

ชุดรับส่งข้อมูลเสียงและข้อความด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
โดยใช้เทคโนโลยีออดูโน

THE AUDIO AND TEXT TRANSMISSION SYSTEM BASED
ON VISIBLE LIGHT USING ARDUINO TECHNOLOGY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE AUDIO AND TEXT TRANSMISSION SYSTEM BASED
ON VISIBLE LIGHT USING ARDUINO TECHNOLOGY



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2018
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ชุดรับส่งข้อมูลเสียงและข้อความด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น โดยใช้เทคโนโลยีออคูโน

The Audio and Text Transmission System based on Visible Light using Arduino Technology

ชื่อนักศึกษา นางสาวสิริกัญจน์ บุญนะฤทธิ รหัสนักศึกษา 58051156
นางสาวสิรินารถ แต่งกระโทก รหัสนักศึกษา 58051157

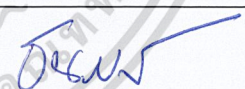
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนภรณ์ สีสาว์ฒนานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.กฤษกร ไส้เจริญรัตน์ ประธานกรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ผศ.ธนภรณ์ สีสาว์ฒนานนท์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ชุดรับส่งข้อมูลเสียงและข้อความด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น โดยใช้เทคโนโลยีออคูโน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสิริกาญจน์ บุญนะฤธี รหัสนักศึกษา 58051156 นางสาวสิรินารถ แดงกระโทก รหัสนักศึกษา 58051157
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์

บทคัดย่อ

โครงการเล่มนี้ เป็นตัวอย่างของการสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน โดยมีอุปกรณ์ตัวส่งและตัวรับข้อมูล ที่มีทั้งข้อมูลข้อความและข้อมูลเสียง โดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นได้ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางเป็นอากาศ ตัวส่งข้อมูลสัญญาณแสงที่เลือกใช้ คือแอลอีดี ขนาด 6 วัตต์ ในส่วนของตัวรับข้อมูลสัญญาณแสง คือ โซลาร์เซลล์ ขนาด 5 โวลต์ ระบบประมวลผลที่สำคัญ คือ อาคูโน โดยจะใช้ในตัวส่งข้อมูลในส่วนของข้อความและเสียง แต่ในส่วนของตัวรับข้อมูลจะใช้ อาคูโน สำหรับตัวรับข้อมูลที่เป็นข้อความเพียงส่วนเดียว ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่ายทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์จะมีอุปกรณ์เสริมในส่วนของตัวส่งข้อมูลเสียง คือ โมดูลเอ็มพีสาม และแอมพลิฟายเออร์ ซึ่งจะเน้นในส่วนของซอฟต์แวร์เป็นหลัก โดยการทำงานหลักๆของอุปกรณ์นี้จะขึ้นอยู่กับ การเขียนโค้ดที่อัพโหลดลงอาคูโน การทดสอบอุปกรณ์การรับส่งข้อมูล โดยวัดรูปร่างสัญญาณส่งและรับ วัดความดังข้อมูลเสียงตัวส่งและรับ วัดความถูกต้องของข้อความที่ส่งและรับ ซึ่งทำการทดสอบในสภาพแสงสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน ทั้งที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและสิ่งกีดขวางโปร่งแสง ในระยะห่างของตัวส่งและตัวรับสัญญาณข้อมูลที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : การสื่อสารด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น อาคูโน โมดูลพีสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Audio and Text Transmission System based on Visible Light using Arduino Technology
Students	Miss Sirigan Boonarutee Student ID 58051156 Miss Sirinat Tangkratok Student ID 58051157
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Applied Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Assist. Prof. Tanaporn Leelawattananon

Abstract

This project is an example communication at present. The text and audio transmitter and receiver devices use visible light for transmission data in space. The optical signal transmitter is 6W LED. The optical signal receiver is 5V solar cell. For transmitting data, An Arduino board is the importance processing system to transmit both text and audio data. But the part of receiver device, we use an Arduino board to receive text data only. It is easily applied to both hardware and software. Other components of audio transmitter hardware are Mp3 module and Amplifier module, especially on the software. The main function of this device related to writing code programs and upload them into Arduino board. For testing our device. We measure the signal, loudness and the accuracy of the text of the transmitting and receiving data. They are tested in the different environmental lighting conditions, including without obstructions and with translucent obstructions. The transmitting and receiving devices are tested in the different distances too.

Keywords : Visible Light Communication, Arduino, MP3 Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ธนภรณ์ สีสาวพัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ที่ได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ให้แนวทางการแก้ปัญหาตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์เพื่อให้โครงการฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ธนภรณ์ สีสาวพัฒนานนท์ และคณาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ ให้สถานที่และห้องปฏิบัติการในการจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้

ขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการรับฟังปัญหา คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษาต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ แหล่งข้อมูล การศึกษาค้นคว้าต่างๆ ที่เปิดโอกาสให้ผู้ศึกษาได้เข้าถึงแหล่งข้อมูล ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ประสบความสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

สิริกาญจน์ บุญะฤธี

สิรินารถ แต่งกระทอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 แนวทางการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น.....	4
2.1.1 โครงสร้างของการสื่อสาร	4
2.1.2 การมอดูเลต.....	6
2.2 Microcontroller Arduino	7
2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	7
2.2.2 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
2.3 Arduino.....	11
2.3.1 โครงสร้าง Hardware ของ Arduino	14
2.3.2 การเลือกทำได้ด้วยเงื่อนไข.....	15
2.3.3 การวนรอบทำซ้ำ	15
2.4 ไดโอดเปล่งแสง.....	16
2.4.1 หลักการทำงานของLED	17
2.4.2 LED สีขาว	20

เอกสารนี้เป็น 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 20 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	20
2.5.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
2.5.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
2.6 MP3 Player Module	24
2.7 Key pad.....	25
2.7.1 หลักการทำงานของKey pad.....	26
2.8 LCD Display	26
2.8.1 ชนิดของจอ LCD	26
2.8.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD.....	27
2.8.3 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD	28
2.9 จอ OLED	29
2.9.1 โครงสร้างของ OLED.....	30
2.9.2 หลักการทำงานของกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์โทรลูมินเนเซนส์.....	31
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
2.10.1 A Novel Smartphone Camera-LED Communication for Clinical Signal Transmission in mHealth-Rehabilitation System	32
2.10.2 Audio Transmission through Free Space Optics Using Visible Light	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 การออกแบบและสร้างวงจร	35
3.1.1 วงจรการรับส่งข้อมูลText จาก Keypad.....	35
3.1.2 วงจรการรับส่งข้อมูลเสียงผ่านโมดูลMP3ที่ทำงานร่วมกับArduino	36
3.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร	37
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและบันทึกผล	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	43
4.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.1.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	43
4.1.2 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text	
ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก	
และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร.....	46
4.1.3 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text	
ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก	53
4.1.4 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text	
ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก	55
4.2 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง	62
4.2.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง	
ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก	63
4.2.2 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง	
ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก	
และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร	65
4.2.3 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง	
ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	73
4.2.4 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง	
ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก	
และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร.....	75
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	82
4.4 กราฟที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลอง.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	92
5.1 สรุปผลการทดลอง	92
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก.....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	2
2.1 แสดงขาของโมดูลเล่นMP3.....	25
2.2 แสดงขาสำหรับการเชื่อมต่อจอ LCD แบบ I2C กับขา Arduino	28
2.5 แสดงการเปรียบเทียบ FSO กับข้ออื่นๆ โหมมดการสื่อสาร.....	33
4.1.1 เปรียบเทียบสัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	44
4.1.2 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส โดยอยู่ภายใต้ห้องสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	47
4.1.3 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีเขียว	49
4.1.4 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง.....	52
4.1.5 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวน	54
4.1.6 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวน ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส.....	57
4.1.7 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’ จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวน ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีเขียว.....	60
4.1.8 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข ‘1’	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวน ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง	62
4.2.1 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	64
4.2.2 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) ที่ โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส	66
4.2.3 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง.....	69
4.2.4 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น फिल्मติดกระจกสีดำ.....	71
4.2.5 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	73
4.2.6 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) ที่ระยะ 50 cm โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส	76
4.2.7 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง.....	78
4.2.8 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น फिल्मติดกระจกสีดำ.....	81

เอกสาร 4.3.2 อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล text ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	83
4.3.3 อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	84
4.3.4 อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	85
4.3.5 อัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงที่ภาครับแสดงผลต่อระยะทาง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	86
4.3.6 อัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงที่ภาครับแสดงผลต่อระยะทาง ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมของแสงในย่านที่ตามองเห็น	4
2.2 แบบจำลองระบบสื่อสาร.....	5
2.3 แผนภาพการสื่อสารผ่านแสง	6
2.4 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	8
2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
2.6 การติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	10
2.7 การเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE.....	11
2.8 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload.....	12
2.9 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด	12
2.10 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม	13
2.11 Upload โค้ดโปรแกรม.....	13
2.12 โครงสร้าง Hardware ของ Arduino	14
2.13 โครงสร้างของ LED และสัญลักษณ์	17
2.14 แผนภาพแถบพลังงานของ homojunction ระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด p กับชนิด n ที่มี E_g เท่ากัน (ก) ในกรณีที่ยังไม่จ่ายไฟให้ กับ (ข) กรณีที่จ่ายไฟความต่างศักย์ V ให้แบบตรงขั้ว.....	18
2.15 แผนภาพแสดงโครงสร้าง LED ที่ให้สารกึ่งตัวนำชนิด p เป็นชั้นบาง.....	19
2.16 (ก) การเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในที่รอยต่อระหว่าง สารกึ่งตัวนำชนิด p กับอากาศ (ข) หุ้มด้วยพลาสติกใสรูปครึ่งทรงกลม	19
2.17 แอลอีดีที่มีการเกิดแสงขาว	20
2.18 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
2.19 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	22
2.20 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว.....	23
2.21 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม	23
2.22 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง.....	24
2.23 โมดูลสำหรับเล่น MP3.....	24

เอกสาร 2.24 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 key pad แบบ4x4 ร่วมกับPIN 8 เส้น	25
2.26 แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C	27
2.27 เชื่อมต่อจอLCDร่วมกับArduino	29
2.28 โครงสร้างของจอ OLED	30
2.29 กระบวนการเกิดอิเล็กทรอนิกส์.....	31
3.1 วงจรภาคส่งข้อมูลText จากkeypad.....	35
3.2 วงจรภาครับข้อมูลText	36
3.3 วงจรภาคส่งข้อมูลเสียงผ่านโมดูลMP3.....	36
3.4 วงจรภาครับข้อมูลสัญญาณเสียง.....	37
3.5 แผนภาพของการรับส่งข้อมูล text.....	38
3.6 แผนภาพของการรับส่งข้อมูลเสียง	38
3.7 ต่อวงจรภาคส่ง	40
3.8 ต่อวงจรภาครับกับลำโพง.....	40
3.9 กดkeypad ป้อนข้อมูล.....	41
3.10 เปลี่ยนระยะที่ทำการทดลอง	41
3.11 วางสิ่งกีดขวางในการทดลอง.....	42
3.12 เครื่อง Oscilloscope, ลักซ์มิเตอร์ และเครื่องวัดความดังเสียง	42
4.1 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องสว่าง	43
4.2 หน้าจอของภาคส่ง	44
4.3 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 85 cm	44
4.3.1 ระยะ 20 cm	44
4.3.2 ระยะ 40 cm	45
4.3.3 ระยะ 60 cm	45
4.3.4 ระยะ 80 cm	45
4.3.5 ระยะ 85 cm	45
4.4 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นใสโปร่งแสง ภายใต้ห้องสว่าง	46

เอกสาร 4.5 หน้าจอของภาคส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ 46 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 65 cm	47
4.6.1 ระยะ 20 cm	47
4.6.2 ระยะ 40 cm	48
4.6.3 ระยะ 60 cm	48
4.6.4 ระยะ 65 cm	48
4.7 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีเขียว ภายใต้ห้องสว่าง	48
4.8 หน้าจอของภาคส่ง	49
4.9 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 60 cm	49
4.9.1 ระยะ 20 cm	49
4.9.2 ระยะ 40 cm	50
4.9.3 ระยะ 60 cm	50
4.10 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องสว่าง	50
4.11 หน้าจอของภาคส่ง	51
4.12 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 50 cm	51
4.12.1 ระยะ 20 cm	52
4.12.2 ระยะ 40 cm	52
4.12.3 ระยะ 50 cm	52
4.13 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืด	53
4.14 หน้าจอของภาคส่ง	53
4.15 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 45 cm	54
4.15.1 ระยะ 20 cm	54
4.15.2 ระยะ 40 cm	55
4.15.2 ระยะ 45 cm	55
4.16 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืดกับแผ่นใสโปร่งแสง	56
4.17 หน้าจอของภาคส่ง	56
4.18 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 38 cm	56

เอกสารนี้เป็น 4.18.1 ระยะ 20 cm สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18.2 ระยะ 30 cm	57
4.18.3 ระยะ 38 cm	57
4.19 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีเขียว ภายใต้ห้องมืด	58
4.20 หน้าจอของภาคส่ง.....	58
4.21 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 38 cm	59
4.21.1 ระยะ 20 cm	59
4.21.2 ระยะ 30 cm	60
4.21.3 ระยะ 38 cm	60
4.22 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องมืด.....	60
4.23 หน้าจอของภาคส่ง.....	61
4.24 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 30 cm	61
4.24.1 ระยะ 20 cm	62
4.24.2 ระยะ 30 cm	62
4.25 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง ภายใต้ห้องสว่าง	63
4.25.1 ระยะ 50 cm	64
4.25.2 ระยะ 100 cm	64
4.25.3 ระยะ 150 cm	64
4.25.4 ระยะ 200 cm	65
4.25.5 ระยะ 250 cm	65
4.26 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียงกับแผ่นใสโปร่งแสง ภายใต้ห้องสว่าง	66
4.26.1 ระยะ 50 cm	66
4.26.2 ระยะ 100 cm	67
4.26.3 ระยะ 150 cm	67
4.26.4 ระยะ 200 cm	67
4.26.5 ระยะ 250 cm	68
4.27 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องสว่าง	68

เอกสารนี้เห็น 4.27.1 ระยะ 50 cm สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วงไปใช้ประโยชน์ได้ 69 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27.2 ระยะ 100 cm	69
4.27.3 ระยะ 150 cm	69
4.27.4 ระยะ 200 cm	70
4.27.5 ระยะ 250 cm	70
4.28 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับ กระจกติดฟิล์มสีดำ ภายใต้ห้องสว่าง	70
4.28.1 ระยะ 50 cm	71
4.28.2 ระยะ 100 cm	71
4.28.3 ระยะ 150 cm	72
4.28.4 ระยะ 200 cm	72
4.28.5 ระยะ 250 cm	72
4.29 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง ภายใต้ห้องมืด	73
4.29.1 ระยะ 50 cm	73
4.29.2 ระยะ 100 cm	74
4.29.3 ระยะ 150 cm	74
4.29.4 ระยะ 200 cm	74
4.29.5 ระยะ 250 cm	75
4.30 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับแผ่นใส โปร่งแสงภายใต้ห้องมืด	75
4.30.1 ระยะ 50 cm	76
4.30.2 ระยะ 100 cm	76
4.30.3 ระยะ 150 cm	77
4.30.4 ระยะ 200 cm	77
4.30.5 ระยะ 250 cm	77
4.31 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องมืด	78
4.31.1 ระยะ 50 cm	78
4.31.2 ระยะ 100 cm	79
4.31.3 ระยะ 150 cm	79

เอกสารนี้เป็น 4.31.4 ระยะ 200 cm รับการให้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31.5 ระยะ 250 cm.....	80
4.32 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับกระจกติดฟิล์มสีดำ ภายใต้ห้องมืด.....	80
4.32.1 ระยะ 50 cm.....	81
4.32.2 ระยะ 100 cm.....	81
4.32.3 ระยะ 150 cm.....	81
4.32.4 ระยะ 200 cm.....	82
4.32.5 ระยะ 250 cm.....	82
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล text จากตารางที่ 4.3.1 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	88
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่ง text จากตารางที่ 4.3.2 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	89
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูลเสียง จากตารางที่ 4.3.3 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่าง และมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	89
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูลเสียง จากตารางที่ 4.3.4 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืด และไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	90
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงต่อระยะทาง จากตารางที่ 4.3.5 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก.....	90
4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงต่อระยะทาง จากตารางที่ 4.3.6 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การสื่อสารข้อมูลที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งมีตัวกลางเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งข้อมูลผ่านอากาศ ทดแทนการใช้สายเชื่อมต่อระหว่างตัวส่งและตัวรับที่จะส่งข้อมูลจากตัวส่งไปยังตัวรับข้อมูลได้อย่างสะดวก และในปัจจุบันสามารถเข้าถึงการใช้งานได้ง่ายขึ้น สำหรับตัวอย่างของสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้กันในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย เช่น การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ผ่านWi-Fi กับอุปกรณ์ตัวรับ, การส่งข้อมูลผ่านเครื่องมือสื่อสารระหว่างกันสำหรับการสื่อสารข้อมูลในย่านที่ตามองเห็น (VLC) ตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 400-800 nm. ถือว่าเป็นการสื่อสารแบบไร้สายเช่นกันซึ่งมี ตัวกลางในการส่งข้อมูลผ่านแสงเป็นอากาศ สำหรับตัวส่งข้อมูลจะเป็นหลอดLED ที่ให้ความสว่าง ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงโดยควบคุมการติด-ดับของหลอดLED ที่มีความถี่สูงมาก ดวงตาของมนุษย์จึงไม่สามารถแยกความถี่นั้นออกได้ และตัวรับข้อมูลเป็นโฟโตดีเทคเตอร์ ทำหน้าที่รับแสงและแปลงข้อมูลที่ได้รับกลับไปเป็นข้อมูลเดิมที่ถูกส่ง สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลVLC สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดการรบกวน และใช้งานได้กับสถานที่หรือเขตห้ามใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ในโรงพยาบาล โรงไฟฟ้า ร่วมทั้งการสื่อสารบนเครื่องบิน แต่ข้อจำกัดของการสื่อสารคือไม่สามารถส่งข้อมูลผ่านกำแพง หรือพื้นที่ทึบแสง จึงทำให้การส่งข้อมูลขาดหายไป สำหรับตัวอย่างของเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล VLC ที่มีการพัฒนาในปัจจุบัน เช่น Light Fidelity (Li-Fi) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยมีความเร็วในการส่งและรับข้อมูลได้รวดเร็วกว่าWi-Fi ด้วยแสงจากหลอดLED และมีความปลอดภัยมากกว่า เหมาะกับการสื่อสารที่ตัวส่งและรับข้อมูลอยู่ใกล้กัน

จากความนิยมและประโยชน์ของการสื่อสารแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารในย่านที่ตามองเห็น(VLC) ผู้จัดทำจึงเห็นความถึงสำคัญและคิดนำมาต่อยอดในการสื่อสารแบบไร้สาย โดยนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ให้สามารถส่งสัญญาณเสียงที่มาจากโมดูลmp3 และส่งสัญญาณTextที่มาจาก keypad แบบเรียลไทม์โดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นจากหลอดLED ที่มีวงจร Arduino ในการควบคุมการทำงานของหลอดLED ซึ่งจะให้สัญญาณที่มีความเสถียร และมีโฟโตดีเทคเตอร์ รับแสงเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อร่วมกับวงจรขยายสัญญาณเสียงซึ่งใช้เป็นลำโพงแสดงข้อมูลเสียง และจอLCD แสดงข้อมูลText

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในประดิษฐ์อุปกรณ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลโดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็น ผ่านหลอดLED โดยมีการส่งข้อมูลText จาก Keypad และ ส่งสัญญาณเสียงจากโมดูล MINI MP3 และรับข้อมูลที่ส่งมาผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการแสดงชื่อเพลงผ่านจอ OLED โดยควบคุมการเล่นเพลงผ่านปุ่มกด keypad ที่ทำงานร่วมกับ Arduino

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ตัวส่งสัญญาณใช้แสงในย่านที่ตามองเห็น ส่งข้อมูลจากหลอด LED ไปยังตัวรับที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์เขียนโปรแกรมสั่งงานด้วย Arduino ใช้ควบคุมตัวส่งสัญญาณและตัวรับ
- 2) ส่งข้อมูลTextจากkeypad และแสดงผลผ่านจอLCDได้ถูกต้อง
- 3) สัญญาณเสียงที่ผ่านวงจรขยายแสดงผลผ่านลำโพงด้วยคุณภาพที่ความชัดเจน
- 4) สามารถส่ง-รับ ข้อมูลจากตัวส่ง ผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ ไปยังตัวรับที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ที่ระยะไกลที่สุดที่สามารถทำได้
- 5) สามารถส่ง-รับ ข้อมูลจากตัวส่ง ผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็นไปยังตัวรับที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางที่ทึบแสง

1.4 แนวทางการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทั้งสิ้น 6 เดือนโดยเริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561 จนถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

แนวทางการดำเนินงานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถนำมาแสดงระยะเวลาการดำเนินงานที่ได้ตั้งตารางที่ 1.1 ดังต่อไปนี้

ตาราง 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. เสนอ Project ที่ต้องการทำวิจัย	←→							
2. ศึกษาข้อมูล	←→							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถแก้ไข ทิ้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงาน	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
3. ออกแบบวงจรและเตรียมอุปกรณ์			←————→					
4. ทดลอง บันทึกผลและสรุป				←————→				

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ส่งข้อมูลผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ไปยังตัวรับ ที่อยู่ในระยะไกล
- 2) ใช้งานได้ที่สถานที่หรือเขตห้ามใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 3) ส่งข้อมูลผ่านพื้นที่ ที่แสงสามารถผ่านได้
- 4) สามารถแสดงผลของข้อมูลที่ได้รับมาได้อย่างถูกต้อง
- 5) ลดสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดจากการสื่อสาร
- 6) มีความรู้ในการนำ Arduino มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารด้วยแสงที่สามารถมองเห็นได้
- 7) พัฒนาต่อยอดความรู้ในด้านของการสื่อสารไร้สายโดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นได้

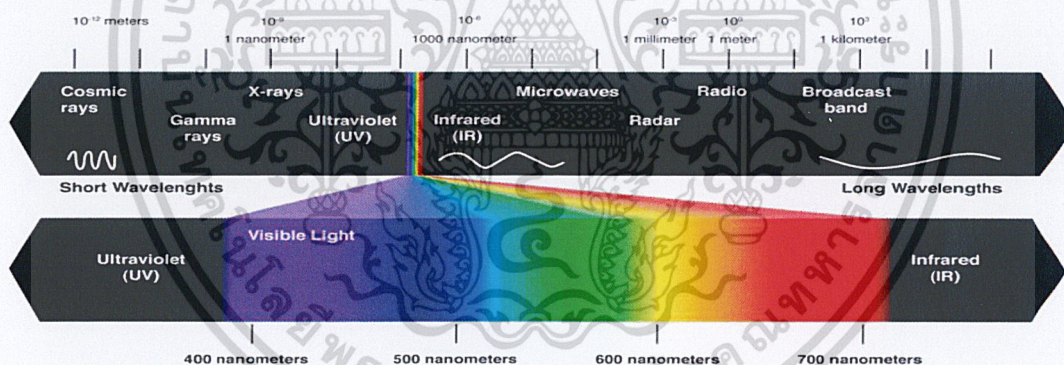
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น

Visible Light Communication (VLC) คือการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายที่มีการใช้ bandwidth โดยมีการใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นตั้งแต่ 400-800 THz ซึ่งไม่มีการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีความปลอดภัยในการส่งข้อมูลสูงรวมทั้งสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงเหมาะสมกับสถานที่ที่ไม่มีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นในโรงพยาบาล โรงไฟฟ้า บนเครื่องบิน ซึ่งมีการใช้หลอดFluorescent หรือไดโอดเปล่งแสง (LED) ในการส่งสัญญาณที่สามารถกะพริบ ติด-ดับ ด้วยความถี่สูงหรือมีดิจิทัลลอจิกเป็น HIGH(1) หรือ LOW(0) ซึ่งในการส่งข้อมูลจาก LED ต้องทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยการโมดูเลตข้อมูล จากนั้น สัญญาณดิจิทัลที่ส่งผ่านหลอดLED ไปยังตัวรับสัญญาณที่เป็นโฟโตดีเทคเตอร์จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้กลับไปเป็นสัญญาณอนาล็อก



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของแสงในย่านที่ตามองเห็น [1]

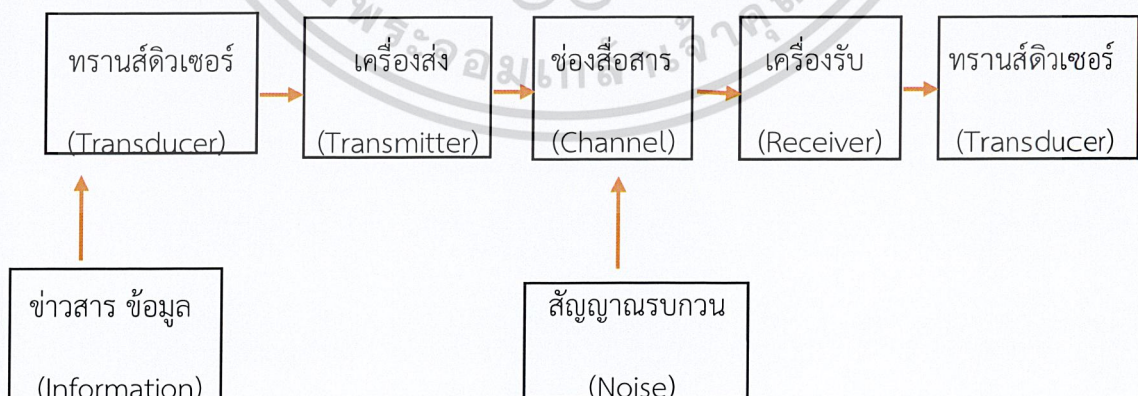
2.1.1 โครงสร้างของการสื่อสาร

โดยทั่วไปสามารถจำลองระบบสื่อสารในรูปแบบของแผนภาพการสื่อสารได้ตามรูปที่ 2.2 ซึ่งเริ่มจาก ข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่มีได้หลากหลายลักษณะ หลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นสัญญาณอนาล็อกหรือดิจิทัล เช่น เสียง ดนตรี ความดัน อุณหภูมิ ภาพ ข้อความ ตัวอักษร สัญญาณเหล่านี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณที่เหมาะสมในการสื่อสารผ่านระบบ โดยอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ทรานส์ดิวเซอร์

(transducer) ยกตัวอย่างเช่น ในระบบโทรศัพท์ สัญญาณเสียงจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ไมโครโฟน ส่วนถัดมาของแบบจำลองระบบสื่อสารคือ เครื่องส่ง(transmitter) หรือภาคส่ง อุปกรณ์ส่วนนี้มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่ออกจากทรานส์ดิวเซอร์ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับช่องทางการสื่อสารที่จะส่งออก กระบวนการที่ใช้ในการแปลงสัญญาณนี้ โดยทั่วไปเรียกว่า การมอดูเลต(Modulation) การมอดูเลตสัญญาณมีได้หลายรูปแบบ เช่น การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด การมอดูเลตเชิงความถี่ และการมอดูเลตเชิงเฟส ในอดีตการมอดูเลตสัญญาณจะเป็นเทคโนโลยีอนาล็อกแทบทั้งหมด แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารได้เปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคดิจิทัลอย่างกว้างขวาง

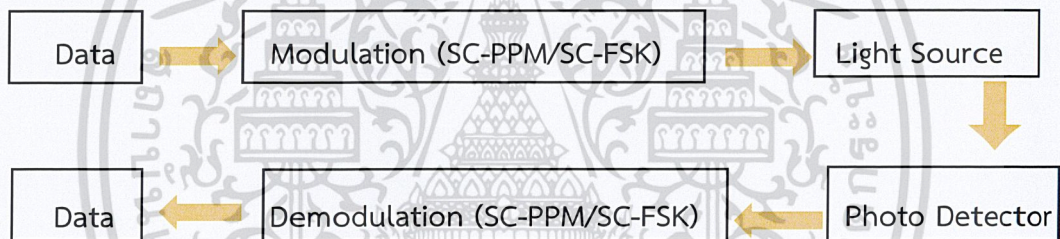
ส่วนถัดมาของแบบจำลอง คือ ช่องสื่อสาร (channel) ในส่วนนี้คือ สื่อนำสัญญาณที่พาข่าวสาร ข้อมูลจากแหล่งกำเนิดไปสู่ปลายทางของภาครับ สื่อที่ใช้มีตั้งแต่แบบที่มีสายนำสัญญาณ เช่น สายใยแก้วนำแสง (optical fiber) สายตีเกลียวคู่ (twisted pair) สายโคแอกซ์ (coaxial) ไปจนถึงการส่งสัญญาณประเภทไม่มีสายนำสัญญาณ แต่อาศัยการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากสายอากาศไปในบรรยากาศ เช่น คลื่นวิทยุ AM หรือ FM (AM/FM Radio) คลื่นไมโครเวฟ (microwave) การสื่อสารดาวเทียม และระบบอินฟราเรด (Infrared) ช่องสัญญาณส่วนใหญ่จะได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และในสภาพที่สัญญาณรบกวนมีความรุนแรงมากอาจจะส่งผลให้ข่าวสาร ข้อมูลที่ส่งผ่านในช่องสัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิม เมื่อสัญญาณได้รับการส่งจนถึงจุดหมายปลายทางสัญญาณเหล่านี้จะได้รับการแปลงกลับโดยเครื่องรับ (receiver) กระบวนการแปลงกลับในขั้นตอนนี้เรียกว่า กระบวนการดีมอดูเลต (demodulation) จากนั้นสัญญาณที่ได้รับจะถูกแปลงกลับคืนให้กลายเป็นข่าวสาร ข้อมูลที่มีรูปแบบตามต้องการโดยใช้อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ ยกตัวอย่างเช่น ลำโพงซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้กลายเป็นสัญญาณเสียง [2]



รูปที่ 2.2 แบบจำลองระบบสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงสร้างของการสื่อสารด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นนั้นจะประกอบไปด้วยภาคส่งคือ Light Source และภาครับคือ photo detector โดยข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะต้องเป็นข้อมูลดิจิทัลที่ถูกทำการ Modulation ซึ่งสามารถมอดูเลตได้หลายแบบ เช่น Pulse Position Modulation (PPM) เป็นการมอดูเลตผ่านตำแหน่งของข้อมูล, Frequency-Shift Keying (FSK) เป็นการมอดูเลตเชิงความถี่ ซึ่งจะช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้ไกลมากขึ้นและมีการรบกวนจากสัญญาณภายนอกน้อยมาก เมื่อสัญญาณอนาล็อกของข้อมูลถูกมอดูเลตจะให้สัญญาณดิจิทัลออกมา จากหลัง Light Source จะทำการกระพริบติดดับตามสัญญาณดิจิทัลโดยส่วนใหญ่จะใช้ไดโอดเปล่งแสงหรือ LED จากนั้นจะเป็นส่วนของภาครับที่รับแสงมาซึ่งจะใช้เป็นโฟโตดีเทคเตอร์ชนิดต่างๆสามารถใช้งานได้ตั้งแต่โฟโตดีเทคเตอร์ที่ราคาถูกไปถึงราคาแพงเช่น ตัวต้านทานปรับค่าตามแสง LDR หรือ เซ็นเซอร์รับแสง CMOS โดยจะการแปลงสัญญาณแสงที่ได้รับมาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณดิจิทัลจะถูกตีมอดูเลตกลับให้ไปเป็นสัญญาณอนาล็อกเช่นเดิม โดยอาจจะมียังวงจร Low-Pass Filter, วงจรขยายรวมด้วย



รูปที่ 2.3 แผนภาพการสื่อสารผ่านแสง

2.1.2 การมอดูเลต

การส่งสัญญาณในระบบไฟฟ้าสื่อสารมักจะมีกระบวนการเลื่อนหรือแปลงความถี่ของสัญญาณข้อมูลให้อยู่ในช่วงความถี่ที่เหมาะสม ก่อนการส่งออกผ่านสื่อสัญญาณ กระบวนการนี้เรียกโดยรวมว่า การมอดูเลต (modulation) เหตุผลหลักที่ต้องมอดูเลตสัญญาณมีอยู่หลายประการพอจะสรุปได้ดังนี้ คือเนื่องจากช่วงความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลแต่ละประเภทที่คนเราต้องการนั้นทับซ้อนกันอยู่ เช่นสัญญาณเสียงพูดมีความถี่อยู่ระหว่าง 0-4 kHz สัญญาณเสียงดนตรีประกอบด้วยความถี่ในย่าน 0-20kHz สัญญาณโทรทัศน์ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 0-5 MHz และระบบการสื่อสารทางแสงที่อยู่ในย่านตามองเห็น ประกอบด้วยความถี่ 430-750 THz ดังนั้น หากต้องการส่งสัญญาณทั้งหมดผ่านสื่อสัญญาณเดียวกันโดยไม่ผ่านกระบวนการมอดูเลต สัญญาณเหล่านี้จะทับซ้อนกันและรบกวนกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากนี้ในระบบแพร่สัญญาณโทรทัศน์หรือวิทยุโดยทั่วไปจะไม่มีการมอดูเลตใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเงาของเอกสารที่ทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

มีการส่งสัญญาณออกมากกว่า 1 ช่องในเวลาเดียวกัน ดังนั้น การเลื่อนความถี่ของสัญญาณข้อมูลจากแต่ละแหล่งให้ไปอยู่ในช่วงความถี่ที่สูงขึ้นและไม่ทับซ้อนกันก็จะช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวมาได้ ตัวอย่างเช่น ระบบวิทยุกระจายเสียง AM กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 531-1611 KHz และระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ใช้คลื่นความถี่ในย่าน 87.5-108.0 MHz

เหตุผลประการที่สอง ในการแผ่กระจายของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศที่ใช้ในการแพร่สัญญาณมักจะต้องมีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งออก ยกตัวอย่างเช่น หากส่งสัญญาณที่ความถี่ 4000 Hz ซึ่งเมื่อคิดเป็นความยาวคลื่นได้เท่ากับ 75000 เมตร จะเห็นว่าสายอากาศที่ใช้มีขนาดใหญ่มากเกินไปที่จะเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้งานในทางปฏิบัติ แต่หากเลื่อนความถี่ให้เพิ่มขึ้นเป็น 101.5 MHz (คลื่นวิทยุ FM ของสถานีวิทยุแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ก่อนการแพร่สัญญาณ สายอากาศที่ใช้จะมีขนาดที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน เพราะความยาวคลื่นที่ความถี่นี้มีค่าเพียง 2.95 เมตร นอกจากนี้การมอดูเลตสัญญาณยังสามารถช่วยลดหรือหลีกเลี่ยงผลกระทบของสัญญาณรบกวนได้ดี [2]

2.2 Microcontroller Arduino

2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพราะใช้งานได้ง่าย สะดวก มีขนาดเล็ก ราคาถูก และที่สำคัญสามารถสั่งงานให้ทำงานตามเงื่อนไขใหม่ตามผู้ใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวงจรภายนอก มีบริษัทผู้ผลิตไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาหลายตระกูล เช่น Z80, PIC, MCS51, AVR, ARM7, ARM9, 68HC แต่ละตระกูลก็จะมีคุณสมบัติต่างกันไป

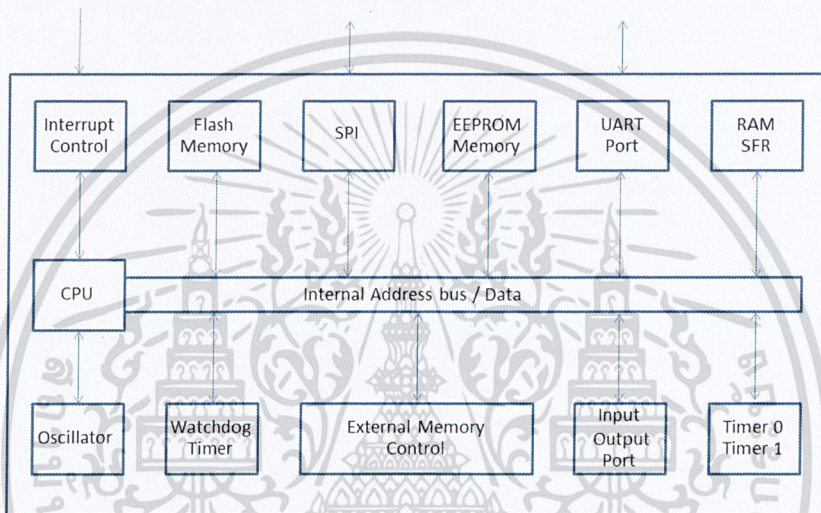
2.2.2 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำว่าไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก ส่วนคำว่าคอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ กล่าวคือไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู (CPU) หน่วยความจำ (Memory) อินพุตเอาต์พุตพอร์ต (I/O Port) รีจิสเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

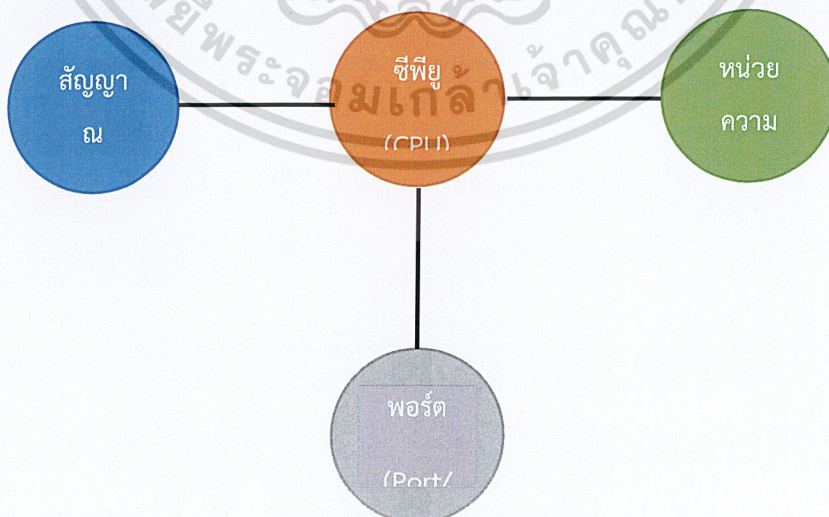
(Register) วงจรผลิตสัญญาณ (Oscillator) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลวงจรสร้างสัญญาณ PWM (มีเฉพาะบางเบอร์) ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานควบคุมต่าง ๆ ได้ดี [3]

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์แต่ละตระกูลนั้นมีโครงสร้างภายในแตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและจุดประสงค์ของการสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น ๆ พื้นฐานของโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ [3]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ [3] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงานประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผลโดยการทำงานของซีพียูมี 2 จังหวะ

1.1 เฟตช์ (Fetch) คือ การอ่านคำสั่งโปรแกรมแล้วทำการถอดรหัสคำสั่งเป็นภาษาเครื่อง

1.2 เอ็กซีคิวต์ (Executed) คือ การทำตามคำสั่งโปรแกรมที่ถอดรหัสแล้ว

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

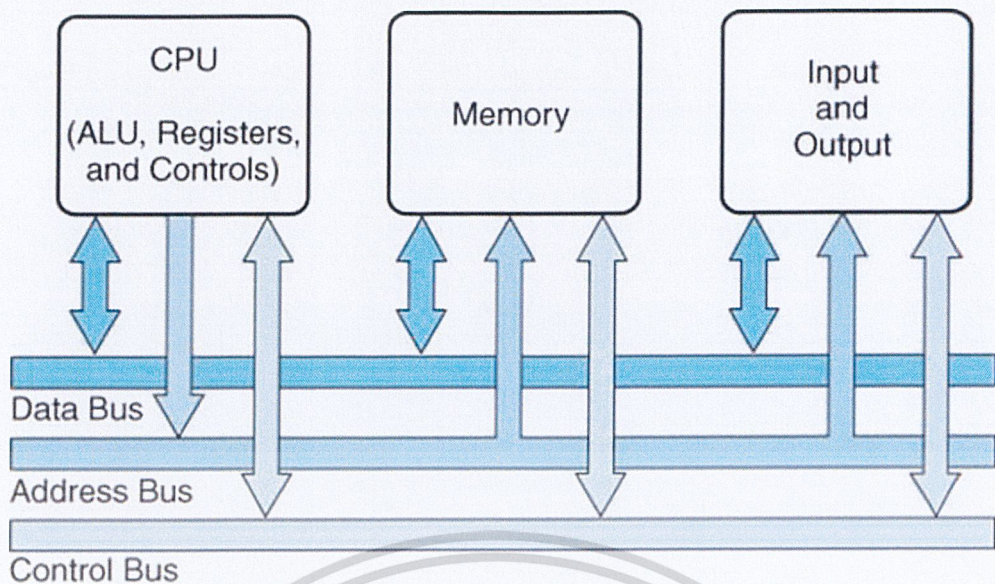
2.1 หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใด ๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง

2.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานหัดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM: Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิทช์เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ [3]

4.1 บัสตำแหน่ง (Address Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำ หรือระบุตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ โดยบัสตำแหน่งจะเป็นเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูลออกจากไมโครโพรเซสเซอร์เพียงทิศทางเดียว โดยใช้เพื่อระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการจะติดต่อกับเท่านั้น

4.2 บัสข้อมูล (Data Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลหรือรหัสคำสั่งต่างๆระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับหน่วยความจำโปรแกรมหน่วยความจำข้อมูล อุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุตทุกตัวที่ต่อพ่วงอยู่กับระบบ โดยบัสข้อมูลนี้จะเป็นแบบสองทิศทางสามารถรับและส่งข้อมูลทั้งไปและกลับได้ในสายสัญญาณเดียวกัน โดยบัสข้อมูลเปรียบเสมือนช่องทางเดินรถ ถ้ามีมากจะทำให้การติดต่อทำได้รวดเร็วขึ้น เช่น บัสข้อมูลแบบ 8 บิตจะทำงานได้เร็วกว่า บัสข้อมูลแบบ 4 บิต

4.3 บัสควบคุม (Control Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ส่งสัญญาณควบคุมการทำงานต่างๆ ของระบบ โดยไมโครโพรเซสเซอร์สามารถส่งสัญญาณไปควบคุมหน่วยความจำและอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตภายนอกเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลได้ และอุปกรณ์ภายนอกสามารถส่งสัญญาณมาควบคุมการทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ได้เช่น การรีเซ็ต

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ประมวลผลสูงตามไปด้วย [9]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

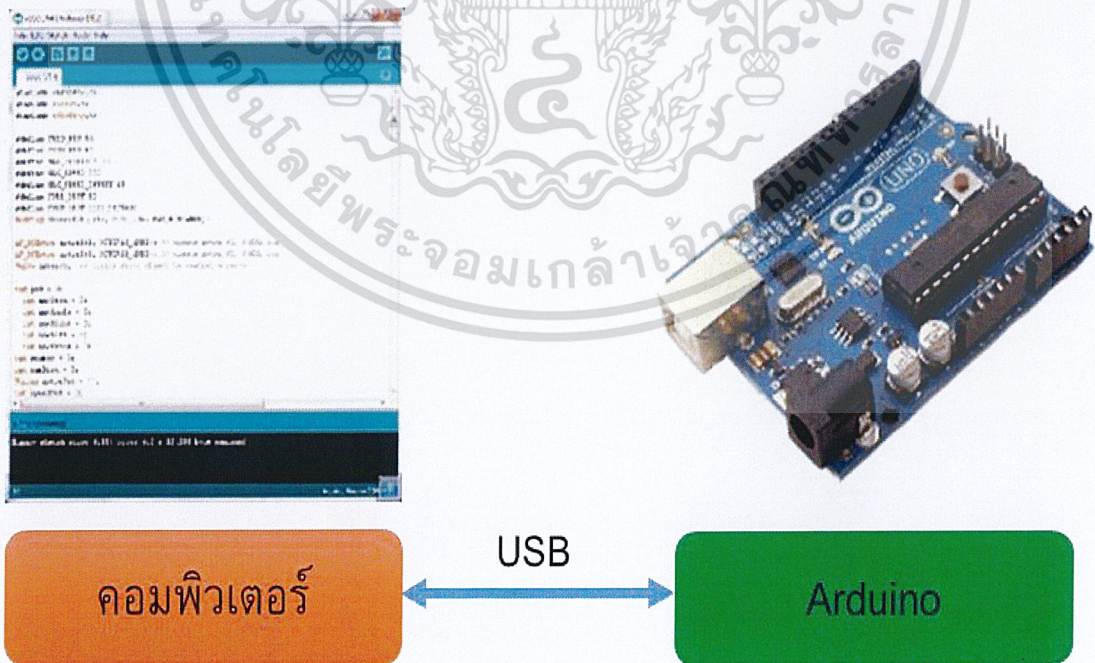
2.3 Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน้ หรือ อาดูยโน) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

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 [5]

สำหรับของประโยชน์ในการใช้บอร์ด Arduino คือ ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐานไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ,Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน, ราคาไม่แพง และ Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

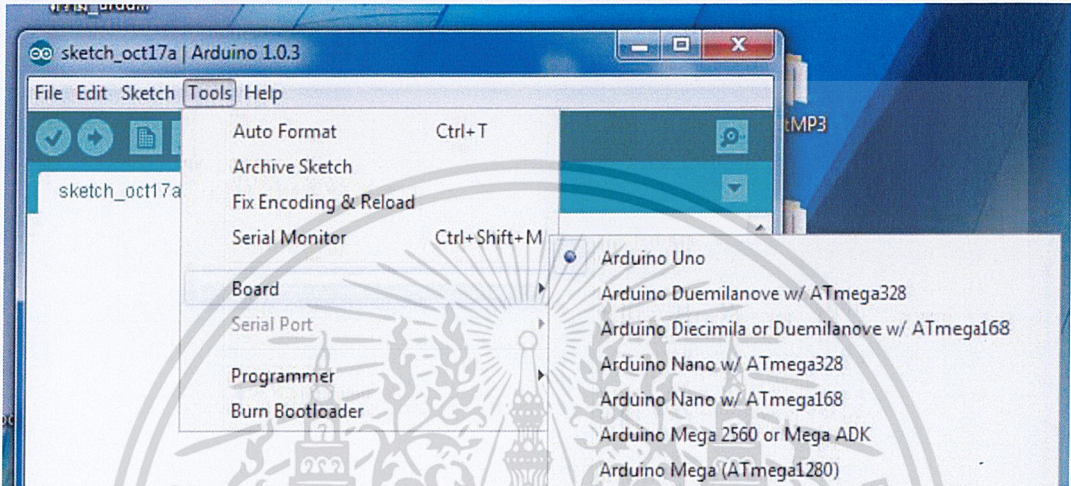
รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino



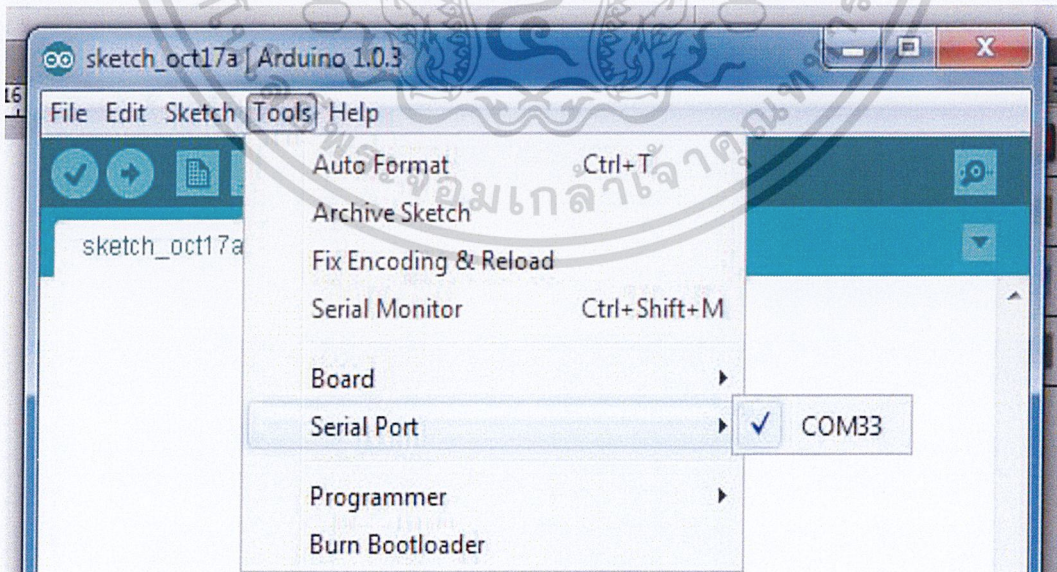
รูปที่ 2.7 การเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.cc/en/main/software](https://www.arduino.cc/en/main/software)
2. หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port



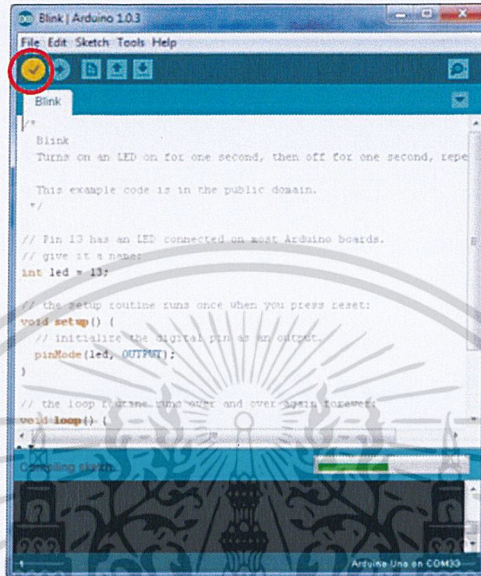
รูปที่ 2.8 เลือกุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload [4]



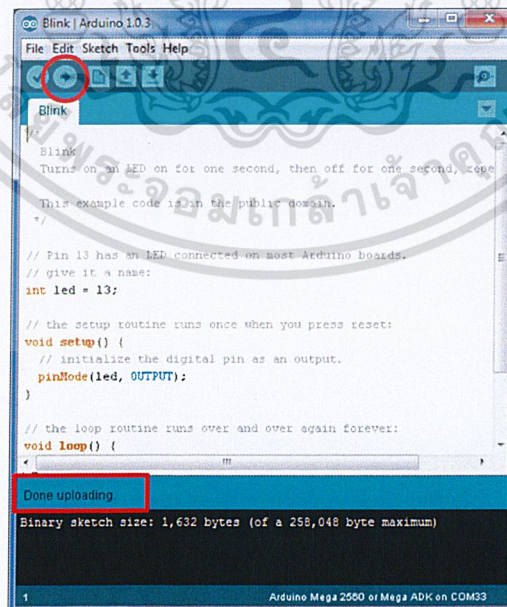
รูปที่ 2.9 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความ แถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



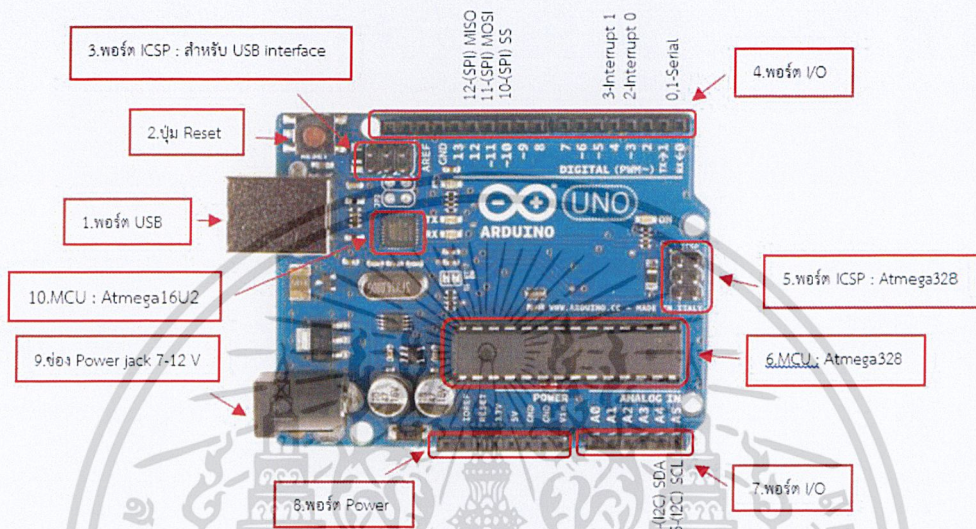
รูปที่ 2.10 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม [4]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.11 Upload โค้ดโปรแกรม [4] อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โครงสร้าง Hardware ของ Arduino

Arduino เปรียบได้กับสมองที่เชื่อมต่อการระหว่างรับรู้กับการแสดงออก ตัวอย่างเช่น ดวงตา (INPUT) เห็นภาพและตัวหนังสือ สมอง (Arduino) อ่านและทำให้เกิดการแสดงผลที่ปาก (OUTPUT) ซึ่งออกเสียงตัวหนังสือที่อ่าน Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3) [9]



รูปที่ 2.12 โครงสร้าง Hardware ของ Arduino[4]

ส่วนประกอบของ Arduino ประกอบด้วย

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
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 จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin 3, 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 ยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก

เอกสารประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3V, +5V, GND, Vin การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

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

2.3.2 การเลือกทำด้วยเงื่อนไข

การเลือกทำ เป็นการเขียนโปรแกรมให้สามารถเลือกได้ว่าจะให้ทำงานกับโค้ดคำสั่งหรือสแตตเมนต์ ส่วนใดด้วยเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งใน C++ ประกอบด้วย การเลือกทำ ได้แก่ if, if-else และ switch รวมถึง Conditional Operator

1. การเลือกทำด้วย if เป็นคำสั่งกำหนดเงื่อนไขเพื่อควบคุมให้โปรแกรมทำงานเฉพาะคำสั่งที่ต้องการเมื่อเงื่อนไขนั้นเป็นจริงเท่านั้น ซึ่งเป็นการเลือกทำที่มีทางเลือกเดียว

2. การเลือกทำด้วย if...else เป็นการกำหนดเงื่อนไขให้โปรแกรมเลือกทำคำสั่งหรือสแตตเมนต์ในบล็อกของ else เพิ่มอีกทางหนึ่งเมื่อเงื่อนไขไม่เป็นจริง เพิ่มเติมจากการเลือกทำเฉพาะสแตตเมนต์ในบล็อกของ if เมื่อเงื่อนไขเป็นจริงเท่านั้น

3. การเลือกทำด้วย if...else if เป็นการเลือกทำที่มีหลายทางเลือก โดยจะไล่ตรวจสอบเงื่อนไขจากด้านบนลงด้านล่าง หากเงื่อนไขใดเป็นจริง ก็จะเข้าทำงานที่สแตตเมนต์ในบล็อกนั้นทันที แต่ถ้าไม่มีเงื่อนไขใดเป็นจริง จะเข้ามาทำงานที่สแตตเมนต์ในบล็อกของ else เป็นส่วนสุดท้าย การเลือกทำหลายทางเลือกแบบนี้จะเหมาะกับการหาข้อมูลระหว่างช่วงจำนวนที่มีหลายระดับ หรือการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มต่างๆ เป็นต้น

4. การเลือกทำด้วย switch เป็นการเลือกทำที่มีหลายทางเลือก คล้ายกับการใช้ if...else if แต่คำสั่ง switch จะทำการเปรียบเทียบระหว่างนิพจน์ที่อยู่ในรูปของตัวแปร คลาส หรือ ฟังก์ชัน กับค่าคงที่ภายในแต่ละ case ถ้านิพจน์ที่นำมาเปรียบเทียบตรงกับค่าคงที่ใน case ใด จากนั้นโปรแกรมจะทำงานในสแตตเมนต์ของ case นั้นทันที แต่ถ้าไม่ตรงกับ case ใดเลย โปรแกรมจะเข้าไปทำงานที่สแตตเมนต์ของบล็อก default แทน [5]

2.3.3 การวนรอบทำซ้ำ

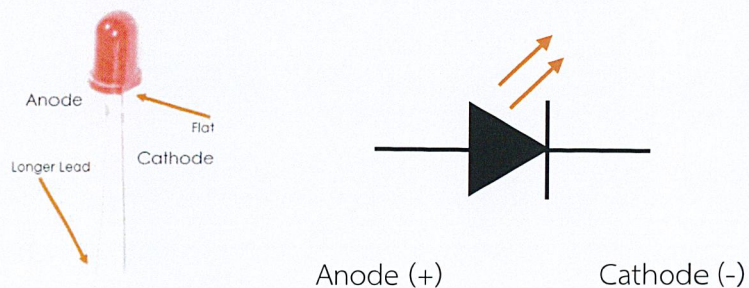
ปกติแล้วคอมพิวเตอร์จะรันโปรแกรมที่ทำงานเรียงตามลำดับ โดยเริ่มจากคำสั่งแรกไปจนถึงคำสั่งสุดท้าย แต่ถ้าเราต้องการให้คอมพิวเตอร์ทำงานกับชุดคำสั่งหรือสแตตเมนต์บางอย่างซ้ำหลายครั้ง ก็สามารถทำได้โดยใช้คำสั่งควบคุมการวนรอบให้กลับไปทำงานในสแตตเมนต์นั้นซ้ำตามจำนวนรอบหรือเงื่อนไขที่กำหนด เรียกคำสั่งนี้ว่า คำสั่งการวนรอบซ้ำ (Loops) ซึ่งในภาษา C++ จะมีรูปแบบการวนรอบทำซ้ำ ได้แก่ while, for และ do...while

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวนรอบซ้ำด้วยคำสั่ง while เป็นการวนรอบทำซ้ำโดยตรวจสอบเงื่อนไขก่อนเข้าทำงานในสเตตเมนต์ ซึ่งในขณะที่ตรวจสอบเงื่อนไขเป็นจริง จะเข้าทำงานในสเตตเมนต์และวนรอบทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนเมื่อเงื่อนไขเป็นเท็จ ก็จะออกจากการวนรอบทำซ้ำในสเตตเมนต์ทันที
2. การวนรอบทำซ้ำด้วยคำสั่ง for เป็นการวนรอบทำซ้ำในขณะที่เงื่อนไขเป็นจริงคล้ายกับ while แต่ต่างกันว่า for สามารถกำหนดจำนวนครั้งในการวนรอบที่แน่นอน โดยจะเริ่มนับรอบจากค่าเริ่มต้นของตัวนับไปจนถึงค่าที่เป็นเงื่อนไขแล้วจึงหยุดวนรอบ และให้กำหนดการเพิ่มค่าหรือลดค่าตัวนับตั้งแต่เริ่มต้น จึงต่างจาก while และ do...while ที่ต้องกำหนดการเพิ่มหรือลดค่าตัวนับรอบให้อยู่ภายในสเตตเมนต์เอง ดังนั้น for จึงเป็นการวนรอบทำซ้ำที่เหมาะสมกับการนับจำนวนแบบลิสต์รายการ
3. การวนรอบทำซ้ำด้วยคำสั่ง do...while เป็นการวนรอบทำซ้ำที่จะเข้าทำงานในสเตตเมนต์ก่อน 1 ครั้ง แล้วจึงตรวจสอบเงื่อนไขและในขณะที่เงื่อนไขเป็นจริง ก็จะวนรอบกลับไปทำซ้ำในสเตตเมนต์นั้น จนกว่าเงื่อนไขเป็นเท็จ แล้วจึงออกจากการทำซ้ำ ซึ่งต่างจาก while ที่ต้องตรวจสอบเงื่อนไขก่อนเริ่มทำงาน [5]

2.4 ไดโอดเปล่งแสง

Light Emitting Diode หรือที่เรียกว่า LED เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่อยู่ภายในจำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมที่มีช่วงแคบหรือสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นจำเพาะ โดยที่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสงเมื่อถูกกระแสไบอัสแบบ Forward Bias สำหรับปรากฏการณ์นี้จะเรียกว่า Electroluminescence โดยสีของแสงที่เปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ และสามารถเปล่งแสงได้ใกล้กับ ช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงแสงที่มองเห็น และช่วงอินฟราเรด ในปัจจุบันไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ได้เข้ามาแทนที่การทำงานของหลอดไส้ ซึ่งมีประโยชน์มากกว่าในหลายๆเรื่อง เช่นมีราคาถูกกว่า ขนาดเล็กกว่ามาก ทนร้อนเร็วกว่า และไม่ต้องมีการจุดไส้หลอดให้เกิดความร้อนขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ LED และสัญลักษณ์ [6]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเนื้อหาเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

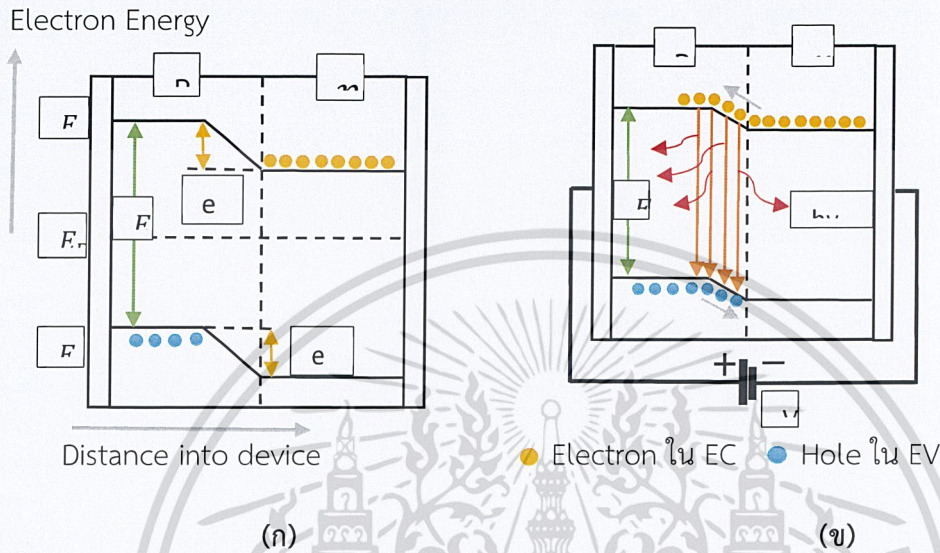
สำหรับโครงสร้างของตัว LED ทั่วไปจะเป็นไปตามรูปภาพที่ 2.12 โดยเคสของตัว LED ที่เป็นแบบใสหรือแบบขุ่นจะที่เรียกว่า plastic epoxy ซึ่งโดยที่ขาทั้งสองข้างของLED จะสามารถแยกออกเป็นขา Anode ที่เป็นขั้วบวก(+) มีความยาวขามากกว่า ขาของ Cathode ที่เป็นขั้วลบ(-) หรือดูที่ตัวของ LED ภายใน จะพบว่ามิด้านที่ตัดเรียบอยู่ซึ่งขานั้นจะเป็นขา Cathode

2.4.1 หลักการทำงานของLED

หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสงจะอธิบายด้วยทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เรียกกันว่า Band Theory of Solids ซึ่งสร้างอยู่บนพื้นฐานคือทฤษฎีควอนตัม Band Theory ร่วมกันพัฒนาขึ้นโดยนักฟิสิกส์รุ่นลูกศิษย์ของ W. Pauli และ W. Heisenberg หลายคนเช่น F. Bloch R. Peierls และ A. Wilson เป็นต้น สามารถอธิบายได้ว่า ไดโอดสารกึ่งตัวนำ ทำจากการนำสารกึ่งตัวนำสองชนิดคือชนิด n (สารกึ่งตัวนำที่dope ด้วยสารเจือ เช่น ฟอสฟอรัสหรือธาตุหมู่5 เป็นต้น) กับชนิด p (สารกึ่งตัวนำที่dopeด้วยสารเจือ เช่น โบรอนหรือธาตุหมู่3 เป็นต้น) มาประกบกันโดยตรงรอยต่อเกิดเป็น p-n junction ซึ่งเป็นเขตปลอดประจุไฟฟ้าที่เป็นพาหะของกระแสไฟฟ้า มีชื่อเป็นทางการว่า depletion region เป็นเขตปลอดประจุที่บางมาก อยู่ในระดับไมโครเมตรหรือต่ำกว่า อิเล็กตรอนในแถบ conduction (conduction band หรือ CB) จากด้าน n ไม่สามารถแพร่เข้ามาเข้าไปอยู่ในแถบ conduction ของด้าน p ได้เพราะไม่สามารถข้ามกำแพงความต่างศักย์ที่สูง V_0 ดังแสดงในรูปที่ 2.13(ก) ซึ่งเป็นแผนภาพแถบพลังงานตรงบริเวณ p-n junction ของไดโอดที่ยังไม่ได้จ่ายไฟให้ แต่เมื่อมีการจ่ายไฟให้แบบ forward biased สมมุติมีค่าความต่างศักย์ V กำแพงดังกล่าวจะเตี้ยลงเหลือเป็นความสูงเพียง $V_0 - V$ ดังแสดงในรูปที่ 2.13(ข) ซึ่งต่ำพอที่อิเล็กตรอนจะสามารถเข้ามาเข้าไปอยู่ในด้าน p ได้ แต่เนื่องจากสารกึ่งตัวนำชนิด n ถูกdopeเข้มข้นกว่าการdopeของสารกึ่งตัวนำชนิด p (แทนด้วยสัญลักษณ์ $n+$ ในรูป) อิเล็กตรอนจึงแพร่เข้าไปอยู่ด้าน p มากกว่าที่พวก hole ในแถบ valence (valence band หรือ VB) จะแพร่เข้าไปอยู่ในแถบ valence ของด้าน n เมื่อมีคู่ hole อยู่ฝั่งตรงข้ามของด้านเดียวกัน อิเล็กตรอนจึงสามารถกระโดดลงไปจับคู่ (recombination) แต่เป็นการลดระดับพลังงานของตัวเองเท่ากับ energy gap (E_g) ระหว่างแถบ conduction กับแถบ valence ของสารกึ่งตัวนำชนิดนั้นๆ ทำให้อิเล็กตรอนต้องปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกไปตามกฎการคงตัวของพลังงาน (Law of Conservation of Energy) โดยในกรณีนี้ปลดปล่อยออกไปในรูปของแสง ปฏิกิริยาการนี้เองที่เรียกว่า Electroluminescence ความยาวคลื่นของแสง (λ) ที่ถูกปล่อยออกมาตามกลไกในรูปที่ 2.13 (ข) สามารถคำนวณได้จากสมการง่ายๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์ และ c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ เช่น สารกึ่งตัวนำ GaAs มี $E_g = 1.43 \text{ eV}$ แสงที่ปล่อยออกมาจะมี $\lambda = 867 \text{ นาโนเมตร}$ หรือเทียบเท่ากับแสงในย่านอินฟราเรด เป็นต้น [7]

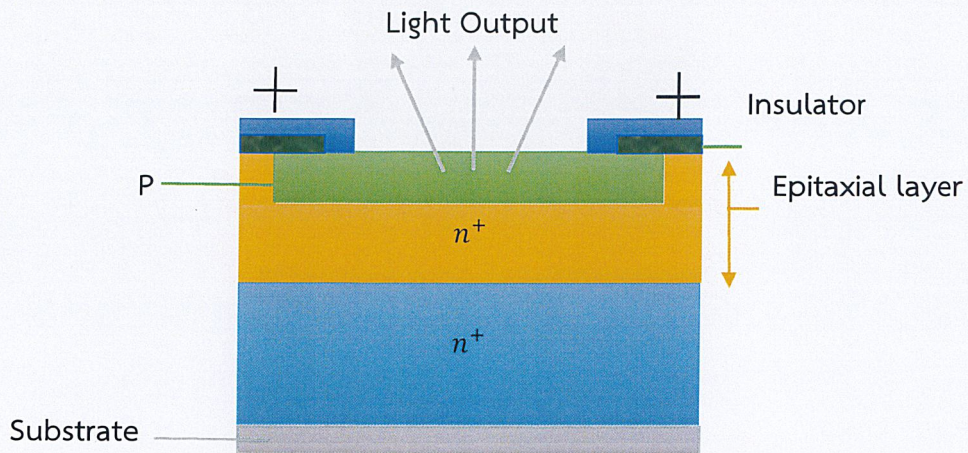


รูปที่ 2.14 แผนภาพแถบพลังงานของ homojunction ระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด p กับชนิด n ที่มี E_g เท่ากัน (ก) ในกรณีที่ยังไม่จ่ายไฟให้ กับ (ข) กรณีที่จ่ายไฟความต่างศักย์ V ให้แบบตรงขั้ว [7]

สำหรับการวิจัยและพัฒนาตัวสารกึ่งตัวนำและเทคนิคการสร้างไดโอด เช่น การพัฒนาและดัดแปลงวิธีการปลูกผลึก (crystal growth) เทคนิคการ dope สารเจือ ชนิดของสารที่ผสมและพัฒนาจาก homojunction เป็นแบบ heterojunction (สารกึ่งตัวนำชนิด n กับ p มี E_g ไม่เท่ากัน) เพื่อดัดแปลงลักษณะของแถบพลังงาน ความบริสุทธิ์ของสารที่เกี่ยวข้องเพราะสารเจือหรือความบกพร่องของผลึกมีส่วนทำให้การย้ายตำแหน่งของอิเล็กตรอนไม่เกิดผลเป็นแสง เป็นต้น สามารถทำให้เกิดไดโอดที่ให้แสงได้แทบทุกสี และทำให้มีความเข้มแสงหรือความสว่างเพิ่มมากขึ้นได้ด้วย นอกจากนี้ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นได้ด้วยวิธีการดังกล่าวแล้ว ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ด้วย

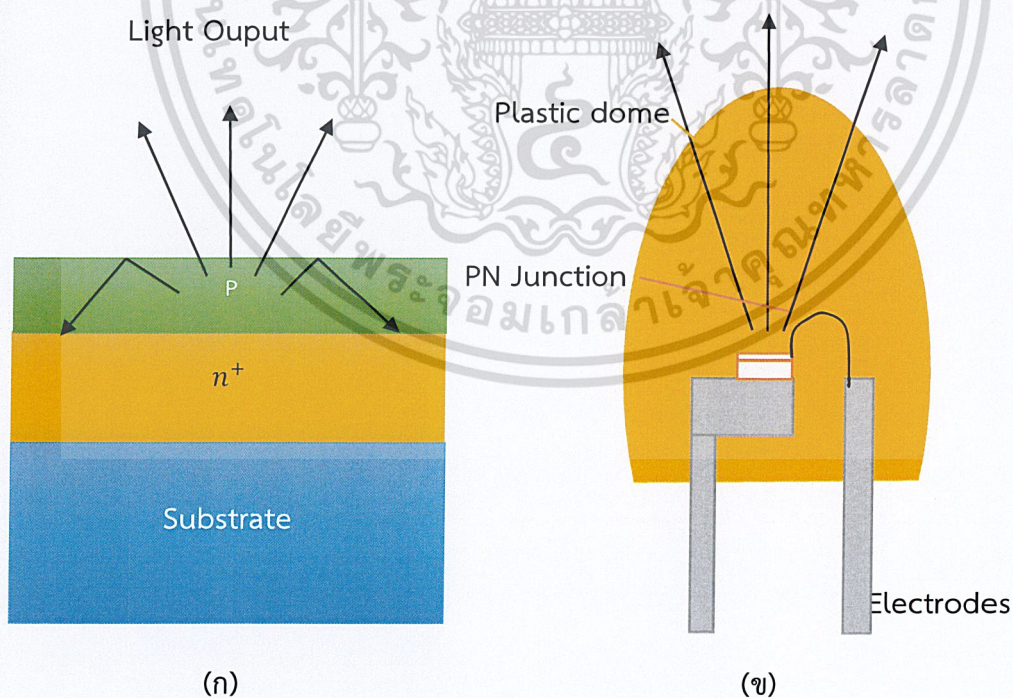
1. ทำให้เกิดการดูดกลืนภายในลดลง โดยการทำให้สารกึ่งตัวนำชนิด p เป็นชั้นบางๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เพราะแสงจะปล่อยออกมาจากบริเวณ junction ค่อนไปทางด้าน p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงโครงสร้าง LED ที่ให้สารกึ่งตัวนำชนิด p เป็นชั้นบาง [7]

2. ลดการสะท้อนกลับหมดภายในที่รอยต่อระหว่างผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำชนิด p (ค่าดัชนีหักเหประมาณ 3.3) กับอากาศ (ค่าดัชนีหักเหเท่ากับ 1) โดยการหุ้มด้วยพลาสติกใสที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าอากาศ และทำผิวของพลาสติกให้เป็นรูปทรงครึ่งทรงกลมเพื่อแสงจะตกตั้งฉากกับผิวนี้เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) แสงก็จะออกมาจาก LED ได้มากขึ้น



รูปที่ 2.16 (ก) การเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในที่รอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด p กับอากาศ (ข) หุ้มด้วยพลาสติกใสรูปครึ่งทรงกลม [7]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 LED สีขาว

ในปีค.ศ. 1993 Shuji Nakamura นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นได้ประสบความสำเร็จในการสร้าง LED สีน้ำเงินความเข้มสูงจากสารกึ่งตัวนำชนิดอินเดียม แกลเลียม ไนตรายด์ (InGaN) ซึ่งทำให้มีแม่สีแสงคือแดง เขียว น้ำเงิน มีสมาชิกครบสมบูรณ์ ช่วยให้ LED มีประโยชน์เชิงประยุกต์กว้างขวางมากยิ่งขึ้น เช่นสามารถทำ LED ที่ให้แสงสีขาว (white light) ได้คือโดยการเคลือบสารกึ่งตัวนำด้วยสารเรืองแสง แสงสีน้ำเงินที่ได้จากสารกึ่งตัวนำจะไปกระตุ้นให้สารเรืองแสงผลิตแสงสีเหลือง แล้วเมื่อแสงสีเหลืองผสมกับแสงสีน้ำเงินจะได้แสงสีขาว [7]



รูปที่ 2.17 แอลอีดีที่มีการเกิดแสงขาว [7]

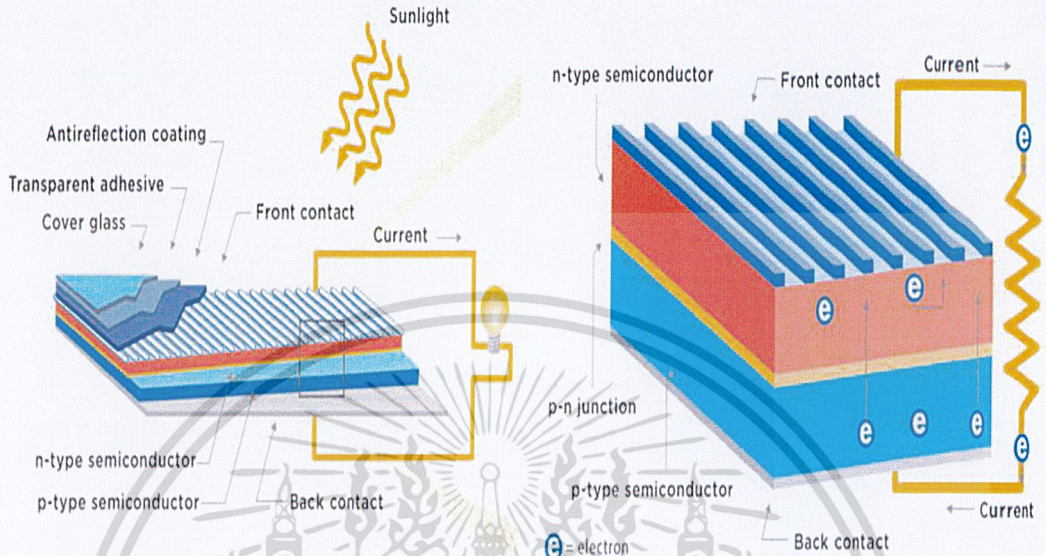
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์กำเนิดแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาตกกระทบลงบนตัวเซลล์ สำหรับการใช้งานสามารถต่อโหลดเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะว่า เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับโหลดได้เองโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทรานสดิวเซอร์แบบแอคทีฟ (Active Transducer) ชนิดหนึ่ง

2.5.1 โครงสร้างของ เซลล์แสงอาทิตย์

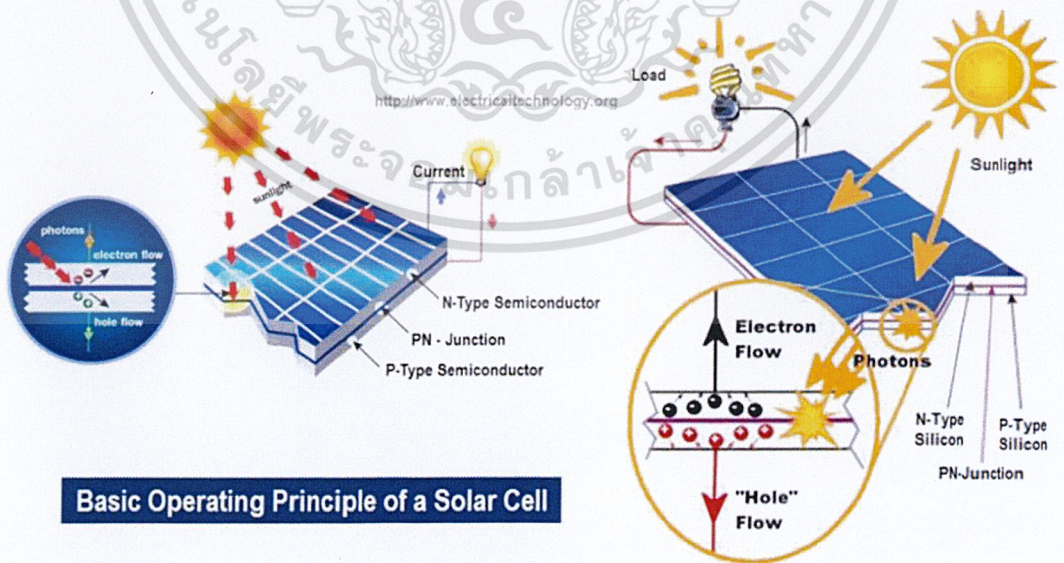
แสดงลักษณะโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด PN ที่ประกบกันเป็นรอยต่อ โดยสารที่นิยมใช้ทำ เซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ สารซิลิคอน (Silicon, Si) ที่มีรูปผลึกและไม่มีรูปผลึก ซึ่งหาได้ง่ายในธรรมชาติและราคาถูก หรือสารซีลีเนียม (Selenium, Se) มีช่องสำหรับให้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแสงทะลุผ่านได้ (Transparent Adhesive) และ อุปกรณ์ป้องกันการสะท้อนของแสงอยู่ด้านบนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ ด้านล่างจะมีจุดต่อที่มีสีดำ (Back Contact) เพื่อใช้งานร่วมกับวงจรภายนอกหรือต่อรวมกับโหลด



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

2.5.2. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

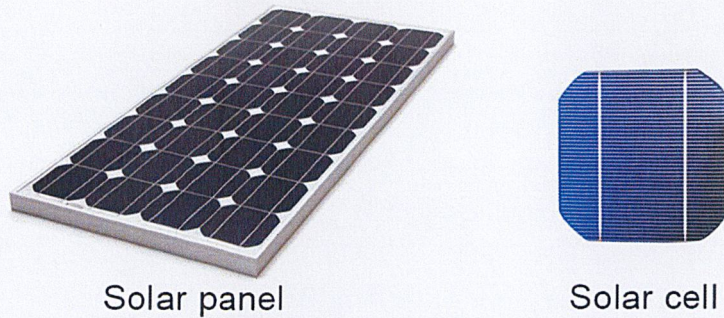
สำหรับสารซิลิคอนบริสุทธิ์ปกติจะมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต่ำมากเพราะอิเล็กตรอนจะไม่มี การเคลื่อนที่ในพันธะ แต่เมื่อใช้วิธีการ Doping ด้วยสารฟอสฟอรัสหรือธาตุหมู่ 5 ลงบนแผ่นซิลิคอน ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวส่งอิเล็กตรอนหรือตัวพาอิเล็กตรอนหรือประจุลบ เมื่อได้รับพลังงานจาก แสงอาทิตย์ลงบนแผ่นซิลิคอน เรียกว่า N-Type โดยซิลิคอนประเภทนี้จะอยู่ที่ผิวชั้นบนของเซลล์ แสงอาทิตย์ และวิธีการ Doping อีกอย่างคือ จะมีการโด๊ปกับด้วยสารโบรอนหรือธาตุหมู่ 3 ลงบนแผ่น ซิลิคอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน โดยจะเหลือประจุบวกไว้เรียกว่าโฮล (hole) จะมีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งซิลิคอนของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นประเภทนี้ เรียกว่า P-Type

สำหรับหลักการการทำงานเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เมื่อมีแสงอาทิตย์ ตกกระทบบนเซลล์ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันอยู่ที่ Front Electrode และโฮลจะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันที่ Black Electrode และเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบวงจรขึ้น จะทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าให้เรา สามารถนำไปใช้งานร่วมกับโหลดได้ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบบน ตัวของเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานแสง (Photo Energy) อันเนื่องมาจาก คุณสมบัติของ วัสดุไวแสง จะทำให้อิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด N และ โฮลซึ่งเป็นพาหะ ส่วนใหญ่ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด P เคลื่อนที่ออกจากบริเวณรอยต่อ ทั้งพาหะซึ่งเป็นพาหะส่วนน้อยไว้ ที่บริเวณรอยต่อแทนและเกิดเป็นศักย์แรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วต่อทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถไป ต่อใช้งานกับโหลดเพื่อทำ หน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ [9]

2.5.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

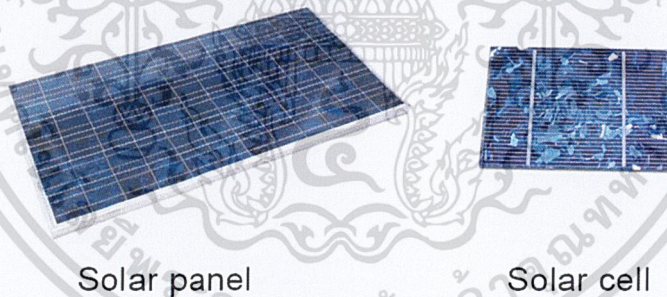
1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย มักนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว [11]

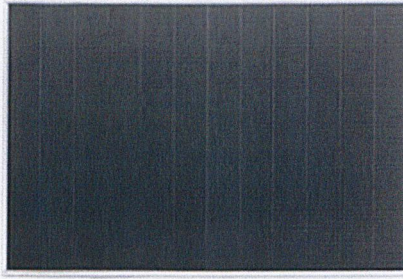
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ถูกผลิตขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว สำหรับความแตกต่างของซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว เกิดจากการนำเอาผลึกซิลิคอน ที่เป็นแท่งสมบูรณ์มาผลิตแต่ซิลิคอนชนิดผลึกรวมจะเหมือนกับการนำเศษซิลิคอนมาทำให้เป็นของเหลว Multi Silicon แล้วนำมาหล่อ และเทลงในโมลด์ที่หมั่นเอง



รูปที่ 2.21 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม [11]

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) โดยใช้สารซิลิคอน สารโบรอน และสารฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปก๊าซทั้งหมด นำมาเคลือบเป็นฟิล์มบาง (Thin film) ลงบนแผ่นแก้ว แผ่นพลาสติก หรือแผ่นโลหะ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำกว่าชนิดผลึกซิลิคอน แต่ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงและเพิ่มประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งให้

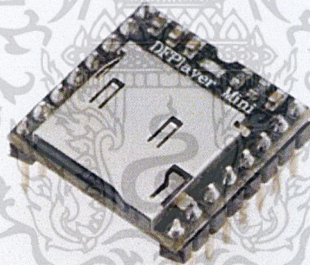
เอกสารประสิทธิภาพสูงประมาณร้อยละ 6-8 น้ำหนักเบามาก ใช้งานที่นั่น ไม่นานญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง [11]

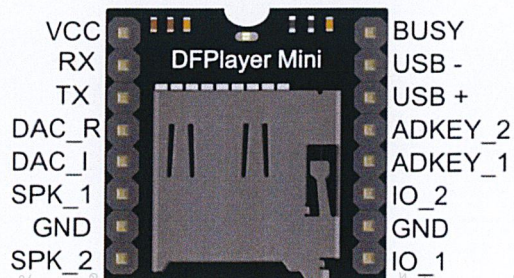
2.6 MP3 Player Module

สำหรับ DFPlayer Mini module เป็นโมดูลสำหรับเล่น MP3 ที่มีการถอดรหัสแบบฮาร์ดแวร์ MP3,WMV ที่สมบูรณ์และมีซอฟต์แวร์รองรับ SD Card ผ่านคำสั่งแบบอนุกรมอย่างเรียบง่ายในการเล่นเพลงและฟังก์ชันอื่นๆ รวมทั้งโมดูลที่มีขนาดเล็กและราคาถูก และมีเอาต์พุตที่สามารถต่อกับลำโพงได้โดยตรง และสามารถใช้เป็นโมดูลแบบสแตนด์อโลนสามารถทำงานร่วมกับแบตเตอรี่, ลำโพงและปุ่มกด หรือใช้งานร่วมกับ Arduino UNO ที่มีคุณสมบัติในการรับส่งข้อมูล(Rx/Tx) [12]



รูปที่ 2.23 โมดูลสำหรับเล่น MP3 [12]

ขาของโมดูล MINI MP3 จะประกอบด้วย



รูปที่ 2.24 ขาของโมดูล [12]

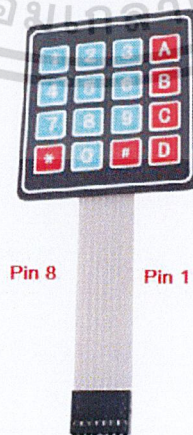
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงขาของโมดูลเล่นMP3

ขา(Pin)	ลักษณะ
Vcc	ศักย์ไฟฟ้าขาเข้า
Rx	UART ขาเข้า
Tx	UART ขาออก
DAC_R , DAC_L	Audio Output
SPK_1 , SPK_2	ลำโพงขาบวก(+),ลำโพงขาลบ(-)
GND	กราวด์
IO_1, IO_2	Trigger port 1,2
ADKEY_1, ADKEY_2	AD Port1,2
USB+ , USB-	ช่องUSB ขาบวก(+),ช่องUSBขาลบ(-)
BUSY	สถานะของการเล่น

2.7 Key pad

แป้นปุ่มกดแบบ 4x4 หรือ keypad โดยเป็นอุปกรณ์สำหรับรับอินพุตจากผู้ใช้งานส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) ซึ่งมีคีย์ปุ่มกดทั้งหมด 16 ปุ่ม ถูกจัดเรียงในลักษณะอาร์เรย์ แบ่งเป็นแนวตั้ง Columns 4 เส้น และแนวนอนRows 4 เส้น ในแต่ละคีย์ปุ่มจะมีสัญลักษณ์เขียนกำกับไว้ เช่น ตัวเลข 0-9, #, *, ตัวอักษร ABCD เป็นต้น ถ้าต่อคีย์ปุ่มกดแยกแต่ละเส้นจะให้ออกใช้ขาของเส้นสัญญาณทั้งหมด 16 ขาแต่ถ้ามีการจัดเรียงแบบ 4x4 จะใช้ขาสัญญาณทั้งหมดเพียง 8 ขา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.25 key pad แบบ4x4 ร่วมกับPIN 8 เส้น [13]
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 หลักการทำงานของ keypad

สำหรับ Key pad แบบ4x4 จะมี PIN ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งหมด 8 เส้น โดยให้ PIN1-PIN4 สำหรับหลัก (Column) ใช้ต่อเป็น Input เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ อ่านค่ารหัสของคีย์ที่ถูกกด ส่วน PIN5-PIN8 สำหรับแถว (ROW) ใช้ต่อเป็น Output เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งลอจิก “0” มาทำการสแกนคีย์ในแต่ละแถว การทำงานนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านสถานะทางลอจิกของInput แต่ละหลักที่เข้ามาทาง PIN1-PIN4 ซึ่งถ้าไม่มีการกดคีย์จะอ่านลอจิกได้ “1” ถ้ามีการกดคีย์ ลอจิกที่อ่านได้ในหลักนั้นจะเป็น “0” แต่ก่อนที่จะอ่านค่าลอจิกแต่ละหลัก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องให้ลอจิก “0” แก่แถวของคีย์แต่ละแถว (PIN5-PIN8) ด้วยเช่นกัน ในการอ่านลอจิกเข้ามาแต่ละครั้งเสมอ โดยจะต่อ PIN1-PIN8 ของ keypad เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขาคิจิตอล PIN2-PIN9 [13]

2.8 LCD Display

LCD มาจากคำว่า Liquid Crystal Display คือจอแสดงผลที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการคือ ที่ด้านหลังของจอจะมีไฟส่องสว่างหรือที่เรียกว่า Backlight เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึก โดยจะทำให้ผลึกโปร่งแสงมีแสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้จะไม่มีแสงสว่าง และผลึกจะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่นสีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองเห็นเป็นตัวหนังสือและพื้นหลังสีต่างๆกัน [14]

2.8.1 ชนิดของจอ LCD

1. Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว โดยจะมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว เช่นจอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถวมีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน
2. Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอ มีหรือไม่มีแสงสว่างส่องออกมา ทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ จะมีการระบุขนาดของจอในลักษณะของจำนวนจุด หรือ Pixels ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

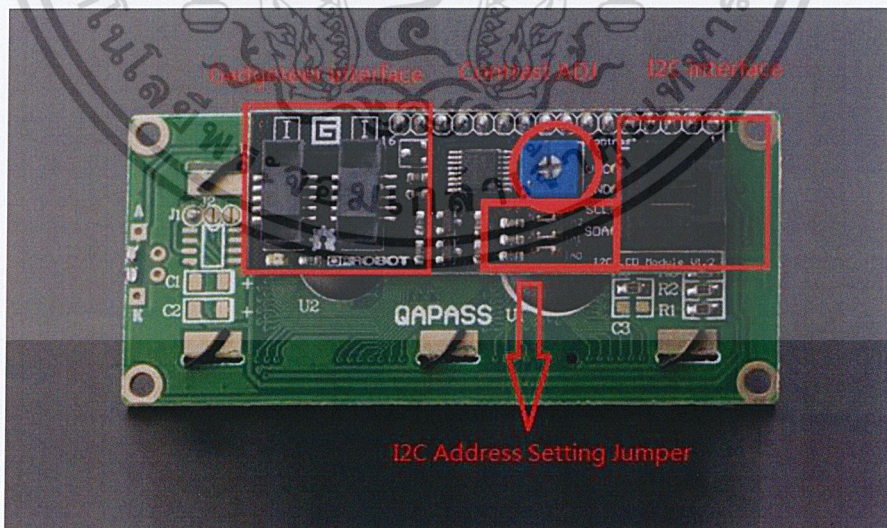
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่าง ตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลว มีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบ เรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรา มองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

- 1 แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานใน ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- 2 แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน
- 3 แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

สำหรับจอ LCD 16x2 Character เป็นจอ LCD ที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถแสดงผลได้เพียงพอในหนึ่งหน้าจอ และมีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial) I2C โดยจะมีบอร์ดเสริมทำให้สื่อสารแบบ I2C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 2.26 LCD แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD

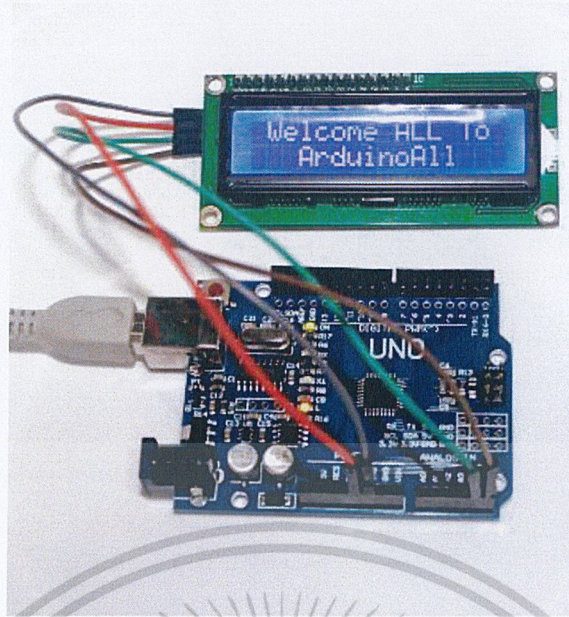
1. การเชื่อมต่อแบบขนาน - เป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino โดยตรง โดยจะแบ่งเป็น เชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ใน Arduino จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้ต่อน้อยกว่า
2. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม - เป็นการเชื่อมต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนานมาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I2C ทำให้ใช้สายเพียง 4 เส้นก็สามารถทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่าง ๆ ออกมาได้

จอ LCD ที่มีการเชื่อมแบบ I2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial เป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไป ที่มาพร้อมกับบอร์ด I2C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของหน้าจอ สำหรับรูปแบบ I2C ใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Arduino เพียงแค่ 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายและ สะดวกมากยิ่งขึ้น สำหรับการส่งข้อมูลที่มาจาก Microcontroller จะถูกส่งออกมาในรูปแบบ I2C ไปยังบอร์ด I2C และบอร์ดจะมีหน้าที่จัดการข้อมูลให้ออกมาในรูปแบบปกติ [14]

ตารางที่ 2.2 แสดงขาสำหรับการเชื่อมต่อจอ LCD แบบ I2C กับขา Arduino

Arduino	LCD(I2C)
GND	GND
+5 VCC	VCC
A4	SDA
A5	SCL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



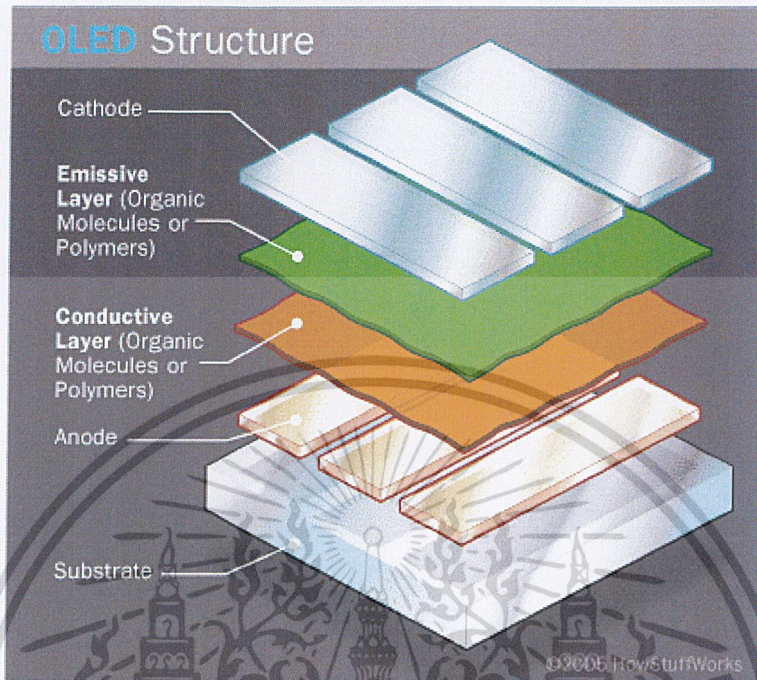
รูปที่ 2.27 เชื่อมต่อจอLCDร่วมกับArduino [14]

2.9 จอ OLED

OLED ย่อมาจาก Organic Light-Emitting Diodes คือ นวัตกรรมของจอภาพที่พัฒนาขึ้นมาในรูปแบบคล้ายกับแผ่นฟิล์มที่มีความโปร่งใสจนสามารถมองเห็นทะลุได้ และจะเปล่งแสงเมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า โดยมีสารกึ่งตัวนำที่สร้างมาจากวัสดุสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงได้เองเมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า โดยที่โครงสร้างของ OLED จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าที่เป็นของแข็ง ทำจากวัสดุอินทรีย์มีทั้งแบบ Polymer และโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งมีความหนาเพียง 100-500 นาโนเมตร เท่านั้น (บางกว่าเส้นผมของคน 200 เท่า) และอาจมีชั้นสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่ 2 หรือ 3 ชั้น ซึ่งกระบวนการที่วัสดุอินทรีย์สารกึ่งตัวนำจะทำการเปล่งแสงขึ้นมา เรียกว่า อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence) กระบวนการดังกล่าวจะลดขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนในบางส่วน เช่น จอภาพที่แสดงผลไม่จำเป็นต้องใช้แสง Back Light ในการฉายแสงด้านหลังจอภาพทั้งหมดเหมือนกลวิธีที่ LCD หรือ Plasma ทำกัน ทำให้เกิดการประหยัดแสงในจุดที่เป็นสีดำ เพราะจะไม่มีอินทรีย์สารไปเร่งการเปล่งแสง ทำให้สีที่เป็นสีดำจะเป็นสีดำจากจุดที่ไม่เกิดแสง ในสีอื่นจะเป็นการเปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง คุณสมบัติดังกล่าวทำให้การแสดงผลจอภาพแบบ OLED ประหยัดพลังงานไฟฟ้า และให้ความบางที่มากกว่าเทคโนโลยีจอภาพ LCD ที่ใช้การเรืองแสง การบังแสง และปล่อยแสงบางสีออกมาผสมกันทำให้เกิดภาพ ซึ่งหากวัดดูแล้วจะพบว่าเทคโนโลยี OLED จะให้แสงและสีที่สมจริงที่สุด ประหยัดพลังงานที่สุด และสามารถแสดงภาพในขณะที่จอถูกตัดให้โค้งงอได้ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะใช้เอกสารนี้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 โครงสร้างของ OLED (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น)



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของจอ OLED [15]

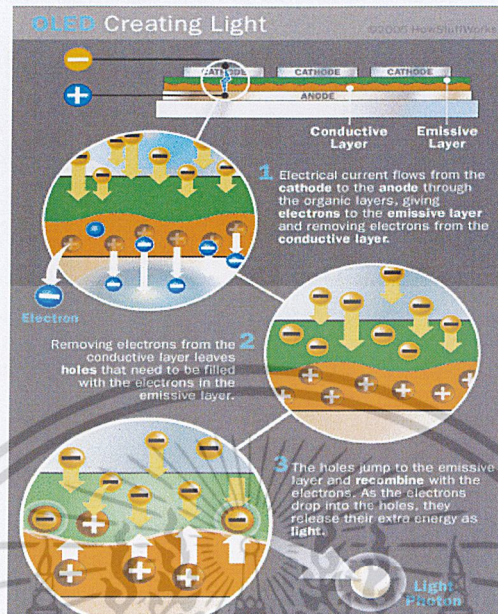
1. Substrate เป็นชั้นผิวหน้าของจอภาพ อาจทำจากกระจก, ฟลอยด์โลหะ หรือพลาสติกใส ซึ่งหากทำจากฟลอยด์หรือพลาสติกใสจะทำให้ได้จอภาพที่มีความยืดหยุ่นสูง
2. Anode (ขั้วบวก) ทำด้วยวัสดุโปร่งใส (Indium Tinn Oxide ; ITO) เป็นตัวทำหน้าที่ดึงอิเล็กตรอนและเพิ่มจำนวน Hole เมื่อมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์
3. Organic Layer ทำจากสารประกอบอินทรีย์ หรือโพลิเมอร์ของสารอินทรีย์ โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย ๆ ได้แก่

3.1 Conducting Layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่ส่ง Hole ของอิเล็กตรอนจาก Anode

3.2 Emissive Layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจาก Cathode โดยชั้นนี้เป็นชั้นที่ทำให้เกิดการเปล่งแสง

4. Cathode (ขั้วลบ) อาจทำด้วยวัสดุโปร่งใสหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ OLED เป็นตัวทำหน้าที่เอกสส่งผ่านอิเล็กตรอน เมื่อมีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 หลักการทำงานของกระบวนการอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence)



รูปที่ 2.29 กระบวนการเกิดอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ [15]

1. เมื่อจอ OLED รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ จะทำให้กระแสไฟฟ้าจะไหลจาก Cathode ผ่านชั้นสารอินทรีย์ไปยัง Anode โดย Cathode จะให้อิเล็กตรอนแก่ชั้น Emissive layer
2. Anode จะทำการดึงอิเล็กตรอนในชั้น Conductive layer ให้เคลื่อนที่เข้ามา เกิดเป็น holes ขึ้น
3. ระหว่างชั้น Emissive layer และ Conductive layer จะเกิดปฏิกิริยา Electron (-) รวมตัวเข้ากับ hole (+) ขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนมีระดับพลังงานที่สูงกว่า Holes จึงต้องลดระดับของพลังงานของอิเล็กตรอนลง ซึ่งกระบวนการนี้เอง ที่จะเกิดการคายพลังงานส่วนเกินออกมา ซึ่งเป็นการเปล่งแสงออกทางจอภาพOLED

สำหรับสีของแสงที่ปรากฏออกมาจะขึ้นอยู่กับชนิดของโมเลกุลของสารอินทรีย์ในชั้น Emissive layer ซึ่งในจอ Full Color OLED จะมีสารอินทรีย์ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ให้แสงสีแดง, เขียว และน้ำเงิน (RGB) โดยสารทั้ง 3 ชนิดนี้ถูกเคลือบอยู่บน OLED เพียงแผ่นเดียว เพื่อให้เกิดสีสันต่าง ๆ ส่วนความสว่างของแสงที่ปรากฏบนจอภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสอิเล็กตรอน หากมีกระแสมากแสงก็จะมีแสงสว่างมากขึ้น ซึ่งปกติ OLED จะใช้กระแสไฟฟ้าที่ **ประมาณ 3-10 โวลต์ [15]** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2.10.1 Vega, P. R. Jinyoung, A. Pham, N. Q. Wan-Young, C. 2017. “A Novel Smartphone Camera-LED Communication for Clinical Signal Transmission in mHealth Rehabilitation System.” in the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 3437-3440.

ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการใช้เทคโนโลยี การสื่อสารด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นด้วยมือถือ mobile-Visible Light Communication (mVLC) สำหรับการส่งข้อมูลของคลินิกจากที่บ้านด้วยระบบ mHealth- rehabilitation. โปรแกรม Mobile remote rehabilitation เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพการรักษาของแพทย์ ต่อผู้ป่วยโรคเรื้อรังและคนพิการ โดยปกติโปรแกรมที่สอบถามการออกกำลังกายเป็นประจำนั้นซึ่งผู้ป่วยต้องสวมใส่เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเวลาหลายชั่วโมงในช่วงเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงทำให้เป็นแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนาาระบบสื่อสารทางการแพทย์ ที่ไม่เป็นอันตราย เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่ของ protocol ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ RF ซึ่งมีความเสี่ยงต่อร่างกายมนุษย์ในการใช้งานในระยะยาว เนื่องจากมีคลื่นวิทยุและมีการรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ระบบที่นำเสนอนี้ออกแบบมาเพื่อใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นได้ เป็นตัวกลางสำหรับการสื่อสารที่ไม่เป็นอันตราย ระหว่างเซ็นเซอร์ที่สวมใส่ กับอุปกรณ์สื่อสารแบบเคลื่อนที่ (smartphone) ข้อมูลทางคลินิกหลายอย่างเช่น photoplethysmogram (PPG), electrocardiogram (ECG) และ สัญญาณการหายใจจะถูกส่งผ่าน LED และ รับด้วยกล้องสมาร์ทโฟน จากนั้นสมาร์ทโฟนที่ใช้สำหรับ local interface และ ตัววิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นส่งข้อมูลไปยัง cloud เพื่อให้อยู่ในการดูแลของแพทย์ต่อไป [16]

- 2.10.2 Mohana, K. Sudharsana, P. Dr.Gulam, N. A. Balaji, R. Logesh, S. 2018. “Audio Transmission through Free Space Optics using Visible Light.” in International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology(IJSRSET). 153-156.

ระบบส่งผ่านข้อมูลช่องตัวกลางอิสระเป็นรูปแบบหนึ่งของระบบสื่อสารไร้สายที่ออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่อจุดสองจุดที่มีสายตรงของการมองเห็น ผู้ให้บริการที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณนี้เป็นอินฟราเรดและสามารถสร้างได้ด้วยทั้ง LED, พลังงานสูงหรือไดโอดเลเซอร์ หลักการพื้นฐานสำหรับการส่งสัญญาณไปตามสายไฟเบอร์จะเหมือนกับการส่งผ่านตัวกลางอิสระ [17]

ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับแบนด์วิดท์สูงในเครือข่ายรถไฟใต้ดินและการที่ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตแสวงหาแอปพลิเคชันต่างๆรวมถึงการขยายเครือข่ายรถไฟใต้ดินการเชื่อมต่อแบบ LAN-to-LAN อย่างแน่นอน backhaul แบบไร้สายและอื่น ๆ อีกมากมายเป็นไปอย่างไม่หยุดยั้ง ความไม่สมดุลนี้มักเรียกกันว่า "คอขวดในช่วงสุดท้าย" ผู้ให้บริการต้องอยู่ในสถานการณ์ที่ต้องให้บริการอย่างรวดเร็วและคุ้มค่า

แต่คอขวดที่ผ่านมาเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาใหญ่นั้น ประเด็นที่คล้ายกันอยู่ในส่วนอื่นๆ ของเครือข่ายรถไฟใต้ดิน การเชื่อมต่อคอขวดมีอยู่ทั่วไปในเครือข่ายรถไฟใต้ดิน

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบ FSO กับข้ออื่นๆ โหมตการสื่อสาร

Parameters	FSO	Optical Fiber	Microwave Radio	Coaxial Cable
Installation	Moderate	Difficult	Difficult	Moderate
Data Rate	Gbps	Independent	Mbps	Mbps
Security	Good	Very Good	Poor	Good
Connectivity	P2P, P2MP Short And Long Reach	P2P, P2MP Short And Long Reach	P2P Short Reach	Multidrop Short Reach
Maintenance	Low	Low	Low	Moderate
Spectrum License	Not Required	Required	Required	Required

ทางเลือกแรกที่ชัดเจนที่สุดเลือกเป็นสายเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยไม่มีข้อโต้แย้งว่าสายไฟเบอร์คือวิธีที่เชื่อถือได้มากที่สุดในการสื่อสารด้วยแสง แต่การขุดเพื่อวางสายไฟเบอร์และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการวางสายไฟเบอร์เพื่อสร้างการเชื่อมต่อมักทำให้เกิดการห้ามปรามทางเศรษฐกิจ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเลือกที่สองคือเทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุ (RF) แม้ว่าการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามระยะทางไกลการสื่อสาร, เครือข่าย RF-based ต้องมีขนาดใหญ่ การลงทุนเพื่อซื้อลิขสิทธิ์ คลื่นความถี่ RF เทคโนโลยีไม่สามารถปรับขนาดได้และแบนด์วิธมี จำกัดเป็น 622 เมกะบิต

ทางเลือกที่สามคือเทคโนโลยีพื้นฐานของลวดและทองแดง อุปสรรคที่ใหญ่ที่สุดคือความยืดหยุ่นของแบนด์วิธ เทคโนโลยีทองแดงอาจช่วยลดอาการปวดในระยะสั้น แต่ด้วยข้อจำกัดของแบนด์วิธ 2 ถึง 3 เมกะบิตส์ ซึ่งทำให้เหตุผลเหล่านี้เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ยาก

ประการที่สี่และสุดท้ายทางเลือกที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ เทคโนโลยี FSO อำนวยความสะดวกในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด, ความยืดหยุ่นของแบนด์วิธ, ความเร็วในการติดตั้งและความคุ้มค่า (เฉลี่ยหนึ่งในห้าของค่าใช้จ่ายของการติดตั้งสายเคเบิลไฟเบอร์ออปติก) [17]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

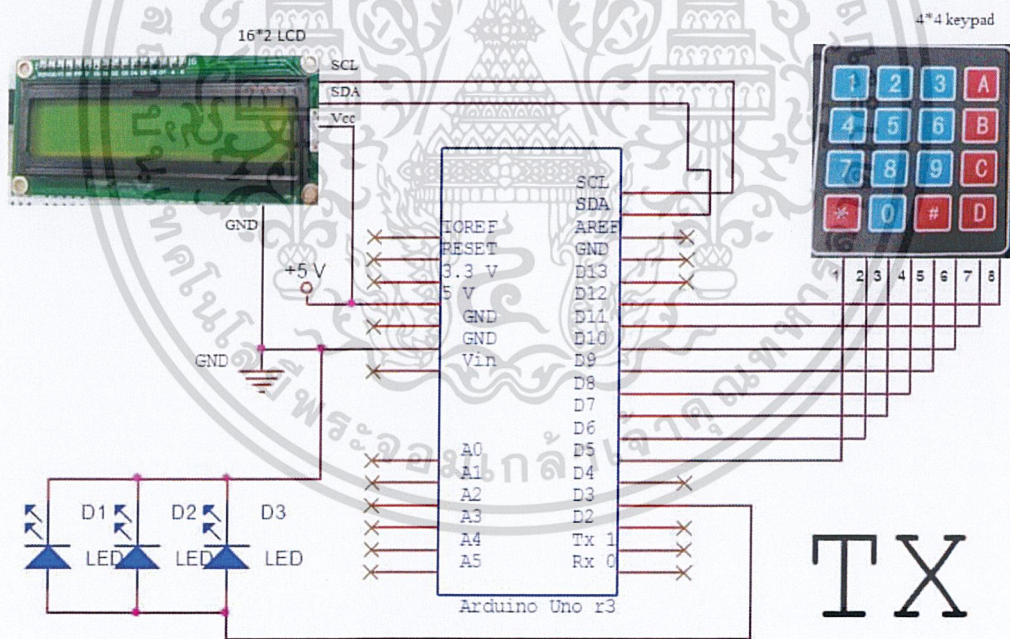
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและสร้างวงจร

ในการออกแบบวงจรสำหรับการรับส่งข้อมูลtextและข้อมูลเสียง มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอด LED กำลังไฟ 6 วัตต์ 3 หลอดและมีโพโต้ดีเทคเตอร์รับแสงเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 15.5 cm x15.5 cm และจอแสดงผลข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยวงจร 2 แบบ คือ วงจรการรับส่งข้อมูลText จาก Keypad วงจรการรับส่งข้อมูลสัญญาณเสียงผ่านโมดูล Mini MP3 ที่ทำงานร่วมกับ Arduino

3.1.1 วงจรการรับส่งข้อมูลText จาก Keypad

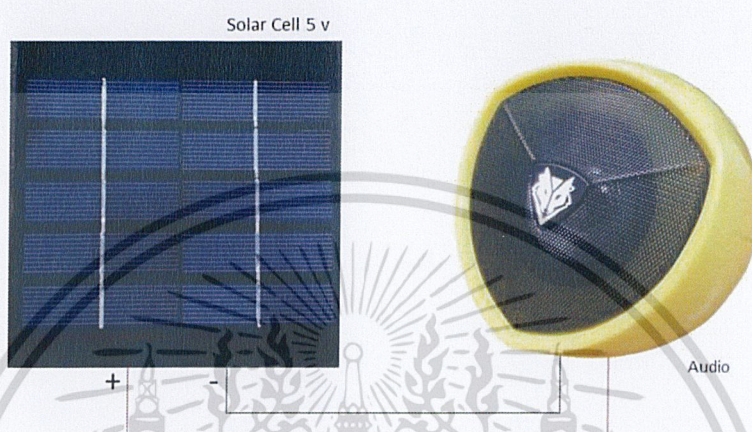


รูปที่ 3.1 วงจรภาคส่งข้อมูลText จากkeypad

วงจรภาคส่งข้อมูลประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดLED 6 ขนาดวัตต์และ Keypad

แบบ4x4 ทำหน้าที่เป็น Input ในการส่งข้อมูล และ จอ LCD แบบ I2C ขนาด 16x2 ที่ทำงานร่วมกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Arduino เพื่อทำการแสดงข้อมูลที่ส่งออกไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคส่งของข้อมูลเสียงประกอบด้วย DFPlayer Mini MP3 module ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับเล่นMP3 ที่ทำงานร่วมกับArduino และ Amplifier PAM8403 ที่จะทำหน้าที่ขยายเสียง โดยมีการควบคุมการเล่นเพลงจาก Keypad แบบ 4x5 และแสดงชื่อเพลงผ่านจอ OLED โดยส่งข้อมูลทั้งหมดผ่านหลอดLED



รูปที่ 3.4 วงจรภาครับข้อมูลสัญญาณเสียง

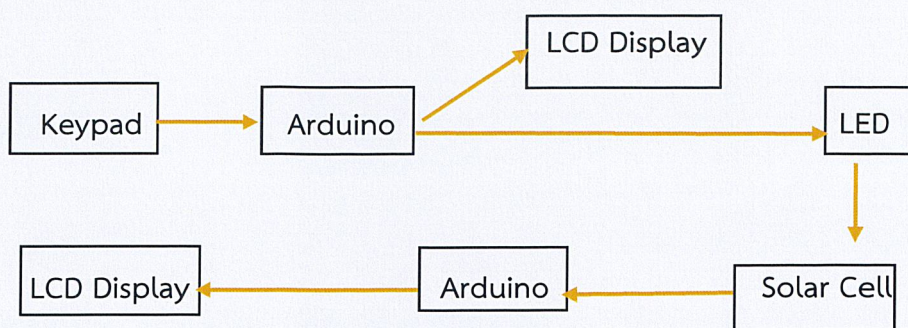
ส่วนของภาคข้อมูลสัญญาณเสียง ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และวงจรขยายสัญญาณที่มีอยู่ลำโพงต่อคอมพิวเตอร์ทั่วไป

3.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร

สำหรับกระบวนการสื่อสารข้อมูลผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็นของวงจรรับและส่ง จะส่งข้อมูล text และข้อมูลเสียง ผ่านหลอด LED ซึ่งถือว่าเป็นภาคส่ง ไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นภาครับ โดยควบคุมการทำงาน ผ่าน Microcontroller Arduino

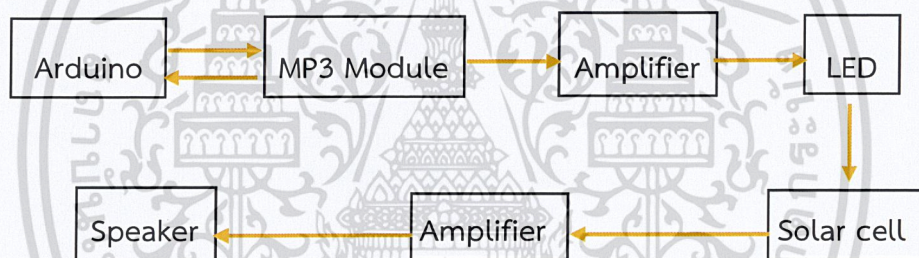
สำหรับภาคส่งข้อมูล text จะมีการกดปุ่มข้อมูลผ่าน keypad จากนั้น ข้อมูลจะส่งไปยังบอร์ด Arduino บอร์ดจะรับข้อมูลแล้วประมวลผล และแสดงผลข้อมูลออกมาที่จอ LCD และจากการกำหนดจากโค้ดให้ขา D3 เป็นขาส่งข้อมูล จะส่งข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิตอลออกมาทาง D3 แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนภาพของการรับส่งข้อมูล text

ส่วนของภาครับข้อมูล text จะทำหน้าที่รับข้อมูลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งต่อไปยัง ไอซี LM 358 ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับมา สัญญาณที่ได้รับจะเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยที่ Output จะออกที่ขา 1 ของไอซีซึ่งต่อเข้ากับขา D11 ของบอร์ด Arduino และประมวลผลข้อมูลที่บอร์ด Arduino และแสดงข้อมูลผ่านจอ LCD



รูปที่ 3.6 แผนภาพของการรับส่งข้อมูลเสียง

สำหรับส่วนของภาคส่งข้อมูลเสียง จะประกอบด้วย บอร์ด Arduino ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลของสัญญาณเสียงจากSD Card โดยภายในการ์ดมีการบันทึกไฟล์เพลงซึ่งเป็นไฟล์mp3.ไว้ และส่งต่อไปยัง Module MP3 โดยจะต่อโมดูลเข้ากับตัวAmplifier PAM8403 จะทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณเสียง และต่อOutputของAmplifier เข้ากับหลอดLED โดยการติด-ดับของหลอดLED จะเป็นไปตามสัญญาณเสียงที่ส่งออกมา ด้วยความถี่ที่สูง

จากนั้นจะมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่รับแสงจากLED และทำการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งผ่านไปยังวงจร Amplifier ที่อยู่ภายในลำโพง เพื่อทำการขยายสัญญาณที่ได้รับให้มีความชัดเจน และสุดท้ายจะแสดงผลของข้อมูลเสียงเพลงที่ได้รับมาผ่านลำโพง โดยมีระยะการสื่อสารประมาณ 1-2 เมตรที่สามารถได้ยินเสียงได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ได้ดำเนินการจัดทำขึ้นเพื่อส่งสัญญาณข้อมูล Text และสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์ โดยอาศัยแสงในย่านที่ตามองเห็นเป็นตัวอย่างในการสื่อสารข้อมูล

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. หลอดไฟ LED		
2. Arduino	3	ตัว
3. จอ LCD ขนาด 16x2 แบบ I2C	2	อัน
4. Module DFPlayer Mini MP3	1	ตัว
5. จอ OLED ขนาด 128 64 แบบ I2C ขนาด 1.3 นิ้ว	1	อัน
6. เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 15.5 ซม. x 15.5 ซม.	1	แผง
7. ปุ่มกด Keypad ขนาด 4x4 และ ขนาด 4x5	1	ชิ้น
8. บอร์ดทดลอง	3	บอร์ด
9. ลำโพง	1	ตัว
10. ตัวเสียบแจ๊คตัวเมีย	1	ชิ้น
11. Amplifier PAM8403	1	ตัว
12. Oscilloscope	1	เครื่อง
13. ลักซ์มิเตอร์	1	เครื่อง
14. เครื่องวัดความดังเครื่อง	1	เครื่อง
15. สายไฟ		
16. วงจรภาคส่ง ประกอบด้วย		
- ตัวต้านทาน 1 k Ω	1	ตัว
17. วงจรภาครับ ประกอบด้วย		
- ตัวต้านทาน 220 Ω	2	ตัว
- ตัวต้านทาน 8.1 k Ω	1	ตัว
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ 50 k Ω	1	ตัว
- ไอซีเบอร์ LM 358	1	ตัว
- หลอดไฟ LED สีแดง	2	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและบันทึกผล

1. ต่อดวงจรภาคส่งเข้ากับแหล่งจ่ายไฟและต่อดวงจรภาครับกับลำโพง



รูปที่ 3.7 ต่อดวงจรภาคส่ง



รูปที่ 3.8 ต่อดวงจรภาครับกับลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการป้อนข้อมูลผ่าน keypad



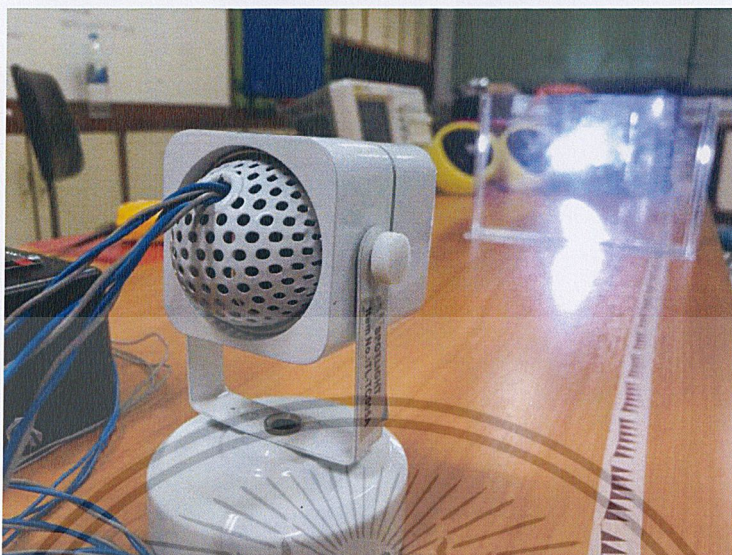
รูปที่ 3.9 กด keypad ป้อนข้อมูล

3. ทำการทดลองรับส่งข้อมูลโดยเปลี่ยนระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.10 เปลี่ยนระยะที่ทำการทดลอง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพิ่มสิ่งกีดขวางในระหว่างระยะทางการสื่อสาร



รูปที่ 3.11 วางสิ่งกีดขวางในการทดลอง

5. เก็บผลการทดลองด้วย เครื่อง Oscilloscope ในการบันทึกรูปสัญญาณของข้อมูล ลักซ์มิเตอร์ สำหรับวัดความสว่างและเครื่องวัดความดังเสียงของตัวส่งและตัวรับข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.12 เครื่อง Oscilloscope, ลักซ์มิเตอร์ และเครื่องวัดความดังเสียง

บทที่ 4

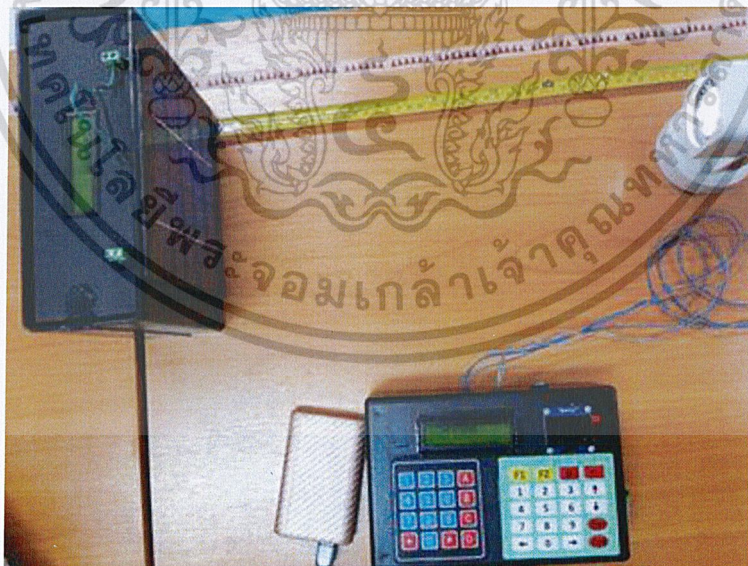
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text

ทำการทดลองเก็บสัญญาณของข้อมูล text ที่ส่งมาจาก keypad ผ่านวงจรภาคส่ง เปรียบเทียบกับ สัญญาณที่วงจรภาครับได้รับ โดยมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งหลอด LED ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 6 วัตต์ 12 โวลต์ สำหรับสถานที่ทำการทดลอง คือ ห้อง 313 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.1.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

สำหรับ Channel 1 กำหนดให้เป็นสัญญาณจากภาคส่งข้อมูล และ Channel 2 กำหนดให้เป็นสัญญาณจากภาครับข้อมูล ซึ่งทำการทดลองโดยเปลี่ยนระยะทางในการสื่อสารที่แตกต่างกัน โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 16.00 น. - 19.00 น. วันจันทร์ ที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ.2562

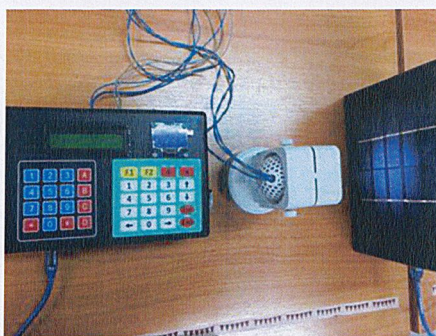


รูปที่ 4.1 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องสว่าง

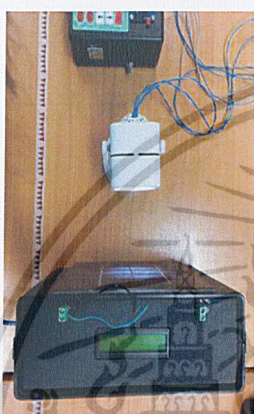
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18413.3300 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความชำนาญในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าจอของภาคส่ง



(ก)



(ข)

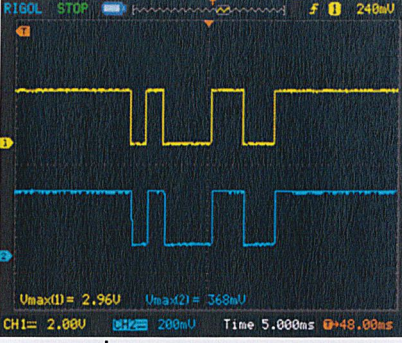
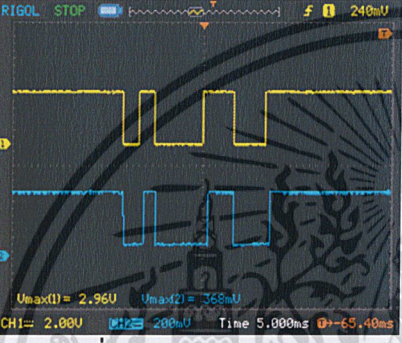
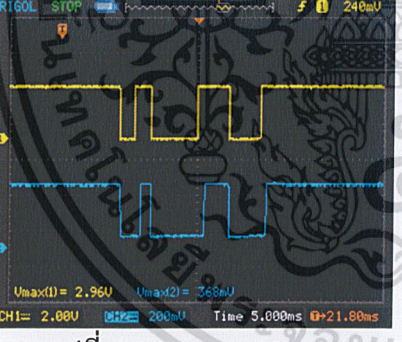
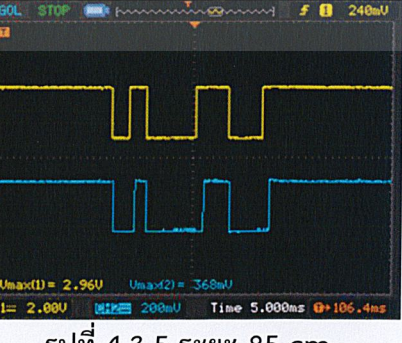
รูปที่ 4.3 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 85 cm

ตารางที่ 4.1.1 เปรียบเทียบสัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
	1661.1112

รูปที่ 4.3.1 ระยะ 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...
 ไม่ควรคัดลอก... อีเมล... ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและตัวอย่าง...
 ไม่ควรนำ... ไปใช้

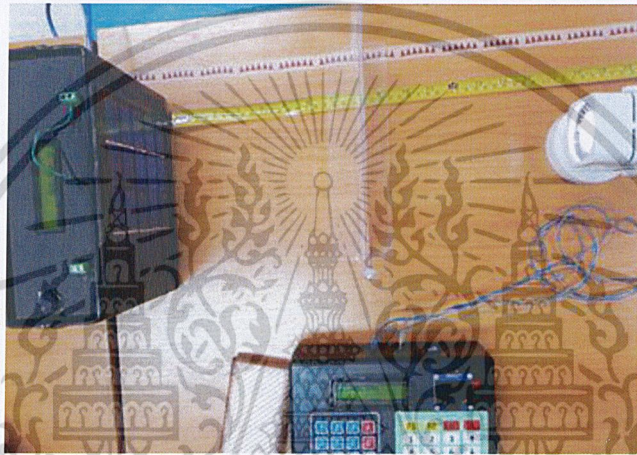
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="357 564 656 608">รูปที่ 4.3.2 ระยะ 40 cm</p>	493.3333
 <p data-bbox="357 1017 656 1061">รูปที่ 4.3.3 ระยะ 60 cm</p>	317.7777
 <p data-bbox="357 1459 656 1504">รูปที่ 4.3.4 ระยะ 80 cm</p>	262.2222
 <p data-bbox="357 1902 656 1946">รูปที่ 4.3.5 ระยะ 85 cm</p>	255.4444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร

สำหรับสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแผ่นใสโปร่งแสง, แผ่นใสโปร่งแสงสีเขียวและสีแดง (จากร้านประเสริฐ ลาดกระบัง) โดยจะวางตำแหน่งของสิ่งกีดขวางไว้ที่ระยะกึ่งกลางของระยะการสื่อสาร โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 16.00 น. - 19.00 น. วันจันทร์ ที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ.2562

1. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใส มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 4 mm



รูปที่ 4.4 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นใสโปร่งแสง ภายใต้ห้องสว่าง

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18413.3334 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX



รูปที่ 4.5 หน้าจอของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

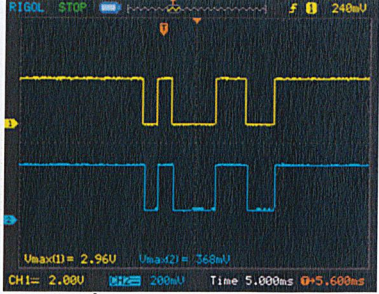

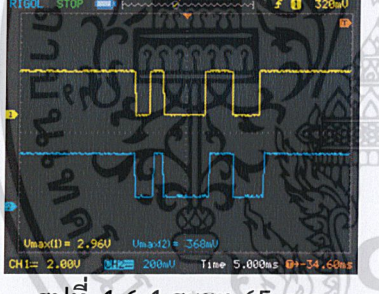


(ข)

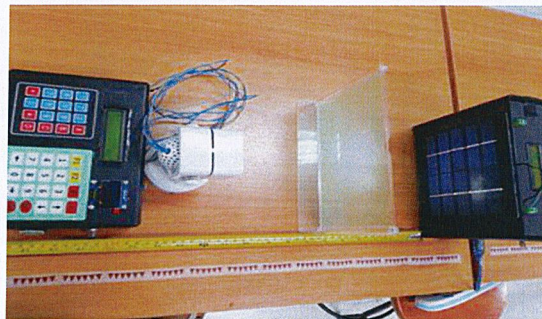
รูปที่ 4.6 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 65 cm

ตารางที่ 4.1.2 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส

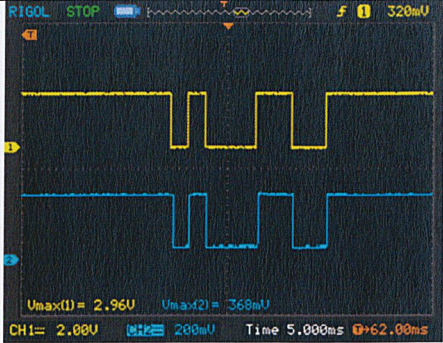
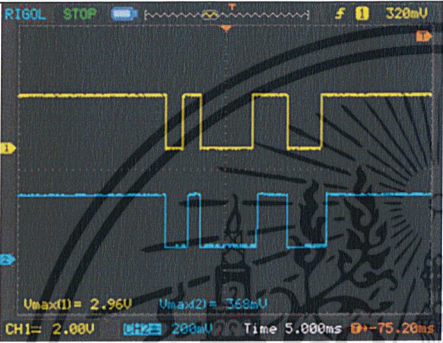
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
	1285.5555
<p>รูปที่ 4.6.1 ระยะ 20 cm</p> <p>เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ได้ว่าลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้</p>	

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="354 515 648 559">รูปที่ 4.6.2 ระยะ 40 cm</p>	418.8889
 <p data-bbox="354 926 648 971">รูปที่ 4.6.3 ระยะ 60 cm</p>	288.8889
 <p data-bbox="354 1333 648 1378">รูปที่ 4.6.4 ระยะ 65 cm</p>	257.7777

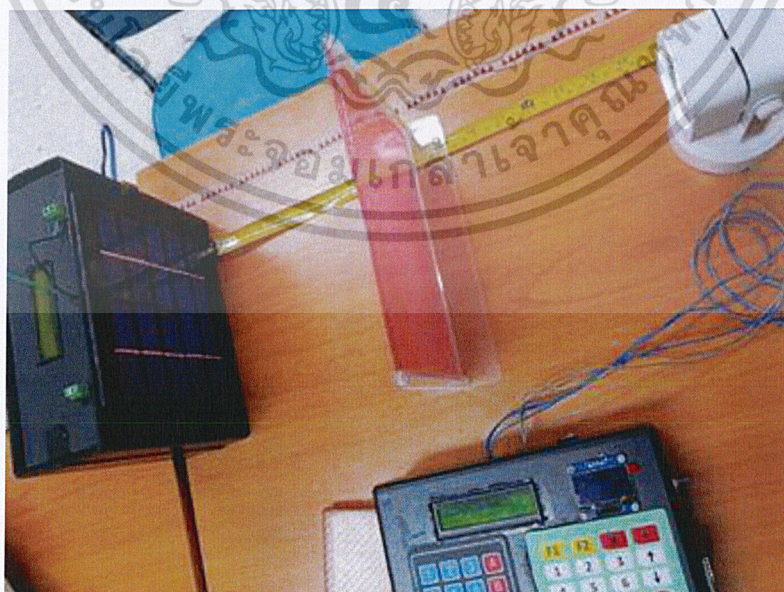
2. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นแผ่นใสสีเขียว มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วงไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.7 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีเขียว ภายใต้ห้องสว่าง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="354 548 644 592">รูปที่ 4.9.2 ระยะ 40 cm</p>	427.7777
 <p data-bbox="354 1002 644 1046">รูปที่ 4.9.3 ระยะ 60 cm</p>	287.7777

3. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



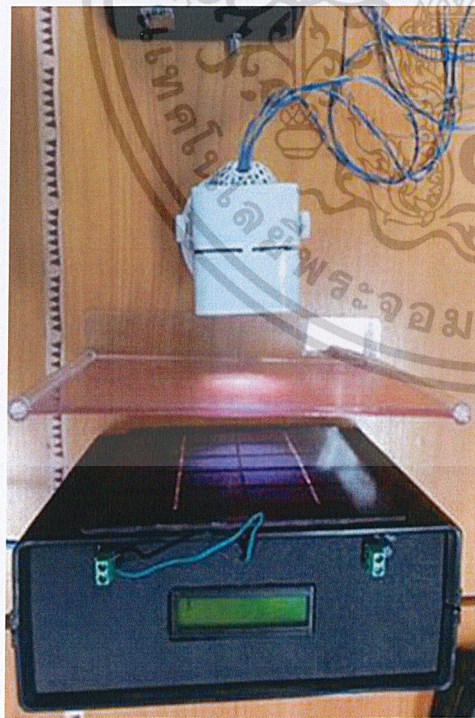
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.10 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องสว่าง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18413.3334 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX



รูปที่ 4.11 หน้าจอของภาคส่ง



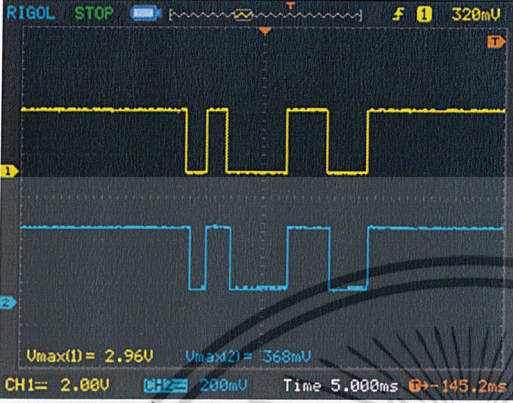
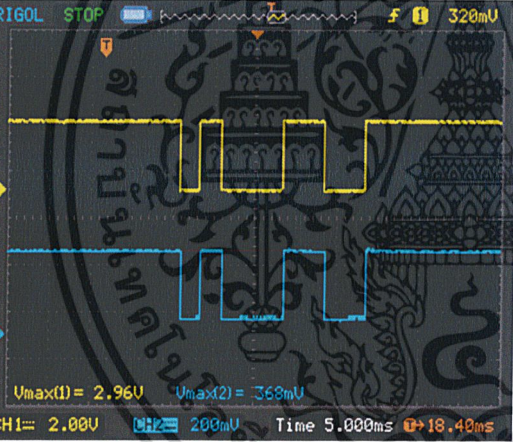
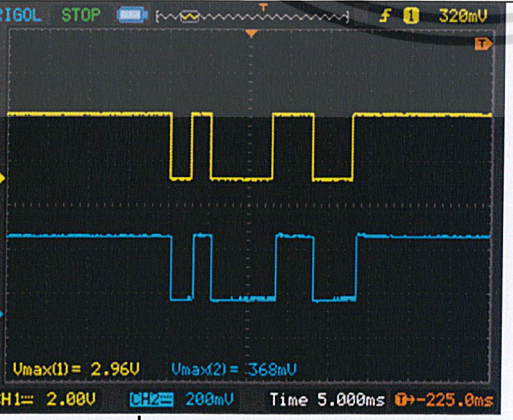
(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.12 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 50 cm
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

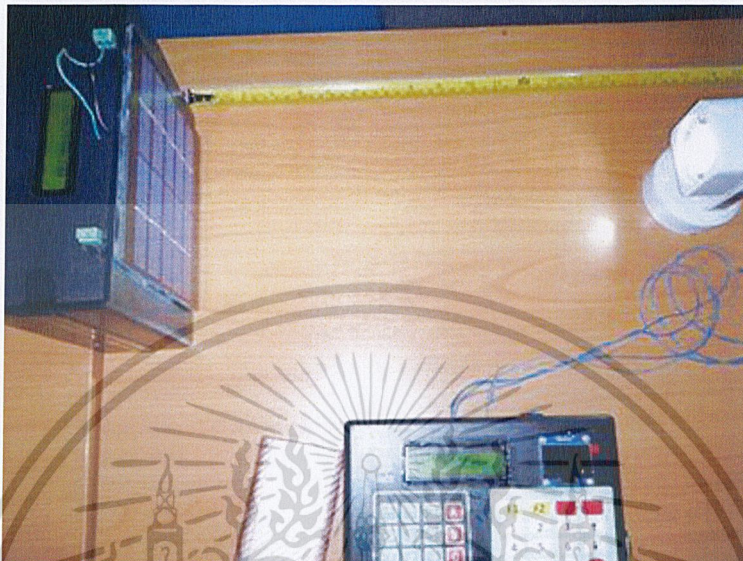
ตารางที่ 4.1.4 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอกซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="349 829 649 873">รูปที่ 4.12.1 ระยะ 20 cm</p>	952.2222
 <p data-bbox="349 1382 649 1426">รูปที่ 4.12.2 ระยะ 40 cm</p>	328.8888
 <p data-bbox="349 1913 649 1957">รูปที่ 4.12.3 ระยะ 50 cm</p>	295.5555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ผ่านการตีพิมพ์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

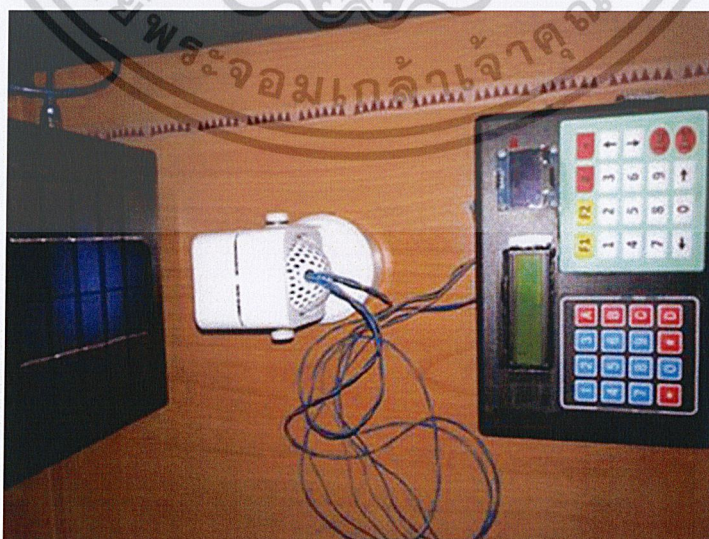
โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 19.00 น.



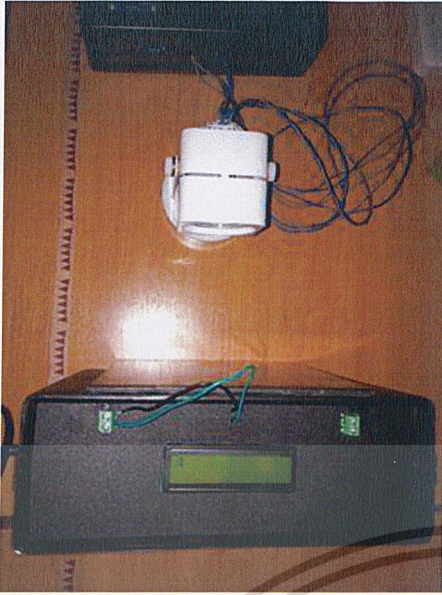
รูปที่ 4.13 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืด

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18686.6667 LUX

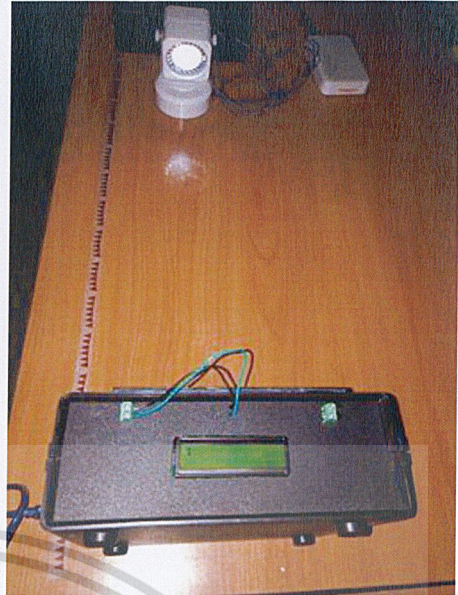
ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.14 หน้าจอของภาคส่ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีที่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



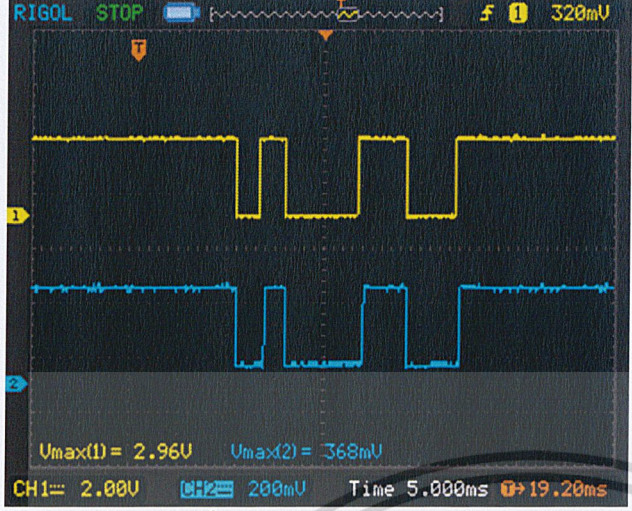
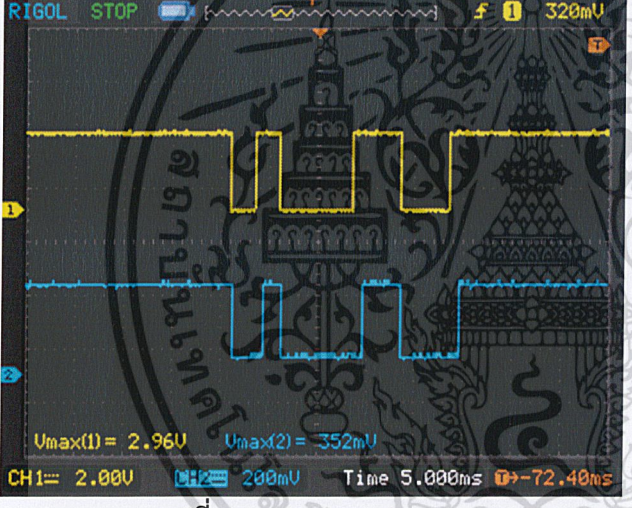
(ข)

รูปที่ 4.15 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 45 cm

ตารางที่ 4.1.5 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
<p>U_{max}(1) = 2.96V U_{max}(2) = 368mV CH1: 2.00V 200mV Time 5.000ms 145.6ms</p>	<p>1482.2222</p>
<p>รูปที่ 4.15.1 ระยะ 20 cm</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

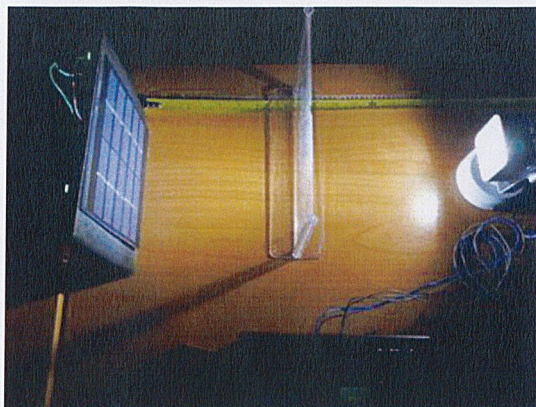
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="344 747 654 791">รูปที่ 4.15.2 ระยะ 40 cm</p>	301.1111
 <p data-bbox="344 1367 654 1411">รูปที่ 4.15.3 ระยะ 45 cm</p>	272.2222

4.1.4 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร

สำหรับสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแผ่นใสโปร่งแสง, แผ่นใสโปร่งแสงสีเขียวและสีแดง (จากร้านประเสริฐ ลาดกระบัง) โดยจะวางตำแหน่งของสิ่งกีดขวางไว้ที่ระยะกึ่งกลางของระยะการสื่อสารโดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 19.00 น. – 20.00 น. วันจันทร์ ที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ.2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

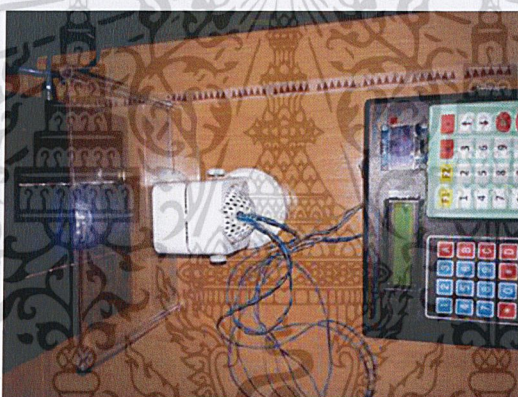
1. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใส มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.4 mm
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทงท นมมเหตดแปลงเนื้อหาและตองอองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



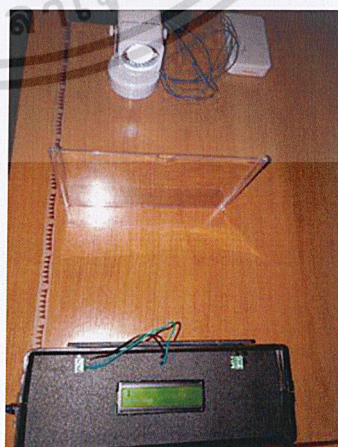
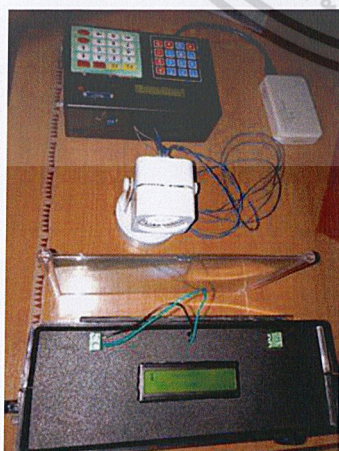
รูปที่ 4.16 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืด กับแผ่นใส โปร่งแสง

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18686.6667 LUX

ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX


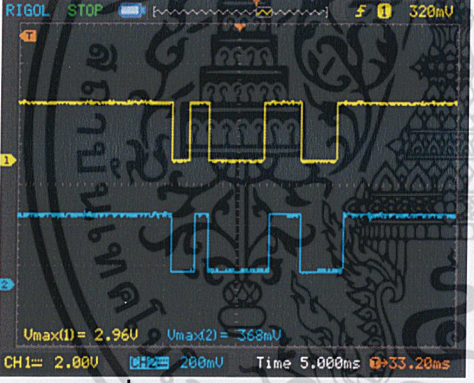



รูปที่ 4.17 หน้าจอของภาคส่ง



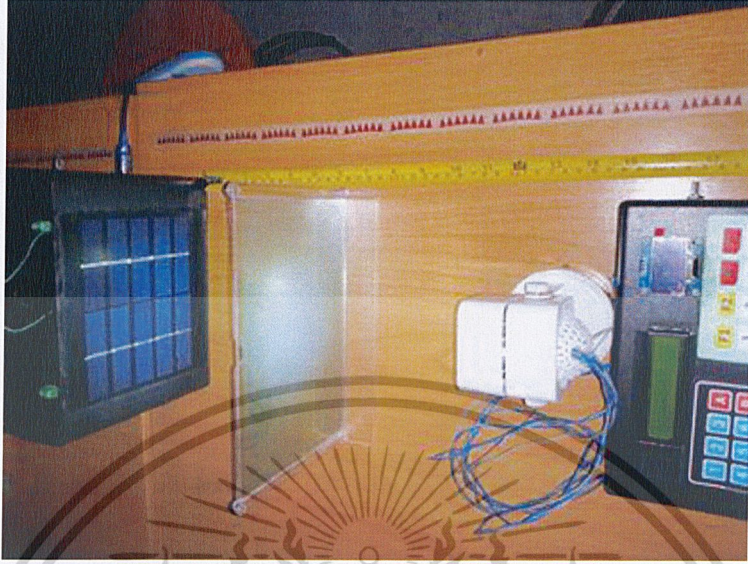
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.18 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 38 cm

ตารางที่ 4.1.6 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="349 847 654 887">รูปที่ 4.18.1 ระยะ 20 cm</p>	1343.3334
 <p data-bbox="349 1351 654 1391">รูปที่ 4.18.2 ระยะ 30 cm</p>	478.8889
 <p data-bbox="349 1847 654 1886">รูปที่ 4.18.3 ระยะ 38 cm</p>	310.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีเขียว มีคามหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



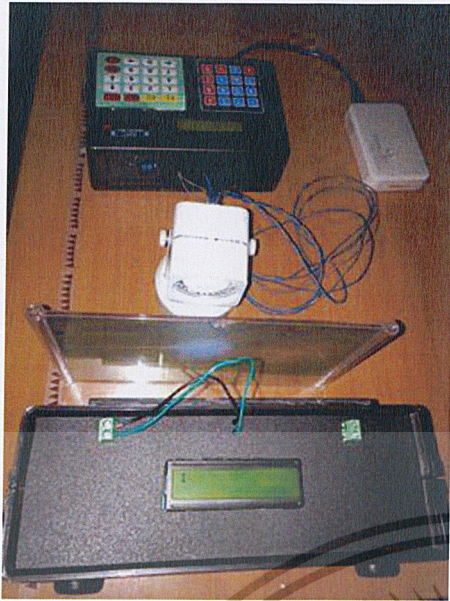
รูปที่ 4.19 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีเขียว ภายใต้ห้องมืด

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18686.6667 LUX

ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.20 หน้าจอของภาคส่ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



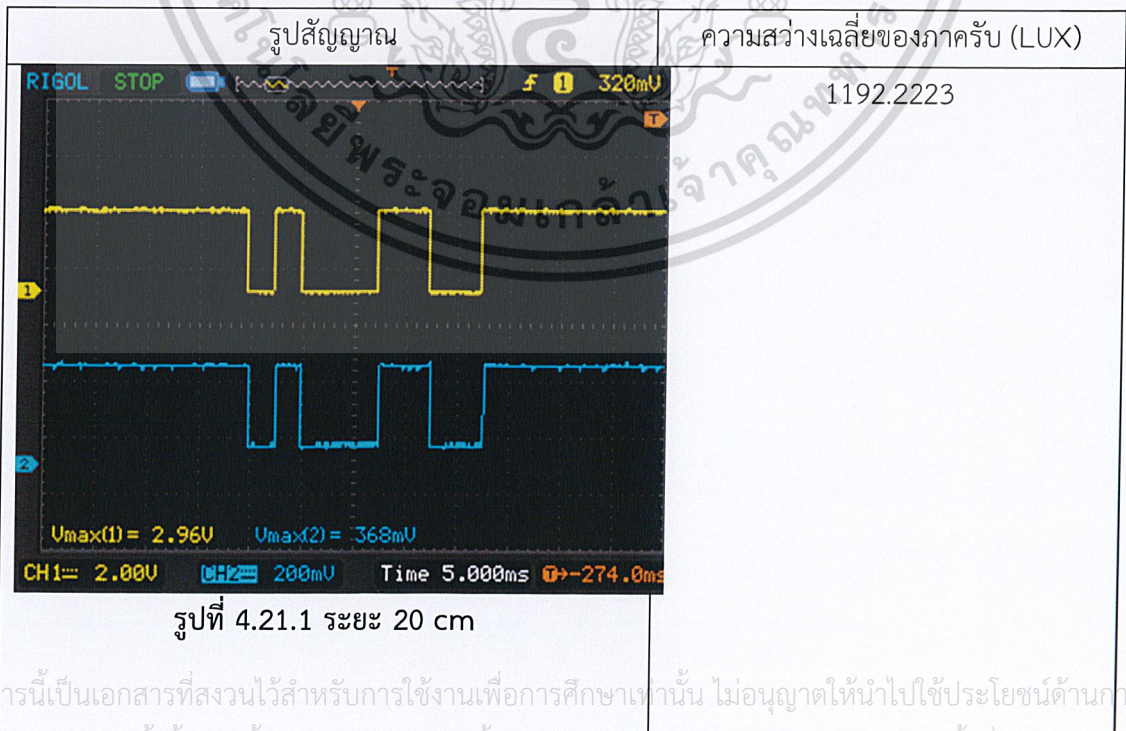
(ก)



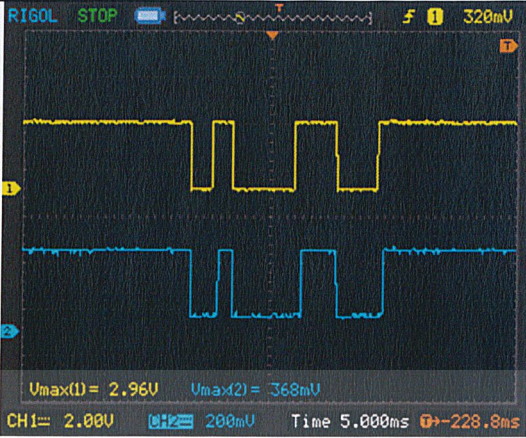
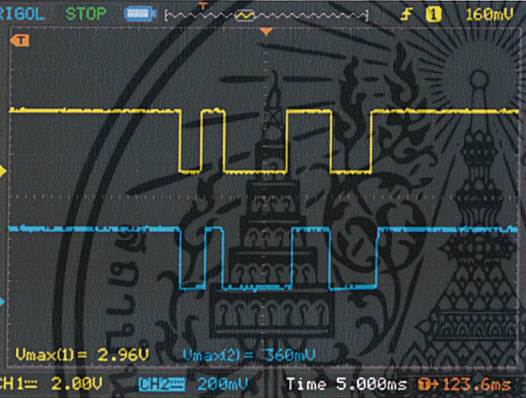
(ข)

รูปที่ 4.21 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 38 cm

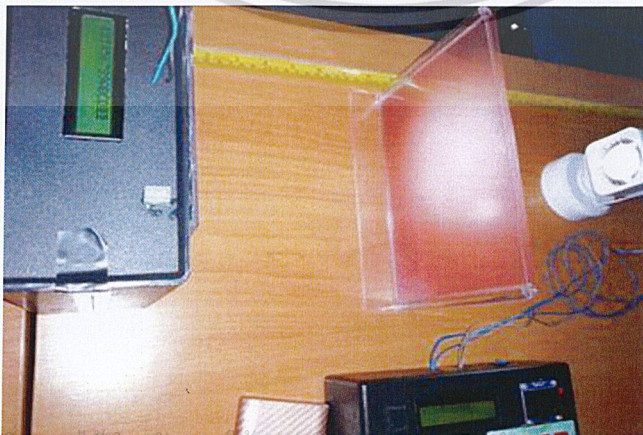
ตารางที่ 4.1.7 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีเขียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="348 674 651 718">รูปที่ 4.21.2 ระยะ 30 cm</p>	416.6667
 <p data-bbox="348 1185 651 1229">รูปที่ 4.21.3 ระยะ 38 cm</p>	347.7778

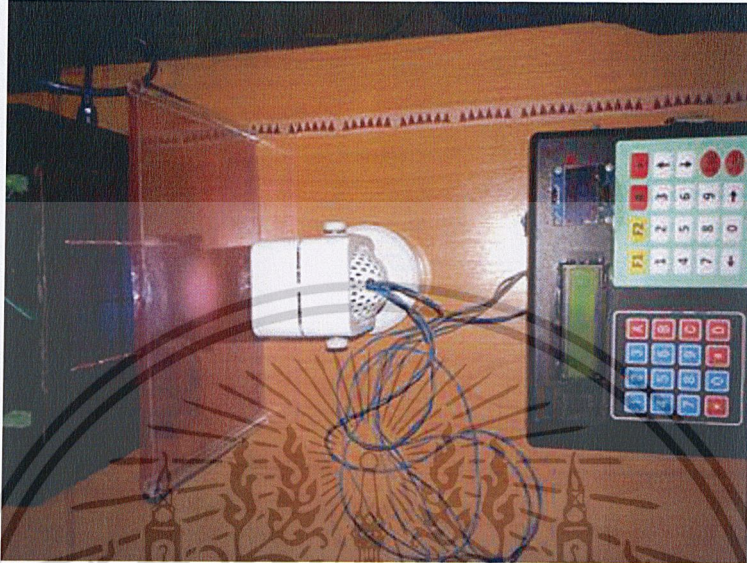
3. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.22 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล text กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องมืด

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 18686.6667 LUX

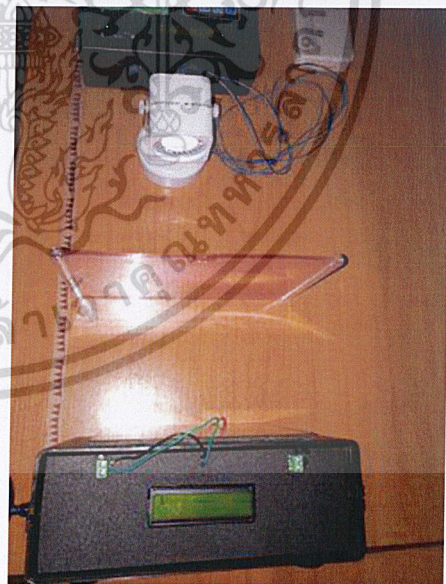
ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX



รูปที่ 4.23 หน้าจอของภาคส่ง



(ก)

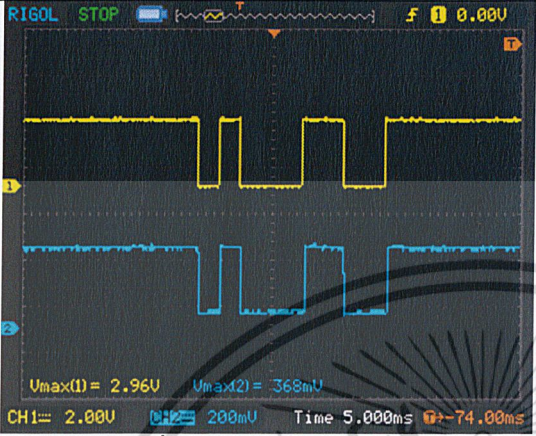
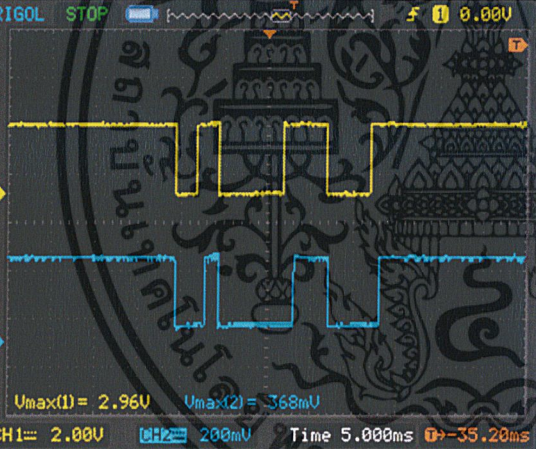


(ข)

รูปที่ 4.24 (ก) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 10 cm (ข) หน้าจอของภาครับที่ระยะ 30 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.8 เปรียบเทียบ สัญญาณของภาคส่ง (Channel 1) ซึ่งเป็นข้อมูลหมายเลข '1' จาก keypad กับ สัญญาณของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง

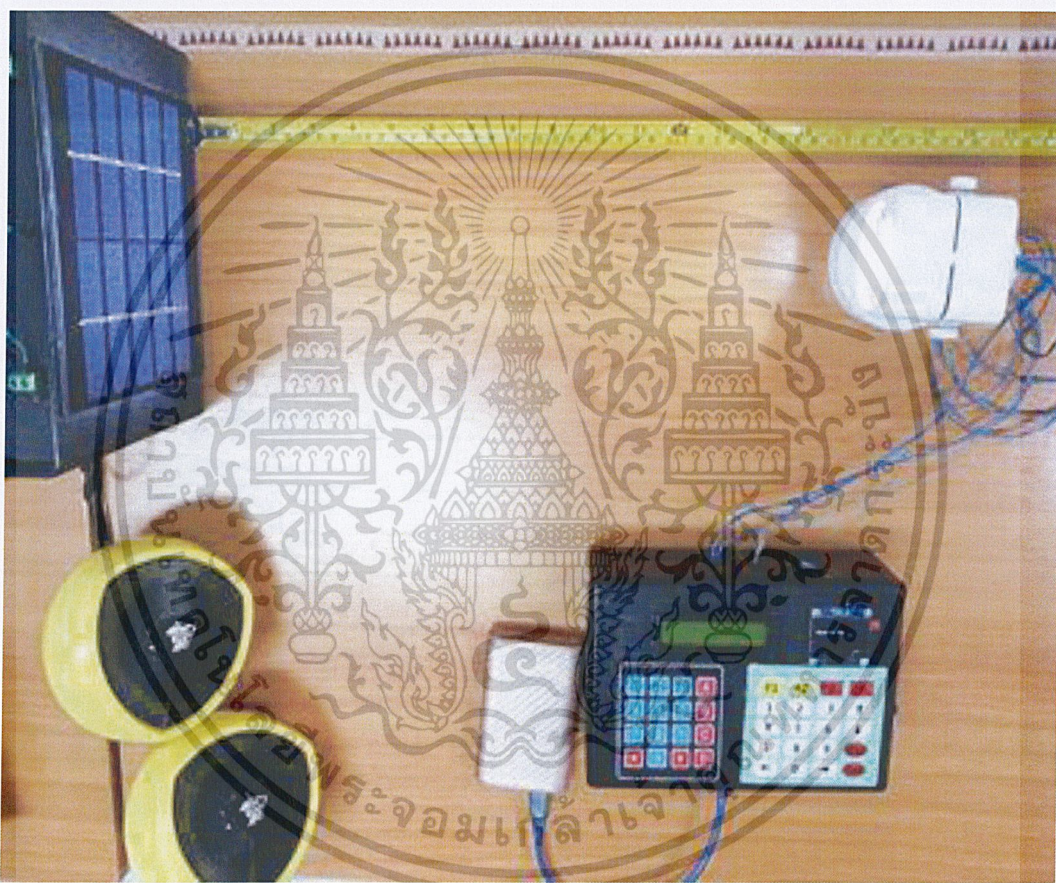
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)
 <p data-bbox="344 858 648 902">รูปที่ 4.24.1 ระยะ 20 cm</p>	1011.1112
 <p data-bbox="344 1417 648 1462">รูปที่ 4.24.2 ระยะ 30 cm</p>	371.1112

4.2 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง

ทำการทดลองเก็บสัญญาณของข้อมูล เสียง ที่ส่งมาจากตัว Amplifier ที่ต่อร่วมกับ MP3 Module ผ่านวงจรภาคส่ง เปรียบเทียบกับ สัญญาณที่วงจรภาครับได้รับ โดยมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งหลอด LED ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 6 วัตต์ 12 โวลต์ สำหรับสถานที่ทำการทดลองคือ ห้อง 313 อาคารจุฬารามณเฑียรวิทยาลัยฯ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทหารลาดกระบัง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

สำหรับ Channel 1 กำหนดให้เป็นสัญญาณจากภาคส่งข้อมูลโดยจะเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล เนื่องจากสัญญาณผ่านตัว Amplifier และ Channel 2 กำหนดให้เป็นสัญญาณจากภาครับข้อมูล ซึ่งทำการทดลองโดยเปลี่ยนระยะทางในการสื่อสารที่แตกต่างกัน โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 16.00 น. - 19.00 น. วันอังคาร ที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562



รูปที่ 4.25 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง ภายใต้ห้องสว่าง

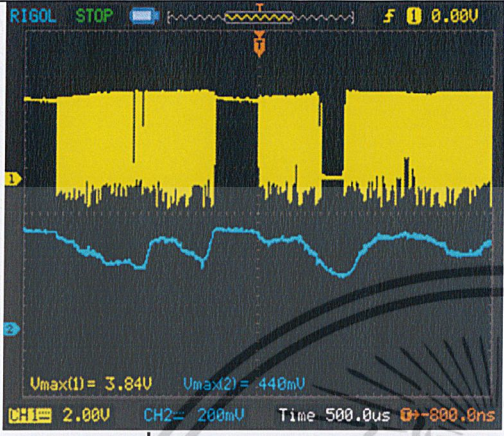
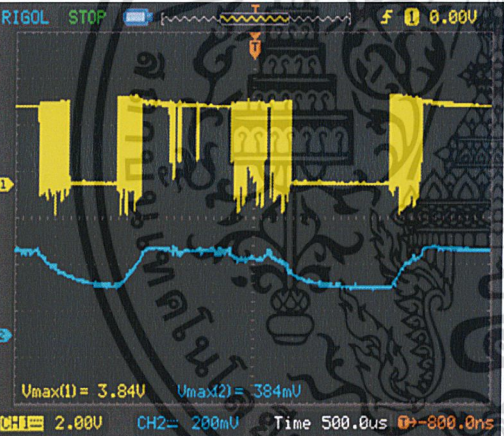
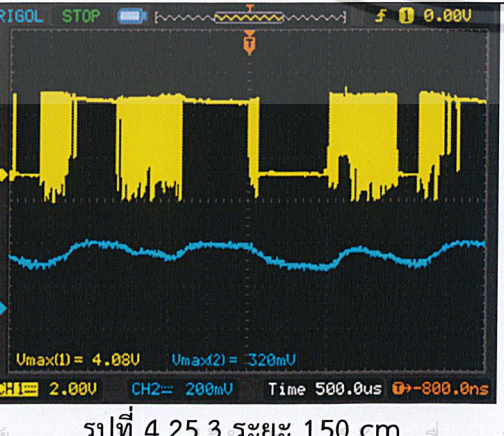
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX

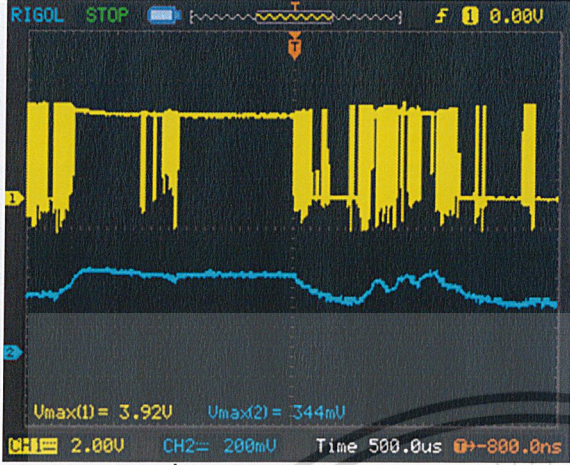
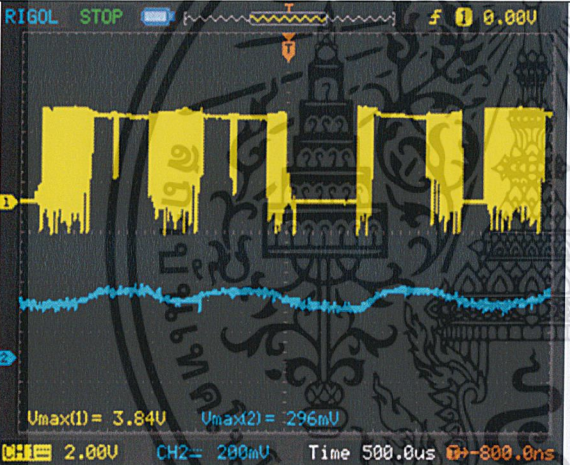
ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.1 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.25.1 ระยะ 50 cm</p>	1733.3333	110.0166
 <p>รูปที่ 4.25.2 ระยะ 100 cm</p>	633.3333	108.4833
 <p>รูปที่ 4.25.3 ระยะ 150 cm</p>	390.0000	105.2666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ(LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.25.4 ระยะ 200 cm</p>	353.3333	102.0333
 <p>รูปที่ 4.25.5 ระยะ 250 cm</p>	320.0000	99.8833

4.2.2 ผลการทดลอง จากการส่งและรับข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร

สำหรับสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแผ่นใสโปร่งแสง, แผ่นใสโปร่งแสงสีสีแดง (จากร้านประเสริฐ ลาดกระบัง) และ กระดาษติดฟิล์มสีดำภายในห้อง 313 อาคารจุฬารามวาลัย ลักษณะ 1 โดยจะวางตำแหน่งของสิ่งกีดขวางไว้ที่ระยะกึ่งกลางของระยะการสื่อสาร โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 16.00 น. - 19.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการเผยแพร่สู่สาธารณะ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ก่อน

1. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใส มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.4 mm
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับแผ่นใส ภายใต้ห้องสว่าง

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX

ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

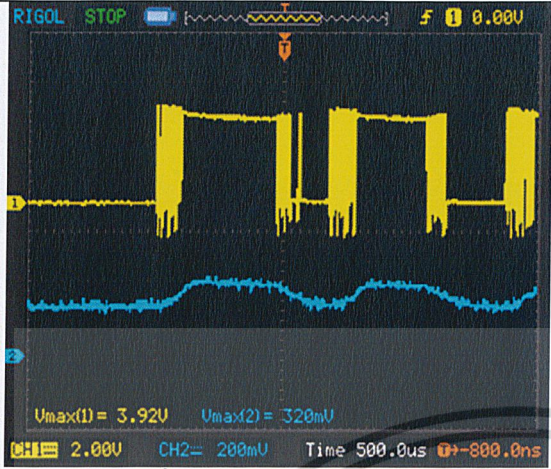
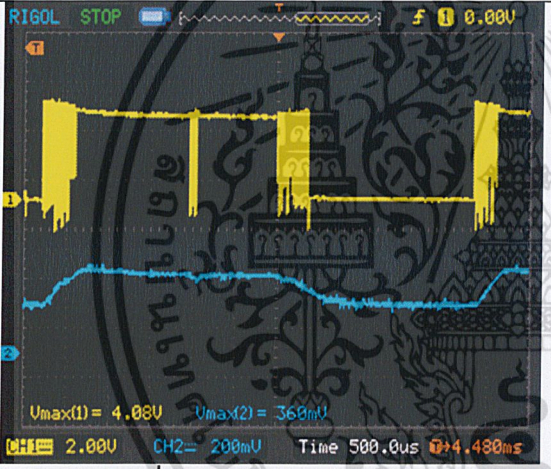
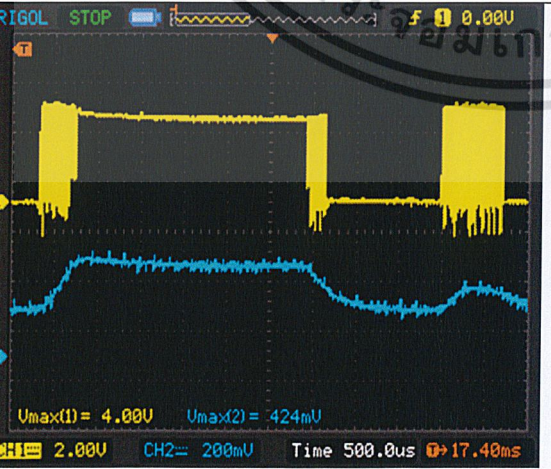
ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB

ตารางที่ 4.2.2 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) ที่ โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส

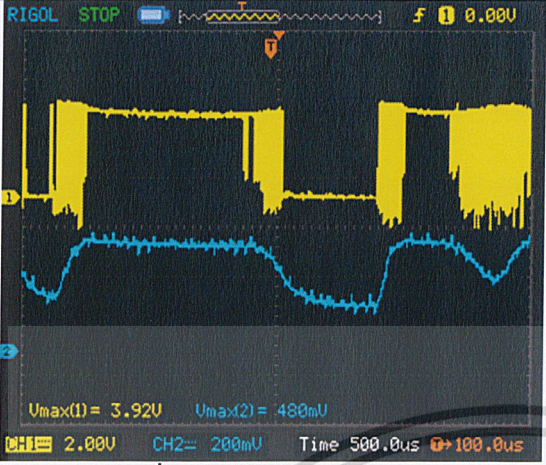
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
	1177.5000	110.0500

รูปที่ 4.26.1 ระยะ 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ออกฤทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ(dB)
 <p>รูปที่ 4.26.2 ระยะ 100 cm</p>	412.5000	108.3833
 <p>รูปที่ 4.26.3 ระยะ 150 cm</p>	307.5	104.8333
 <p>รูปที่ 4.26.4 ระยะ 200 cm</p>	292.5	101.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งาร่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.26.5 ระยะ 250 cm</p>	190	98.8666

2. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



รูปที่ 4.27 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องสว่าง

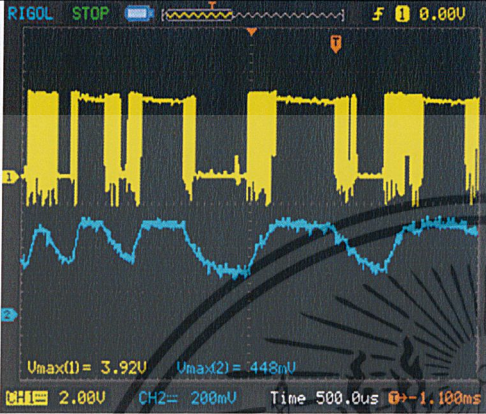

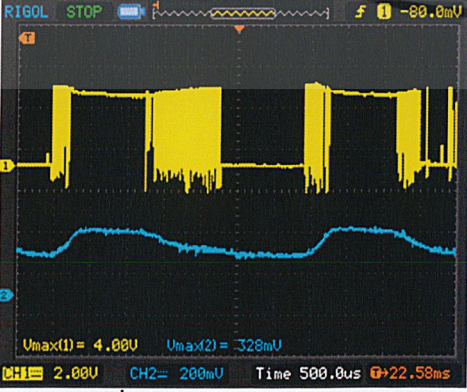
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดลอม = 360.0000 LUX

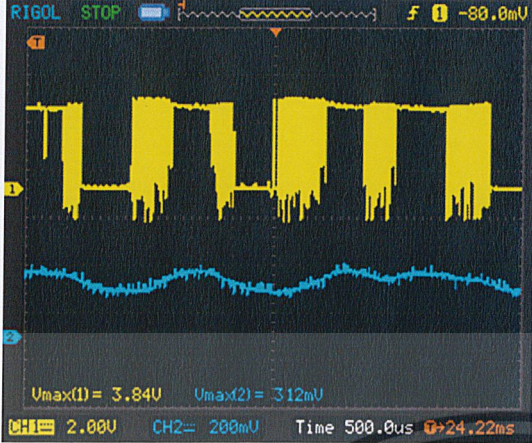

ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดลอม = 54.0000 dB
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

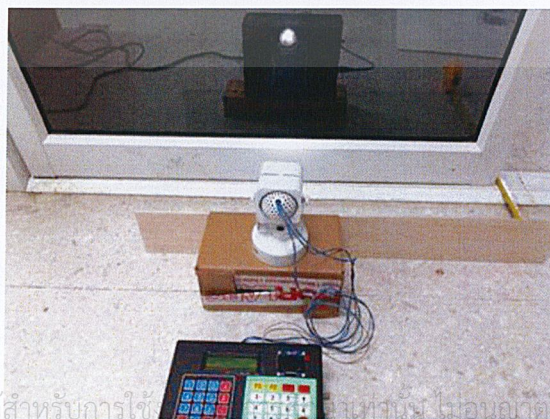
ตารางที่ 4.2.3 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิตอลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิตอลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.27.1 ระยะ 50 cm</p>	1010.0000	110.6000
 <p>รูปที่ 4.27.2 ระยะ 100 cm</p>	480.0000	107.9833
 <p>รูปที่ 4.27.3 ระยะ 150 cm</p>	213.3333	104.2833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.27.4 ระยะ 200 cm</p>	166.6666	100.5333
 <p>รูปที่ 4.27.5 ระยะ 250 cm</p>	146.6666	98.2500

3. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสง เป็น กระจกติดฟิล์มสีดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.28 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับ กระจกติดฟิล์มสีดำ ภายใต้ห้องสว่าง

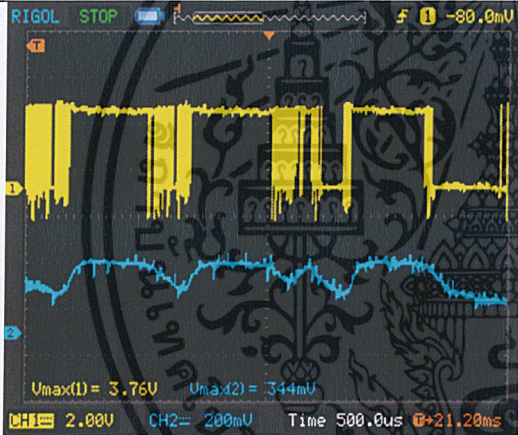
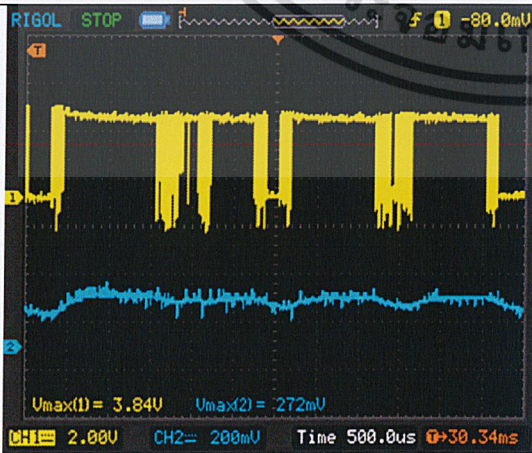
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม = 360.0000 LUX

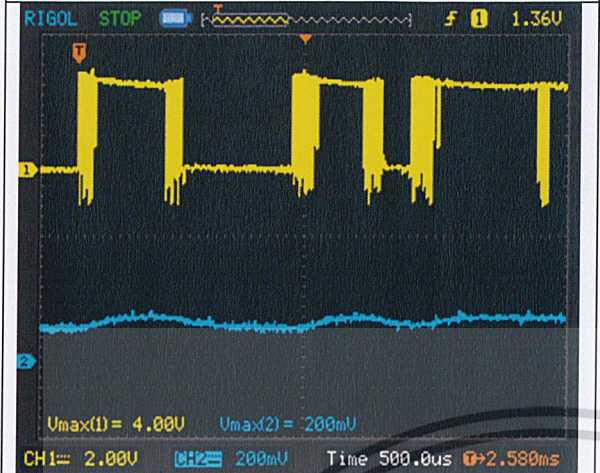
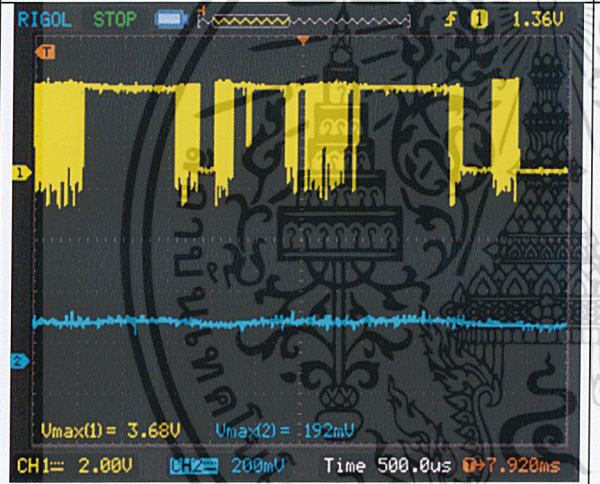
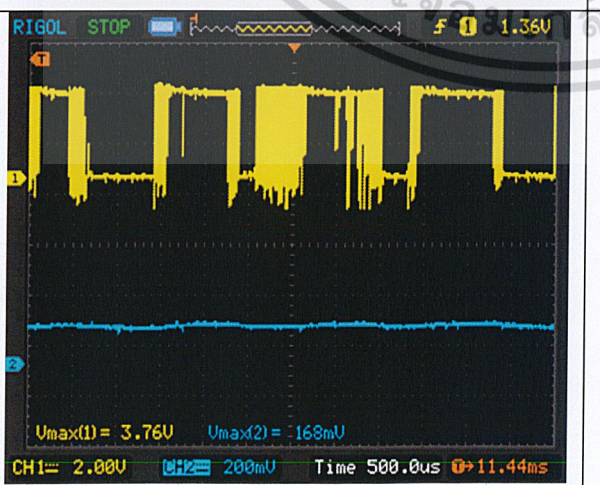
ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB

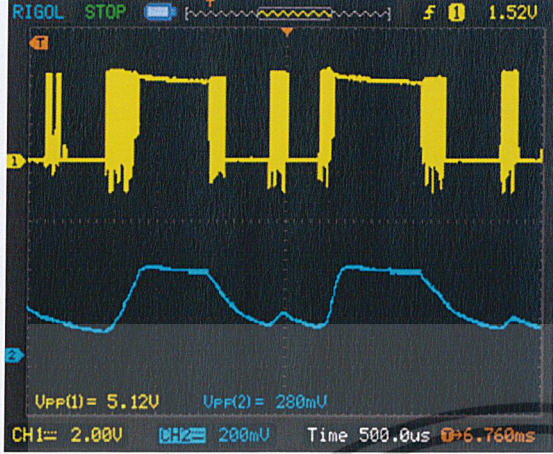
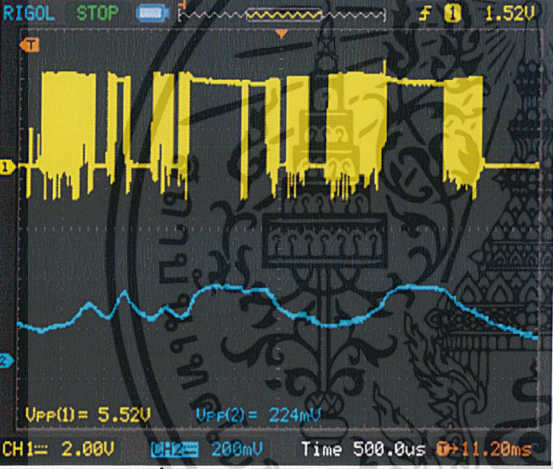
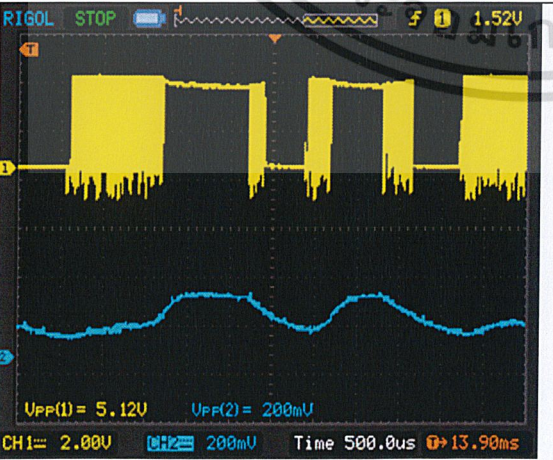
ตารางที่ 4.2.4 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) โดยอยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น กระจกติดฟิล์มสีดำ

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.28.1 ระยะ 50 cm</p>	296.6666	109.7833
 <p>รูปที่ 4.28.2 ระยะ 100 cm</p>	106.6666	103.0000

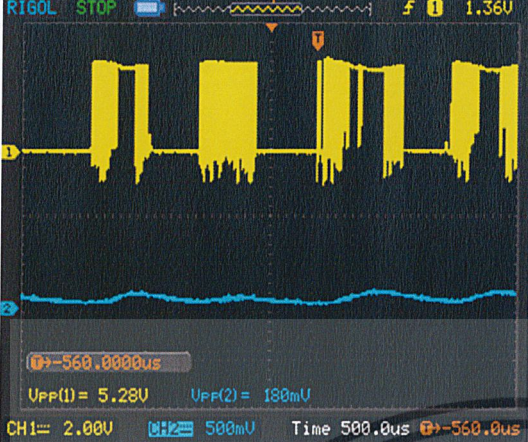
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.28.3 ระยะ 150 cm</p>	80.0000	97.8833
 <p>รูปที่ 4.28.4 ระยะ 200 cm</p>	76.6666	86.9000
 <p>รูปที่ 4.28.5 ระยะ 250 cm</p>	73.3333	82.8000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.28.5 ระยะ 250 cm เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและโครงสร้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p data-bbox="301 736 622 780">รูปที่ 4.29.2 ระยะ 100 cm</p>	420.0000	113.3333
 <p data-bbox="301 1324 622 1369">รูปที่ 4.29.3 ระยะ 150 cm</p>	206.6666	112.2833
 <p data-bbox="301 1900 622 1944">รูปที่ 4.29.4 ระยะ 200 cm</p>	116.6666	110.3833

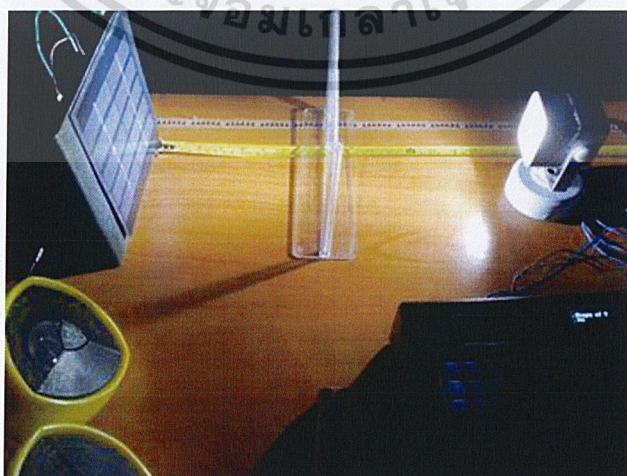
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p data-bbox="305 732 625 776">รูปที่ 4.29.5 ระยะ 250 cm</p>	56.6666	107.3500

4.2.4 ผลการทดลอง จากการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก และมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ระหว่างระยะทางการสื่อสาร

สำหรับสิ่งกีดขวางโปร่งแสงที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแผ่นใสโปร่งแสง, แผ่นใสโปร่งแสงสีสีแดง (จากร้านประเสริฐ ลาดกระบัง) และ กระดาษติดฟิล์มสีดำ ภายในห้อง 313 อาคารจุฬาภรณ์ วิทยาลัยลักษณ์ 1 โดยจะวางตำแหน่งของสิ่งกีดขวางไว้ที่ระยะกึ่งกลางของระยะการสื่อสาร โดยเวลาทำการทดลองอยู่ที่ 19.00 น. - 20.00 น. วันอังคาร ที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2562

1. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใส มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.4 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.30 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับแผ่นใส โปร่งแสง ภายใต้ห้องมืด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

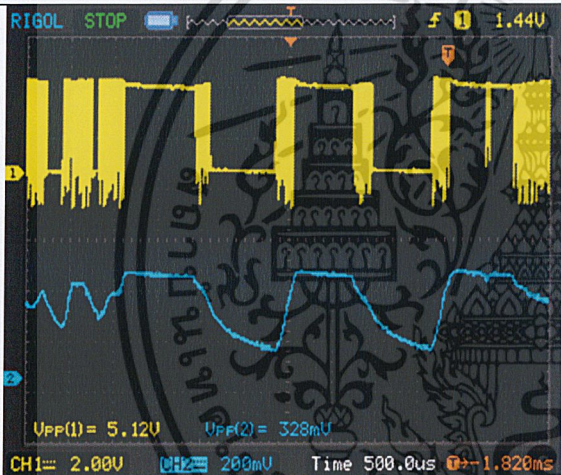
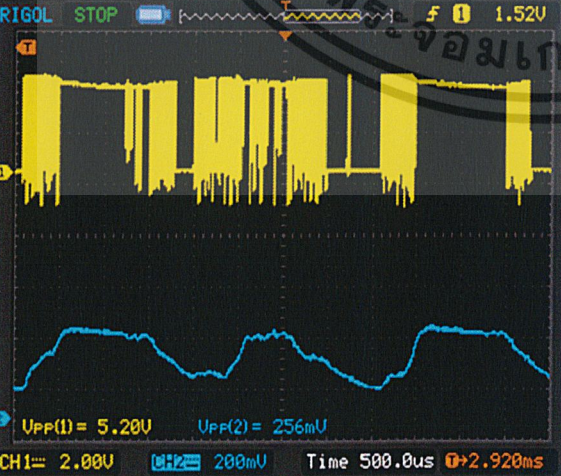
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX

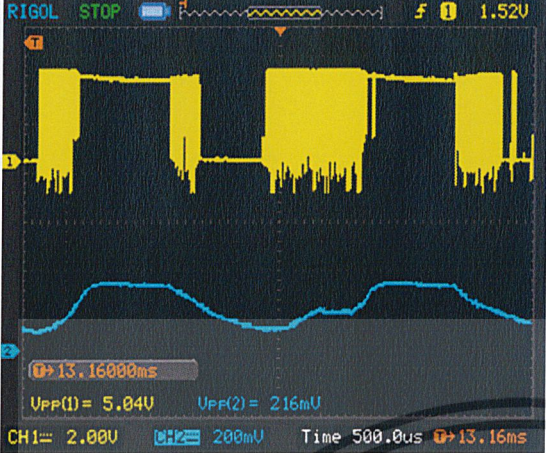
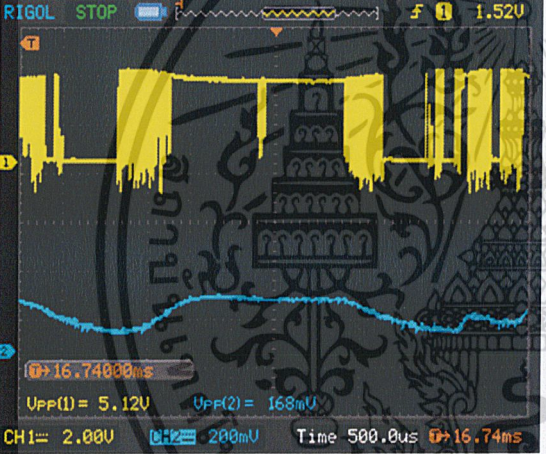
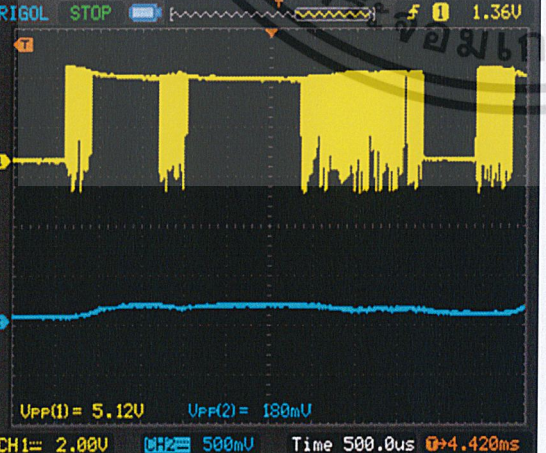
ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB

ตารางที่ 4.2.6 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2) ที่ระยะ 50 cm โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใส

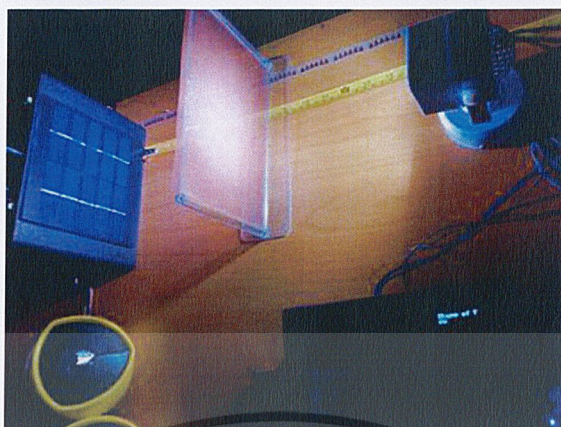
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.30.1 ระยะ 50 cm</p>	1120.0000	114.6500
 <p>รูปที่ 4.30.2 ระยะ 100 cm</p>	330.0000	112.7000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไปอย่างอื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.30.3 ระยะ 150 cm</p>	156.6666	110.9333
 <p>รูปที่ 4.30.4 ระยะ 200 cm</p>	83.3333	109.8833
 <p>รูปที่ 4.30.5 ระยะ 250 cm</p>	50.0000	105.8166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง มีความหนาของสิ่งกีดขวาง = 0.15 mm



รูปที่ 4.31 ชุดทดลองรับส่งข้อมูล กับแผ่นโปร่งแสงสีแดง ภายใต้ห้องมืด

ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX

ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX

ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB


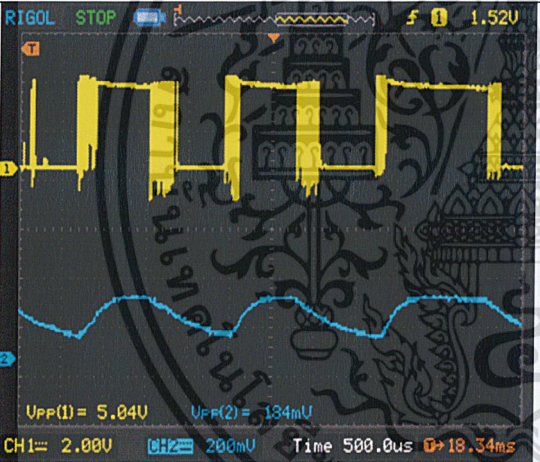
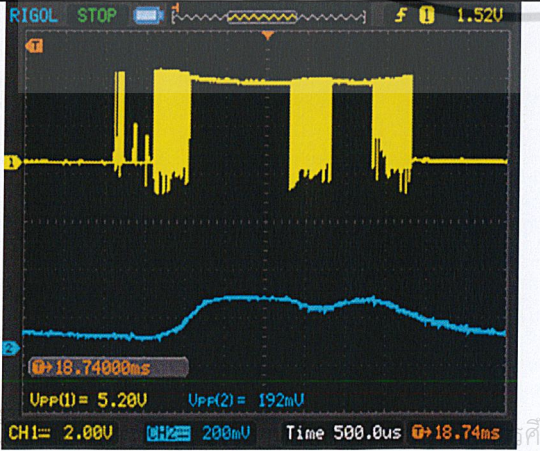
ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB

ตารางที่ 4.2.7 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2 โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น แผ่นใสสีแดง

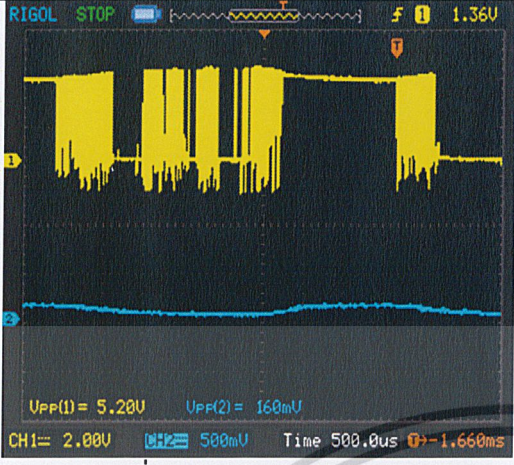
รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
	913.3333	113.4833

รูปที่ 4.31.1 ระยะ 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.31.2 ระยะ 100 cm</p>	210.0000	112.3166
 <p>รูปที่ 4.31.3 ระยะ 150 cm</p>	116.6666	110.2833
 <p>รูปที่ 4.31.4 ระยะ 200 cm</p>	73.3333	108.7833

เอกสารเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ (ฟิสิกส์พื้นฐาน) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ โดยไม่แจ้งให้ทราบก่อน หากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ (LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.31.5 ระยะ 250 cm</p>	36.66666	104.2666

3. มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสง เป็น กระจกติดฟิล์มสีดำ



รูปที่ 4.32 ชุดทดลองรับส่งข้อมูลเสียง กับกระจกติดฟิล์มสีดำ ภายใต้ห้องมืด

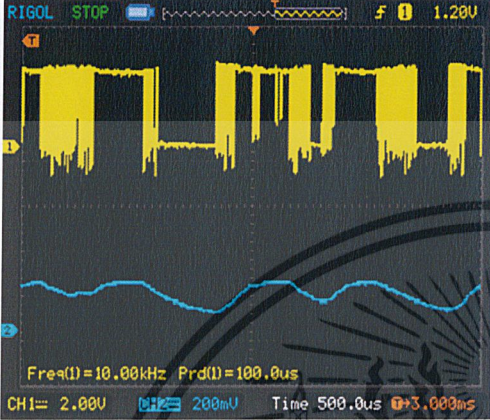
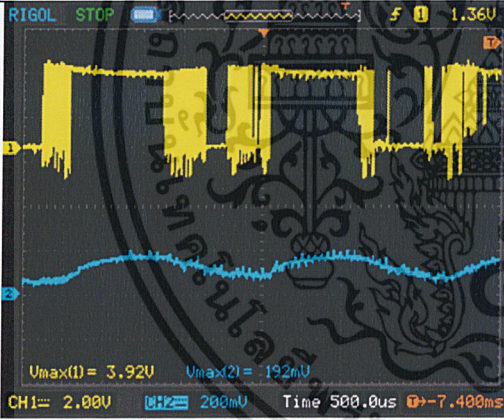
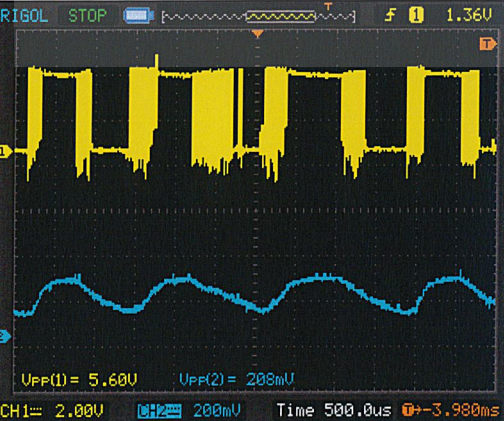
ความสว่างเฉลี่ยของ LED ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 127700.0000 LUX


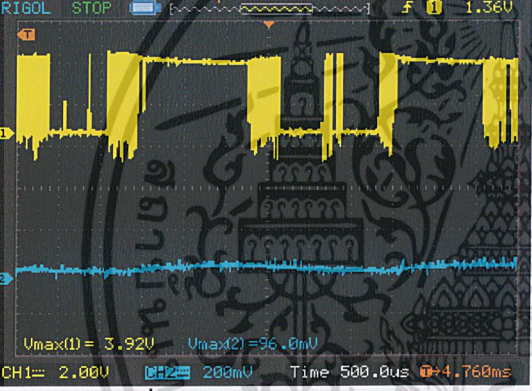
ความสว่างของสิ่งแวดล้อม = 0 LUX

ความดังเฉลี่ยของเสียง ที่วัดได้จากตัวส่งข้อมูล = 116.0000 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ความดังเฉลี่ยของเสียงสิ่งแวดล้อม = 54.0000 dB
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.8 เปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลของภาคส่ง (Channel 1) กับ สัญญาณดิจิทัลของภาครับ (Channel 2 โดยอยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ซึ่งมีสิ่งกีดขวางเป็น กระจกติดฟิล์มสีดำ

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ยของภาครับ(LUX)	ความดังเฉลี่ยของภาครับ (dB)
 <p>รูปที่ 4.32.1 ระยะ 50 cm</p>	145.3000	109.4500
 <p>รูปที่ 4.32.2 ระยะ 100 cm</p>	58.0333	106.6667
 <p>รูปที่ 4.32.3 ระยะ 150 cm</p>	25.1333	99.2333

รูปสัญญาณ	ความสว่างเฉลี่ย ของภาครับ(LUX)	ความดังเฉลี่ย ของภาครับ (dB)
 <p data-bbox="311 738 629 776">รูปที่ 4.32.4 ระยะ 200 cm</p>	15.3000	95.2333
 <p data-bbox="311 1247 629 1285">รูปที่ 4.32.5 ระยะ 250 cm</p>	11.5000	90.9000

4.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง

เป็นตารางบันทึกผลการทดลองที่แสดงค่าอัตราส่วนความสว่างของภาครับและภาคส่งต่อระยะทาง ของทั้งข้อมูลtext และข้อมูลเสียง โดยมีสภาพแสงที่ต่างกัน สำหรับผลการทดลองรับส่งข้อมูล text จะเป็นตามตารางที่ 4.3.1 และ 4.3.2 มี และ ผลการทดลองรับส่งข้อมูลเสียง จะเป็นไปตามตารางที่ 4.3.3 และ 4.3.4

$$\text{อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสง (\%)} = \frac{\text{ความสว่างเฉลี่ยของภาครับข้อมูล}}{\text{ความสว่างเฉลี่ยของภาคส่งข้อมูล}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติโดยไม่มีค่าใช้จ่าย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.1 อัตราส่วนความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

ระยะทาง ระหว่างตัวรับ และตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสง (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใส	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใสสีเขียว	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใสสีแดง
10	31.3359	20.1424	20.8061	14.0417
20	9.0212	6.9816	6.9635	5.1713
30	4.2420	3.5783	3.6386	2.7214
40	2.6792	2.2749	2.3231	1.7861
*50	2.1300	1.8404	1.8585	1.6051
*60	1.7258	1.5689	1.5628	-
*65	1.6770	1.3999	-	-
70	1.5447	-	-	-
80	1.4240	-	-	-
*85	1.3877	-	-	-

* ที่ระยะ 85, 65, 60 และ 50 เป็นระยะที่ภาครับสามารถอ่านข้อมูล text ได้ถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 4.3.2 อัตราส่วนความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล text ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

ระยะทาง ระหว่างตัวรับ และตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสง (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใส	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใสสีเขียว	สิ่งกีดขวางโปร่งแสง แผ่นใสสีแดง
10	33.5355	19.3424	12.8434	9.7038
20	7.9319	7.1887	6.3800	5.4108
*30	2.7351	2.5627	2.2297	1.9859
*34	2.1035	1.9433	1.8611	-
*38	1.7339	1.6589	-	-
40	1.6113	-	-	-
*45	1.4567	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* ที่ระยะ 45, 38, 34 และ 30 เป็นระยะที่ภาครับสามารถอ่านข้อมูล text ได้ถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 4.3.3 อัตราส่วนความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

ระยะทาง ระหว่างตัวรับ และตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสง (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	มีสิ่งกีดขวางโปร่ง แสงเป็นแผ่นใส	มีสิ่งกีดขวาง โปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสง เป็นกระจกติดฟิล์มสี ดำ
30	2.9757	1.5935	1.8924	0.5633
40	2.1143	1.2823	1.2555	0.3262
50	1.3312	0.9220	0.7909	0.2323
60	0.7830	0.7067	0.6055	0.1853
70	0.7830	0.5364	0.5272	0.1305
80	0.6264	0.4365	0.4280	0.1044
90	0.6264	0.4091	0.3915	0.1018
100	0.4698	0.3230	0.3758	0.0835
110	0.4698	0.2916	0.3054	0.0783
120	0.3915	0.2819	0.2923	0.0678
130	0.3915	0.2682	0.2270	0.0678
140	0.3054	0.2505	0.1827	0.0652
150	0.3132	0.2407	0.1670	0.0622
160	0.2975	0.2407	0.1644	0.0574
170	0.2975	0.2368	0.1436	0.0574
180	0.2897	0.2368	0.1305	0.0600
190	0.2819	0.2349	0.1305	0.0574
200	0.2819	0.2290	0.1305	0.0600
210	0.2662	0.2231	0.1252	0.0574
220	0.2662	0.2212	0.1226	0.0574
230	0.2662	0.1977	0.1200	0.0600
240	0.2505	0.1859	0.1200	0.0574
250	0.2584	0.1487	0.1148	0.0574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.4 อัตราส่วนความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

ระยะทาง ระหว่างตัวรับ และตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสง (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	มีสิ่งกีดขวางโปร่ง แสงเป็นแผ่นใส	มีสิ่งกีดขวาง โปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสง เป็นกระจกติดฟิล์มสี ดำ
30	2.8478	2.4641	1.8376	0.3688
40	1.6888	1.2190	0.9658	0.1471
50	1.1119	0.8770	0.7152	0.1137
60	0.7099	0.5612	0.4176	0.0985
70	0.5716	0.5116	0.3054	0.0868
80	0.4254	0.3315	0.2192	0.0643
90	0.3393	0.2740	0.1644	0.0597
100	0.3288	0.2584	0.1644	0.0454
110	0.2714	0.1983	0.1435	0.0373
120	0.2401	0.1879	0.1305	0.0289
130	0.1748	0.1540	0.1096	0.0264
140	0.1774	0.1461	0.1018	0.0222
150	0.1618	0.1226	0.0913	0.0192
160	0.1357	0.0991	0.0652	0.0179
170	0.1331	0.0965	0.0626	0.0155
180	0.1070	0.0835	0.0626	0.0140
190	0.0991	0.0756	0.0574	0.0124
200	0.0913	0.0652	0.0574	0.0119
210	0.0939	0.0522	0.0443	0.0110
220	0.0835	0.0495	0.0391	0.0107
230	0.0783	0.0469	0.0339	0.0102
240	0.0678	0.0443	0.0339	0.0090
250	0.0443	0.0339	0.0287	0.0090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้เป็นตารางบันทึกผลการทดลองที่แสดงค่าอัตราส่วนความดังของเสียงที่ภาครับต่อระยะทาง ที่แสดงผลผ่านลำโพงในหน่วยเดซิเบล (dB) โดยมีสภาพแสงที่ต่างกัน ดังที่ปรากฏในตารางที่ 4.3.5 และ 4.3.6

$$\text{อัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียง (\%)} = \frac{\text{ความดังเฉลี่ยของภาครับที่วัดได้}}{\text{ความดังเฉลี่ยของภาคส่ง}} \times 100$$

ตารางที่ 4.3.5 อัตราส่วนความดังของเสียงที่ภาครับแสดงผลต่อระยะทาง ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก

ระยะทาง ระหว่างตัวรับ และตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความดังเฉลี่ย (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	มีสิ่งกีดขวางโปร่ง แสงเป็นแผ่นใส	มีสิ่งกีดขวาง โปร่งแสงเป็น แผ่นใสสีแดง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสง เป็นกระจกติดฟิล์มสี ดำ
30	95.4023	95.9195	96.2356	95.3592
40	95.2729	94.9569	95.3592	94.8275
50	94.8419	94.8706	95.3448	94.6408
60	94.6408	94.5258	94.5546	93.2327
70	94.7701	94.4971	94.4252	92.3850
80	94.1379	94.0660	93.7356	91.4511
90	93.6494	93.6206	93.2471	90.2873
100	93.5201	93.4339	93.0890	88.7931
110	93.2183	92.9741	92.6149	87.1408
120	92.7298	92.6149	92.4425	86.7816
130	91.9109	91.7385	91.5660	86.5517
140	91.1637	91.1206	90.6465	85.6034
150	90.7471	90.3735	89.8994	84.3821
160	90.0000	89.9712	89.6120	83.6206
170	89.2385	89.2385	88.5775	79.5546
180	88.6494	88.5057	88.1034	75.6752
190	88.2758	87.7155	87.4137	74.9569
200	87.9597	87.0689	86.6666	74.9137

ระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความดังเฉลี่ย (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นแผ่นใส	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงแผ่นใสสีแดง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงกระจกติดฟิล์มสีดำ
210	87.7155	86.9683	86.6379	74.5546
220	86.6523	86.2787	85.9770	73.6925
230	86.4655	86.0632	85.4310	71.5373
240	86.4224	85.4597	85.0862	71.3936
250	86.1063	85.2298	84.6982	71.3793

ตารางที่ 4.3.6 อัตราส่วนความดังของเสียงที่ภาครับแสดงผลต่อระยะทาง ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

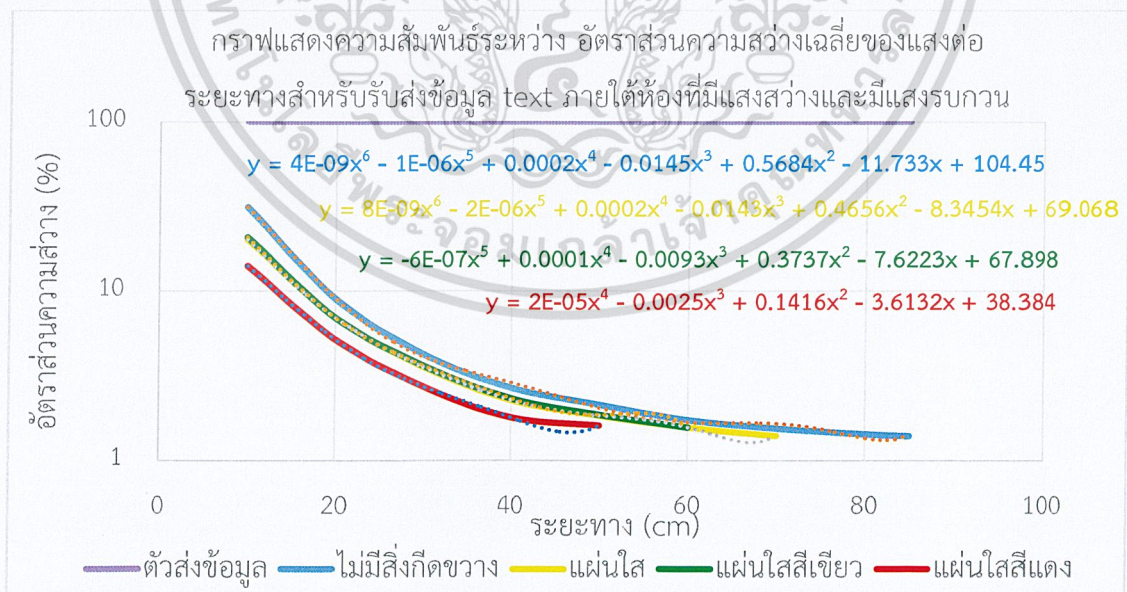
ระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความดังเฉลี่ย (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นแผ่นใส	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นแผ่นใสสีแดง	มีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นกระจกติดฟิล์มสีดำ
30	99.2482	98.7659	97.6028	94.8652
40	98.7801	98.3404	96.8510	93.4042
50	98.6241	97.5744	96.5815	93.1489
60	98.0425	97.0922	96.2978	92.5390
70	97.3333	96.6666	96.1844	92.4397
80	97.2198	96.5248	95.9007	92.4113
90	96.5531	96.1985	95.6595	91.3049
100	96.4539	95.9148	95.5886	90.7801
110	96.2695	95.4609	95.0780	88.6808
120	96.1985	95.2907	94.7943	88.0141
130	95.8156	94.7943	94.5106	86.9503
140	95.5744	94.5957	94.0283	86.5106
150	95.5602	94.4113	93.8581	84.4539
160	95.1063	94.3546	93.4893	84.0425
170	95.0780	94.2411	93.3758	83.5177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางระหว่าง ตัวรับและตัวส่ง (cm)	อัตราส่วนความดังเฉลี่ย (%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	สิ่งกีดขวางโปร่งแสงเป็นแผ่นใส	สิ่งกีดขวางโปร่งแสงแผ่นใสสีแดง	สิ่งกีดขวางโปร่งแสงกระจกติดฟิล์มสีดำ
180	94.7659	93.8297	93.0496	83.4184
190	94.4113	93.5461	92.5957	81.2340
200	93.9432	93.5177	92.5815	81.0496
210	93.8865	93.5035	92.5673	80.3687
220	93.8581	93.3333	92.5531	80.2695
230	93.6595	92.8936	92.2127	80.0425
240	92.6099	92.3404	91.3049	77.9432
250	91.3617	90.0567	88.7375	77.3617

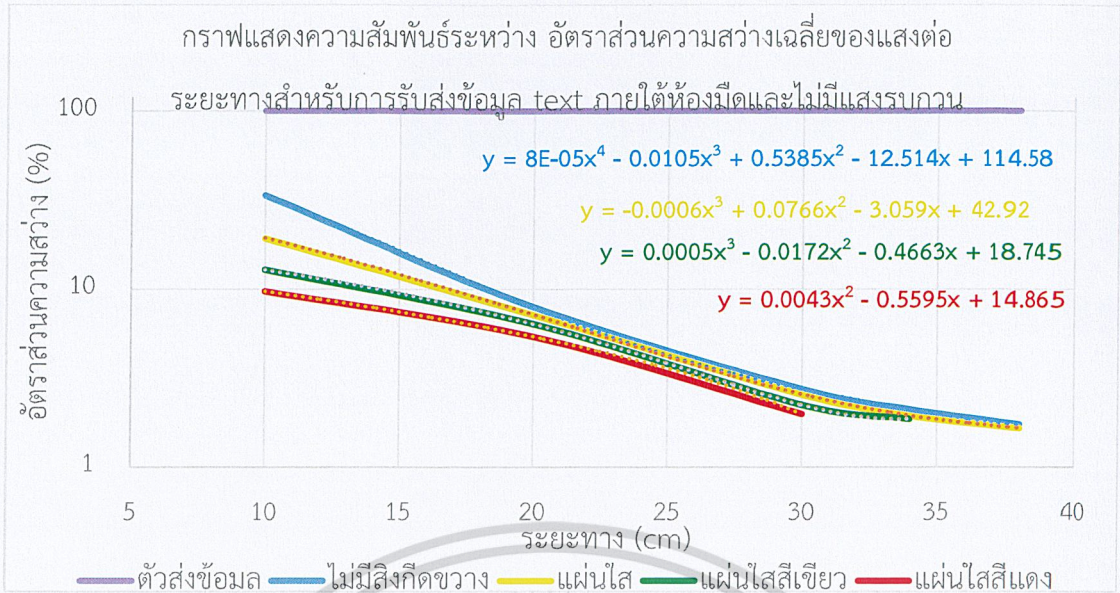
4.4 กราฟที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลอง

เป็นการแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการส่งข้อมูล text จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ที่อยู่ในสภาพแสงที่แตกต่างกัน



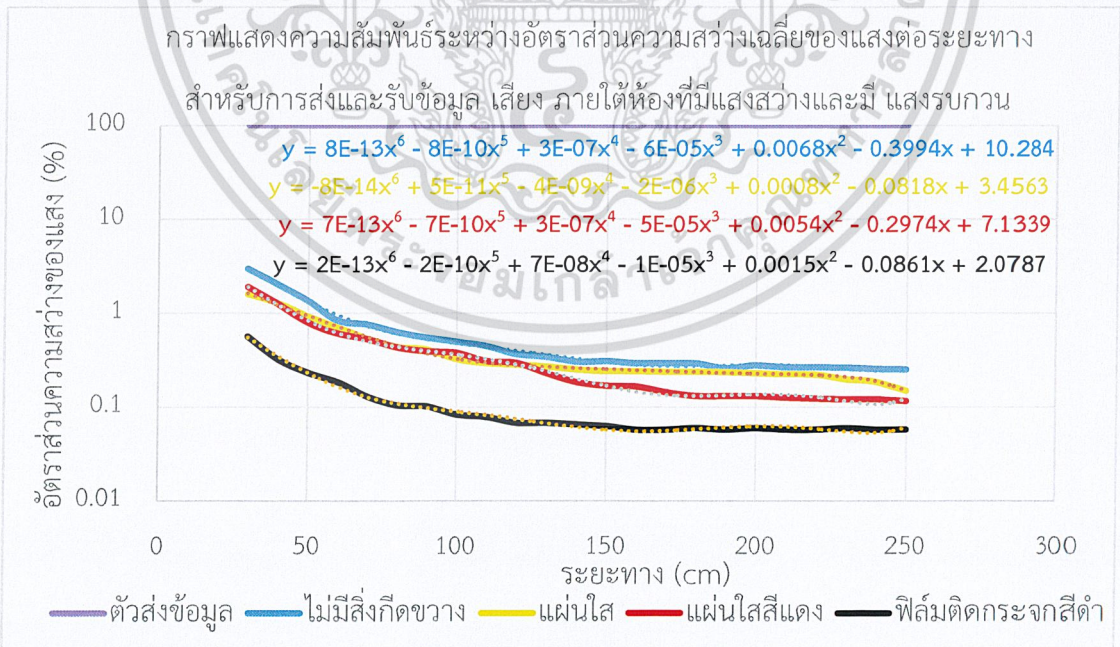
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล text จากตารางที่ 4.3.1 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
 ไม่มีการแก้ไข ฟังชั่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเฉลี่ยความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่ง text จากตารางที่ 4.3.2 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

ลำดับต่อไปเป็น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.3.5 และ 4.3.6 ซึ่งอยู่ในสภาพแสงที่แตกต่างกัน

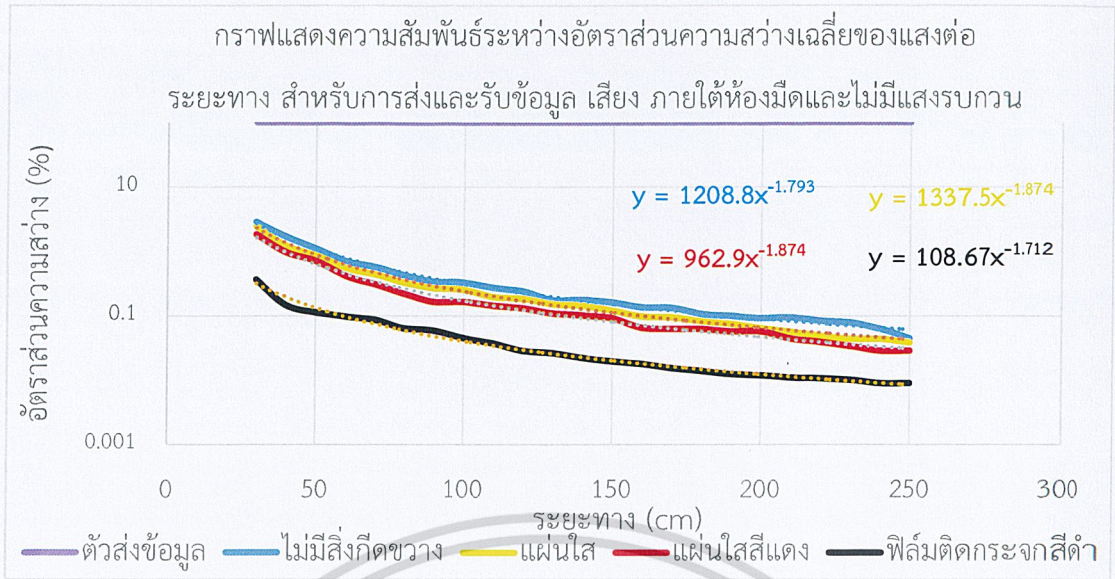


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง

สำหรับการรับส่งข้อมูลเสียง จากตารางที่ 4.3.3 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวน

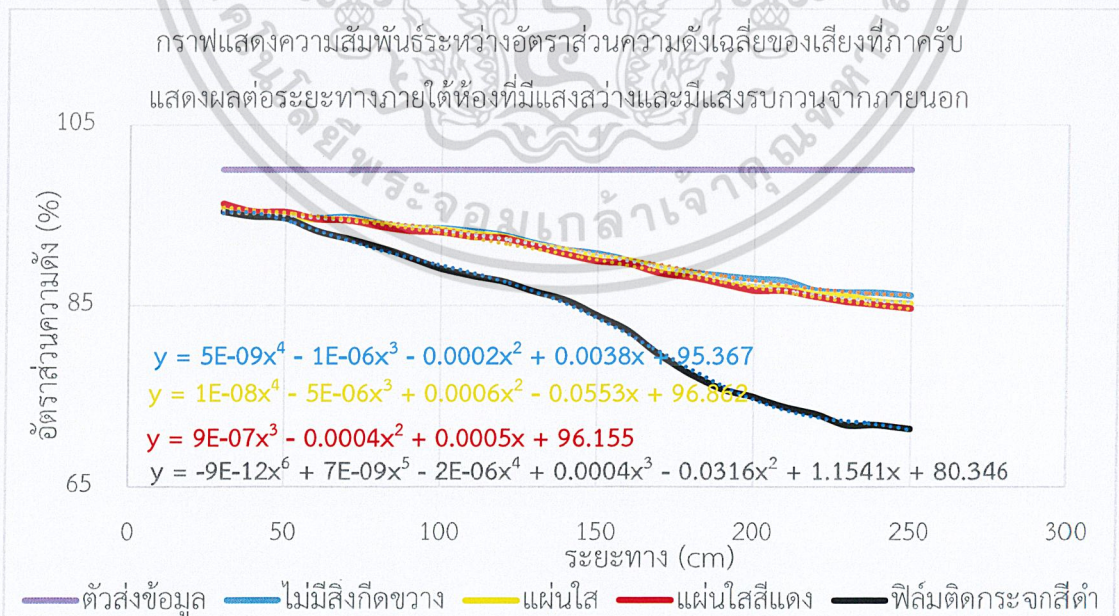
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากภายนอก ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

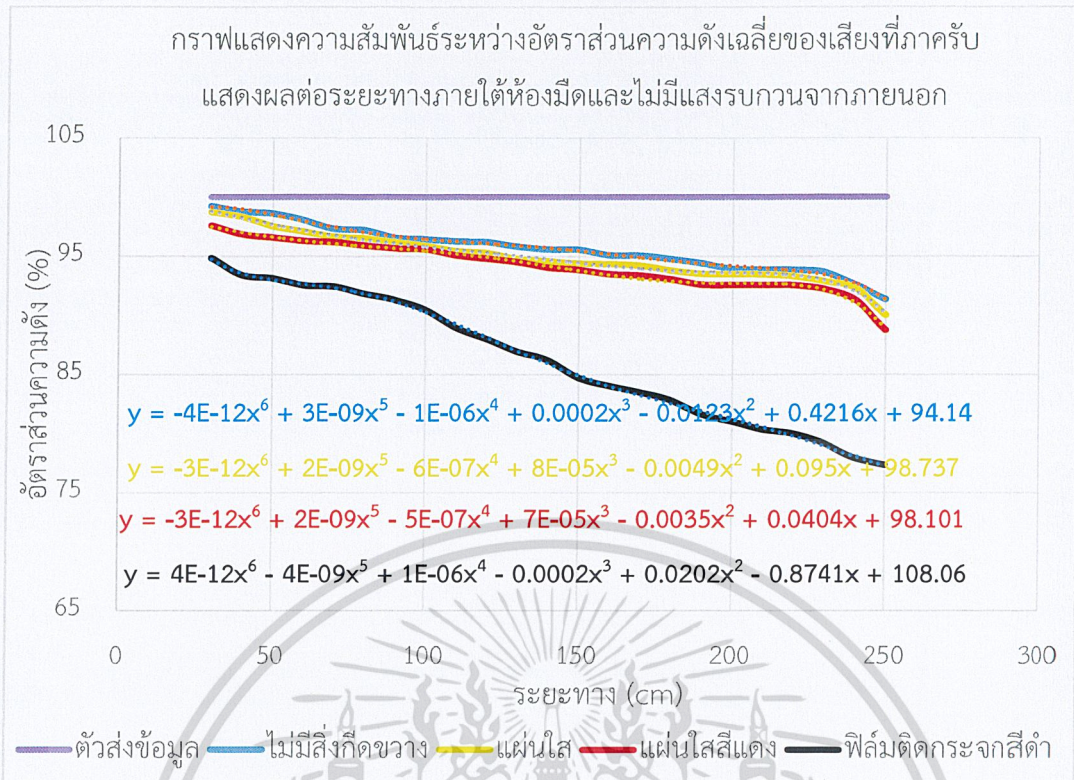


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างเฉลี่ยของแสงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูลเสียง จากตารางที่ 4.3.4 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

ต่อมาเป็น กราฟที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.3.5 และ 4.3.6 โดยเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงต่อระยะทาง สำหรับการรับส่งข้อมูล เสียง ที่อยู่ในสภาพแสงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดังเฉลี่ยของเสียงต่อระยะทาง จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตารางที่ 4.3.5 ที่อยู่ภายใต้ห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความถี่เสียงต่อระยะทาง จาก ตารางที่ 4.3.6 ที่อยู่ภายใต้ห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองรับส่งข้อมูล text และข้อมูลเสียงผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ ที่ควบคุมการทำงานโดย Arduino โดยใช้ LED ที่มีกำลังไฟฟ้า 6 วัตต์ 12 โวลต์ ในการส่งข้อมูลออกมาเป็นแสงขาวซึ่งอยู่ในย่าน Visible Light และมีเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 15.5×15.5 เซนติเมตร ในการรับข้อมูลที่ส่งมาผ่านแสงขาว โดยมีการเก็บผลการทดลองจากระยะทางการสื่อสารข้อมูลและสภาพแสงสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีการทดลองโดยมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงในการทดลอง ซึ่งพบว่า เมื่อระยะทางการสื่อสารที่เพิ่มขึ้นและมีสภาพแสงสิ่งแวดล้อมที่สว่าง มีแสงรบกวนจากภายนอก ทำให้ความสว่างจากหลอด LED จากตัวส่ง ที่ภาครับสามารถรับได้มีความสว่างลดลง โดยวัดค่าความสว่างได้จากลักซ์มิเตอร์ ทำให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารลดลง สำหรับการรับส่งข้อมูล text ทำให้ระยะทางการสื่อสารสั้นลง และสำหรับการรับส่งข้อมูลเสียง ทำให้ความดังของภาครับที่แสดงผลออกมามีเสียงที่เบาลง โดยวัดค่าความดังเสียงได้จาก เครื่องวัดความดังเสียง

การรับส่งข้อมูล text จากผลการทดลองพบว่า จากการทำการทดลองเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางและมีสิ่งกีดขวาง ในห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก จะมีประสิทธิภาพในการสื่อสารดีกว่าและมีระยะการสื่อสารที่มากกว่าการทำการทดลองในห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก เนื่องจากในสภาพแสงที่น้อยจะทำให้ความเข้มแสงที่ภาครับน้อยลง เมื่อทำการทดลองโดยมีสิ่งกีดขวางอยู่ระหว่างกึ่งกลางระยะทางการสื่อสาร พบว่า เมื่อมีสิ่งกีดขวางโปร่งแสงจะสามารถเปรียบเทียบกันได้แค่แผ่นใสโปร่งแสงสีเขียวและแผ่นใสโปร่งแสงสีแดง เนื่องจากมีความหนาที่เท่ากัน ซึ่งแผ่นใสโปร่งแสงสีเขียวจะมีประสิทธิภาพในการสื่อสารที่ดีกว่า ในส่วนของการใช้แผ่นใสโปร่งแสงเมื่อมีระยะห่างระหว่างตัวรับส่งข้อมูลประสิทธิภาพในการสื่อสารจะลดลง โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสง เมื่อมีระยะห่างการรับส่งข้อมูลมากขึ้น มีแนวโน้มลดลงแบบโพลีโนเมียลแบบยกกำลังหก

การรับส่งข้อมูลเสียง จากผลการทดลองพบว่า จากการทำการทดลองเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางและมีสิ่งกีดขวาง ในห้องมืดและไม่มีแสงรบกวนจากภายนอก ค่าความสว่างที่วัดได้จากห้องที่สว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอกจะมีค่ามากกว่าห้องที่มืดและไม่มีแสงรบกวน เนื่องจากมีการวัดจากที่ภายนอกเข้ามาด้วย ในส่วนของค่าความดังที่วัดได้ในหน่วยเดซิเบล(dB)ในห้องที่มืดและไม่มีแสงรบกวน มีแนวโน้มของค่าความดังที่มากกว่าในห้องที่มีแสงสว่างและมีแสงรบกวนจากภายนอก ส่วน

การรับส่งข้อมูลเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ระหว่างกึ่งกลางระยะทางการสื่อสาร พบว่า การใช้แผ่นใส โปร่งแสง แผ่นโปร่งแสงใสสีแดง และฟิล์มติดกระจกสีดำ เมื่อระยะห่างระหว่างตัวรับส่งข้อมูล ประสิทธิภาพในการสื่อสารจะลดลง ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความสว่างและความดังของเสียง เมื่อระยะห่างการรับส่งข้อมูลเสียงมากขึ้น มีแนวโน้มลดลงแบบโพลีโนเมียลแบบยกกำลังหก

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำอุปกรณ์ในโครงงานนี้ไปพัฒนาต่อยอด ควรมีแนวทางการศึกษา นำไปพัฒนา และ แก้ปัญหามี่ดังนี้

1. ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาควรศึกษาการใช้ Arduino และศึกษาการเขียนCode ภาษา C/C++ เพื่อที่จะ สามารถประยุกต์ใช้ Arduino กับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้กับ Arduinoได้ และสามารถประยุกต์ Code ที่ เขียนขึ้นมาใช้ได้อย่างถูกต้อง
2. การพัฒนาชุดส่งข้อมูลให้สามารถส่งทั้งข้อมูลข้อความและเสียงโดยมีหน้าจอ LCD หรือ OLED เพียง 1 ชั้น และ keypad เพียง 1 ชั้น
3. การพัฒนาฟังก์ชันในการเลือกข้อมูลเสียงที่ส่งออก สามารถแสดงผลได้ทุกเพลง แล้วสามารถเลือก ข้อมูลเสียงที่เล่นได้ มีฟังก์ชันที่แสดงผลหน้าจอข้อมูลเสียง ถอยหลังข้อมูลเสียง และการแสดงระดับ เสียงที่เล่น โดยแสดงที่หน้าจอได้สมบูรณ์เปรียบเสมือนเครื่องเล่นเพลงชนิดหนึ่งได้
4. ควรพัฒนาในส่วนของการส่งข้อมูลข้อความให้สามารถส่งได้ในระยะที่ไกลมากกว่าเดิน และลดค่า การผิดเพี้ยนของข้อมูลข้อความให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] FIREFLY WIRELESS NETWORKS. 2562. **Visible Light Communications**. [Online]. Available : <https://www.fireflylifi.com/visible-light-communications.html>.
- [2] ลีฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ. 2558. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] วิโรจน์ กิตติวรปรีดา. 2562. **เอกสารประกอบการสอน วิชา ไมโครคอนโทรลเลอร์**. [Online]. Available: <http://www.rtc.ac.th/vcharkarn>.
- [4] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. 2562. **บทความ Arduino คืออะไร**. [Online]. Available : <https://thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics>.
- [5] จีราวุธ วารินทร์. 2561. **Arduino UNO พื้นฐานสำหรับการใช้งาน IOT**. กรุงเทพฯ : รีไวว่า.
- [6] RAVI. 2560. **LED–Light Emitting Diode**. [Online]. Available : <https://www.electronicshub.org/led-light-emitting-diode>.
- [7] วิฑิต วรรณเลิศลักษณ์. 2560. **หลอดไฟแอลอีดี (LED)**. [Online]. Available : <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7276-led>.
- [8] TREE HUGGERS UNITED. 2560. **Modern Solar Cell**. [Online]. Available : <https://saratahir19.wixsite.com/The-Science-behind-the-Modern-Solar-Cell>.
- [9] ภาสกร ดั่งสมัคร. 2560. **เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)**. [Online]. Available: <http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.html>.
- [10] บริษัท อาศรมลาปเป็ด อินเทอร์เน็ต มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. **ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์**. [Online]. Available : <https://solarcellthailand96.com/knowledge/what-solar-cell>.
- [11] เคแอลซี ไบรท์. 2560. **แผงโซลาร์เซลล์โมโนกับโพลีหรืออะมอร์ฟัส**. [Online]. Available: <https://www.klcbright.com/solarcellpanel-mono-poly-thinfilm.php>.
- [12] Dfrobot. 2562. **DFPlayer MiniMP3 Player**. [Online]. Available : https://dfrobot.com/DFPlayer_Mini_SKU:DFR0299.
- [13] ชัยวุฒิ แก้วแกมทอง. 2561. **Keypad 4x4**. [Online]. Available : <http://bankaazz123.blogspot.com>.
- [14] พันพงษ์ ภูรักษา. 2562. **การแสดงผลด้วยจอ LCD ของ Arduino**. [Online]. Available: <http://www.sbt.ac.th>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15]CRAIG FREUDENRICH. 2562. **How OLEDs Work.** [Online]. Available : <https://electronics.howstuffworks.com/oled1.html>.
- [16]Vega, P. R. Jinyoung, A. Pham, N. Q. Wan-Young, C. 2017. “A Novel Smartphone Camera-LED Communication for Clinical Signal Transmission in mHealth Rehabilitation System.” in the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 3437-3440.
- [17]Mohana, K. Sudharsana, P. Dr.Gulam, N. A. Balaji, R. Logesh, S. 2018. “Audio Transmission through Free Space Optics using Visible Light.” in InternationalJournal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET). 153-156.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899)

This 16-button keypad provides a useful human interface component for microcontroller projects. Convenient adhesive backing provides a simple way to mount the keypad in a variety of applications.

Features

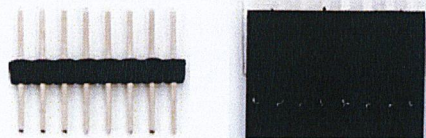
- Ultra-thin design
- Adhesive backing
- Excellent price/performance ratio
- Easy interface to any microcontroller
- Example programs provided for the BASIC Stamp 2 and Propeller P8X32A microcontrollers

Key Specifications

- Maximum Rating: 24 VDC, 30 mA
- Interface: 8-pin access to 4x4 matrix
- Operating temperature: 32 to 122 °F (0 to 50°C)
- Dimensions:
 Keypad, 2.7 x 3.0 in (6.9 x 7.6 cm)
 Cable: 0.78 x 3.5 in (2.0 x 8.8 cm)

Application Ideas

- Security systems
- Menu selection
- Data entry for embedded systems



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

How it Works

Matrix keypads use a combination of four rows and four columns to provide button states to the host device, typically a microcontroller. Underneath each key is a pushbutton, with one end connected to one row, and the other end connected to one column. These connections are shown in Figure 1.

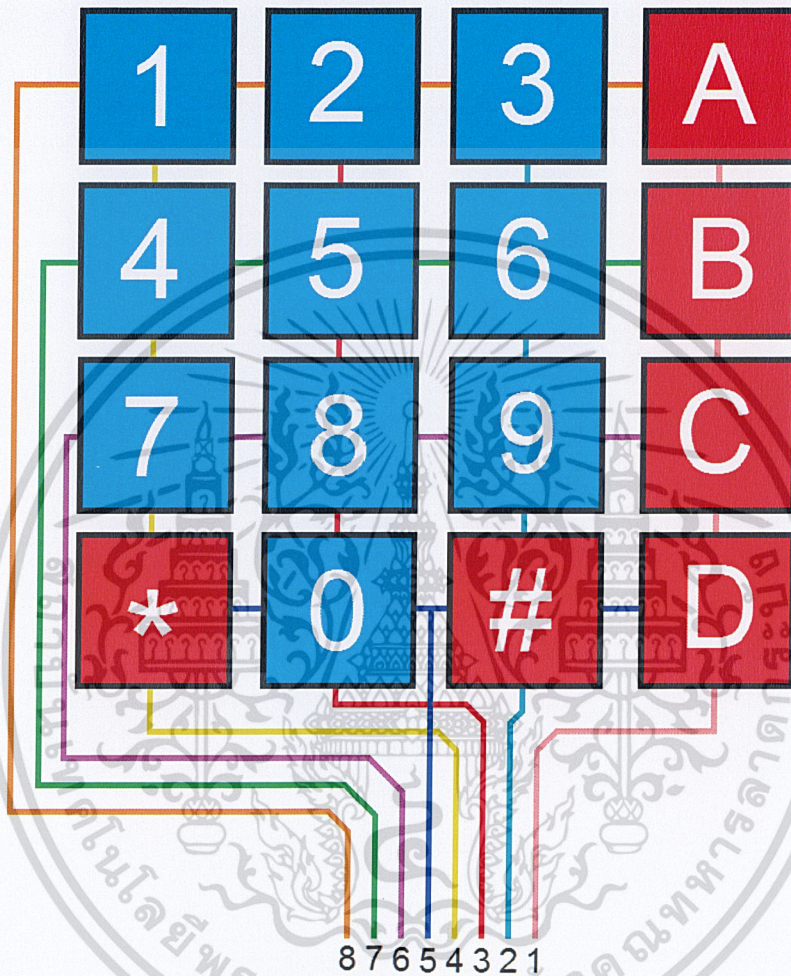


Figure 1: Matrix Keypad Connections

In order for the microcontroller to determine which button is pressed, it first needs to pull each of the four columns (pins 1-4) either low or high one at a time, and then poll the states of the four rows (pins 5-8). Depending on the states of the columns, the microcontroller can tell which button is pressed.

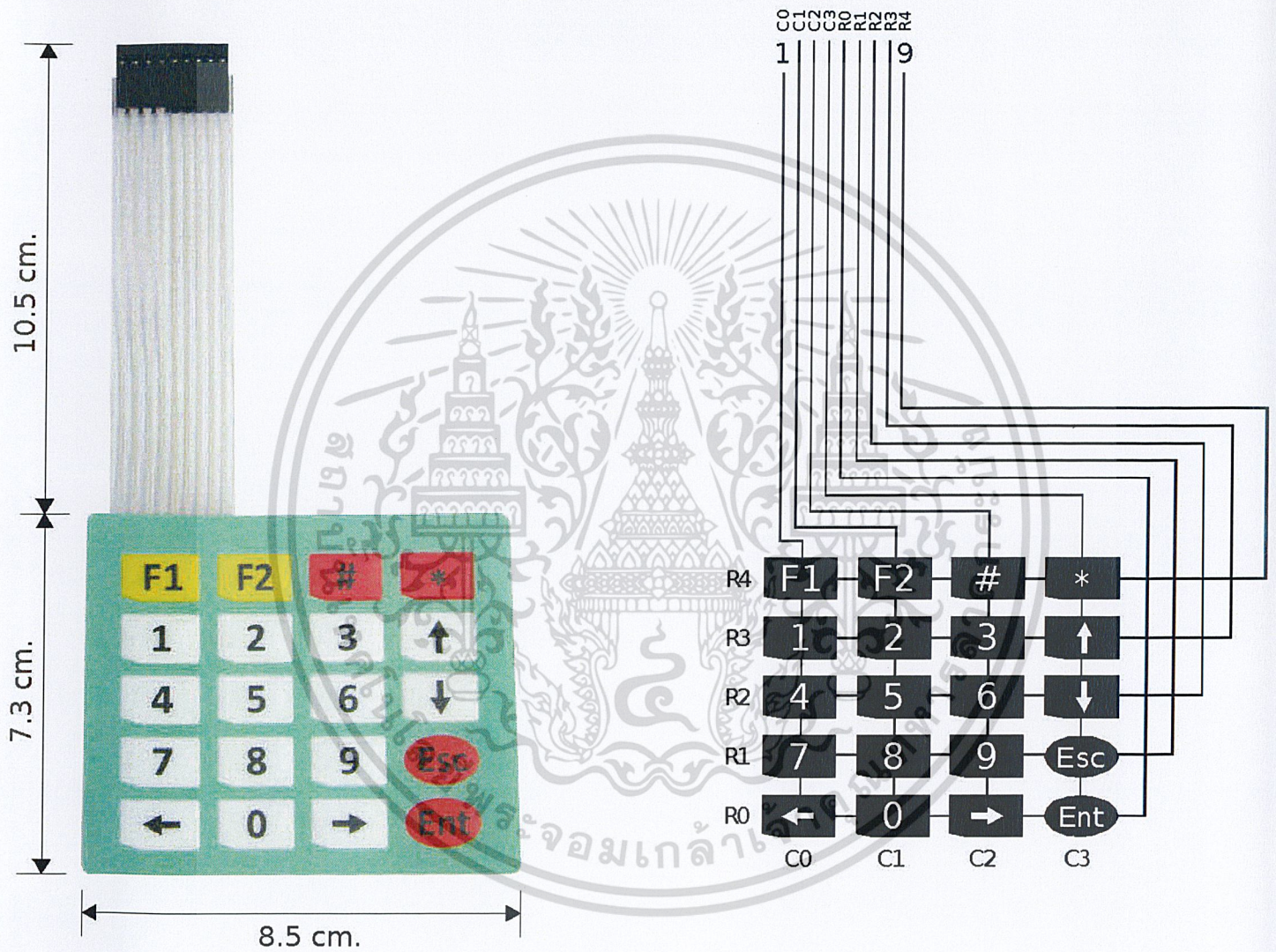
For example, say your program pulls all four columns low and then pulls the first row high. It then reads the input states of each column, and reads pin 1 high. This means that a contact has been made between column 4 and row 1, so button 'A' has been pressed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

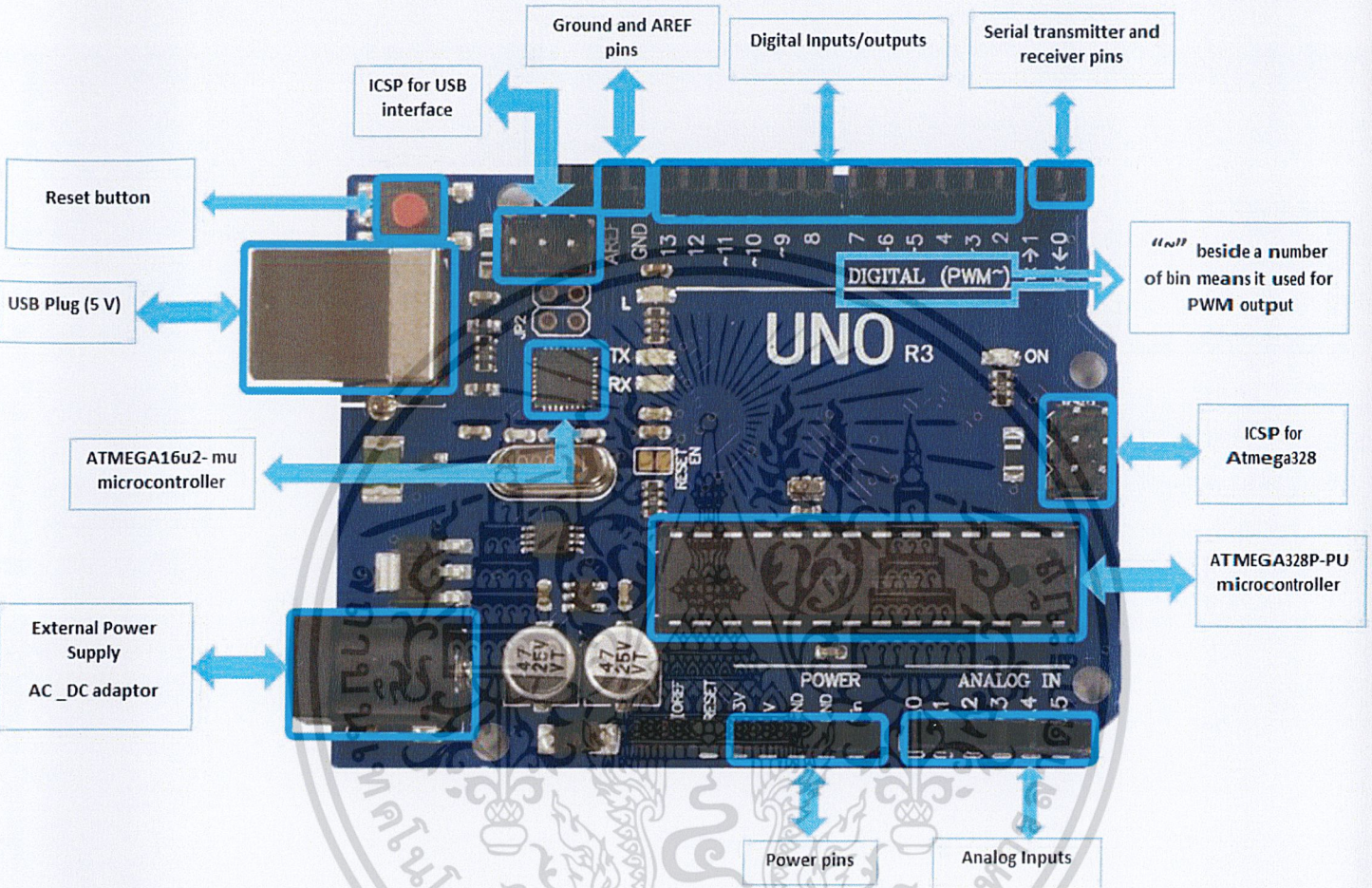
KEY SPECIFICATIONS

- Interface : 1x9 Female Header, Pitch 2.54 mm.
- 4x5 Matrix Membrane
- Cable Length 10.5 cm.
- Dimension Size : 8.5 x 7.3 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Uno R3



INTRODUCTION

Arduino is used for building different types of electronic circuits easily using of both a physical programmable circuit board usually microcontroller and piece of code running on computer with USB connection between the computer and Arduino.

Programming language used in Arduino is just a simplified version of C++ that can easily replace thousands of wires with words.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS

ATMEGA328P-PU microcontroller

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR

- Advanced RISC Architecture

- 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
- 32 x 8 General Purpose Working Registers
- Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
- On-chip 2-cycle Multiplier

- High Endurance Non-volatile Memory Segments

- 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
- 256/512/512/1K Bytes EEPROM
- 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
- Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
- Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by On-chip Boot Program
- True Read-While-Write Operation
- Programming Lock for Software Security

- Peripheral Features

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Six PWM Channels
- 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
- Temperature Measurement
- 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
- Temperature Measurement
- Programmable Serial USART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Master/Slave SPI Serial Interface
- Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I2 C compatible)
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator
- Interrupt and Wake-up on Pin Change

• Special Microcontroller Features

- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby

• I/O and Packages

- 23 Programmable I/O Lines
- 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF

• Operating Voltage:

- 1.8 - 5.5V

• Temperature Range:

- -40°C to 85°C

• Speed Grade:

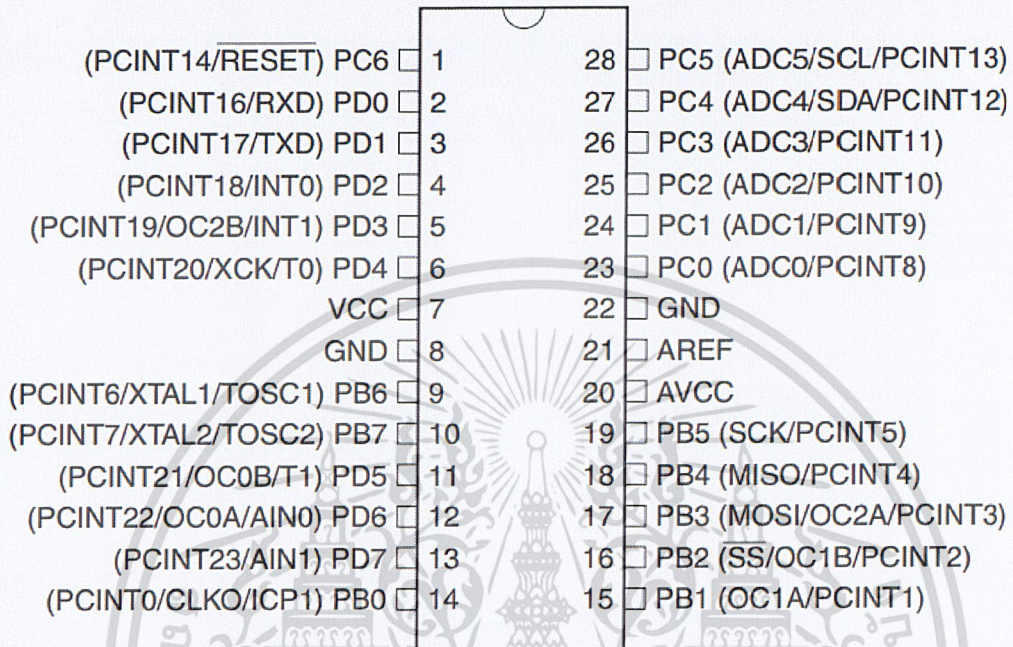
- 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5.V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V

• Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C

- Active Mode: 0.2 mA
- Power-down Mode: 0.1 μ A
- Power-save Mode: 0.75 μ A (Including 32 kHz RTC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pin configuration



ATMEGA16u2- mu microcontroller

Is a 8-bit microcontroller used as USB driver in Arduino uno R3 it's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 125 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz

- Non-volatile Program and Data Memories

- 8K/16K/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
- 512/512/1024 EEPROM
- 512/512/1024 Internal SRAM
- Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
- Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by on-chip Boot Program hardware-activated after reset
- Programming Lock for Software Security
- **USB 2.0 Full-speed Device Module with Interrupt on Transfer Completion**
 - Complies fully with Universal Serial Bus Specification REV 2.0
 - 48 MHz PLL for Full-speed Bus Operation: data transfer rates at 12 Mbit/s
 - Fully independent 176 bytes USB DPRAM for endpoint memory allocation
 - Endpoint 0 for Control Transfers: from 8 up to 64-bytes
 - 4 Programmable Endpoints:
 - IN or Out Directions
 - Bulk, Interrupt and Isochronous Transfers
 - Programmable maximum packet size from 8 to 64 bytes
 - Programmable single or double buffer
 - Suspend/Resume Interrupts
 - Microcontroller reset on USB Bus Reset without detach
 - USB Bus Disconnection on Microcontroller Request
- **Peripheral Features**
 - One 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode (two 8-bit PWM channels)
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Mode (three 8-bit PWM channels)
 - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **On Chip Debug Interface (debug WIRE)**
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-On Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 22 Programmable I/O Lines
 - QFN32 (5x5mm) / TQFP32 packages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Operating Voltages

- 2.7 - 5.5V

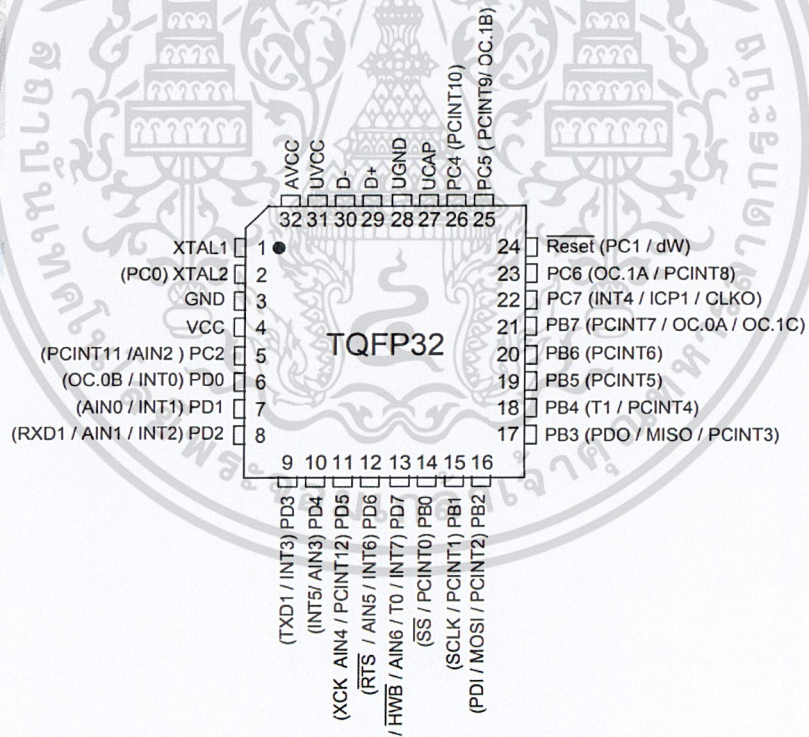
- Operating temperature

- Industrial (-40°C to +85°C)

- Maximum Frequency

- 8 MHz at 2.7V - Industrial range
- 16 MHz at 4.5V - Industrial range

- Pin configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OTHER ARDUINO UNO R3 PARTS

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 k Ohms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These 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.
- 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 using the SPI library.
- 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.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support 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.

1. Summary

1.1 .Brief Instruction

DFPLayer Mini module is a serial MP3 module provides the perfect integrated MP3, WMV hardware decoding. While the software supports TF card driver, supports FAT16, FAT32 file system. Through simple serial commands to specify music playing, as well as how to play music and other functions, without the cumbersome underlying operating, easy to use, stable and reliable are the most important features of this module.

1.2 .Features

- Support Mp3 and WMV decoding
- Support sampling rate of 8KHz,11.025KHz,12KHz,16KHz,22.05KHz,24KHz,32KHz,44.1KHz,48KHz
- 24-bit DAC output, dynamic range support 90dB, SNR supports 85dB
- Supports FAT16, FAT32 file system, maximum support 32GB TF card
- A variety of control modes, serial mode, AD key control mode
- The broadcast language spots feature, you can pause the background music being played
- Built-in 3W amplifier
- The audio data is sorted by folder; supports up to 100 folders, each folder can be assigned to 1000 songs
- 30 levels volume adjustable, 10 levels EQ adjustable.

1.3 .Application

- Car navigation voice broadcast
- Road transport inspectors, toll stations voice prompts
- Railway station, bus safety inspection voice prompts
- Electricity, communications, financial business hall voice prompts
- Vehicle into and out of the channel verify that the voice prompts
- The public security border control channel voice prompts
- Multi-channel voice alarm or equipment operating guide voice
- The electric tourist car safe driving voice notices
- Electromechanical equipment failure alarm
- Fire alarm voice prompts
- The automatic broadcast equipment, regular broadcast.

2. Module Application Instruction

2.1. Specification Description

Item	Description
MP3Format	1、 Support 11172-3 and ISO13813-3 layer3 audio decoding
	2、 Support sampling rate (KHZ):8/11.025/12/16/22.05/24/32/44.1/48
	3、 Support Normal、 Jazz、 Classic、 Pop、 Rock etc
UART Port	Standard Serial; TTL Level; Baud rate adjustable(default baud rate is 9600)
Working Voltage	DC3.2~5.0V; Type :DC4.2V
Standby Current	20mA
Operating Temperature	-40~+70
Humidity	5% ~95%

Table 2.1 Specification Description

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 .Pin Description

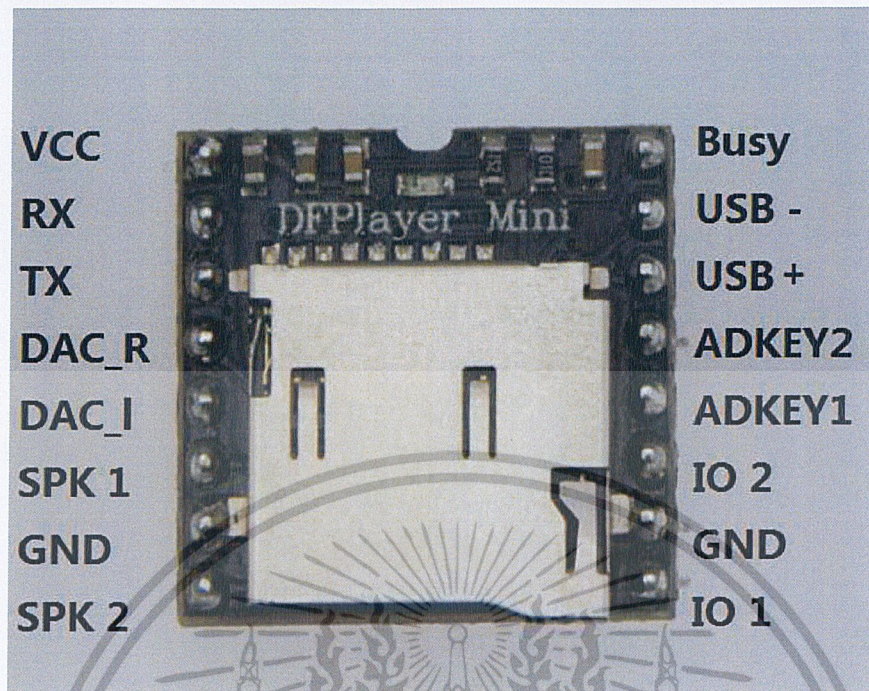


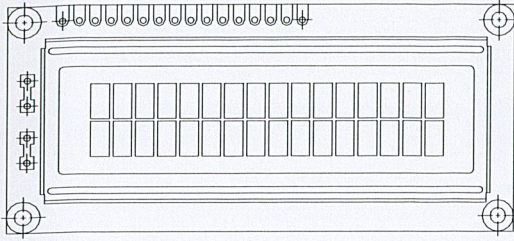
Figure 2.1

No	Pin	Description	Note
1	VCC	Input Voltage	DC3.2~5.0V;Type: DC4.2V
2	RX	UART serial input	
3	TX	UART serial output	
4	DAC_R	Audio output right channel	Drive earphone and amplifier
5	DAC_L	Audio output left channel	Drive earphone and amplifier
6	SPK2	Speaker-	Drive speaker less than 3W
7	GND	Ground	Power GND
8	SPK1	Speaker+	Drive speaker less than 3W
9	IO1	Trigger port 1	Short press to play previous (long press to decrease volume)
10	GND	Ground	Power GND
11	IO2	Trigger port 2	Short press to play next (long press to increase volume)
12	ADKEY1	AD Port 1	Trigger play first segment
13	ADKEY2	AD Port 2	Trigger play fifth segment
14	USB+	USB+ DP	USB Port
15	USB-	USB- DM	USB Port
16	BUSY	Playing Status	Low means playing \High means no

Table 2.2 Pin Description

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 x 2 Character LCD


FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

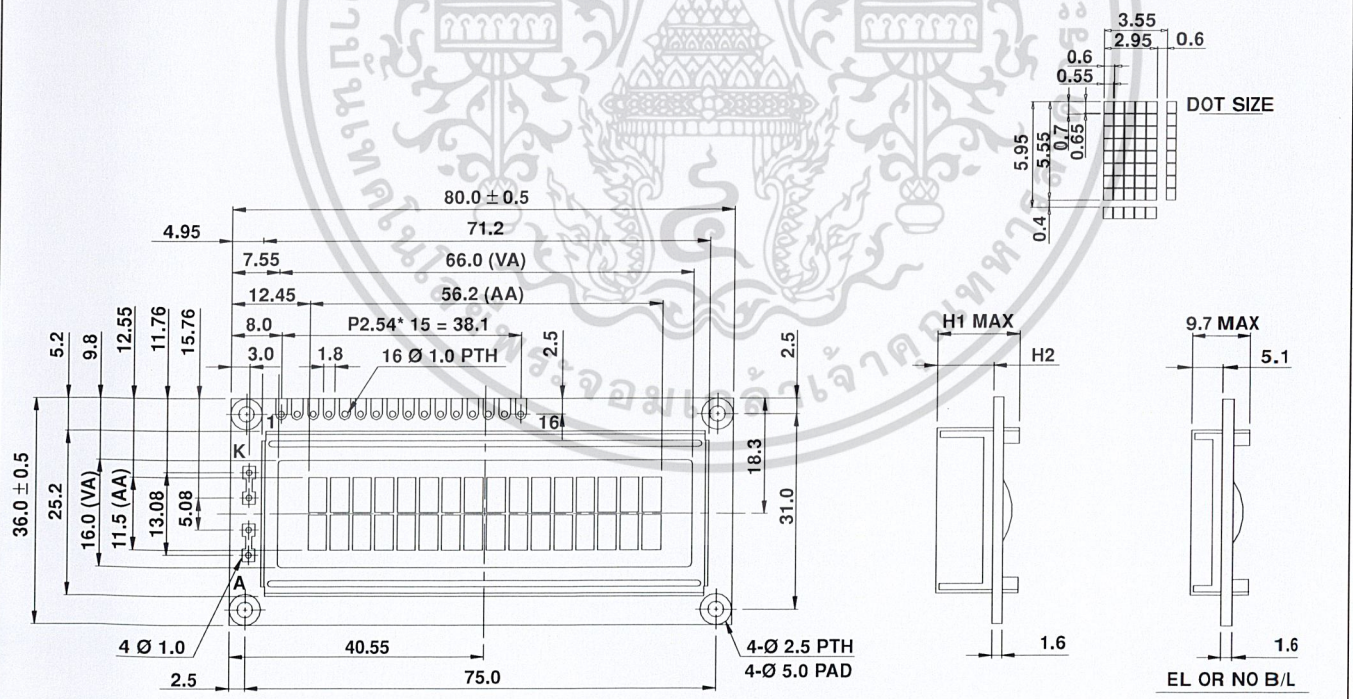
NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS						
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20°C	-	-	-	V
		0°C	4.2	4.8	5.1	
		25°C	3.8	4.2	4.6	
		50°C	3.6	4.0	4.4	
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V
LED Forward Current	IF	25°C	Array	130	260	mA
			Edge	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

DIMENSIONS in millimeters



LED - H/L B/L		
	HIGH	LOW
H1	13.2	12.1
H2	8.6	7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกจำหน่ายให้ด้วยฉบับนี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

Merlox

ADVANCE LED

MR16C

6W 12V AC/DC

Base: GU5.3

Color: Daylight 6500K

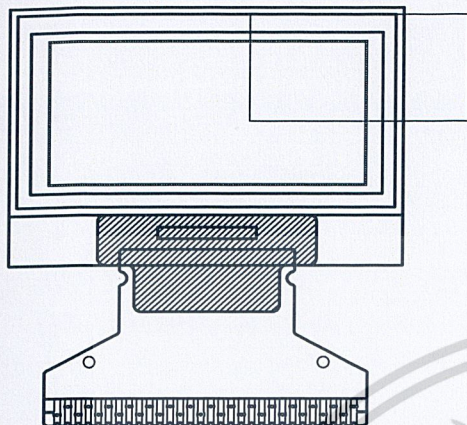
Lumen: 470lm

Beam: Flood 40°

6W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

128 x 64 Graphic OLED



FEATURES

- Type: graphic
- Display format: 128 x 64 dots
- Built-in controller: SSD1306BZ
- Duty cycle: 1/64
- +3 V power supply
- Interface: 6800, 8080, serial, and I²C
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912


RoHS
COMPLIANT

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module dimension	26.7 x 19.26 x 1.65	mm
Viewing area	23.938 x 12.058	
Active area	21.738 x 10.858	
Dot size	0.148 x 0.148	
Dot pitch	0.17 x 0.17	
Mounting hole	n/a	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE		UNIT
		MIN.	MAX.	
Supply voltage for logic ⁽¹⁾⁽²⁾	V _{DD}	0	4	V
Supply voltage for display ⁽¹⁾⁽²⁾	V _{CC}	0	15	
Operating temperature	T _{OP}	-40	+80	°C
Storage temperature	T _{STG}	-40	+80	

Notes

- ⁽¹⁾ All the above voltages are on the basis of "V_{SS} = 0 V".
- ⁽²⁾ When this module is used beyond the above absolute maximum ratings, permanent breakage of the module may occur. Also, for normal operations, it is desirable to use this module under the conditions according to section 6 "Electrical Characteristics". If this module is used beyond these conditions, malfunctioning of the module can occur and the reliability of the module may deteriorate.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Supply voltage for logic	V _{DD}	-	2.8	3.0	3.3	V
Supply voltage for display	V _{CC}	-	10	12	15	
Input high voltage	V _{IH}	-	0.8 V _{DD}	-	V _{DDI/O}	
Input low voltage	V _{IL}	-	0	-	0.2 V _{DD}	
Output high voltage	V _{OH}	-	0.9 V _{DD}	-	V _{DDI/O}	
Output low voltage	V _{OL}	-	0	-	0.1 V _{DD}	
50 % check board operating current	I _{CC}	V _{CC} = 12 V	9	10	12	mA

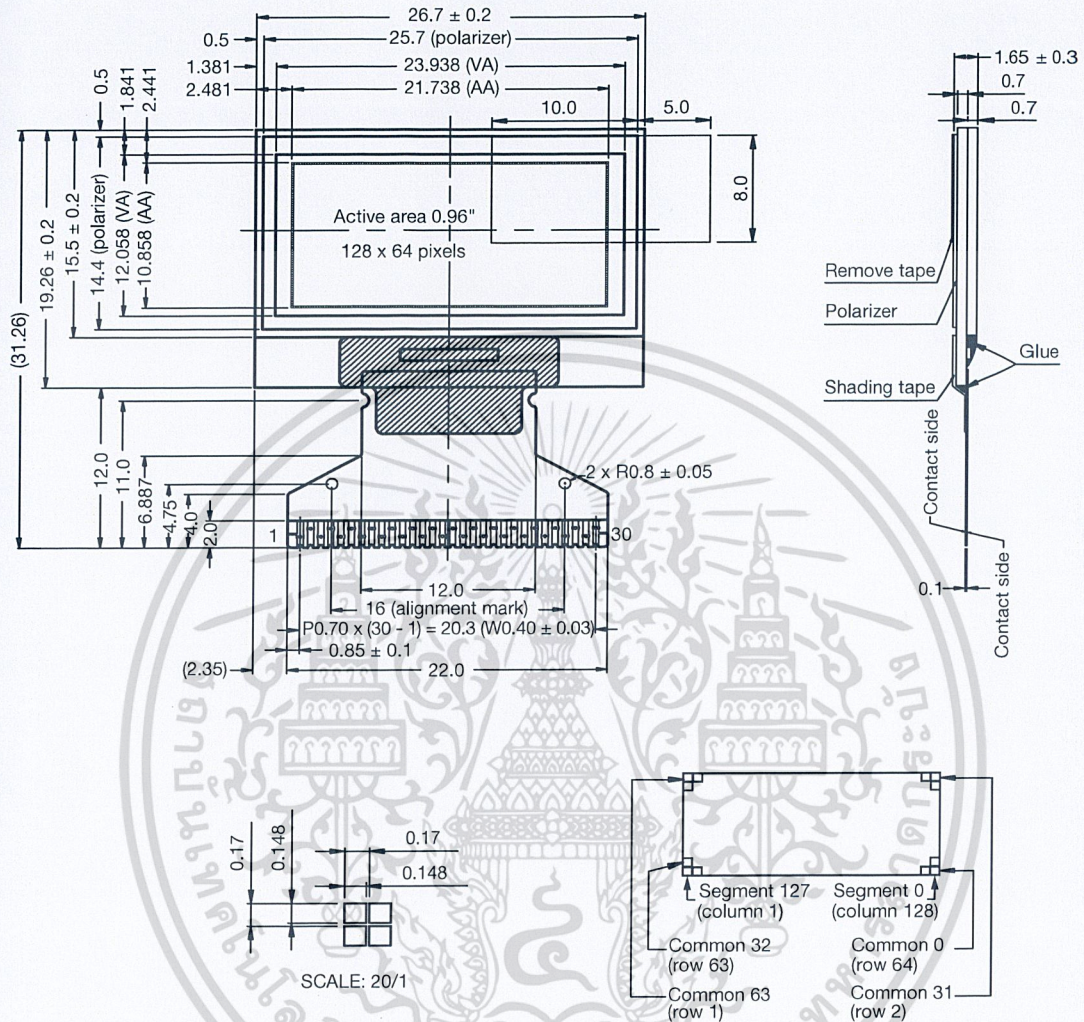
OPTIONS				
EMITTING COLOR				
YELLOW	GREEN	RED	BLUE	WHITE
-	-	-	Yes	-



INTERFACE PIN FUNCTION

PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION																								
1	NC (GND)	Reserved pin (supporting pin) The supporting pins can reduce the influences from stresses on the function pins. These pins must be connected to external ground.																								
2	C2N	Positive terminal of the flying inverting capacitor negative terminal of the flying boost capacitor The charge-pump capacitors are required between the terminals. They must be floated when the converter is not used.																								
3	C2P																									
4	C1P																									
5	C1N																									
6	V _{BAT}	Power supply for DC/DC converter circuit This is the power supply pin for the internal buffer of the DC/DC voltage converter. It must be connected to external source when the converter is used. It should be connected to V _{DD} when the converter is not used.																								
7	NC	NC																								
8	V _{SS}	Ground of logic circuit This is a ground pin. It also acts as a reference for the logic pins. It must be connected to external ground.																								
9	V _{DD}	Power supply for logic circuit. This is a voltage supply pin. It must be connected to external source.																								
10	BS0	Communicating protocol select These pins are MCU interface selection input. See the following table:																								
11	BS1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>I²C</th> <th>3-wire SPI</th> <th>4-wire SPI</th> <th>8-bit 68XX parallel</th> <th>8-bit 80XX parallel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BS0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>BS1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>BS2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		I ² C	3-wire SPI	4-wire SPI	8-bit 68XX parallel	8-bit 80XX parallel	BS0	0	1	0	0	0	BS1	1	0	0	0	1	BS2	0	0	0	1	1
	I ² C	3-wire SPI	4-wire SPI	8-bit 68XX parallel	8-bit 80XX parallel																					
BS0	0	1	0	0	0																					
BS1	1	0	0	0	1																					
BS2	0	0	0	1	1																					
12	BS2																									
13	CS#	Chip select This pin is the chip select input. The chip is enabled for MCU communication only when CS# is pulled low.																								
14	RES#	Power reset for controller and driver This pin is reset signal input. When the pin is low, initialization of the chip is executed.																								
15	D/C#	Data / command control This pin is data / command control pin. When the pin is pulled high, the input at D7 to D0 is treated as display data. When the pin is pulled low, the input at D7 to D0 will be transferred to the command register. For detail relationship to MCU interface signals, please refer to the timing characteristics diagrams. When the pin is pulled high and serial interface mode is selected, the data at SDIN is treated as data. When it is pulled low, the data at SDIN will be transferred to the command register. In I ² C mode, this pin acts as SA0 for slave address selection.																								
16	R/W#	Read / write select or write This pin is MCU interface input. When interfacing to a 68XX-series microprocessor, this pin will be used as read / write (R/W#) selection input. Pull this pin to "high" for read mode and pull it to "low" for write mode. When 80XX interface mode is selected, this pin will be the write (WR#) input. Data write operation is initiated when this pin is pulled low and the CS# is pulled low.																								
17	E/RD#	Read / write enable or read This pin is MCU interface input. When interfacing to a 68XX-series microprocessor, this pin will be used as the enable (E) signal. Read / write operation is initiated when this pin is pulled high and the CS# is pulled low. When connecting to an 80XX-microprocessor, this pin receives the read (RD#) signal. Data read operation is initiated when this pin is pulled low and CS# is pulled low.																								
18 to 25	D0 to D7	Host data input / output bus These pins are 8-bit bi-directional data bus to be connected to the microprocessor's data bus. When serial mode is selected, D1 will be the serial data input SDIN and D0 will be the serial clock input SCLK. When I ² C mode is selected, D2 and D1 should be tied together and serve as SDA _{out} and SDA _{in} in application and D0 is the serial clock input SCL.																								
26	I _{REF}	Current reference for brightness adjustment This pin is segment current reference pin. A resistor should be connected between this pin and V _{SS} . Set the current lower than 12.5 μA.																								
27	V _{COMH}	Voltage output high level for COM signal This pin is the input pin for the voltage output high level for COM signals. A capacitor should be connected between this pin and V _{SS} .																								
28	V _{CC}	Power supply for OEL panel This is the most positive voltage supply pin of the chip. A stabilization capacitor should be connected between this pin and V _{SS} when the converter is used. It must be connected to external source when the converter is not used.																								
29	V _{LSS}	Ground of analog circuit This is an analog ground pin. It should be connected to V _{SS} externally.																								
30	NC (GND)	Reserved pin (supporting pin) The supporting pins can reduce the influences from stresses on the function pins. These pins must be connected to external ground.																								

DIMENSIONS in millimeters



The non-specified tolerance of dimension is ± 0.3 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

FILTERLESS 3W CLASS-D STEREO AUDIO AMPLIFIER

Description

The PAM8403 is a 3W, class-D audio amplifier. It offers low THD+N, allowing it to achieve high-quality sound reproduction. The new filterless architecture allows the device to drive the speaker directly, requiring no low-pass output filters, thus saving system cost and PCB area.

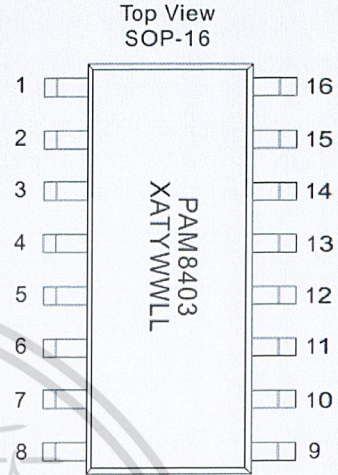
With the same numbers of external components, the efficiency of the PAM8403 is much better than that of Class-AB cousins. It can extend the battery life, which makes it well-suited for portable applications.

The PAM8403 is available in SOP-16 package.

Features

- 3W Output at 10% THD with a 4Ω Load and 5V Power Supply
- Filterless, Low Quiescent Current and Low EMI
- Low THD+N
- Superior Low Noise
- Efficiency up to 90%
- Short Circuit Protection
- Thermal Shutdown
- Few External Components to Save the Space and Cost
- Pb-Free Package

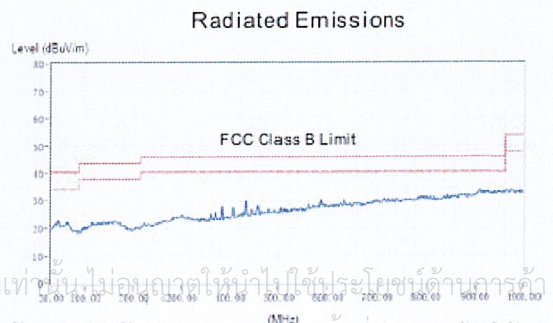
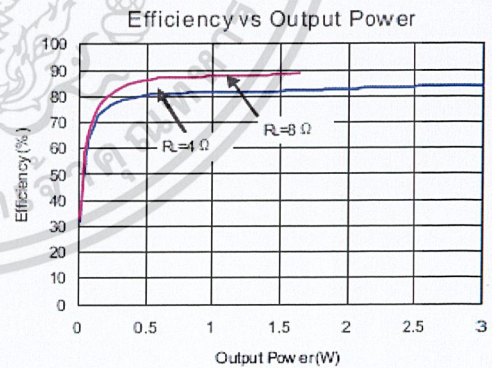
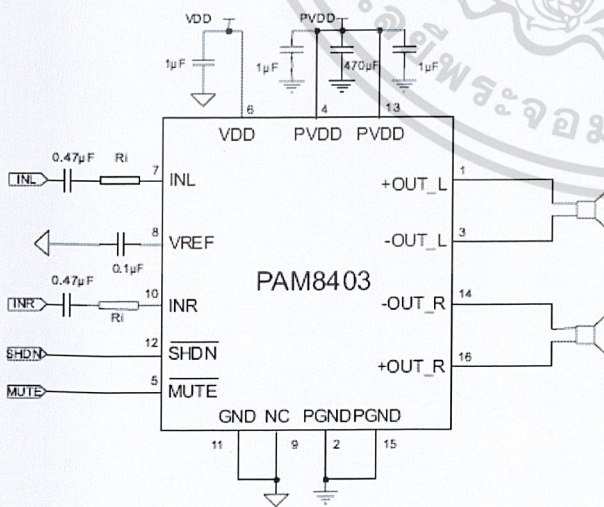
Pin Assignments



Applications

- LCD Monitors / TV Projectors
- Notebook Computers
- Portable Speakers
- Portable DVD Players, Game Machines
- Cellular Phones/Speaker Phones

Typical Applications Circuit

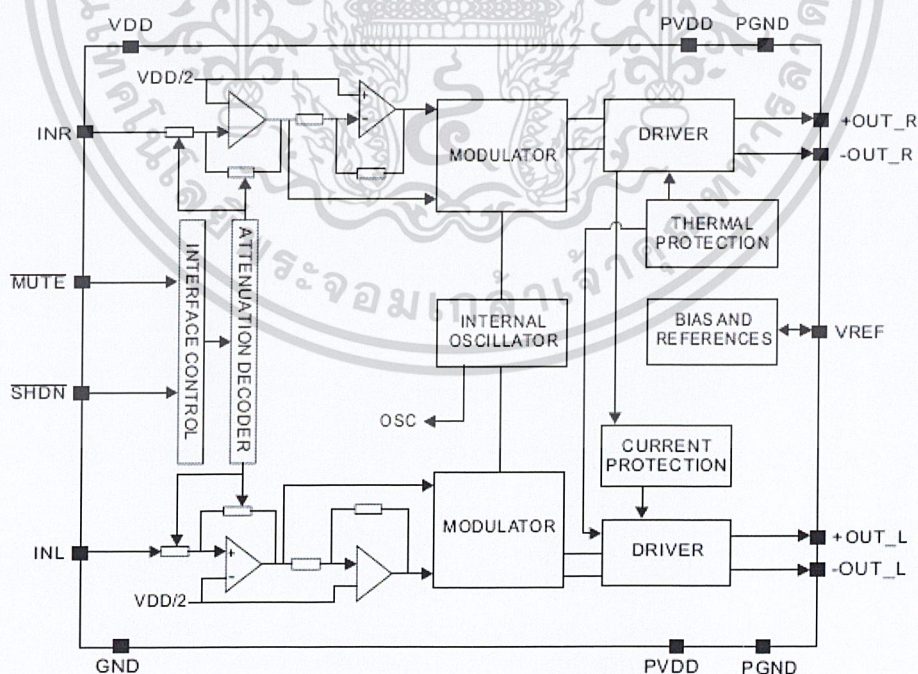


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ขออนุญาตจากทางบริษัท
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
1	+OUT_L	Left Channel Positive Output
2	PGND	Power GND
3	-OUT_L	Left Channel Negative Output
4	PVDD	Power VDD
5	MUTE	Mute Control Input (active low)
6	VDD	Analog VDD
7	INL	Left Channel Input
8	VREF	Internal analog reference, connect a bypass capacitor from VREF to GND.
9	NC	No Connect
10	INR	Right Channel Input
11	GND	Analog GND
12	SHDN	Shutdown Control Input (active low)
13	PVDD	Power VDD
14	-OUT_R	Right Channel Negative Output
15	PGND	Power GND
16	+OUT_R	Right Channel Positive Output

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

These are stress ratings only and functional operation is not implied. Exposure to absolute maximum ratings for prolonged time periods may affect device reliability. All voltages are with respect to ground.

Parameter	Rating	Unit
Supply Voltage	6.0	V
Input Voltage	-0.3 to V _{DD} +0.3V	
Operation Temperature Range	-40 to +85	°C
Maximum Junction Temperature	150	
Operation Junction Temperature	-40 to +125	
Storage Temperature	-65 to +150	
Soldering Temperature	300, 5 sec	

Recommended Operating Conditions (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Parameter	Rating	Unit
Supply Voltage Range	2.5 to 5.5	V
Operation Temperature Range	-40 to +85	°C
Junction Temperature Range	-40 to +125	°C

Thermal Information

Parameter	Package	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance (Junction to Ambient)	SOP-16	θ _{JA}	110	°C/W
Thermal Resistance (Junction to Case)	SOP-16	θ _{JC}	23	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 5\text{V}$, Gain = 24dB, $R_L = 8\Omega$, unless otherwise specified.)

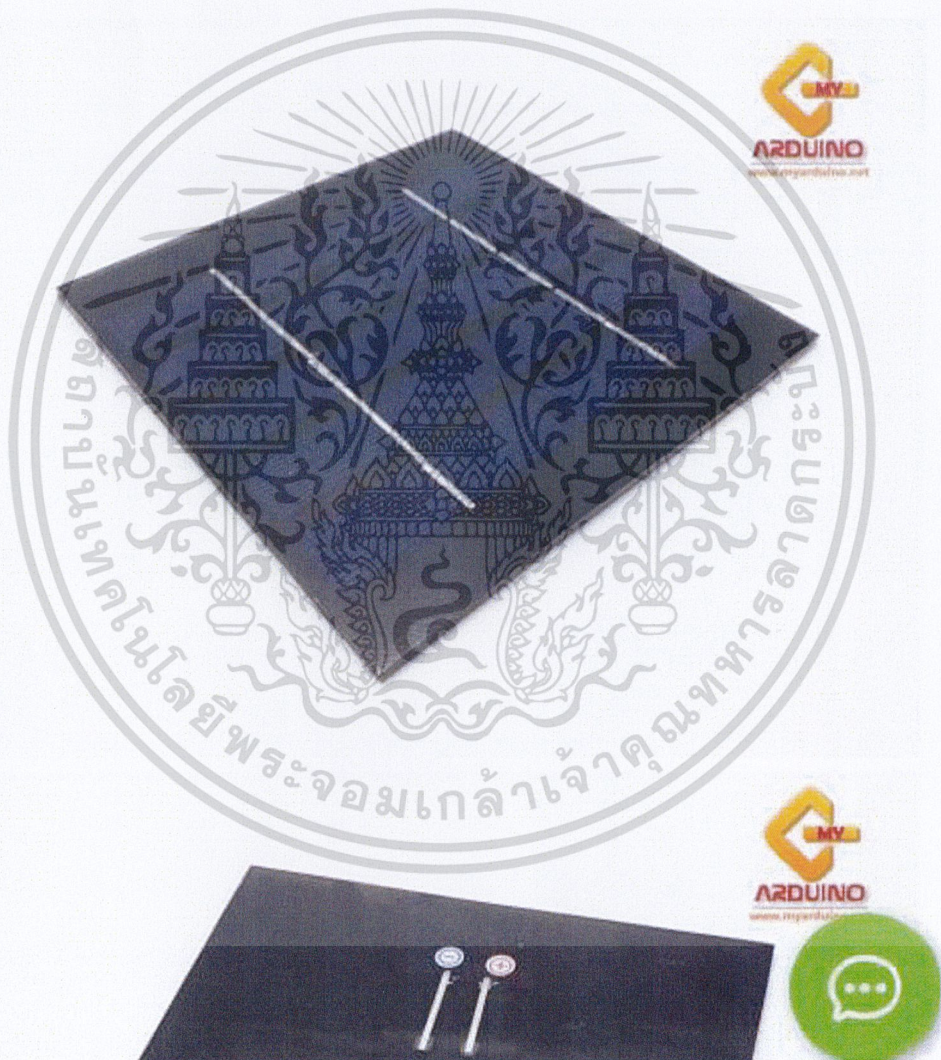
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_{DD}	Supply Voltage		2.5		5.5	V
P_O	Output Power	THD+N = 10%, f = 1KHz, $R_L = 4\Omega$	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	3.2		W
			$V_{DD} = 3.6\text{V}$	1.6		
			$V_{DD} = 3.2\text{V}$	1.3		
		THD+N = 1%, f = 1KHz, $R_L = 4\Omega$	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	2.5		W
			$V_{DD} = 3.6\text{V}$	1.3		
			$V_{DD} = 3.2\text{V}$	0.85		
		THD+N = 10%, f = 1KHz, $R_L = 8\Omega$	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	1.8		W
			$V_{DD} = 3.6\text{V}$	0.9		
			$V_{DD} = 3.2\text{V}$	0.6		
		THD+N = 1%, f = 1KHz, $R_L = 8\Omega$	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	1.4		W
			$V_{DD} = 3.6\text{V}$	0.72		
			$V_{DD} = 3.2\text{V}$	0.45		
THD+N	Total Harmonic Distortion Plus Noise	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, $P_O = 1\text{W}$, $R_L = 8\Omega$	f = 1kHz	0.15		%
		$V_{DD} = 3.6\text{V}$, $P_O = 0.1\text{W}$, $R_L = 8\Omega$		0.11		
		$V_{DD} = 5.0\text{V}$, $P_O = 0.5\text{W}$, $R_L = 4\Omega$	f = 1kHz	0.15		%
		$V_{DD} = 3.6\text{V}$, $P_O = 0.2\text{W}$, $R_L = 4\Omega$		0.11		
G_V	Closed Loop Gain	$V_{DD} = 3\text{V to } 5\text{V}$		24		dB
PSRR	Power Supply Ripple Rejection	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, Inputs AC-Grounded with $C_{IN} = 0.47\mu\text{F}$	f = 100Hz f = 1kHz	-59 -58		dB
C_S	Crosstalk	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, $P_O = 0.5\text{W}$, $R_L = 8\Omega$, $G_V = 20\text{db}$	f = 1kHz	-95		dB
SNR	Signal-to-Noise Ratio	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, $V_{ORMS} = 1\text{V}$, $G_V = 20\text{db}$	f = 1kHz	80		dB
V_N	Output Noise	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, Inputs AC-Grounded with $C_{IN} = 0.47\mu\text{F}$	No A-Weighting A-Weighting	100 150		μV
Dyn	Dynamic Range	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, THD = 1%	f = 1kHz	90		dB
η	Efficiency	$R_L = 8\Omega$, THD = 10%	f = 1kHz	87		%
		$R_L = 4\Omega$, THD = 10%		83		
I_Q	Quiescent Current	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	No Load	16		mA
		$V_{DD} = 3.6\text{V}$		10		
		$V_{DD} = 3.0\text{V}$		8		
I_{MUTE}	Muting Current	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	$V_{MUTE} = 0.3\text{V}$	3.5		mA
I_{SD}	Shutdown Current	$V_{DD} = 2.5\text{V to } 5.5\text{V}$	$V_{SD} = 0.3\text{V}$	< 1		μA
$R_{DS(ON)}$	Static Drain-to-Source On-State Resistor	$I_{DS} = 500\text{mA}$, $V_{GS} = 5\text{V}$	PMOS	180		m Ω
			NMOS	140		
f_{SW}	Switching Frequency	$V_{DD} = 3.0\text{V to } 5.0\text{V}$		260		kHz
V_{OS}	Output Offset Voltage	$V_{IN} = 0\text{V}$, $V_{DD} = 5.0\text{V}$		10		mV
V_{IH}	Enable Input High Voltage	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	1.5	1.4		V
V_{IL}	Enable Input Low Voltage	$V_{DD} = 5.0\text{V}$		0.7	0.4	
V_{IH}	MUTE Input High Voltage	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	1.5	1.4		V
V_{IL}	MUTE Input Low Voltage	$V_{DD} = 5.0\text{V}$		0.7	0.4	
OTP	Over Temperature Protection	No Load, Junction Temperature	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	140		V
OTH	Over Temperature Hysterisis			30		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Cell โซลาร์เซลล์ 5V 400mA 2W 155*155mm

ให้แรงดันไฟฟ้า 5v กระแสสูงสุด 400mA

- mini Solar panel
- size 155*155mm
- Max work voltage:5V
- Max work current: 400ma
- power: 2W



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้