไอซี 555 ความถี่ของคลื่นที่ออกมาจะได้ประมาณ 22 kHz แต่ถ้าเอาไปรับแสงใกล้ๆ หลอดไฟขนาด 60 วัตต์ จะเหลือเพียงประมาณ 1 Hz ในที่มืด หากเอาลำโพงอนุกรมกับตัวต้านทาน 220W ไปต่อเข้ากับขา 3 และ ไฟบวกก็จะได้ยินเสียง สูงๆ ต่ำๆ ตามความเข้มของแสง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 An Infinite Beam Laser Harp with External MIDI I/O Functionality

เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า เลเซอร์ฮาร์ป เลเซอร์ฮาร์ปประกอบด้วยระบบที่จัดลำแสงเป็นลักษณะ fan arrangement คล้ายคลึงกับการดีดสายพิณ ที่ลำแสงเลเซอร์มีตัวบล็อกที่ทำให้เกิดเสียง เลเซอร์ฮาร์ปสามารถเชื่อมต่อได้อย่างหลากหลาย โดยมีข้อแม้ว่าอุปกรณ์เสียงดิจิตอลภายนอกต้องมีพิสัยกว้างจึงจะสามารถสร้างโครงข่ายแบบเสียงดิจิตอลได้ เครื่องมือที่ใช้อยู่บนพื้นฐานของโปรแกรม system-on-chip PSoC 5LP ที่พัฒนาโดยบริษัท ไซเปรส เซมิคอนดัคเตอร์ (Cypress Semiconductor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

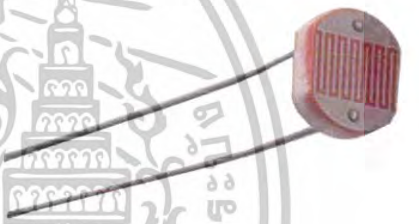
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในวิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ จะทำการทดลองต่อวงจรและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาร์ฟและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อสามารถนำไปกำหนดค่าความถี่ตามตัวโน๊ตดนตรีได้อีก ทั้งทำการออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน เพื่อเก็บอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆไว้ภายใน อาทิเช่น วงจรเลเซอร์ฮาร์ฟ, วงจร R2R

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์ประกอบเลเซอร์ฮาร์ปมีดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.1 บอร์ด Arduino



รูปที่ 3.2 Light Dependent Resistor

รูปที่ 3.3 ถ่าน AA

รูปที่ 3.4 สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

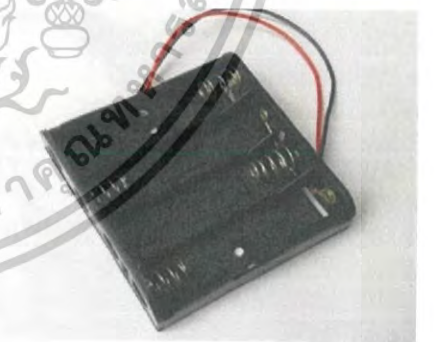
รูปที่ 3.5 Laser Diode

รูปที่ 3.6 ลำโพง

รูปที่ 3.7 DC Adapter

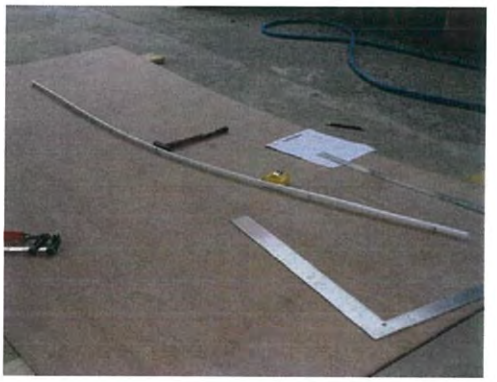
รูปที่ 3.8 สายไฟ

รูปที่ 3.9 ตัวต้านทาน



รูปที่ 3.10 รางถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ไม้อัด

รูปที่ 3.12 Multimeter

3.1.2 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง

รูปที่ 3.13 ปืนกาว

รูปที่ 3.14 หัวแล้ง

รูปที่ 3.15 สว่าน

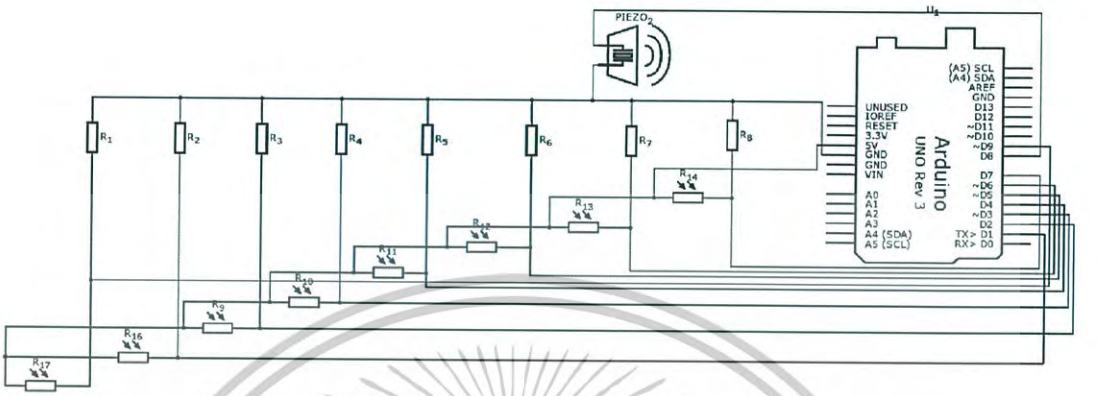
รูปที่ 3.16 เรื่อยไฟฟ้า

รูปที่ 3.17 น็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

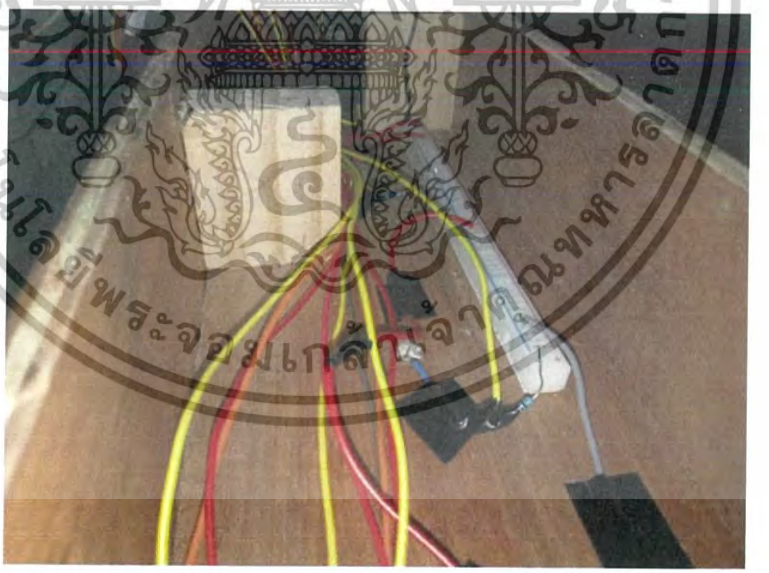
3.2 การทดสอบและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาร์ป

3.2.1 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป



รูปที่ 3.18 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป

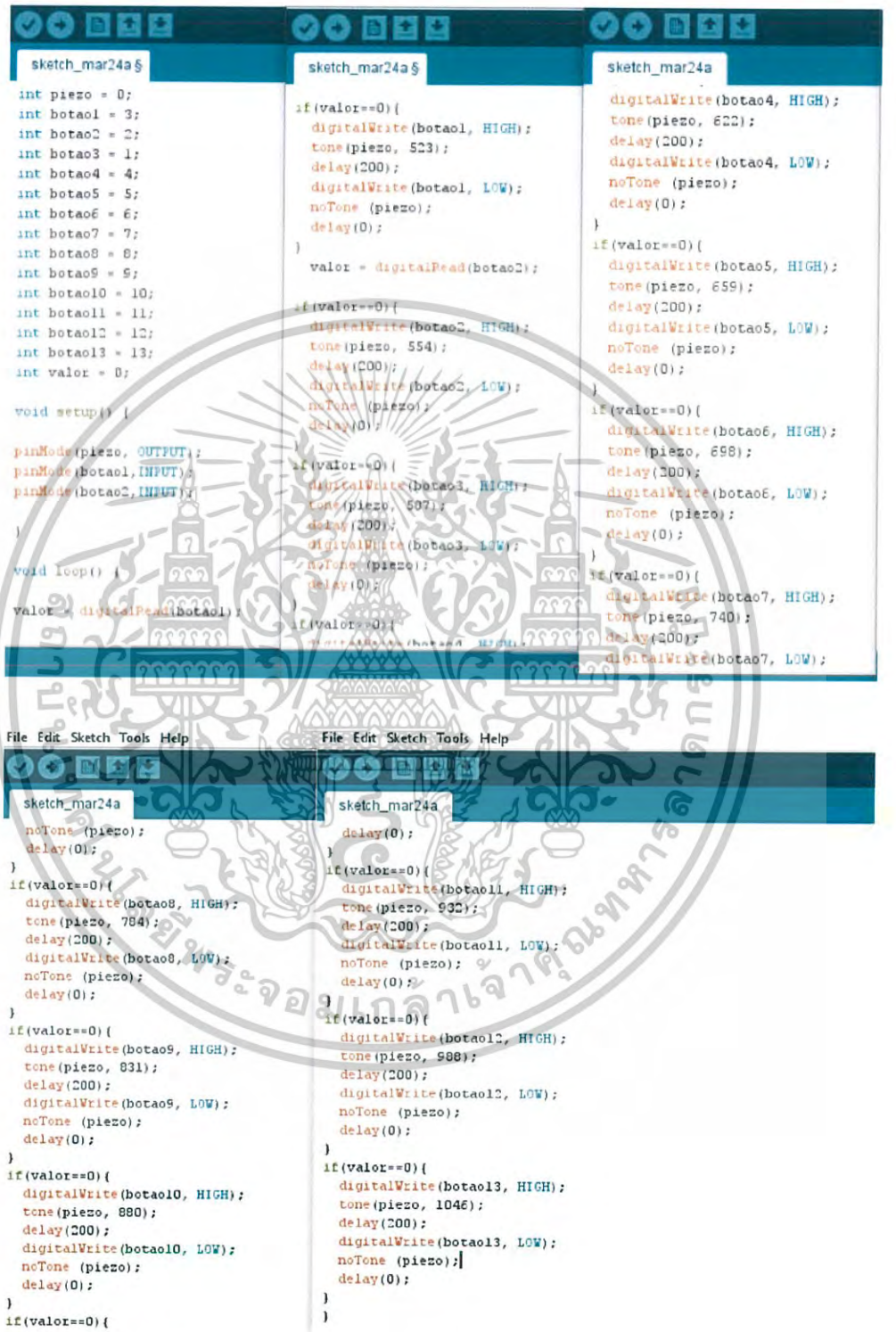
(1) ทำการต่อวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป โดยนำอุปกรณ์มาทำการบัดกรี ได้แก่ LDR Sensor กับ ค่าความต้านทานขนาด 50 กิโลโอห์ม โดยบัดกรีทั้งหมด 13 ตัว ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

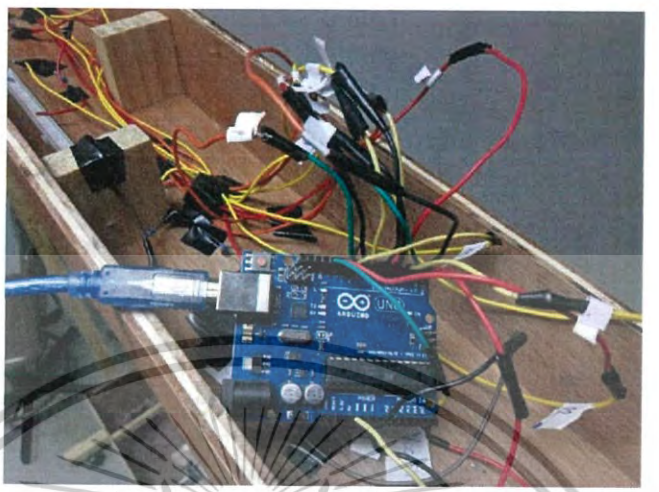
(2) ทำการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB และทำการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 Code Arduino สั่งการวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ทำการทดลองวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป โดยเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาร์ดูโน่ ดังรูปที่ 3.2.4 (วงจรตามรูปที่ 3.18) และจ่ายไฟ DC ให้กับบอร์ด Arduino (12 โวลต์ 5 แอมแปร์)



รูปที่ 3.21 วงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ป

(4) ทำการทดลองวงจรโดยยิงแสงเลเซอร์ไปตกกระทบที่ LDR Sensor ซึ่งเมื่อนำมือตัดลำแสงเลเซอร์ ก่อนกระทบบน LDR Sensor จะมีเสียงตัวโน๊ตแสดงผลออกมาจากลำโพง แสดงว่าวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ปทำงาน

(5) ทำการติดตั้งเลเซอร์จำนวน 13 ตัว โดยให้ลำแสงเข้าไปที่ LDR แต่ละตัว จนครบ 13 ตัว แล้วทดสอบโดยการใช้มือตัดลำแสงเลเซอร์แต่ละตัว ดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 ติดตั้งและทดสอบการทำงานของเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ทำการทดลองหาค่าความถี่จาก Electronics tuning และเครื่อง Oscilloscope แล้วนำมาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.23 และ 3.24 ตามลำดับ

รูปที่ 3.23 หาค่าความถี่จาก Electronics tuning

รูปที่ 3.24 หาค่าความถี่จาก Oscilloscope

3.3 การสร้างและการออกแบบโครงสร้าง

(1) ทำการออกแบบและเขียนโครงสร้างเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์

(2) ทำการตีเส้นและวัดขนาดไม้อัดตามขนาดที่เขียนแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

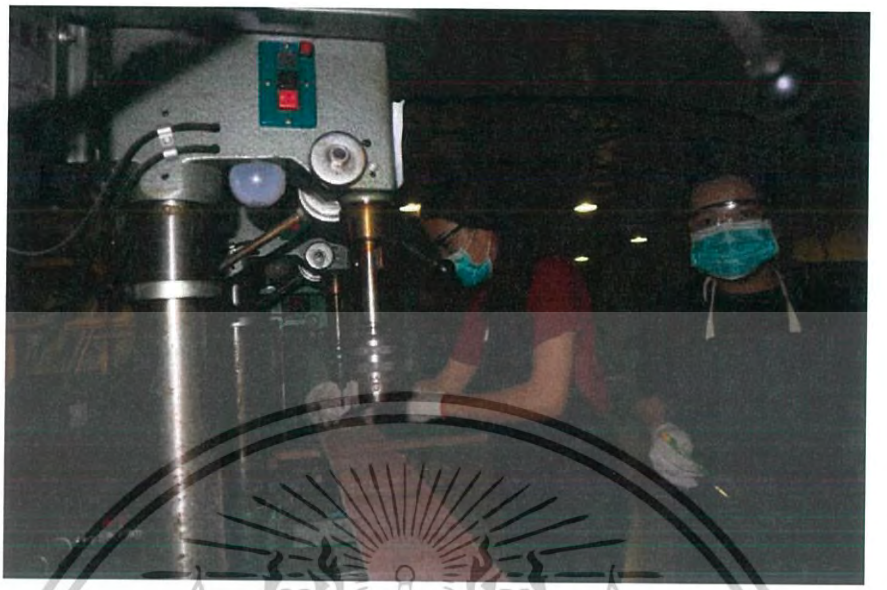
รูปที่ 3.25 ตีเส้นและวัดขนาดไม้อัด

(3) ตัดไม้อัดที่วัดขนาดไว้ดังขั้นตอนข้างต้นด้วยโต๊ะเลื่อยวงเดือน, เลื่อยจิ๊กซอร์, และเลื่อยวงเดือน ตามลำดับภาพที่ 3.24

รูปที่ 3.26 ตัดไม้อัดตามขนาดที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) นำไม้อัดขนาด 140 cm มาเจาะรูรัศมี 1.2 cm ห่างกัน 10 cm ทั้งหมด 13 รู



รูปที่ 3.27 ทำการเจาะรูทั้งหมด 13 รู

(5) นำไม้อัดขนาดต่างๆ ที่ตัดไว้มาประกอบกันโดยใช้ปืนยิงตะปูลมและใช้สว่านไฟฟ้ายิงน็อตยึดติดกัน

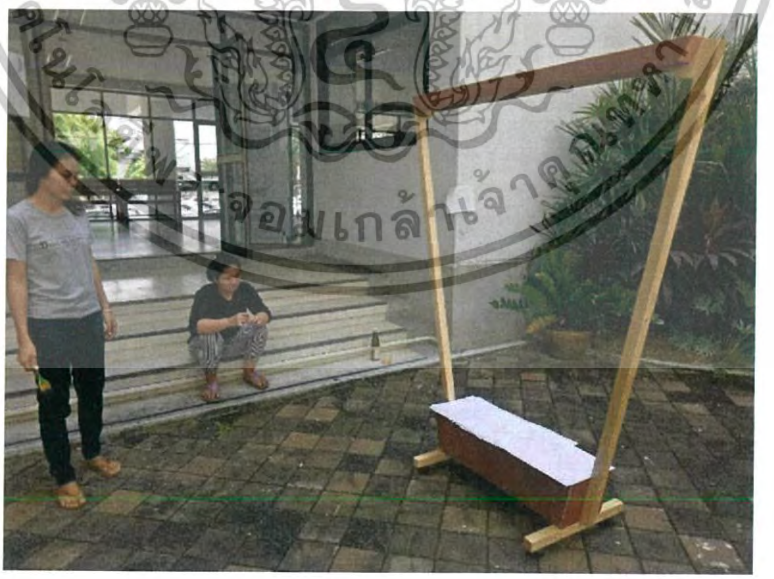
รูปที่ 3.28 ยึดติดชิ้นส่วนต่างๆด้วยน็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ได้รูปแบบโครงสร้างดังภาพ

รูปที่ 3.29 โครงสร้างเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อย

(7) นำโครงสร้างที่เสร็จแล้วมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายและทาแลคเกอร์เคลือบเงาไม้ จากนั้นตากแดดให้แห้ง



รูปที่ 3.30 ทาแล็กเกอร์เคลือบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) นำวงจรรับสัญญาณเลเซอร์ฮาร์ปมาทำการบัดกรี LDR Sensor กับ ค่าความต้านทาน ขนาด 50 กิโลโอห์ม โดยบัดกรีทั้งหมด 13 ตัว และใส่ท่อหดที่ขา LDR Sensor ข้างที่ไม่ถูกบัดกรี และนำไปติดกับไม้อัดที่ทำการเจาะรู 13 รู

รูปที่ 3.31 ติดวงจรรับสัญญาณลงบนไม้อัด

(9) ติดตั้งลำโพงไว้ในกล่องด้านล่างงานไม้ แล้วทำการเดินสายไฟเชื่อมต่อ

(10) และทำการเดินสายไฟเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยจะมีการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครื่อง Laser Harp ในการทำงานของเครื่อง Laser Harp จะมีค่าความถี่ของเสียงที่แตกต่างกันออกไปในแต่ล่ะตัวโน๊ต โดยแบ่งออกเป็นการทดลองค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

ในการวัดความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning โดยใช้เครื่องมือถือ App Best Tuner ในการจับสัญญาณความถี่ของเครื่อง Laser Harp มีค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

ระดับเสียงเครื่องสาย (Hz)	ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning (Hz)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
C (523)	522.5	0.01
C# (554)	555.3	0.13
D (587)	589.0	0.34
D# (622)	624.6	0.41
E (659)	660.7	0.26
F (698)	697.7	0.04
F# (740)	743.7	0.50
G (784)	785.5	0.19
G# (831)	832.9	0.23
A (880)	879.7	0.03
A# (932)	932.5	0.05
B (988)	987.5	0.05
C (1046)	1045.3	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของเสียงโด

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent relative error)

$$= \left(\frac{Experimental\ value - True\ value}{True\ value}\right) \times 100\ )$$

$$= \left(\frac{522.5 - 523}{523}\right) \times 100$$

$$= 0.10\%$$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความถี่ที่ได้จาก Electronic Tuning เท่ากับ 0.178% จากสมการดังต่อไปนี้

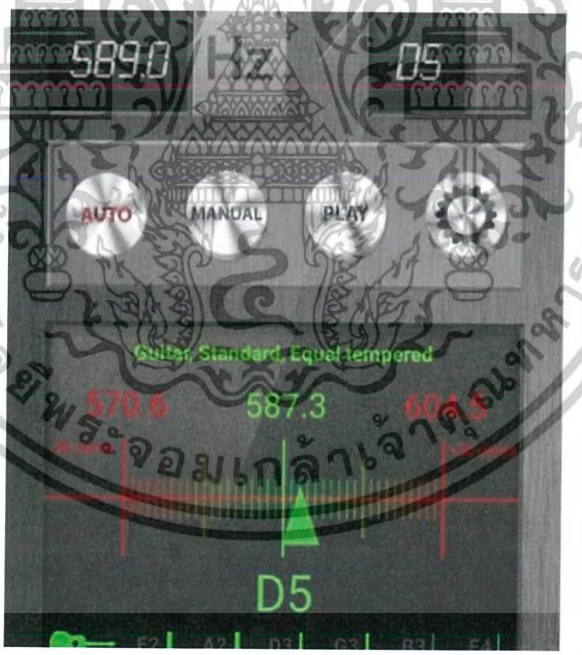
$$= \left(\frac{0.01 + 0.13 + 0.34 + 0.41 + 0.26 + 0.04 + 0.50 + 0.19 + 0.23 + 0.23 + 0.03 + 0.05 + 0.05 + 0.07}{13}\right)$$

$$= 0.178\%$$

รูปที่ 4.1 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโดชาร์ฟ



รูปที่ 4.3 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเร

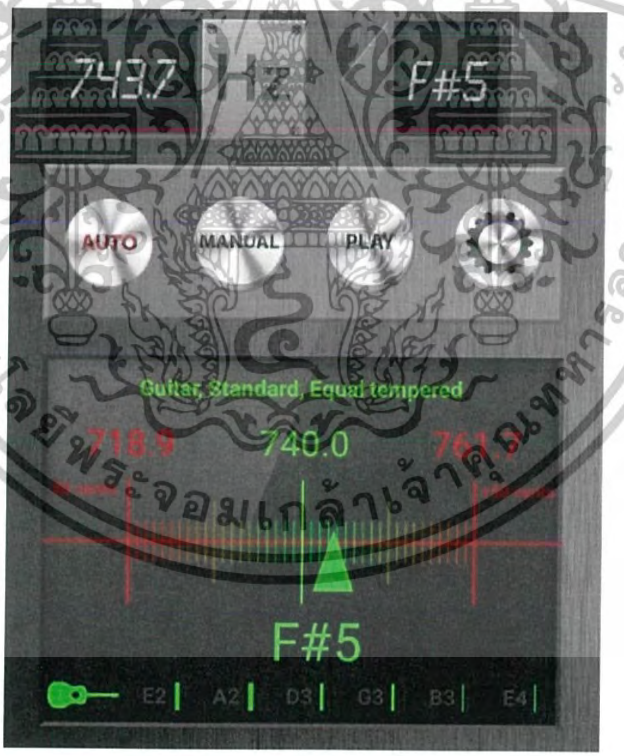
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเรซาร์ฟ

รูปที่ 4.5 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงมี

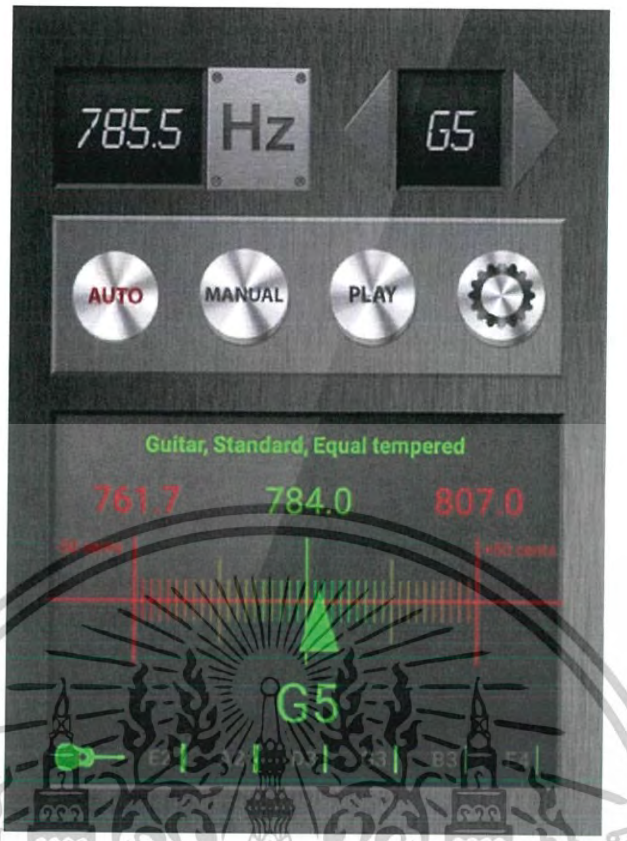
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟา

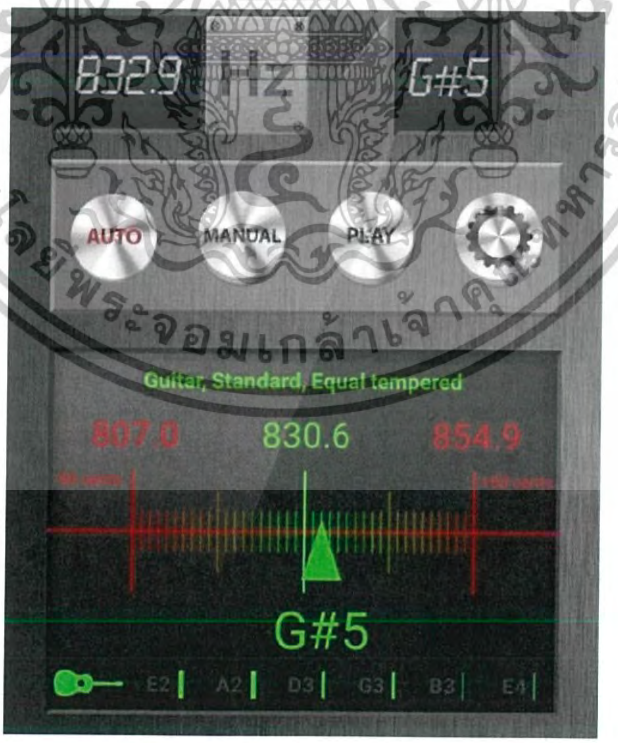


รูปที่ 4.7 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟาชาร์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

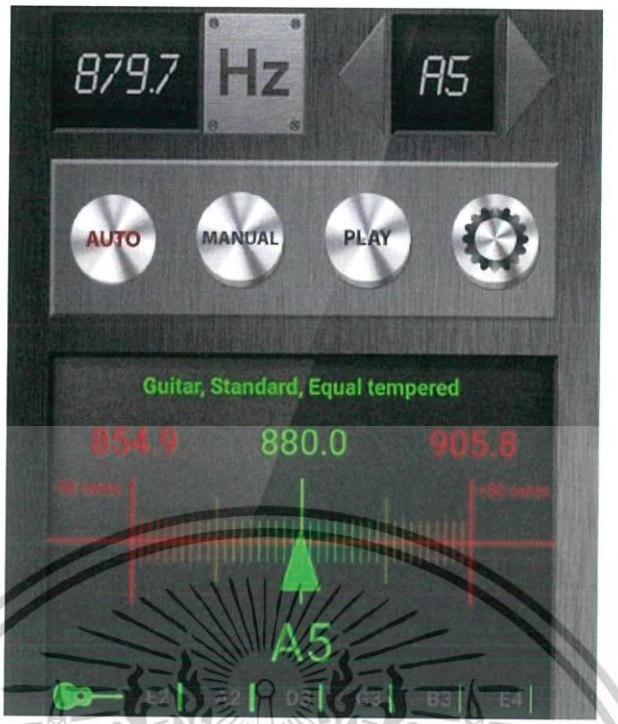


รูปที่ 4.8 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอล

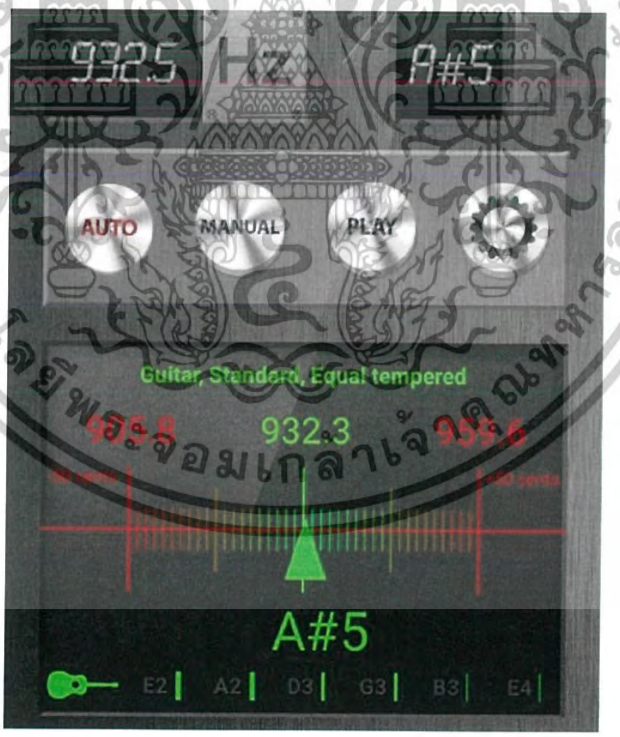


รูปที่ 4.9 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอลชาร์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



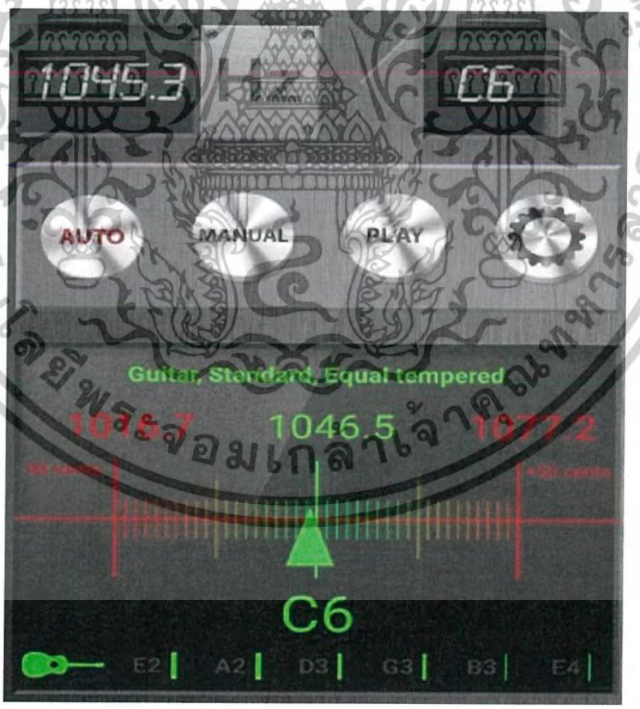
รูปที่ 4.10 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลา



รูปที่ 4.11 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลาซาร์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงที



รูปที่ 4.13 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope

ในการวัดค่าความถี่จาก Oscilloscope จะวัดค่าจาก output ของวงจร จะได้ค่าความถี่จาก Oscilloscope ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความถี่จากการทดลองด้วยเครื่อง Oscilloscope

ระดับเสียงเครื่องสาย (Hz)	ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope (Hz)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
C (523)	523.6	0.11
C# (554)	555.6	0.29
D (587)	588.2	0.20
D# (622)	625.0	0.48
E (659)	657.9	0.17
F (698)	698.3	0.04
F# (740)	740.7	0.09
G (784)	781.2	0.36
G# (831)	833.3	0.28
A (880)	880.3	0.03
A# (932)	932.8	0.09
B (988)	988.1	0.01
C (1046)	1042	0.38

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของเสียงโด

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent relative error)

$$= \left(\frac{Experimental\ value - True\ value}{True\ value}\right) \times 100$$

$$= \left(\frac{523.6 - 523}{523}\right) \times 100$$

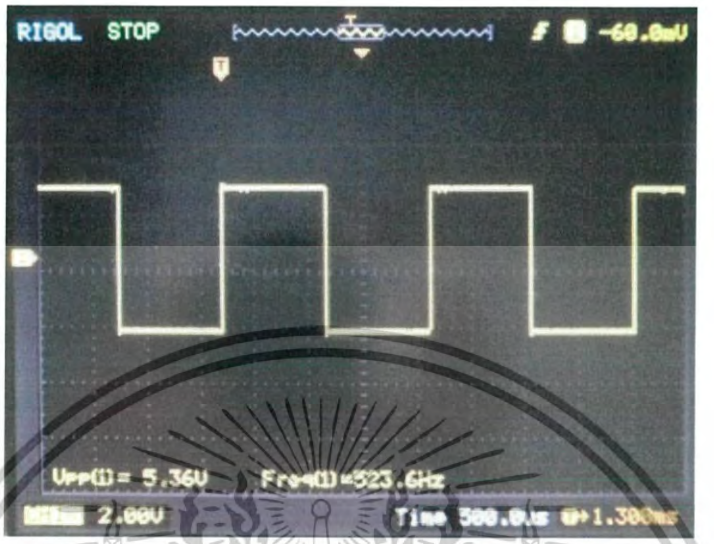
$$= 0.11\%$$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความถี่ที่ได้จาก Electronic Tuning เท่ากับ 0.178% จากสมการดังต่อไปนี้

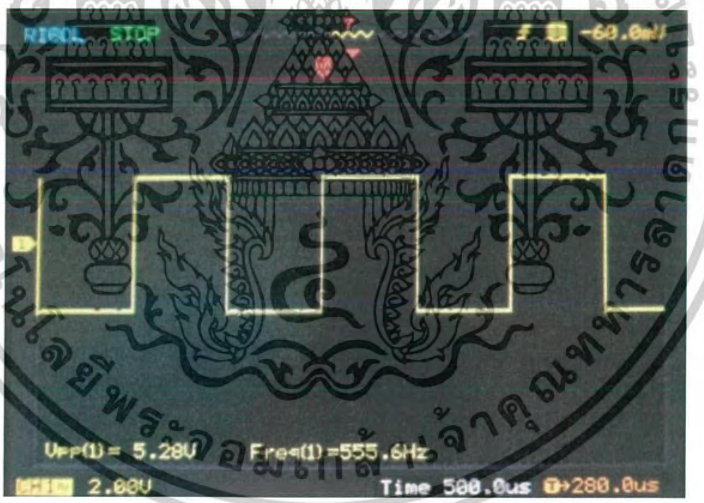
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{0.11+0.29+0.20+0.48+0.17+0.04+0.09+0.36+0.28+0.03+0.09+0.01+0.38}{13}$$

$$= 0.195\%$$

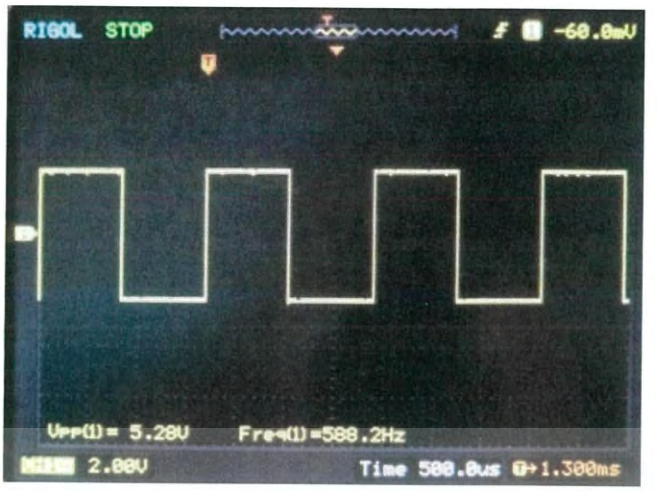


รูปที่ 4.14 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโด

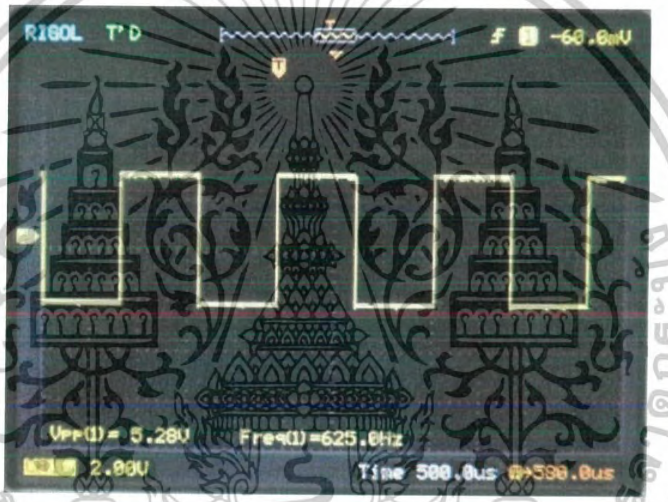


รูปที่ 4.15 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโดชาร์ฟ

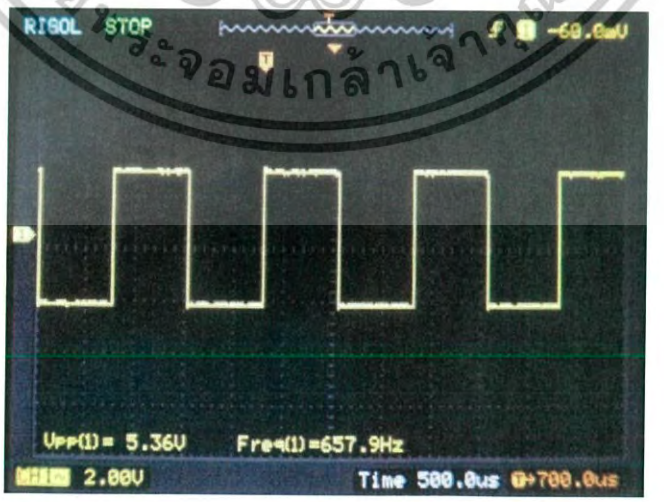
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงเร



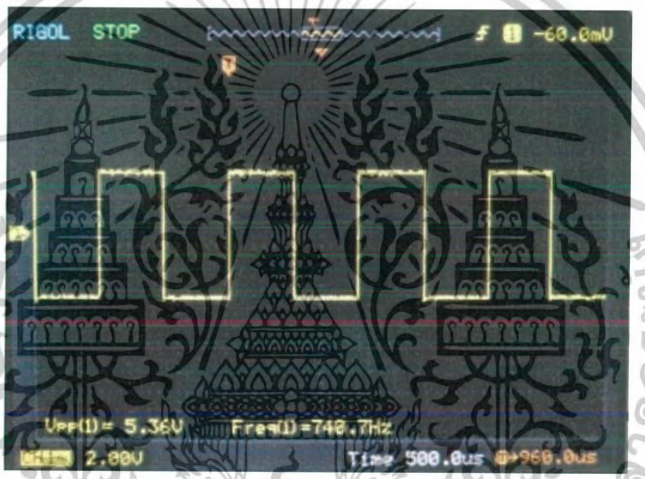
รูปที่ 4.17 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงเรชาร์ฟ



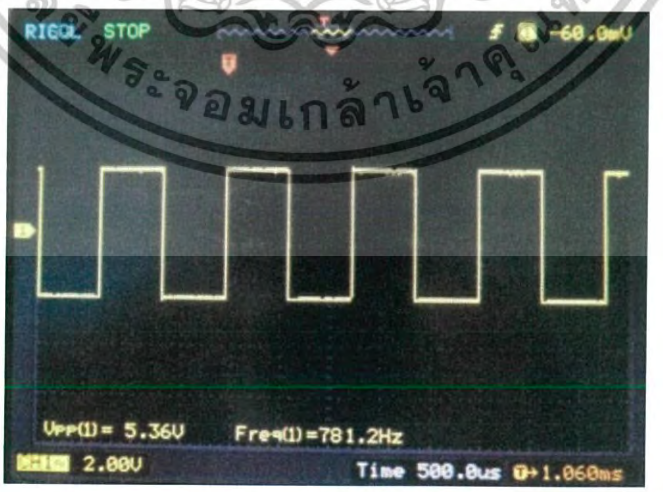
รูปที่ 4.18 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงฟา

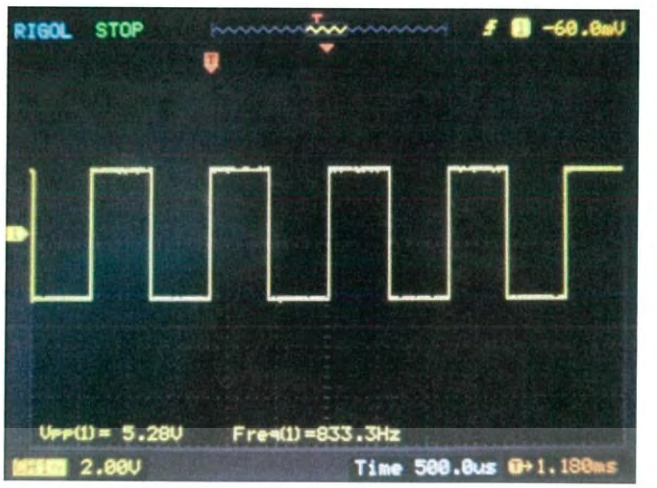


รูปที่ 4.20 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงฟาซาร์ฟ

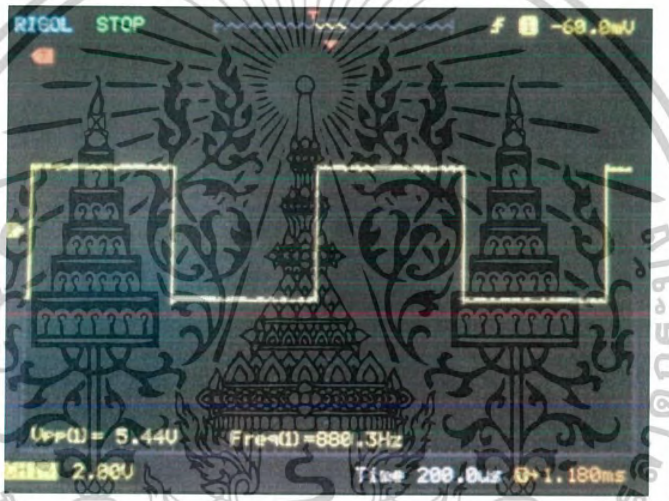


รูปที่ 4.21 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงซอล

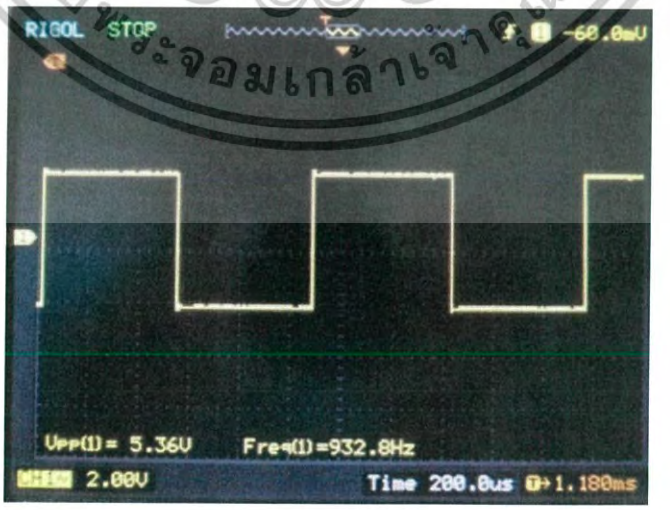
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงซอลชาร์ฟ

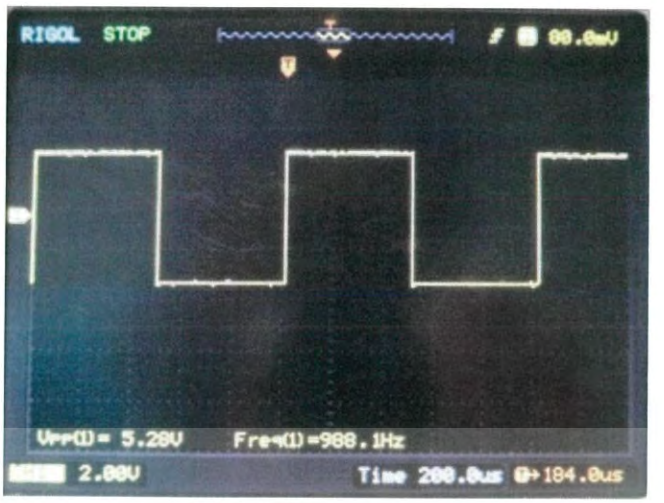


รูปที่ 4.23 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงลา



รูปที่ 4.24 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงลาชาร์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงที

รูปที่ 4.26 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope เสียงโด'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวด้วยเลเซอร์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจร Laser Harp โดยใช้โทรศัพท์มือถือ Application ของ App Best Tuner เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความถี่ของตัวโน๊ตในแต่ละเสียงตามที่ต้องการ โดยค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning มีค่าความคลาดเคลื่อนได้ประมาณ 0.178% เนื่องจากเครื่อง Electronic Tuning วัดจากเสียงที่ออกมาจากลำโพง อาจมีเสียงภายนอกมารบกวน จึงให้ค่าความถี่ที่วัดได้อาจจะผิดเพี้ยนไปจากทฤษฎี อาทิเช่น เสียงโด (524 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning สามารถวัดได้ 522.5 Hz หรือ เสียงเร (587 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning สามารถวัดได้ 589.0 Hz

5.1.2 การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจร Laser Harp โดยใช้เครื่อง Oscilloscope

การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจร Laser Harp โดยใช้เครื่อง Oscilloscope วัดค่าจาก Output ของวงจร Laser Harp แต่ละวงจรค่าที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งคำนวณได้ประมาณ 0.195 % เมื่อเทียบกับทฤษฎีของแต่ละตัวโน๊ต ถือว่าใกล้เคียงกับตัวโน๊ตที่กำหนดไว้และสามารถยอมรับได้ อาทิเช่น เสียงโด (523 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Oscilloscope สามารถวัดได้ 523.6 หรือ เสียงซอล (784) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Oscilloscope สามารถวัดได้ 781.2 เป็นต้นถือว่าค่าความถี่ที่ออกมาจากวงจร Laser Harp มีความผิดพลาดเล็กน้อยเท่านั้นและสามารถเชื่อถือได้ เนื่องจากใช้ Oscilloscope ที่ทันสมัยและอ่านค่าได้แม่นยำ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยการจัดแนวแสง ในส่วนของการออกแบบตัวเครื่องถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานและสามารถเคลื่อนย้ายได้ ส่วนเสียงที่ออกมานั้นเสียงโน๊ตไม่สามารถสั้นยาวตามที่เราต้องการได้ เพราะถูกควบคุมโดยการเขียนโปรแกรม ซึ่งความสั้นยาวของเสียงโน้ตนั้นจะถูกควบคุมในส่วนของ delay ในการทดลองเพื่อเป็นการวัดค่าความถี่ของเสียงจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning และ ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope การทดลองนี้สามารถวัดค่าออกมาใกล้เคียงกันอาจมีคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

วัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning โดยใช้โทรศัพท์มือถือ Application ของ App Best Tuner โดยค่าที่วัดได้จะวัดจากลำโพง จึงอาจมีเสียงภายนอกเข้ามารบกวนในการวัดค่าความถี่ของตัวโน๊ตต่างๆ ค่าที่ได้จึงมีความผิดพลาดไปจากทฤษฎีเล็กน้อย

5.2.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope

วัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope โดยเครื่อง Oscilloscope จะวัดสัญญาณ Output จากวงจร laser harp อาจมีสัญญาณรบกวนภายนอก หรืออาจเกิดจากการต่อวงจร ในการวัดค่าความถี่ของตัวโน๊ตต่างๆ ค่าที่ได้จึงมีความผิดพลาดไปจากทฤษฎีเล็กน้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้พบว่าผู้ศึกษาใช้เลเซอร์หลายตัวในการทำโครงงานพิเศษ จึงอยากให้มีการพัฒนาในส่วนของแสงเลเซอร์ให้มีจำนวนของเลเซอร์ลดลง รวมทั้งในส่วนของเสียงเครื่องดนตรีเล็กทรอนิกส์ อยากให้มีการพัฒนาในส่วนของ patch ให้มีความหลากหลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Goran Ferenc., Jelena Popoviü-Božoviü. 2557.
An Infinite Beam Laser Harp with External MIDI I/O Functionality.
[ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูล : http://ieeexplore.ieee.org/document/7034545/

[2] บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด. 2555. Arduino คืออะไร. [ออนไลน์].
สืบค้นข้อมูล : http://www.thaieasyelec.com/

[3] ครูประภาส สุวรรณเพชร. 2557. เริ่มต้นด้วย UNO R3. [ออนไลน์].
สืบค้นข้อมูล : http://www.praphas.com/

[4] วิกิพีเดีย. 2559. เสียงและเรื่องตัวต้านทาน. [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูล : https://th.wikipedia.org

[5] วิรุฬหกกลับ. 2552. แสงเลเซอร์. [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูล : http://www.vcharkarn.com/

[6] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน. 2557. เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. [ออนไลน์].
สืบค้นข้อมูล : http://www.slri.or.th/

[7] โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์. LDR: Light Dependent Resistor). [ออนไลน์].
สืบค้นข้อมูล : http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Issued March 1997 **232-3816**

Data Sheet

Light dependent resistors

NORP12 RS stock number 651-507
NSL19-M51 RS stock number 596-141

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight	0.1
60W bulb at 1m	50
1W MES bulb at 0.1m	100
Fluorescent lighting	500
Bright sunlight	30,000

Circuit symbol

Light memory characteristics

Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimised by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

NORP12 (RS stock no. 651-507)

Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak	320V
Current	75mA
Power dissipation at 30°C	250mW
Operating temperature range	-60°C to +75°C

Electrical characteristics

T_A = 25°C. 2854°K tungsten light source

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	Ω
	10 lux	-	9	-	kΩ
Dark resistance	-	1.0	-	-	MΩ
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

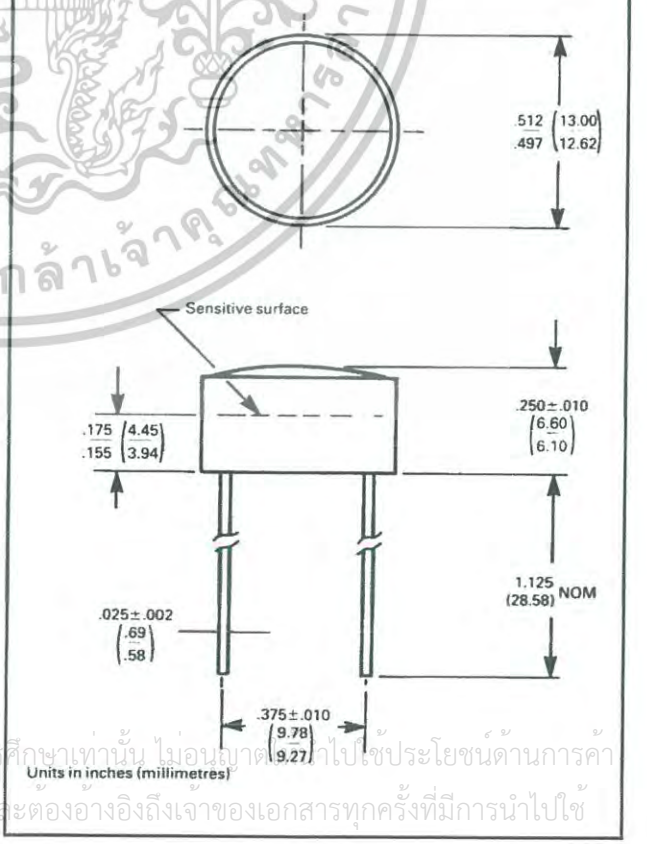
1. Dark to 110% R_L
2. To 10 × R_L

R_L = photocell resistance under given illumination.

Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

Dimensions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1 **Power dissipation derating**

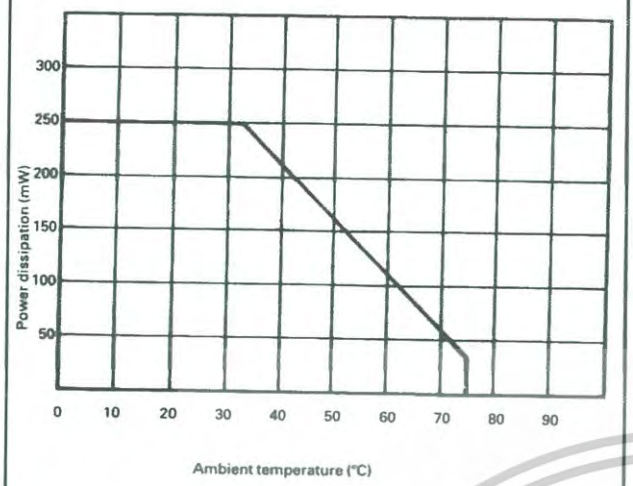
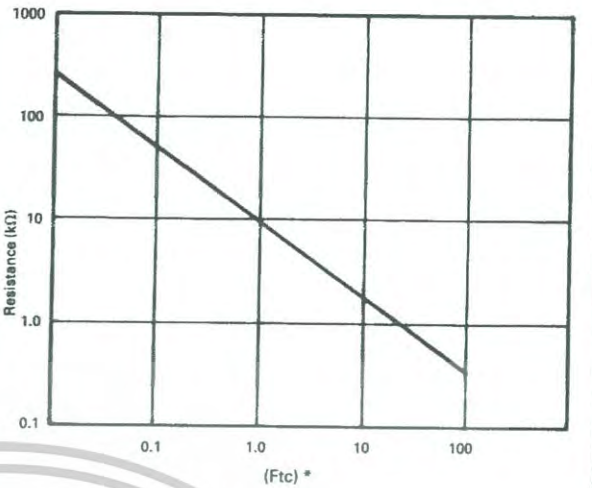
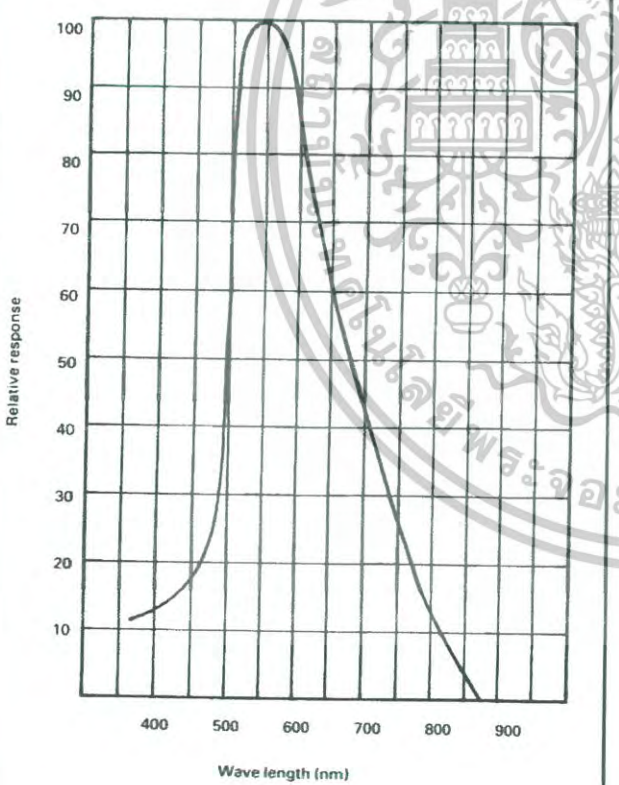


Figure 3 **Resistance as a function of illumination**



*1Ftc=10.764 lumens

Figure 2 **Spectral response**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak _____ 100V
Current _____ 5mA
Power dissipation at 25°C _____ 50mW*
Operating temperature range _____ -25°C +75°C

***Derate linearly from 50mW at 25°C to 0W at 75°C.**

Electrical characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	10 lux 100 lux	20 -	- 5	100 -	kΩ kΩ
Dark resistance	10 lux after 10 sec	20	-	-	MΩ
Spectral response	-	-	550	-	nm
Rise time	10ftc	-	45	-	ms
Fall time	10ftc	-	55	-	ms

Dimensions

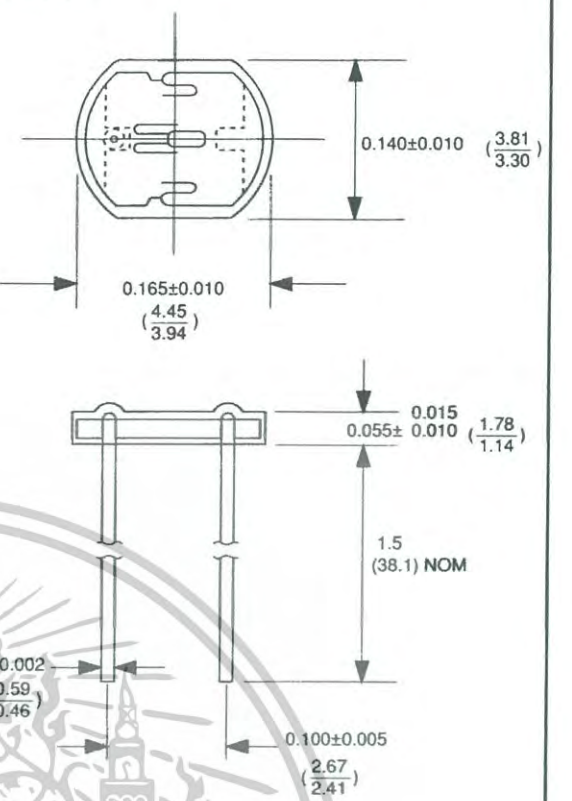


Figure 4 **Resistance as a function illumination**

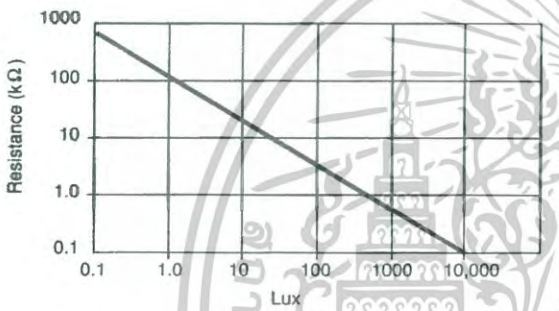
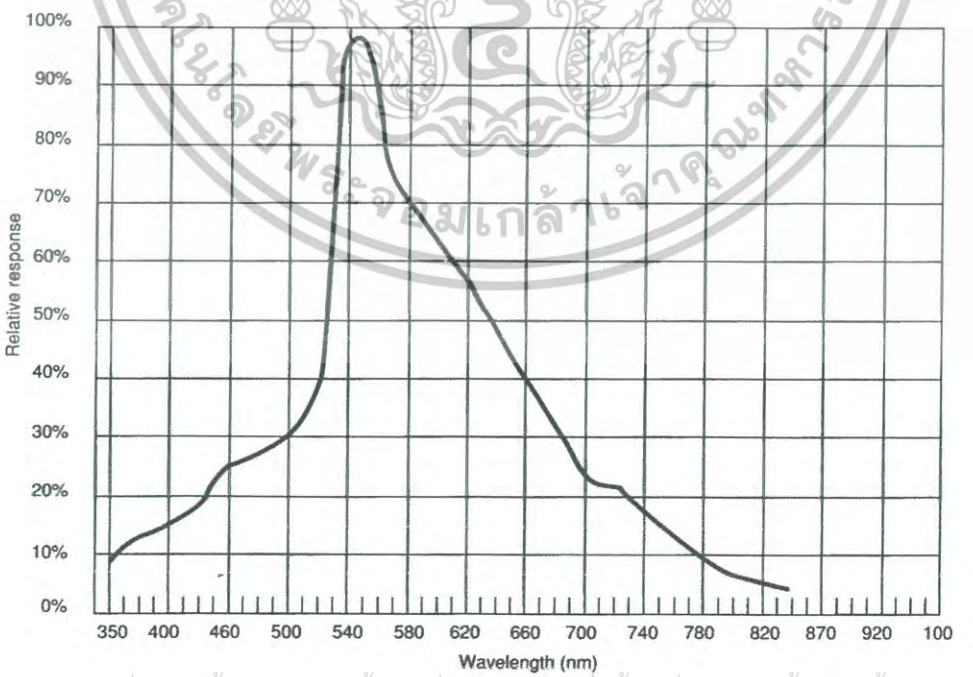


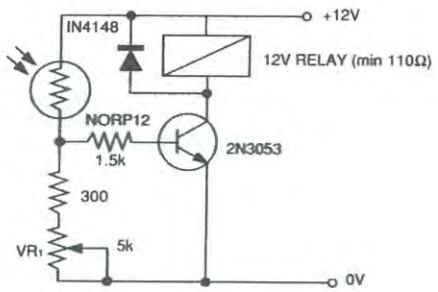
Figure 5 **Spectral response**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

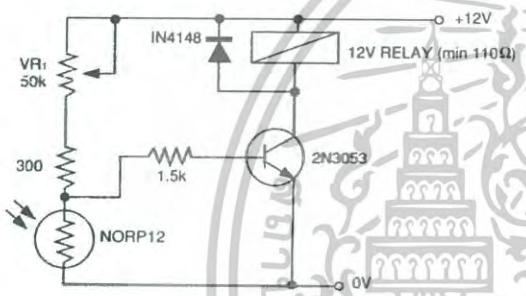
Typical application circuits

Figure 6 **Sensitive light operated relay**



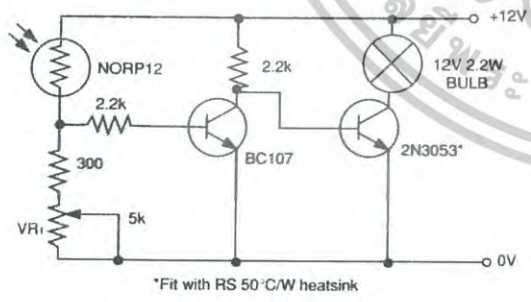
Relay energised when light level increases above the level set by VR_1

Figure 7 **Light interruption detector**



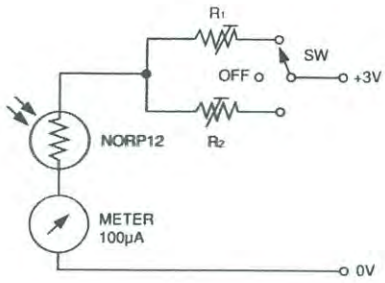
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR_1

Figure 8 **Automatic light circuit**



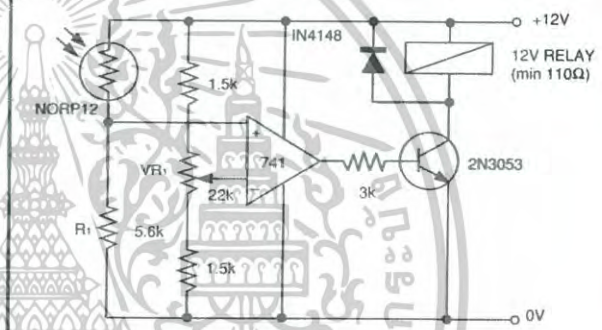
Adjust turn-on point with VR_1

Figure 9 **Logarithmic law photographic light meter**



Typical value $R^1 = 100k\Omega$
$R^2 = 200k\Omega$ preset to give two overlapping ranges.
(Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 10 **Extremely sensitive light operated relay**



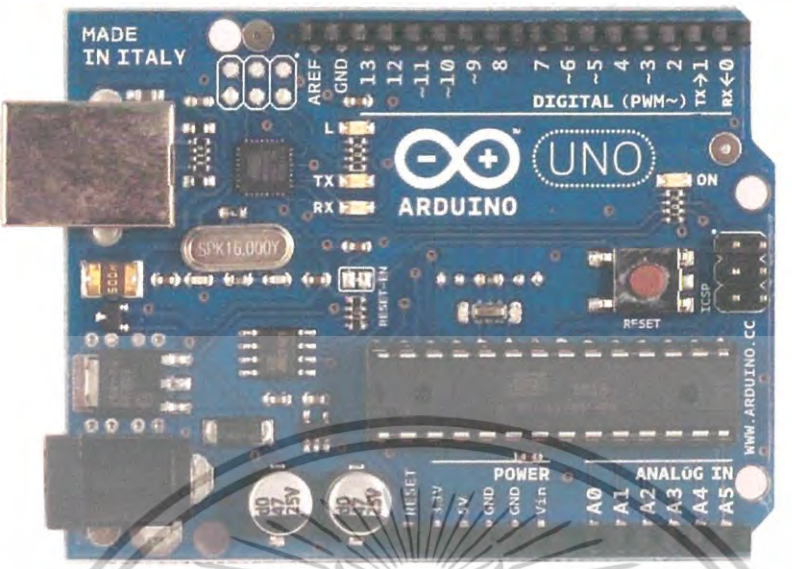
(Relay energised when light exceeds preset level.)
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R_1 and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

The information provided in **RS** technical literature is believed to be accurate and reliable; however, RS Components assumes no responsibility for inaccuracies or omissions, or for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk.
No responsibility is assumed by RS Components for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.
Specifications shown in RS Components technical literature are subject to change without notice.

© RS Components 1997

Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduno, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the index of Arduino boards.

Index

Technical Specifications — Page 2

How to use Arduino
Programming Enviroment, Basic Tutorials — Page 6

Terms & Conditions — Page 7

Enviromental Policies
half sqm of green via Impatto Zero® — Page 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

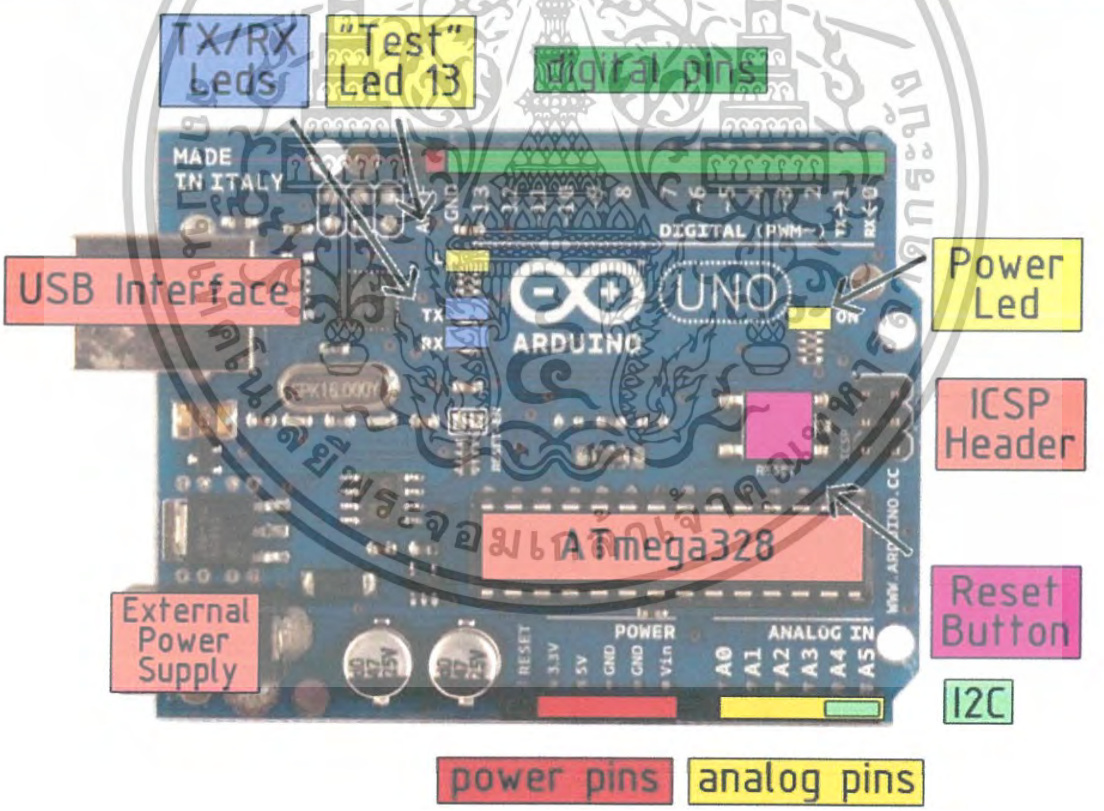
Technical Specification

EAGLE files: arduino-duemilanove-uno-design.zip Schematic: arduino-uno-schematic.pdf

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead() functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. TThese pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.

- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the analogReference() function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the Wire library.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the mapping between Arduino pins and Atmega328 ports.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software (download). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the Arduino programming language (based on Wiring) and the Arduino development environment (based on Processing). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platoform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the Arduino site for the latest instructions. *http://arduino.cc/en/Guide/HomePage*

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

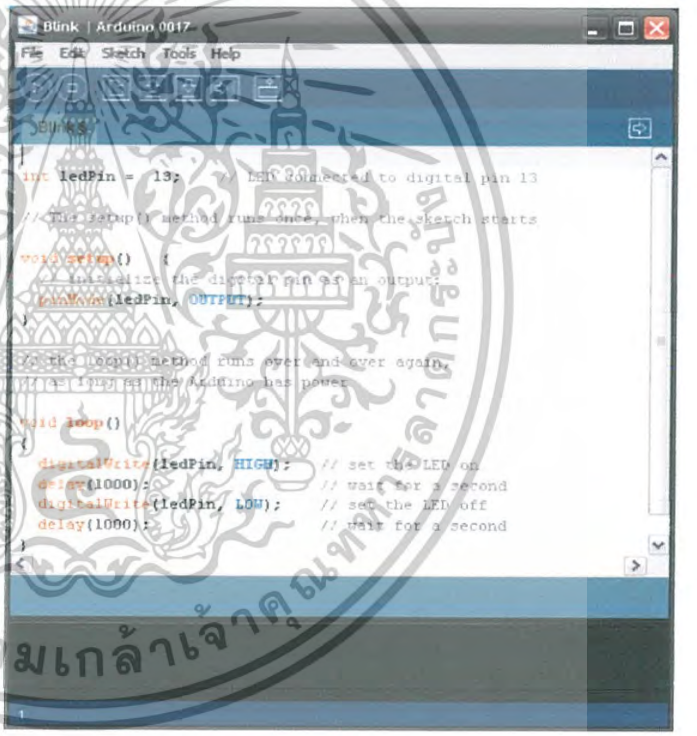
Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

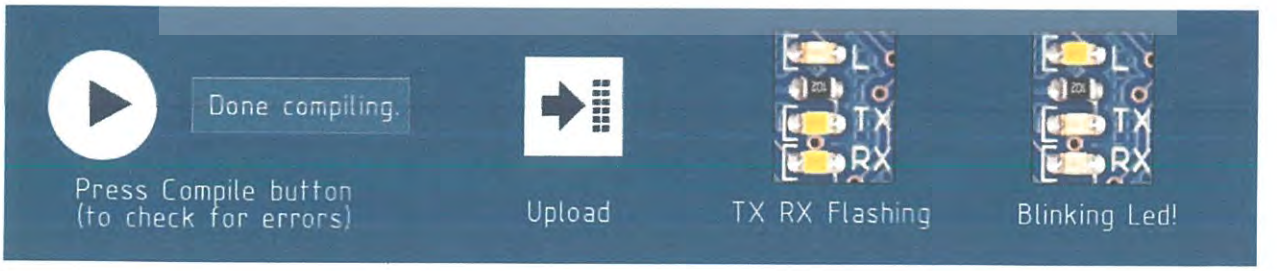
File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

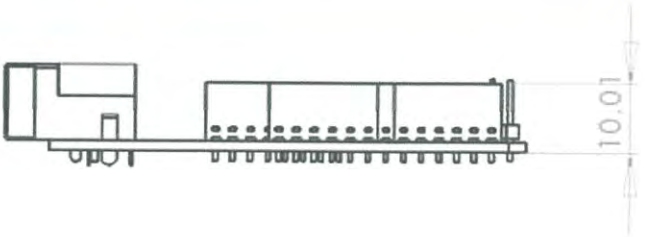
Now you have to go to
Tools>SerialPort
and select the right serial port, the one arduino is attached to.

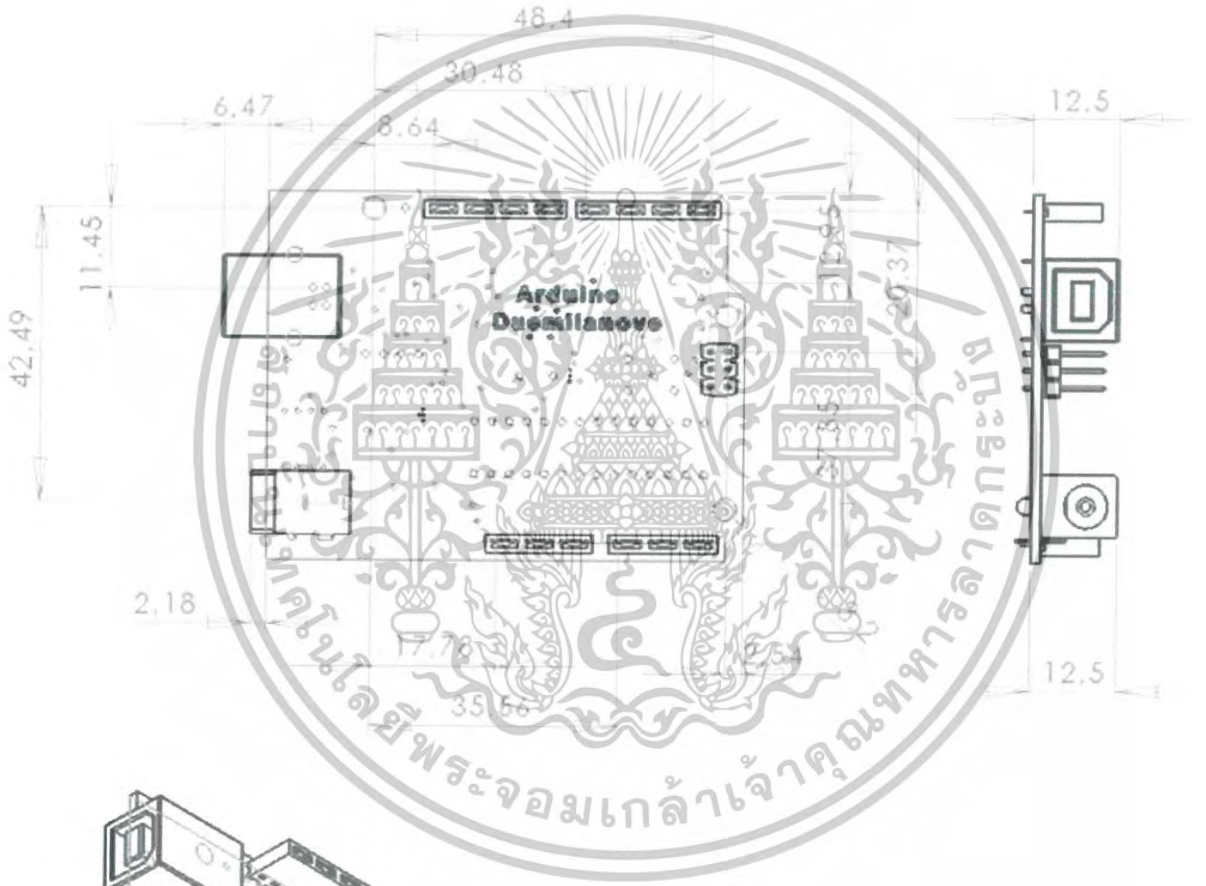


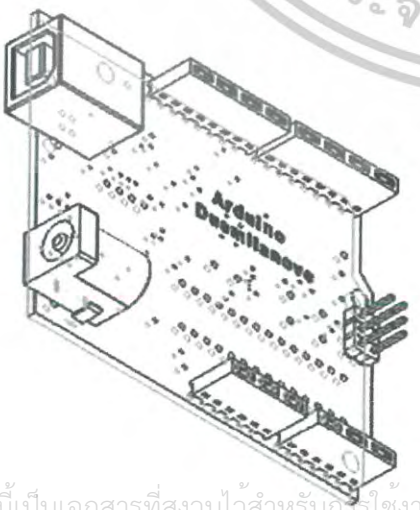


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensioned Drawing







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms & Conditions

1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

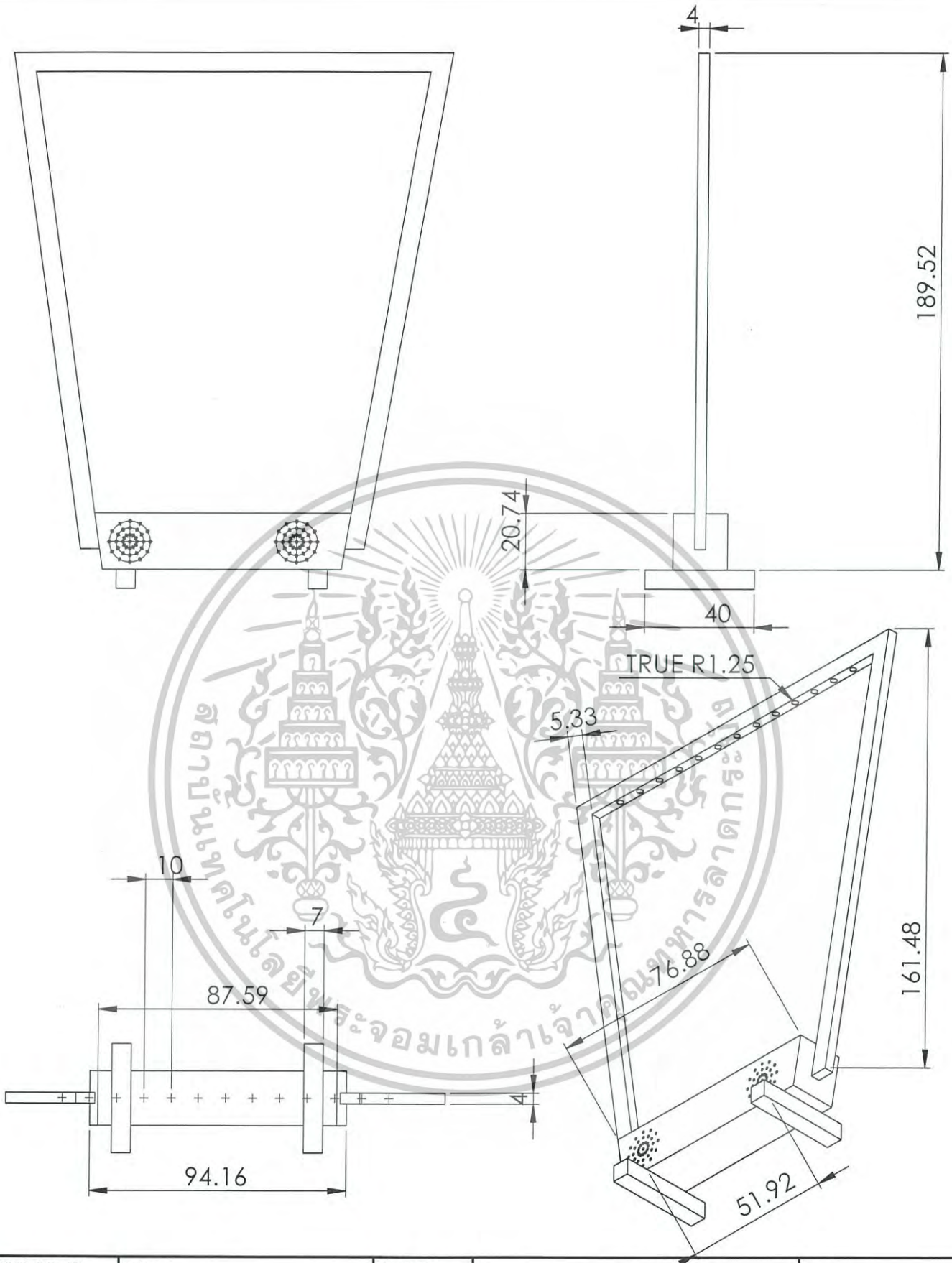
4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

Enviromental Policies

The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING / REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

DWG NO. drawing Project2

A4

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้