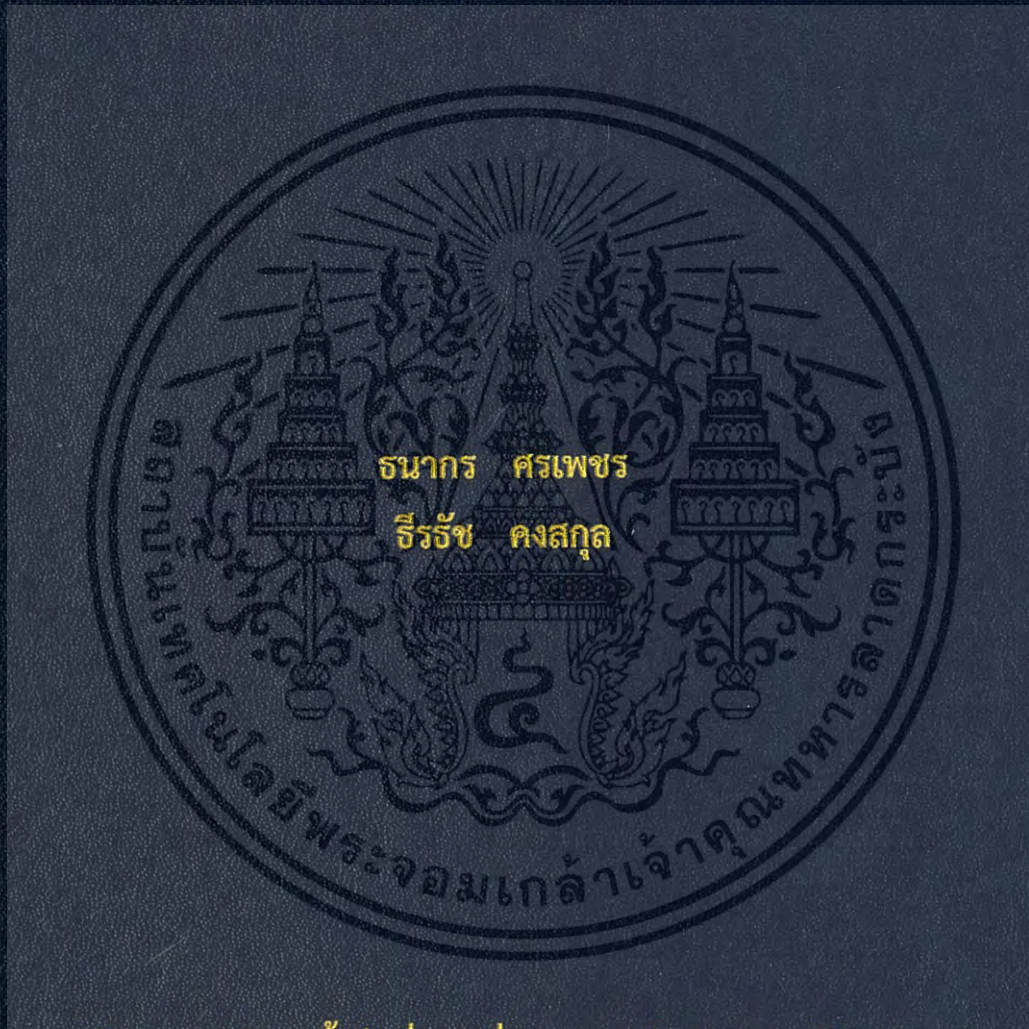


ต้นแบบระบบการส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์โดยใช้แสงขาว  
จาก LED

A PROTOTYPE OF REAL TIME AUDIO TRANSFERRING  
SYSTEM BASED ON WHITE LED



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

ต้นแบบระบบการส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์โดยใช้แสงขาว  
จาก LED

A PROTOTYPE OF REAL TIME AUDIO TRANSFERRING  
SYSTEM BASED ON WHITE LED



b.00265631.....  
.i.....

TB00157

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PROTOTYPE OF REAL TIME AUDIO TRANSFERRING  
SYSTEM BASED ON WHITE LED



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  
ACADEMIC YEAR 2015

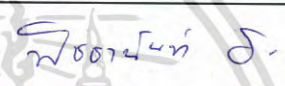


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      ต้นแบบระบบการส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์โดยใช้แสงขาวจาก LED  
 A Prototype of Real Time Audio Transferring System Based on White LED

ชื่อนักศึกษา                    นายธนากร ศรีเพชร      รหัสนักศึกษา 55051509  
    นายธีรรัช คงสกุล        รหัสนักศึกษา 55051517

ปริญญา                            วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
 ภาควิชา                            ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา                      2558  
 อาจารย์ที่ปรึกษา                อ.ธนภรณ์ ลีลาวพัฒนานนท์

คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์ไศยาน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. กฤษกร โล้เจริญรัตน์ กรรมการ	
ดร.วรการ นียากร กรรมการ	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวพัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ต้นแบบระบบการส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์โดยใช้แสงขาวจาก LED
ชื่อนักศึกษา	นายธนากร ศรีเพชร รหัสนักศึกษา 55051509 นายธีรรัช คงสกุล รหัสนักศึกษา 55051517
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ธนาภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันแอลอีดีได้ถูกนำมาใช้ในงานด้านรับส่งข้อมูลแบบไร้สายความเร็วสูงกันเป็นจำนวนมาก ทั้งการรับส่งไฟล์ข้อมูล ไฟล์เสียง และไฟล์ภาพ เนื่องจากข้อดีหลายด้านของแอลอีดี รวมทั้งแสงขาวจากแอลอีดีมีความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอาร์เอฟ ในโครงการนี้ได้สร้างต้นแบบของระบบรับส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์ด้วยแสงจากหลอดแอลอีดี สำหรับรับส่งข้อมูลเสียงกันในพื้นที่ห้ามมีเสียงรบกวน เช่น ห้องสมุด, ห้องเก็บเสียง เป็นต้น โดยชุดส่งข้อมูลที่สร้างขึ้นนั้นประกอบด้วย วงจรขยายสัญญาณเสียงและตัวส่งสัญญาณแสงด้วยแอลอีดี สำหรับชุดรับข้อมูลที่สร้างขึ้นนั้นใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กเป็นตัวรับสัญญาณ ในโครงการนี้ได้ทำการทดสอบการรับส่งข้อมูลเสียงที่ระยะห่างต่างๆกันระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วัดระดับความดังเสียงที่รับได้ปลายทางและวัดรูปร่างสัญญาณที่ส่งและรับได้ ทั้งในกรณีที่ไม่มีวัตถุกีดขวางลำแสง และในกรณีที่มีวัตถุโปร่งแสงที่มีความหนา กีดขวางลำแสง ภายในห้องที่มีสภาพแสงต่างๆกัน

**คำสำคัญ :** ระดับความดังเสียง ระบบรับส่งสัญญาณเสียงแบบเรียลไทม์ แอลอีดีกำลังสูง

<b>Title</b>	A Prototype of Real Time Audio Transferring System Based on White LED	
<b>Students</b>	Mr.Tanakorn sompet	Student ID 55051509
	Mr.Theeratach Kongsakul	Student ID 55051517
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Physics)	
<b>Department</b>	Physics	
<b>Faculty</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2015	
<b>Advisor</b>	Lecturer Thanaporn Leelawattananon	

### Abstract

Recently, Light emitting diodes (LEDs) have been widely used in the high-speed wireless communication applications in terms of text file communication, audio file communication, and graphical file communication. Their several advantages give less harmful health and less hazardous environments. This project presents a prototype of a real-time audio transferring system based on high power white LEDs for using in the soundly prohibited area as libraries, silence rooms. The transmitting module includes audio amplifier parts and LEDs. The small area solar panel is used as the receiver sensors. This project tests two cases of a real-time audio transmission at several distances. Experimental results show the loudness level in decibel units of a receiving audio file at distances including transmitted and received waveform. The first is a case of without obstruction. The second is a case of the thickly transparent object obstructed the light beam. The surrounding light within a testing room is set in many situations.

**Keywords:** loudness level ,real-time audio transferring system, high power white LEDs

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้ประสบความสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ด้วยดี เพราะผู้ศึกษาค้นคว้าในการทำวิจัยครั้งนี้ได้รับความเมตตาและความกรุณารวมถึงความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติจาก อาจารย์ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ตลอดจนข้อเสนอแนะและข้อสงสัยต่างๆ เพื่อให้ตัวผู้ศึกษาค้นคว้ามีความรู้ความเข้าใจในสิ่งที่ทำการศึกษาค้นคว้า และสามารถนำความรู้ความเข้าใจมาต่อยอดทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งยังคอยชี้แนะแนวทางในการทำงานร่วมกับผู้อื่นให้มีประสิทธิภาพ และมีการช่วยเหลือในด้านสนับสนุนให้มีความตรงต่อเวลา และเข้าใจถึงความคิดการใช้ชีวิตในสังคม

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ และคณาจารย์สาขาวิชาหลักสูตรพินิจศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คู่คุณธรรม ทั้งในส่วนด้านวิชาการ และด้านการช่วยเหลือผู้อื่นด้วยคำพูดที่ว่า “วิทยาศาสตร์ที่ดี คือวิทยาศาสตร์ที่อยู่เคียงข้างสังคม”

ขอขอบคุณ เพื่อนนิสิตนักศึกษาและพินิสิตนักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาหลักสูตรพินิจศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ทำให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี

การศึกษาค้นคว้าเพื่อจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ทำให้ผู้ศึกษาค้นคว้าได้รับความรู้ใหม่ๆ และการทำงานร่วมกับผู้อื่น และผู้ศึกษาค้นคว้าขอบพระคุณเป็นอย่างสูงถึงคุณกตัญญูต่อบิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณต่อผู้ศึกษาค้นคว้าทุกท่าน

ธนากร ศรเพชร  
ธีรธัช คงสกุล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 แนวทางการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>3</b>
2.1 นิยามและหลักการของแสง	3
2.2 หลักการของการส่งข้อมูลทางแสง	4
2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารทางแสง	9
2.4 การพิจารณา VLC	13
2.5 LED	15
2.6 แผงโซล่าเซลล์ (Solar Panel)	20
2.7 พื้นฐานของข้อมูลและสัญญาณ	22
2.8 หน่วยวัดความเร็วในการส่งข้อมูล	26
2.9 การแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณ	26
2.10 การสูญเสียสัญญาณจากการส่งผ่านข้อมูล	28
2.11 การป้องกันสัญญาณรบกวน	30
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>32</b>
3.1 การออกแบบและการสร้างวงจร	32
3.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและบันทึกผล	36

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	39
4.1 ผลการทดลองการวัดความต่างศักย์ของสัญญาณที่ออกจากภาค ส่งเทียบกับสัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณ	39
4.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณเสียงที่ออกจากภาคส่งเทียบกับ กับสัญญาณเสียงที่ออกจากวงจรภาครับสัญญาณ	48
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง	54
4.4 กราฟที่ได้จากตารางบันทึกผล	57
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 แนวทางพัฒนา	60
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	
<b>ภาคผนวก</b>	



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายระหว่าง VLC และ IR	8
4.3.1 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับสัญญาณแต่ละประเภท (โดยยังไม่ส่งสัญญาณ)	55
4.3.2 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับสัญญาณแต่ละประเภท (พร้อมส่งสัญญาณ)	55
4.3.3 ตารางระหว่าง ระยะทางในการวัดกับความดังและความต่างศักย์ของตัวรับ ในสภาพแวดล้อมต่างๆ	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	9
2.6	10
2.7	11
2.8	15
2.9	16
2.10	16
2.11	17
2.12	18
2.13	19
2.14	20
2.15	21
2.16	22
2.17	23
2.18	23
2.19	24
2.20	24
2.21	25
2.22	25
2.23	26
2.24	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แสดงการทำงานของโมเด็ม	27
2.26 รูปแสดงการแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	27
2.27 Attenuation	28
2.28 Distoriton	29
2.29 รูปสัญญาณดิจิทัลที่ถูกรบกวนในรูปแบบต่างๆ	29
2.30 รูปสัญญาณดิจิทัลแบบมี jitter และ ไม่มี jitter	30
3.1 แสดงรูปแบบวงจรภาคส่ง VLCที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง	32
3.2 แสดงรูปแบบวงจรภาคส่ง VLCที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง (ออกแบบและดัดแปลง)	33
3.3 วงจร Modulator	33
3.4 ไตอะแกรมแสดงองค์ประกอบภาคส่งและภาครับ	34
3.5 ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	36
3.6 ติดตั้ง Solar panel เป็นภาครับสัญญาณ	36
3.7 ลักษณะการทดลอง	37
3.8 กระจกติดฟิล์ม	37
3.9 กล่องใส่น้ำ	38
3.10 เครื่องวัดความดังเสียง และ โวลต์มิเตอร์	38
4.1 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มี แสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 30 cm	39
4.2 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มี แสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1m	40
4.3 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มี แสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1.5m	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีหลอดไฟรบกวน ในระยะ 30cm	41
4.5 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีหลอดไฟรบกวน ในระยะ 1m	41
4.6 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีหลอดไฟรบกวน ในระยะ 1.5m	42
4.7 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 30cm	42
4.8 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 1m	43
4.9 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดจากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2)ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 1.5m	43
4.10 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 6x6 mm(Channel2) เทียบกับ ตัวส่งสัญญาณ (Channel1)	44
4.11 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 1x1 cm(Channel2) เทียบกับ ตัวส่งสัญญาณ (Channel1)	44
4.12 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 12.5x19.5 cm(Channel2) เทียบกับ ตัวส่งสัญญาณ (Channel1)	45
4.13 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 30 cm	45

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 1 m	46
4.15 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 1.5 m	46
4.16 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์ รบกวน ในระยะ 30 cm	47
4.17 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์ รบกวน ในระยะ 1 m	47
4.18 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่สกัดได้จากตัวส่ง (Channel1) และสัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์ รบกวน ในระยะ 1.5 m	48
4.19 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 30 cm	49
4.20 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1 m	49
4.21 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1.5 m	50
4.22 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 30 cm	50

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1 m	51
4.24 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1.5 m	51
4.25 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 30 cm	52
4.26 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1 m	52
4.27 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1.5 m	53
4.28 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 30 cm	53
4.29 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1m	54
4.30 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จาก ภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ (Channel2) ที่ระยะ 1.5m	54
4.31 กราฟจากตารางผลการทดลองที่ 4.1	57
4.32 กราฟจากตารางผลการทดลองที่ 4.2	57
4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการวัดกับความดังของเสียงในสภาพแวดล้อมต่างๆ	58
4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการวัดกับความต่างศักย์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ	58

## คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/ สัญลักษณ์	คำอธิบาย
VLC	Visible light Communication
ADC	Analog to Digital Converter
DAC	Digital to Analog Converter
IR	Infrared Communication
N-type	Negative type
P-type	Positive type
UV	Ultra violet
RGB LED	Red Green Blue LED
PV	Photovoltaic
c-Si	Silicon Crystalline
V	Voltage
A	Ampere
dB	Decibel
bps	Baud Rate Per Second
LED	Light Emitter Diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในชีวิตของมนุษย์ยุคปัจจุบันเราใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สายอยู่บ่อยครั้งจนเป็นกิจวัตรประจำวันไปแล้ว เพราะการส่งและรับข้อมูลแบบไม่ต้องใช้สายเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์นั้นทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้งานต่อผู้ใช้ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันก็ยังเป็นแบบไม่ใช้สาย หรือที่เรียกกันว่า Wi-Fi นั่นเอง อุปกรณ์ส่วนใหญ่จึงนิยมออกแบบมาเพื่อรองรับการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลแบบไร้สาย เช่น โทรศัพท์ที่มีการส่งข้อมูลจากเครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องได้โดยไม่ต้องใช้สายเชื่อมเข้าหากัน เป็นต้น

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายเริ่มมีอิทธิพลครอบคลุมชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ความสะดวกสบายของผู้ใช้ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ ความต้องการลดการใช้สายเชื่อมต่อรวมถึงความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์ที่ทำให้เกิดเทคโนโลยีเหล่านี้ขึ้น ในปัจจุบันว่าจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าทุกสถานที่เกือบทั้งหมดที่บนโลกจะมีการส่งข้อมูลหากันแบบไร้สาย ทำให้เกิดประโยชน์ตามมามากมายไม่ว่าจะเป็นการส่งข้อมูลที่รวดเร็ว ความสะดวกสบายขึ้น ครอบคลุมขึ้น เป็นต้น

จากความนิยมและประโยชน์ของเทคโนโลยีดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำจึงได้มองเห็นความสำคัญ รวมถึงประโยชน์ต่อเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายเหล่านี้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และนำมาต่อยอดประยุกต์มาทำสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถส่งเสียง และวิดีโอแบบเรียลไทม์ โดยใช้แสง visible light โดยเป็นการส่งแบบไร้สาย จากตัวส่งไปยังตัวรับโดยจะแสดงผลแบบเรียลไทม์

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่สามารถส่งสัญญาณเสียงโดยผ่านแสง Visible light และ ส่งรูปภาพ รวมถึงวิดีโอโดยผ่าน Visible light ในระยะไกลๆได้ เพื่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางการส่งข้อมูลแบบไร้สาย

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้แสง Visible light ในการเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณเสียง ไปยังตัวรับที่เป็น Solar panel ต่อตรงกับลาโพง
2. ใช้ Adapter 12 V เท่านั้นในการจ่ายกระแสไฟฟ้า
3. สามารถส่ง-รับ สัญญาณเสียงจากตัวส่ง ผ่านแสง Visible light ไปยังตัวรับที่เป็น Solar panel ได้ที่ระยะมาตรฐานประมาณ 1-2 เมตร หรือมากกว่านั้นถ้าสามารถทำได้
4. สามารถส่ง-รับ วิดีโอ จากตัวส่ง ผ่านแสง Visible light ไปยังตัวรับ ได้ที่ระยะมาตรฐาน 1-2 เมตร หรือมากกว่านั้นถ้าสามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 แนวทางการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำทั้งสิ้น 6 เดือนโดยเริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2558 จนถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ซึ่งมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

แนวทางการดำเนินงานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถนำมาแสดงระยะเวลาการดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.เสนอ Project ที่ต้องการทาววิจัย								
2.ศึกษาข้อมูล								
3.ออกแบบวงจร และเตรียม อุปกรณ์								
4.ทดลอง บันทึก ผลและสรุป								

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง visible light ไปยังตัวรับ ได้ในระยะที่ไกลได้
- 2.สามารถนำมาใช้ในการส่งเสียงแบบเรียลไทม์ในชีวิตประจำวันได้
- 3.สามารถนำไปใช้สื่อสารในพื้นที่ที่ห้ามใช้อุปกรณ์ที่มีคลื่นแม่เหล็ก
4. สามารถเป็นต้นแบบและเป็นแนวทางในการต่อยอดพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์นี้ต่อไปได้
5. สามารถส่งข้อมูลเสียงผ่านพื้นที่ที่มีกระจกกันได้
6. สามารถส่งสัญญาณเสียงโดยไม่รบกวนผู้คนรอบข้างที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

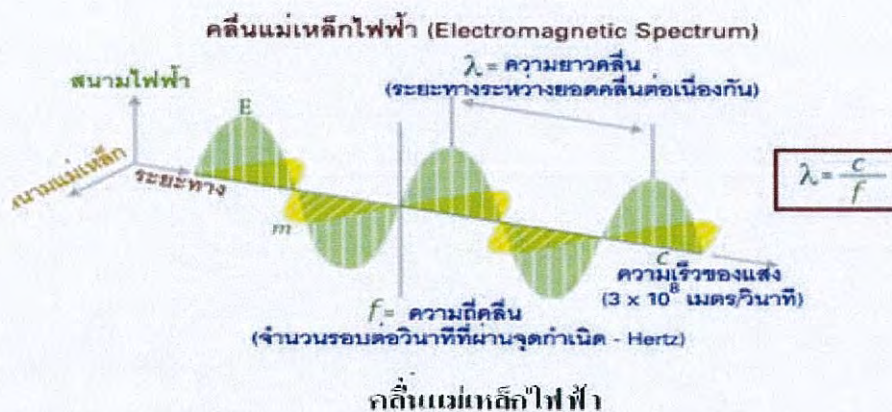
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 นิยามและหลักการของแสง ( Define and Principle of Light)

แสง (Light ) เป็นพลังงานรูปหนึ่ง เดินทางในรูปคลื่นด้วยอัตราเร็วสูง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดแสงมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อยู่ในรูปแบบทั้งอนุภาคและคลื่น เช่น แสงดวงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แสงสว่างจากหลอดไฟ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควันหรือฝุ่นละออง จะเห็นเป็นลำแสงเส้นตรง และสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ วัตถุที่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเป็นเส้นตรงไปได้นั้น เราเรียกวัดถุนี้ว่า วัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชนิดแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไป โดยรอบ ทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง เราเรียกวัดถุนั้นว่า วัตถุโปร่งแสง เช่น กระดาษ กระจกฝ้า กระจกฝ้า กระจกฝ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไปได้อ เราเรียกว่า วัตถุทึบแสงเช่น ผึ้งคอนกรีต กระจกแข็งหนาๆ เป็นต้น วัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น[18]

ในโครงงานนี้แสงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการส่งสัญญาณ เนื่องจากโครงงานนี้เป็นการส่งสัญญาณผ่านแสง visible light จากหลอด LED โดยจะส่งสัญญาณไปยังตัวรับที่เป็นเซนเซอร์รับแสง ซึ่งก็คือ solar panel ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่น และอนุภาคกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นคลื่น เรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งจะประกอบไปด้วย สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันดังรูปที่ 2.1 ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไป เรียกว่า การสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของแสง ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสง (Optical Signal) ออกไปยังช่องสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ได้อย่างไร เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็ก หรือช่องแคบที่ปล่อยให้แสงผ่านไปได้ เรียกว่าการเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอด จะเกิดจากการที่คลื่นแสงสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกัน และความยาวคลื่นเท่ากัน



รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แหล่งที่มา : [https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly\\_electronics/wiki/6c6a5/2.html](https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/6c6a5/2.html)

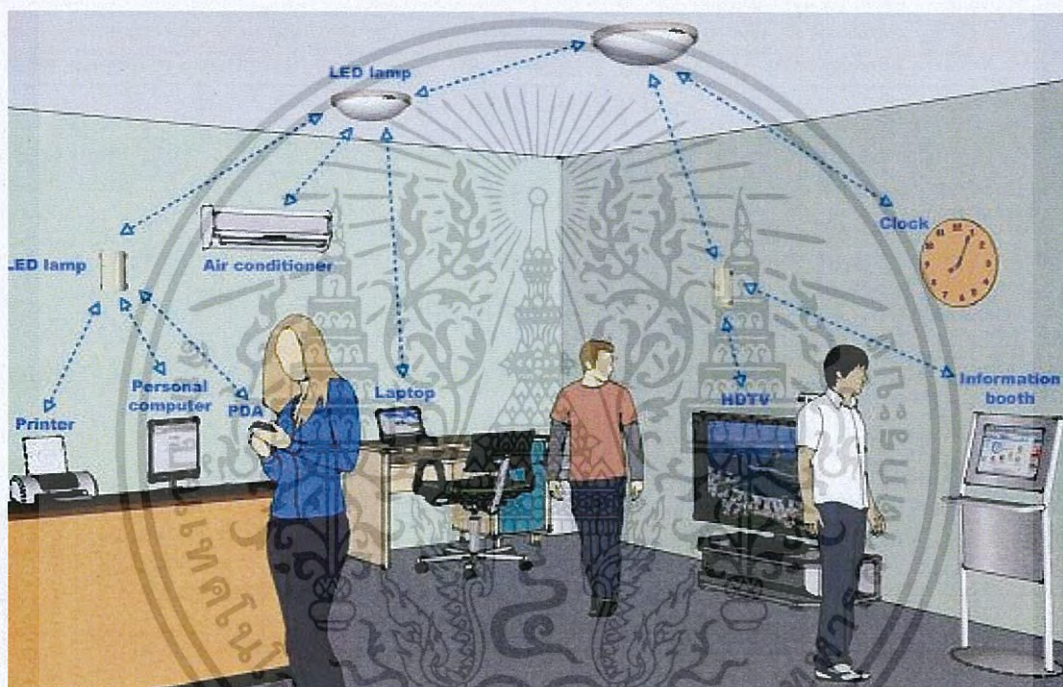
แสงเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็วสามร้อยล้านเมตรต่อวินาที และมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น ( Visible ) บางครั้งอาจรวมถึงอินฟราเรด (Infrared) และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet ) ส่วนกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคนั้นเรียกว่าโฟตอน (Photon) ซึ่งสมบัติของแสงที่แสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคนั้น จะใช้ในการอธิบายว่า แหล่งกำเนิดแสงกำเนิดสัญญาณแสงได้อย่างไรและตัวตรวจจับแสงที่ภาครับสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างไรในโครงการนี้

## 2.2 หลักการของการการส่งข้อมูลทางแสง (Principle of light communication )

การสื่อสารหรือส่งข้อมูลทางแสงที่มองเห็นได้คือ เทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารไร้สายที่ใช้แสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นตัวกลางนำสัญญาณ ตัวอย่างที่เข้าใจง่ายคือการใช้คอมพิวเตอร์ตั้งอยู่เพื่อให้แสงสว่างพื้นที่ภายในอาคารเพื่อเป็นอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณการสื่อสารไร้สายผ่านแสงที่ให้ความสว่างภายในอาคารปกติมายังอุปกรณ์เครื่องรับที่รับสัญญาณจากค่าความสว่างจากคอมพิวเตอร์ดังกล่าว สาเหตุที่การสื่อสารแสงที่มองเห็นได้เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในอนาคตเนื่องจาก 1) การสื่อสารแสงที่มองเห็นได้ใช้ความถี่แสงที่มองเห็นได้คือระหว่างความยาวคลื่น 375 nm – 780 nm หรือความถี่ 400 THz – 800 THz ซึ่งย่านความถี่ดังกล่าว เกิดกว่าย่านความถี่ 3 THz ซึ่งเป็นย่านความถี่สูงสุดที่หน่วยงานกำกับดูแลการใช้งานคลื่นความถี่ของแต่ละประเทศมีการควบคุมการใช้งาน เมื่อการสื่อสารแสงที่มองเห็นได้ใช้คลื่นความถี่นอกย่านที่ถูกควบคุม จึงเป็นโอกาสสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสาร และการผลิตอุปกรณ์การสื่อสารประเภทต่างๆเพื่อใช้งานได้ 2) เทคโนโลยีหลอดไฟที่ให้ความสว่างด้วย LED จะเป็นที่แพร่หลายในอนาคตและจะทดแทนหลอดไส้และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากมีการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก ซึ่งหลอดไฟที่ใช้เทคโนโลยี LED สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นตัวส่งข้อมูลการสื่อสารไร้สายแสงที่มองเห็นได้ 3) นอกจากอุปกรณ์รับสัญญาณแสงที่ต้องพัฒนาโดยเฉพาะแล้ว อุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั่วไป เช่นกล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ก็สามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สื่อสารแสงที่มองเห็นได้ได้เช่นกัน ซึ่งโอกาสการพัฒนาการสื่อสารด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟนมีศักยภาพมากเนื่องจากปริมาณผู้ใช้มีเพิ่มขึ้นอย่างมาก[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการสื่อสารแสงที่มองเห็นได้เช่น 1) การประยุกต์เพื่อใช้สื่อสารในลักษณะเครือข่าย LAN 2) การนำข้อมูลแฝงไว้ในป้ายโฆษณาที่มีแสงให้สว่าง เมื่อมีผู้นำอุปกรณ์รับสัญญาณในลักษณะคล้ายกับการใช้กล้องอ่านข้อมูลจาก QR code ส่งไปยังป้ายโฆษณา ข้อมูลจะปรากฏบนหน้าจอเครื่องรับ 3) ระบบนำเสนอมูลเฉพาะจุดพื้นที่ เพื่อการให้ข้อมูลเฉพาะจุดเช่นในพิพิธภัณฑ์ เป็นต้น 4) การกระจายข้อมูลการสื่อสารจากโคมไฟส่องสว่างในอาคาร เช่นการให้ข้อมูลสินค้าหรือโปรโมชั่น ต่างๆจากห้างสรรพสินค้า ผ่านโคมไฟส่องสว่างภายในห้าง 5) การประยุกต์ใช้กับระบบ Intelligent Transport System (ITS) โดยให้ข้อมูลแฝงไว้กับสัญญาณไฟจราจรจุดต่างๆบนท้องถนน และ 6) การประยุกต์ใช้เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งในโครงการนี้ก็ได้นำเอาหลักการของการส่งข้อมูลทางแสงนี้มาใช้ในส่งสัญญาณที่เราต้องการส่งสัญญาณด้วย ซึ่งตัวอย่างของการส่งข้อมูลทางแสงเป็นดังรูปที่ 2.2

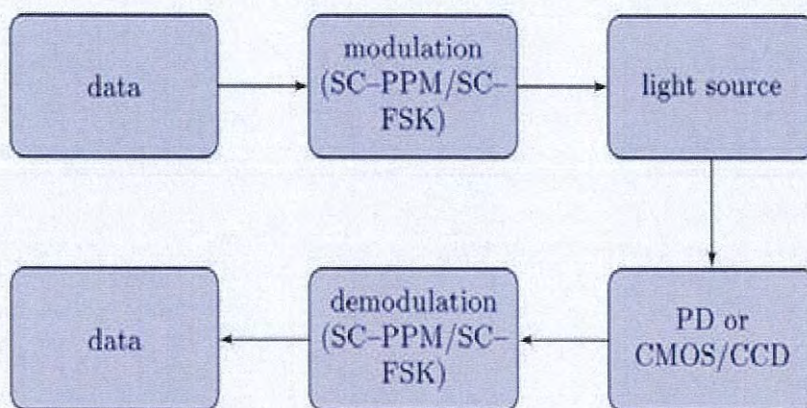


รูป 2.2 แสดงให้เห็นถึงการส่งข้อมูลทางแสงไปยังส่วนต่างๆภายในห้อง  
แหล่งที่มา : <http://andy96877.blogspot.com/p/visible-light-communication>

### 2.2.1 หลักการของระบบการส่งข้อมูลทางแสง (Principle of Light for Communication)

ในการส่งข้อมูลทางแสงมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ โดยเริ่มจากการนำข้อมูลที่เรต้องการส่งมาทำการขยายสัญญาณก่อนจากนั้นจึงส่งต่อสัญญาณที่ขยายแล้วไปที่หลอดไฟ LED เพื่อให้หลอดไฟ LED ทำการส่งข้อมูลต่อไปที่อุปกรณ์รับแสงจากนั้นเมื่ออุปกรณ์รับแสงได้ข้อมูลจากหลอดไฟ LED แล้วข้อมูลจะถูกกรองเอาสัญญาณอื่นๆที่ใช้ในการขยายสัญญาณหรือสัญญาณที่เราไม่ต้องการที่ติดมาระหว่างส่งสัญญาณออกไปเพื่อให้เหลือแต่สัญญาณที่เราส่งมาในตอนแรก จากนั้นก็จะได้สัญญาณไปที่ตัวแสดงผลข้อมูลต่อไป ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 โดอะแกรมแสดงระบบการส่งข้อมูลทางแสง

### 2.2.2 องค์ประกอบช่องทางการสื่อสาร (Channel configuration)

การสื่อสารทางแสงแบบไร้สายคือ ศัพท์ทั่วไปสำหรับการอธิบายเทคโนโลยีการส่งข้อมูลทางแบบไร้สาย โดยปกติแล้ว, OWC (Optical wireless communication) ครอบคลุมถึงการสื่อสารทางอินฟราเรดสำหรับย่านสั้นๆ และการสื่อสารทางแสงผ่านอากาศสำหรับย่านยาวๆ

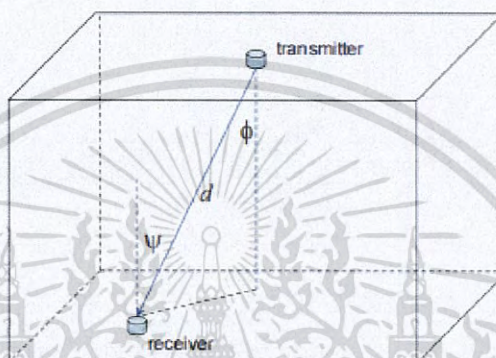
การสื่อสารทางแสงใช้แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีการสื่อสารแบบหนึ่ง ซึ่งใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นสำหรับการส่งข้อมูลและให้ความส่องสว่าง ปัจจุบันนี้แอลอีดีที่ให้แสงความยาวคลื่นในย่านที่ตามองเห็น (380nm-780nm) ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นและสามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดการสื่อสารและโดยธรรมชาติ ซิลิคอนโฟโตนิกส์ได้โอดซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความไวในการตอบสนองสัญญาณได้ดีที่บริเวณความยาวคลื่นในย่านที่ตามองเห็น จะถูกนำมาใช้เป็นตัวรับแสง ตัวกลางในการส่งเป็นอากาศ ไม่ว่าจะเป็นในที่ร่มหรือที่แจ้ง ในปัจจุบันการวิจัยในส่วนของ VLC เป็นการมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ภายในที่ร่ม องค์ประกอบ VLC ในที่ร่มถูกจัดประเภทให้นำมาใช้นับตั้งแต่รูปแบบการสื่อสารทางอินฟราเรด และ ตั้งแต่องค์ประกอบการเชื่อมต่อของ VLC คล้ายคลึงกับการสื่อสารทางอินฟราเรด ความแตกต่างของคุณสมบัติมาจากความยาวคลื่นที่ใช้ในการดำเนินงาน และความยาวคลื่นที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์(LED,ซิลิคอนโฟโตนิกส์ไดโอดและอื่นๆ) และข้อเท็จจริงเกี่ยวกับ VLC ตามธรรมชาติของการสื่อสารและความส่องสว่าง หลักการทางกายภาพอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับแสงสามารถนำมาประยุกต์ได้เหมือนกัน ตลอดจนการส่งผ่านและการสะท้อน[7]

องค์ประกอบการเชื่อมต่อถูกจัดประเภทกลายเป็นพื้นฐาน 4 ประเภท, ตามการดำรงอยู่ของสิ่งกีดขวางในทางเดินแสงและทิศทางของการส่งสัญญาณไปยังตัวรับ ประเภทการเชื่อมต่อแบบพื้นฐานประกอบด้วย การเชื่อมต่อแบบ Directed Line -of- Sight (LOS) และ non-Directed LOS , Directed non-LOS, non-Directed non-LOS การตัดสินใจว่าจะใช้การเชื่อมต่อแบบ directed หรือ non-directed มันก็ขึ้นอยู่กับทิศทางของการส่งแบบไหนไปยังตัวรับ การตัดสินใจการเลือกการเชื่อมต่อแบบ LOS หรือ non-LOS มันก็ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางที่มากับการส่งสัญญาณแสงระหว่างตัวส่งและตัวรับ

ในระบบ VLC การเชื่อมต่อแบบ non-directed มีความสำคัญเนื่องจากการส่องสว่างโดยทั่วไป มักจะเป็นแบบ LOS และไม่ได้โฟกัสโดยตรงไปที่จุดใดจุดหนึ่ง

ต่อไปนี้จะมาทำความเข้าใจการประยุกต์ใช้งานของ VLC ในอาคารและ การเชื่อมต่อแบบ non-directed, line-of-sight (LOS) เริ่มตั้งแต่การประยุกต์ใช้ในที่ร่มเป็นความคาดหวังว่าจะพัฒนาเสร็จสิ้นในอนาคตอันใกล้

รูป 2.4 แสดงให้เห็นถึงเรขาคณิตอย่างง่ายในที่ร่ม,การเชื่อมต่อแบบ non-directed LOS link,กับตัวส่งจากเพดานและตัวรับที่อยู่ด้านล่าง[7]



รูป 2.4 เรขาคณิตสำหรับการส่ง-รับสัญญาณในที่ร่ม,การเชื่อมต่อแบบ non-directed LOS

ต่อไปนี้เป็นกรวิเคราะห์สำหรับการเชื่อมต่อแบบ directed LOS , กำลังการรับแสงที่ตัวรับจะแสดงเป็นดังสมการนี้

$$P = P_t \cdot \frac{(m+1)}{2\pi d^2} \cdot \cos^m(\phi) \cdot T_s(\psi) \cdot g(\psi) \cdot \cos(\psi) \cdot \Psi_c, \quad 0 \leq \psi \leq \Psi_c \quad (1)$$

ตรง  $P_t$  คือ กำลังการส่งจาก LED ,  $\phi$  คือ มุมของรังสีที่แผ่ออกมากระทำกับแนวปกติของพื้นที่ผิวตัวส่ง ,  $\psi$  คือ มุมของรังสีตกกระทบเมื่อเทียบกับแนวปกติของพื้นที่ผิวตัวรับ ,  $d$  คือ ระยะห่างระหว่าง LED และ พื้นที่ผิวตัวรับ

$T_s(\psi)$  คือ ค่าการกรองสัญญาณที่ส่ง ,  $g(\psi)$  คือ concentrator gain ,  $\Psi_c$  คือ concentrator field ของสายตา (FOV)

นอกจากนี้ มุมครึ่งหนึ่ง  $\theta$  กำลังครึ่งหนึ่ง  $m$  คือ The order of lambertian emission และ กำหนดให้มุมครึ่งหนึ่ง(ที่กำลังครึ่งหนึ่ง)  $\Phi_{1/2}$  เป็นดังนี้

$$m = -\ln 2 / \ln(\Phi_{1/2}) \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่  $m=1$  ในกรณีของ  $\Phi_{1/2} = 60^\circ$  (Lambertian transmitter) และพิจารณาว่าแกนมีความสมมาตร ดังในรูปที่ 2.4 เราสามารถเซตค่าให้  $\phi = \psi$  ได้ ในส่วน concentrator และ ตัวกรองแสงสามารถนำมาใช้ในด้านหน้าของตัวรับแสง (โฟโตดีเทคเตอร์) ได้

สำหรับการเปรียบเทียบ กับการสื่อสารทางอินฟราเรด ( Comparison with IR Communication) เพื่อที่จะให้เกิดความชัดเจนเกี่ยวกับ VLC มันจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารทางอินฟราเรด ความแตกต่างระหว่าง VLC และการสื่อสารทางอินฟราเรด เป็นดังตารางที่ 1

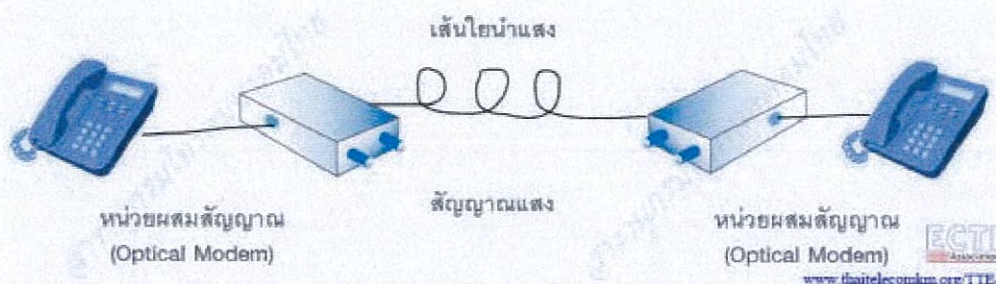
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ระหว่าง VLC และ IR

	Visible light communication	Infrared communication
<b>Data rate</b>	>100Mb/s possible (LED dependent)	4 Mb/s (FIR), 16 Mb/s (VFIR)
<b>Status</b>	Research and standardization in IEEE	Standardization (IrDA)
<b>Distance</b>	~meters	~3 meters
<b>Regulation</b>	No	No
<b>Security</b>	Good	Good
<b>Carrier wavelength (frequency)</b>	380~780 nm visible light (multiple wavelengths)	850 nm infrared
<b>Services</b>	Communication, illumination	Communication
<b>Noise source</b>	Sun light, Other illumination	Ambient light
<b>Environmental</b>	Daily usage Eye safe (visible)	Eye safe for low power (invisible)
<b>Applications</b>	Indoor & vehicular communication, Optical ID	Remote control, Point-to-point connection

### 2.2.3 การส่งสัญญาณเสียงเชิงแสง

การนำแสงมาเป็นคลื่นพาห้ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณการสื่อสารนั้นแสดงดังตัวอย่างรูปที่ 2.5 สัญญาณเสียงที่มาจากโทรศัพท์จะถูกส่งไปยังหน่วยผสมสัญญาณเชิงแสง (Optical Modem) ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงได้นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปผสมกับคลื่นพาห้ที่เป็นความถี่ โดยจะมีแหล่งกำเนิดแสงที่จะทำหน้าที่ในการให้กำเนิดแสง ที่จะใช้เป็นคลื่นพาห้ในการผสมสัญญาณ เมื่อทำการผสมสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ภาควงจะทำการส่งสัญญาณรูปแสง (Optical Signal) ออกไปยังเส้นใยนำแสง (Optical fiber) ออกไปยังเส้นใยนำแสง (Optical Fiber) ส่งไปยังภาควงรับ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสง และมีอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (Optical Demodulator) เมื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จะส่งไปยังอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทาง นั่นคือเครื่องรับโทรศัพท์ที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงต่อไป[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการสื่อสารสัญญาณเสียงเชิงแสง  
แหล่งที่มา :[www.thaielecomkm.org/TTE/](http://www.thaielecomkm.org/TTE/)

## 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารทางแสง (Basic Element of Optical Communication)

ระบบการสื่อสารทางแสงมีองค์ประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

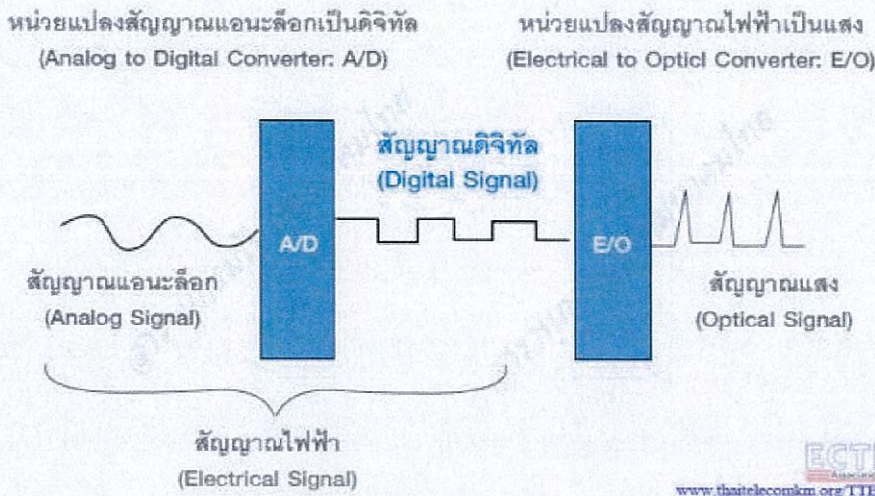
### 2.3.1 แหล่งกำเนิดข้อมูล (Source)

แหล่งกำเนิดข้อมูลคืออุปกรณ์หรือแหล่งสร้างสัญญาณต่างๆ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพ ข้อมูล หรือเสียง เป็นต้น

### 2.3.2 ภาควิทยาส่งสัญญาณทางแสง (Optical Transmitter)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่เป็นอุปกรณ์ต้นทาง เช่น โมเด็มเชิงแสง เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรศัพท์ อุปกรณ์ของสถานีวิทยุ สถานีฐานต่างๆซึ่งจะทำหน้าที่ ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นสัญญาณแสง และส่งออกไปยังปลายทางผ่านช่องสัญญาณทางแสง ในส่วนของภาควิทยาส่งสัญญาณ จะมีการผสมสัญญาณทางแสง (Optical Modulation) ร่วมอยู่ด้วยโดยสัญญาณต่างที่ ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดข้อมูลตัวอย่าง จะนำมาถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้น จะนำสัญญาณไฟฟ้านั้นไปผสมกับคลื่นพาห้ที่มีความถี่เชิงแสง เพื่อให้ได้สัญญาณแสงออกมา ดังตัวอย่าง ขั้นตอนการเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นสัญญาณให้แสงดังรูปที่ 2.6 ในการผสมสัญญาณเชิงแสง ต้องมีแหล่งกำเนิดแสง ที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดแสงที่จะนำมาผสมสัญญาณ ซึ่งได้แก่ ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diodes : LED) เลเซอร์ (Laser) หรือ เลเซอร์ไดโอด(Laser diode) อุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นระเบียบ มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเข้มสูง การผสมสัญญาณมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การผสมสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation :FM) การผสมสัญญาณเชิงเฟส (Phase Modulation :PM) หรือการผสมสัญญาณเชิงขนาด(Amplitude Modulation :AM) ซึ่งรูปแบบของการสื่อสารโดยใช้แสงที่มีการใช้งานจริงจะถูกกำหนดโดยรูปแบบของการผสมสัญญาณ(Optical Modulation) และการตรวจจับเชิงแสง(Optical Detection)[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

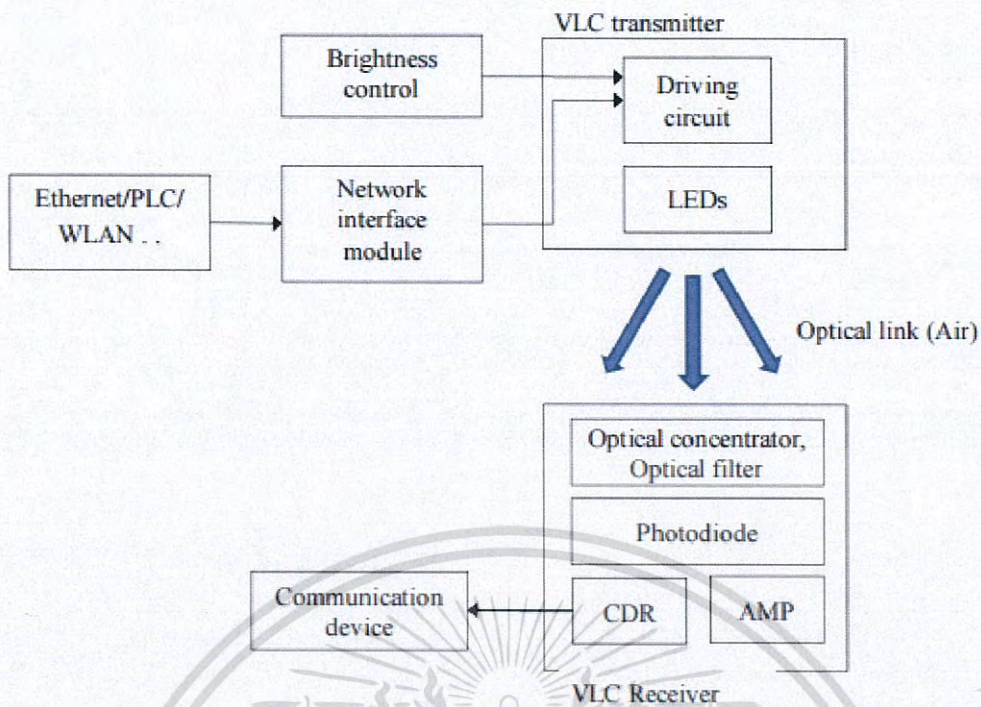


รูปที่ 2.6 รูปแบบการเปลี่ยนสัญญาณรูปแบบต่างๆ ให้เป็นสัญญาณแสงเชิงความเข้มแสง  
แหล่งที่มา :[www.thaielecomkm.org/TTE/](http://www.thaielecomkm.org/TTE/)

ซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ การผสมเชิงขนาดและตรวจจับแบบตรง (Intensity modulation/Direct Detection: IM/DD) และการผสมสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (Coherent) ข้างต้น ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ซับซ้อนและมีราคาแพงอย่างไรก็ตามพัฒนาการการใช้แสงให้เป็นประโยชน์ด้านการสื่อสารยังคงอยู่บนพื้นฐานการผสมสัญญาณเชิงความเข้ม (Intensity Modulation : IM) เป็นหลัก ซึ่งเมื่อทำการผสมสัญญาณพื้นฐาน ซึ่งการแปลงสัญญาณ จะมีหลักการบนระดับความแรงของสัญญาณไฟฟ้า (บิต “0” หรือบิต “1”) จะถูกเปลี่ยนเป็นระดับความเข้มของแสง คือ มีดและสว่างหรืออื่นๆ ที่สอดคล้องแทน

### 2.3.3 อุปกรณ์การส่งสัญญาณของ VLC

การพิจารณาถึงเทคนิคสำหรับอุปกรณ์ภาคส่งของ VLC เป็นที่ถูกต้องกล่าวถึง องค์ประกอบหลักของภาคส่งสัญญาณ VLC คือ หลอด LED แบบ visible light หลายตัวดังรูปที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบของการเชื่อมต่อ VLC และ แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ส่งสัญญาณ อุปกรณ์ส่งสัญญาณใน VLC แตกต่างจากแบบแผนอุปกรณ์ส่งสัญญาณของการสื่อสารอื่นๆในด้านของมุมมอง มันต้องปฏิบัติและคำนึงถึงอุปกรณ์การส่งและความส่องสว่างของอุปกรณ์ไปพร้อมๆกัน ดังนั้น,เราต้องพิจารณาให้เป็นไปตามความต้องการของ 2 อย่างนี้ไปพร้อมๆกัน[7]



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบการเชื่อมต่อ VLC (CDR:Clock and data recovery,AMP : Amplifier,PLC:Power lineCommunication , WLAN :wireless LAN)

ข้อแรก อุปกรณ์การส่งสัญญาณ VLC สำหรับการสื่อสาร โดยทั่วไปแล้วจะใช้ LED ที่ให้แสงในย่าน visible light และทำการมอดดูเลชันข้อมูลกับสัญญาณแสงนั้น ข้อมูลที่มีการมอดดูเลชันทางแสงแล้วจะมีค่าความถี่มอดดูเลชันเกิดขึ้น LED ที่ให้แสงในย่าน visible light โดยปกติจะต้องมีความสว่างสูง ในขณะเดียวกันผู้ผลิตมักจะไม่พัฒนา LED ที่มีความสว่างสูงเหล่านี้ออกมา ดังนั้นเมื่อนำ LED มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร จึงมีงานวิจัยที่รายงานเกี่ยวกับการวัดความถี่มอดดูเลชันของ LED ที่มีความสว่างสูง. LED จำนวนมากสำหรับการส่องสว่างมีค่าความถี่มอดดูเลชันในย่านความถี่จำกัดที่ระดับ 10 เมกกะเฮิรตซ์. ดังนั้น VLC จึงเหมาะสมที่จะมาประยุกต์ใช้ในอัตราการส่งข้อมูลแบบต่ำๆ ตัวอย่างเช่น optical ID ,simple message delivery และอื่นๆ

มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มมอดดูเลชันแบนด์วิดของอาร์เรย์ การใช้ LED สีขาว หลายๆตัวใน ระดับเดียวกันในการมอดดูเลชันสำหรับระบบ VLC การทดลองสาธิตระบบ VLC กับ LED 16 ตัว ประสบความสำเร็จที่แบนด์วิด 25 MHz และ มีอัตราข้อมูลที่ผิดพลาดต่ำที่อัตราการส่งข้อมูล 40 Mb/s

ข้อสอง อุปกรณ์การส่งของ VLC ต้องสามารถให้ค่าการส่องสว่างที่ดี โดยให้มีค่าการส่องสว่างประมาณ 200-1000 lux สำหรับในอาคาร ค่าการส่องสว่างสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO LEDที่ให้ความสว่างสูงดำเนินการที่กระแส > 100mA และมันค่อนข้างเยอะ, เมื่อเทียบกับอุปกรณ์การสื่อสารปกติ ดังนั้น, การมอดดูเลตข้อมูลบน LED ที่ให้ความสว่างสูงๆ ขณะรักษาระดับความส่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สว่างทำให้การออกแบบวงจรส่งสัญญาณ VLC มีความซับซ้อนมากกว่าวงจรส่งสัญญาณโดยทั่วไปวิธีหนึ่งสำหรับการส่งสัญญาณอัตราการส่งข้อมูลต่ำๆกับค่าการส่องสว่างไปพร้อมกันสามารถทำได้ โดยการมอดูเลชันข้อมูลแสงแบบ pulse position modulation หรือ PPM [Choi,2010 :5]

#### 2.3.4 อุปกรณ์การรับสัญญาณ VLC

ตัวรับสัญญาณใน VLC ประกอบไปด้วย ตัวรับแสง, optical concentrator , ตัวกรองแสง, โฟโตไดโอด, แอมพลิฟายเออร์ และ signal recovery circuit ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.7 ไปแล้วนั้น โดยปกติแล้วระบบ VLC ถูกออกแบบมาให้ส่งสัญญาณแสงไปยังโฟโตไดโอดโดยตรงสำหรับ Optical concentrator ถูกนำมาใช้เพื่อชดเชยการอ่อนกำลังของแสงเนื่องจากความบานออก (divergence) ของแสงในขณะที่มีการส่องสว่างในพื้นที่กว้างๆ

โดยทั่วไปสัญญาณรบกวนในตัวรับของ VLC จะเหมือนกับสัญญาณรบกวนการสื่อสารทางแสงแบบปกติ ตัวอย่างสัญญาณรบกวนเช่น Thermal noise ที่เกิดขึ้นจากตัวต้านทานและโฟโตไดโอด , Shot noise ที่เกิดขึ้นจากโฟโตไดโอด และ excess noise ที่เกิดจากการขยายสัญญาณ โดยสัญญาณรบกวนหลัก คือ แสงแดด และแสงไฟสว่างอื่นๆ[7]

#### 2.3.5 ช่องสัญญาณทางแสง (Optical Channel)

โดยพื้นฐานช่องสัญญาณทางแสงแบ่งเป็นสองประเภทคือ ช่องสัญญาณแบบผ่านอากาศโดยตรง และช่องสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสง

ในระบบการสื่อสารผ่านทางอากาศ (Space System) สัญญาณแสงจะถูกรวมและส่งออกไปในรูปแบบของลำแสงซึ่งข้อมูลจะถูกส่งออกไปในแนวเส้นตรงตามหลักการของแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรง โดยจะมีจุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียว เช่น ระบบดังรูปที่ 2.6 เป็นการส่งสัญญาณระหว่างสถานีภาคพื้นดิน (Terrestrial Link) ด้วยกันเอง การส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน ไปยังสถานีทางอากาศการส่งสัญญาณจากสถานีทางอากาศ มายังสถานีภาคพื้นดิน (Ground-to-Space Link) การส่งระหว่างสถานีทางอากาศไปยังสถานีที่อยู่ใต้น้ำก็ได้ (Space-to Underwater Link) ระบบนี้เป็นการส่งสัญญาณที่ไม่ใช้สายนำสัญญาณ (Waveguide) สัญญาณแสงจะเดินทางเส้นตรงโดยชี้ไปที่จุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียวซึ่งแตกต่างจากการส่งสัญญาณวิทยุที่เป็นการส่งสัญญาณแบบกระจาย (Broadcasting) การส่งสัญญาณแสงผ่านทางอากาศนั้นอาจได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ เช่น เมฆ หมอก หรือฝน


ระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง (Fiber Optic System) ภาคส่งและภาครับจะถูกเชื่อมต่อด้วยเส้นใยนำแสง และสัญญาณแสงจะถูกส่งผ่านเส้นใยนำแสงนี้ โดยใช้หลักการหักเหและสะท้อนของแสง ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงนั้นสามารถส่งสัญญาณแสงหลายๆลำแสงออกไปด้วยมุมที่ต่างกันพร้อมกันได้ ทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ในปริมาณที่มากกว่าระบบอื่นระบบการสื่อสารนี้ยังเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับการสื่อสาร เนื่องจาก การสื่อสารในช่องสัญญาณนี้จะถูกดักจับสัญญาณได้ยากกว่าการสื่อสารผ่านทางอากาศ เนื่องจากสัญญาณแสงเดินทางอยู่ภายในเส้นใยนำแสง[7]


## 2.4 การพิจารณา VLC

### 2.4.1 กรณีที่ระบบ VLC ใช้ตัวส่งสัญญาณแสงหลายค่าความยาวคลื่น

โดยปกติ การออกแบบและวิเคราะห์ระบบการส่งข้อมูลด้วยอินฟราเรด จะวิเคราะห์ในลักษณะที่ตั้งสมมติฐานว่าอินฟราเรดนั้นมีความถี่ค่าเดียว ดังนั้นในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ระบบ VLC จึงใช้สมมติฐานแบบเดียวกัน นั่นคือ พิจารณาว่าแสงที่ใช้ส่งข้อมูลเป็นแสงคงความถี่ค่าเดียว กำลังแสง[วัตต์]ของแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$  จึงมีความสัมพันธ์กับค่าความส่องสว่าง  $I(0)$  ดังสมการนี้

คือ ฟังก์ชันความไวของดวงตา , อ้างอิงรูปที่ 1

 คือ มุมของรังสีที่กระทำกับแกนปกติของพื้นผิวส่งข้อมูล

 คือ มุมตกกระทบที่กระทำกับแนวปกติของพื้นผิวดำรับ

$d$  คือ ระยะห่างระหว่าง LED และ พื้นผิวดำรับ

ค่าคงที่ 683 นี้มาจากการแปลงสมการระหว่าง radiometric[watt] และ photometric unit [lux] ดังนั้น

ตามหลักการ photometry[Schubert,2003 :6] ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร (สีเขียว),เรามีค่าความไวของดวงตา  $v$

**\*ตัวเล่มไม่สมบูรณ์ คือ**

**ข้อมูลช่วง เลขหน้าที่ 14 ถึง**

**เลขหน้าที่ 31 ไม่มีปรากฏในตัวเล่ม\***

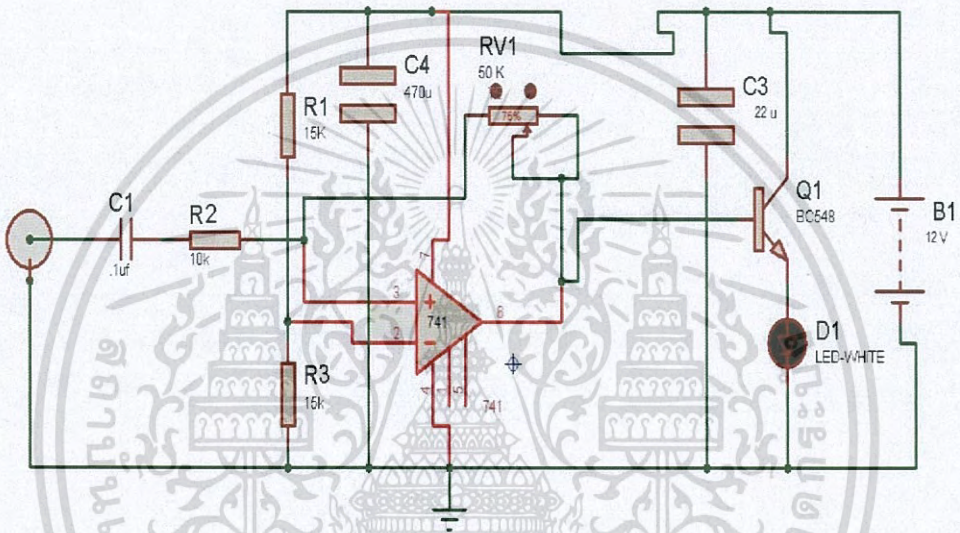
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

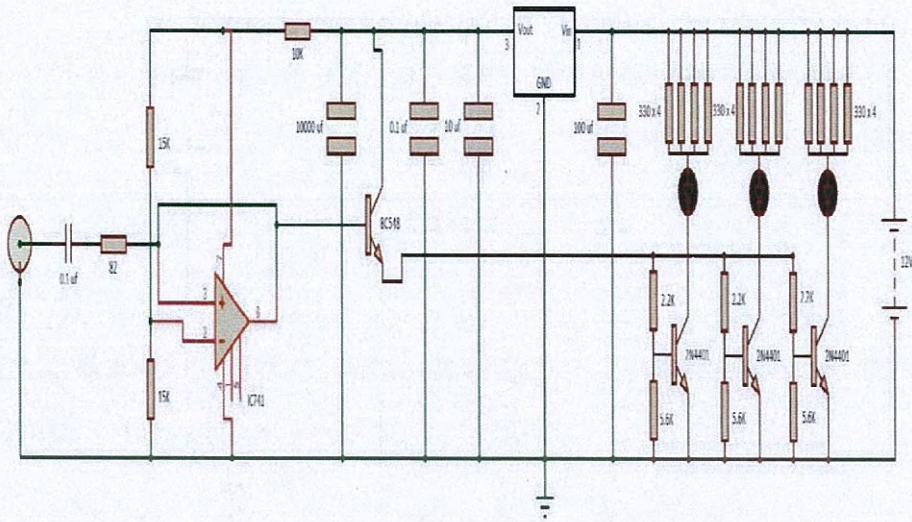
#### 3.1 การออกแบบและการสร้างวงจร

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินงานออกแบบวงจรสำหรับภาคส่งข้อมูลโดยทำการส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆผ่านแสง visible light ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงเป็น หลอดไฟ LED ขนาด 5 V สำหรับวงจร VLC ในส่วนของภาคส่งข้อมูลที่นำมาจากแหล่งอ้างอิงเป็นดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบวงจรภาคส่ง VLC ที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง  
แหล่งที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=yLWNT6OveeY> [19]

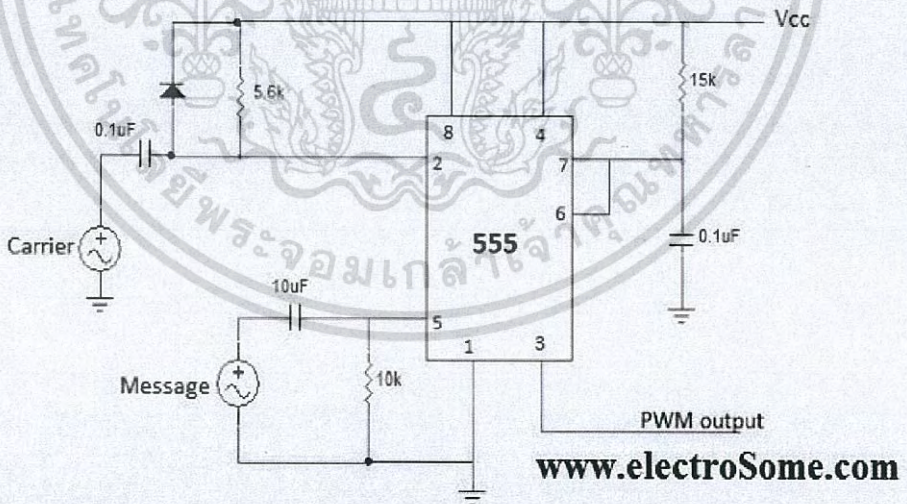
จากวงจรรูป 3.1 ข้างต้น มีการนำวงจรข้างต้นมาดัดแปลงเป็นวงจรใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเดิมให้มากขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงในด้านขนาดของวงจรให้ใหญ่ขึ้น และมีการปรับเปลี่ยนจนได้รูปแบบวงจรที่ได้ทำการออกแบบดังรูปนี้



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบวงจรภาคส่ง VLC ที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง

หมายเหตุ : ออกแบบและดัดแปลงเองจากรูปที่ 3.1 เพื่อแก้ไขบางส่วน

นอกจากวงจรภาคส่งดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ข้างต้นแล้ว ยังมีวงจร Modulator ที่เอามาไว้ใช้ในการดำเนินการขยายสัญญาณที่ออกมาจากภาคส่งให้แรง และไกลขึ้น เพื่อส่งไปยังภาครับต่อไป ซึ่งวงจร Modulator มีรูปแบบวงจรดังรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจร Modulator

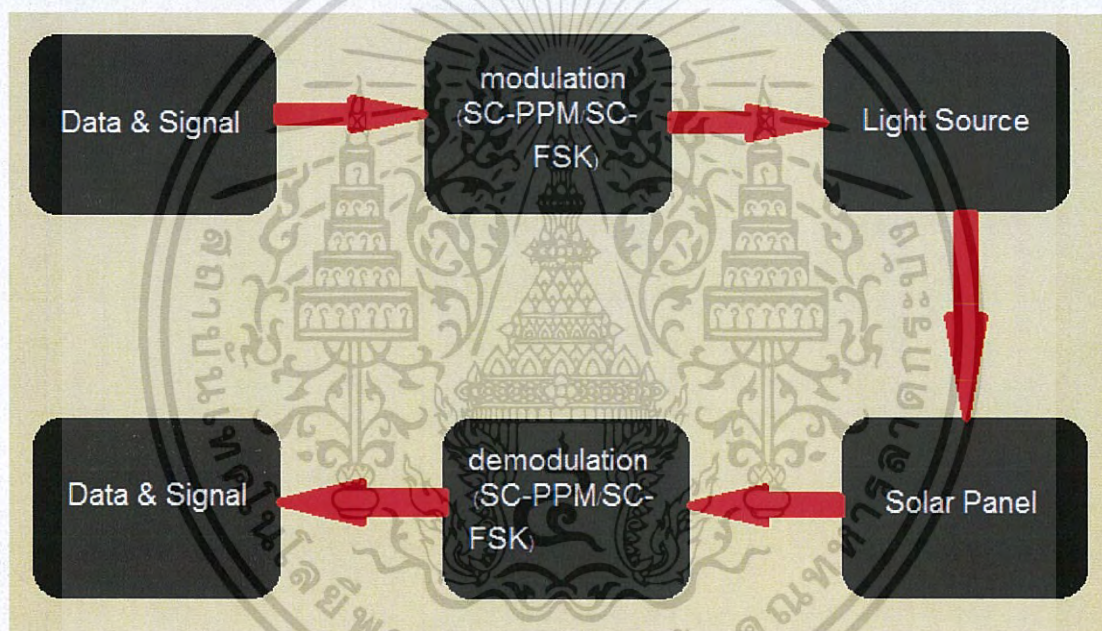
แหล่งที่มา : [www.electrosome.com](http://www.electrosome.com) [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร

จากข้างต้นได้กล่าวถึงส่วนของภาคส่งสัญญาณไปแล้ว สำหรับขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงส่วนของภาครับ ซึ่งในส่วนของภาครับนั้น ได้ใช้ Solar panel สำหรับใช้เป็นตัวรับแสงที่ต่อเข้ากับลำโพงโดยตรง

โดยโครงการนี้จะเป็นการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง visible light จากหลอด LED สีขาวแบบเรียลไทม์ เมื่อส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงจากวงจรในภาคส่ง แสงที่มากกระทบกับแผง Solar panel ที่ทำหน้าที่ในส่วนของภาครับ ที่เป็นตัวรับแสงจะรับแสงเข้ามาแล้วเปลี่ยนสัญญาณเสียงที่มากับแสงนั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าสู่ลำโพง เกิดเสียงออกมาจากลำโพง ซึ่งมีระยะการส่งได้ไกลประมาณ 1-2 เมตร โดยแสดงระบบโดยรวมเป็นไดอะแกรมให้ดูดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงองค์ประกอบภาคส่งและภาครับ

จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นองค์ประกอบของภาคส่งและภาครับ อธิบายตามไดอะแกรมข้างต้น จะได้ว่า ขั้นตอนแรกจะเป็นการเลือกข้อมูลหรือสัญญาณที่ต้องการส่งและนำมาขยายสัญญาณก่อน โดยวงจร modulator จากนั้นจึงส่งต่อสัญญาณที่ขยายแล้วนั้นไปที่หลอดไฟ LED เพื่อให้หลอดไฟ LED ทำการส่งข้อมูลต่อไปที่อุปกรณ์รับแสงโดยใช้เป็น solar panel จากนั้นเมื่ออุปกรณ์รับแสง solar panel ได้ข้อมูลจากหลอดไฟ LED แล้วข้อมูลจะถูกกรองเอาสัญญาณอื่น ๆ ที่ใช้ในการขยายสัญญาณหรือสัญญาณที่เราไม่ต้องการที่ติดมาระหว่างส่งสัญญาณออกไปเพื่อให้เหลือแต่สัญญาณที่เราส่งมาในตอนแรก จากนั้นก็จะได้สัญญาณไปที่ตัวแสดงผลข้อมูลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ได้ดำเนินการจัดทำขึ้นเพื่อส่งสัญญาณเสียงผ่านแสง visible light เพื่อแสดงผลแบบเรียลไทม์ และอาจมีการส่งวิดีโอแบบเรียลไทม์ด้วย ถ้าสามารถทำได้

โดยวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ต่างดังต่อไปนี้

1.Protoboard	2 บอร์ด
2.LED สีขาว	3 ตัว
3.แผ่นปริ้นสีเขียว	1 แผ่น
4.Solar panel	1 แผง
5.Power supply	1 เครื่อง
6.วงจรรภาคส่ง	1 ชุด

ประกอบไปด้วย :

- ตัวเก็บประจุ 22  $\mu\text{f}$  1 ตัว / 1  $\mu\text{f}$  1 ตัว / 470  $\mu\text{f}$  1 ตัว
- ตัวต้านทาน 10  $\text{k}\Omega$  1 ตัว / 15  $\text{k}\Omega$  2 ตัว / 50  $\text{k}\Omega$  (ปรับค่าได้) 1 ตัว
- IC 741 1 ตัว
- ทรานซิสเตอร์ BC548 1 ตัว

7.วงจรมอดูเลเตอร์	1 ชุด
-------------------	-------

ประกอบไปด้วย :

- IC 555 1 ตัว
- ตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu\text{f}$  2 ตัว / 10  $\mu\text{f}$  1 ตัว
- ตัวต้านทาน 10  $\text{k}\Omega$  1 ตัว / 1.5  $\text{k}\Omega$  1 ตัว / 5.6  $\text{k}\Omega$  1 ตัว

8.โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
9.Oscilloscope	1 เครื่อง
10.ลำโพง	1 ตัว
11.สายไฟ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและบันทึกผล

1. ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

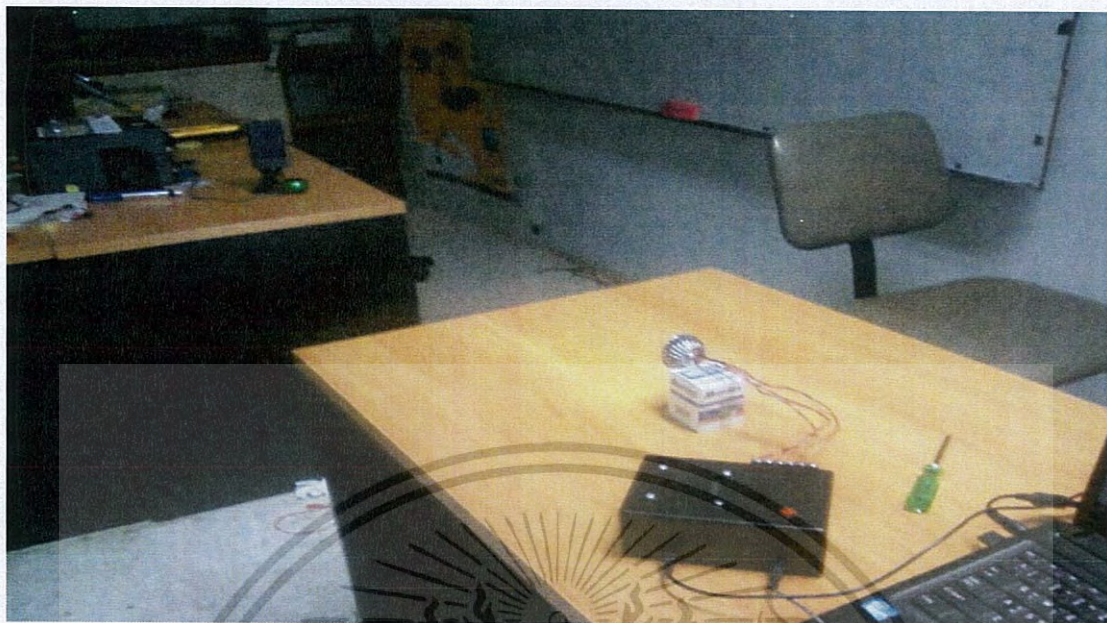
2. ติดตั้ง Solar panel เป็นภาครับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ติดตั้ง Solar panel เป็นภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ทำการทดลองส่งสัญญาณและบันทึกผล ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะการทดลอง

### 4. สิ่งที่ใช้วางลำแสงในการทดลอง



รูปที่ 3.8 กระจกติดฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ก่อ่งใส่น้ำ

5. ใช้เครื่องวัดความดังเสียงและโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.10 ในการวัดค่าเพื่อบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความดังเสียงและโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

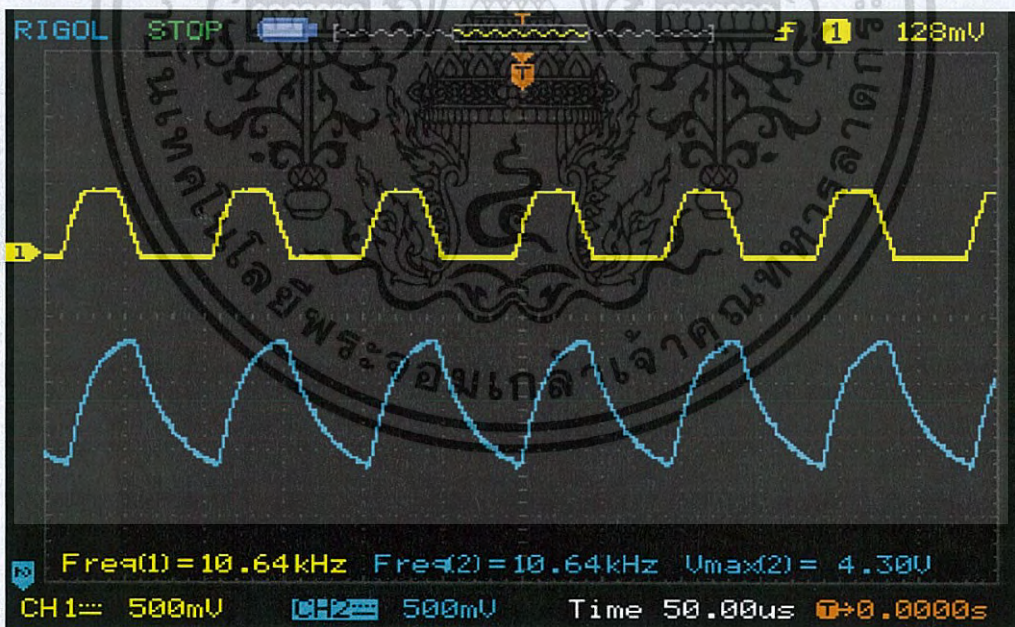
### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการทดลองการวัดสัญญาณเสียงที่ออกมาจาก Function Generator เทียบกับสัญญาณเสียงที่รับได้จากวงจรรักษาสัญญาณ

ในโครงการนี้ ได้ทำการทดลองวัดสัญญาณเสียงที่ออกมาจาก Function Generator ในห้องที่มีสภาพแสงแวดล้อมต่างๆกัน ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 สัญญาณที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับของสัญญาณจาก Function Generator เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากแสงอาทิตย์เข้ามารบกวน

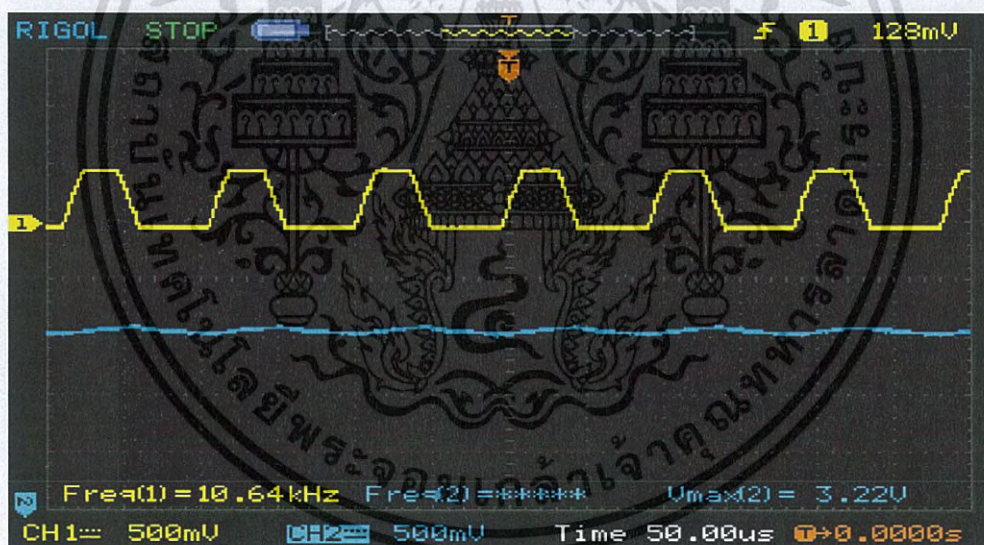
ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generature สำหรับ channel 2 ได้ถูกใช้ในการตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้



รูปที่ 4.1 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 30 cm



รูปที่ 4.2 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1m

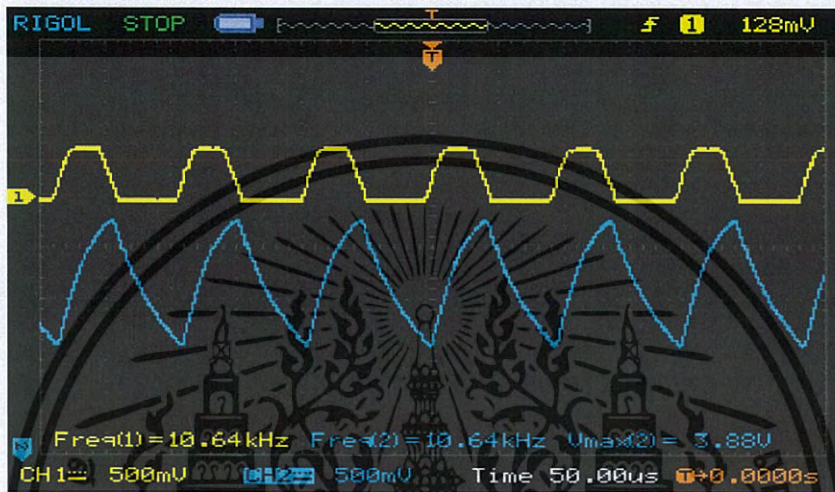


รูปที่ 4.3 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1.50 m

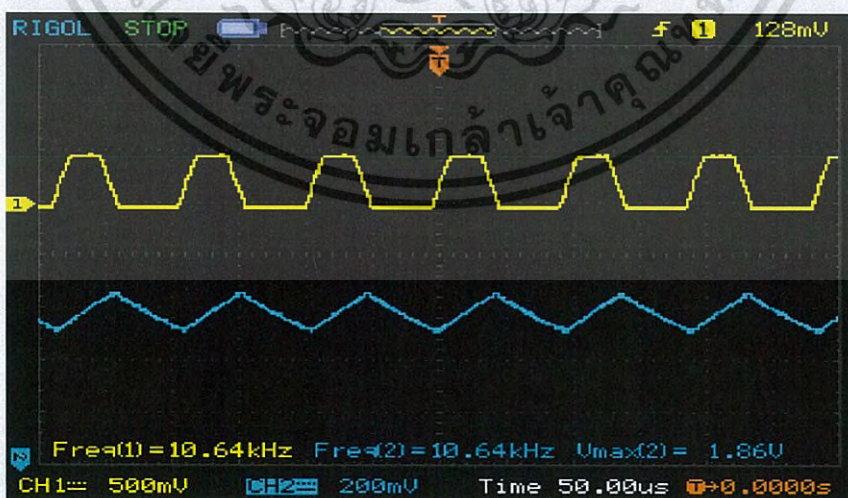
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 สัญญาณที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจาก Function Generator เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากหลอดไฟภายในห้องรบกวน

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generator และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้

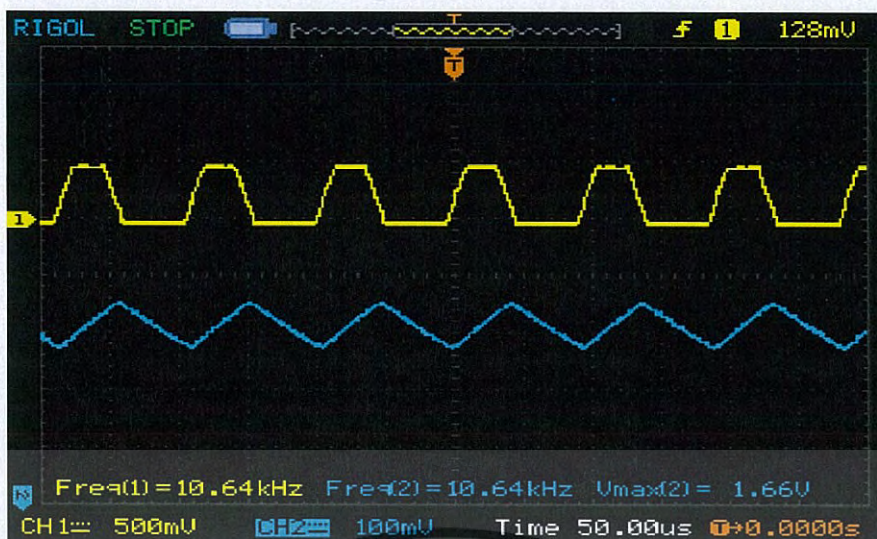


รูปที่ 4.4 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากหลอดไฟรบกวนในระยะ 30cm



รูปที่ 4.5 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากหลอดไฟรบกวน ในระยะ 1m

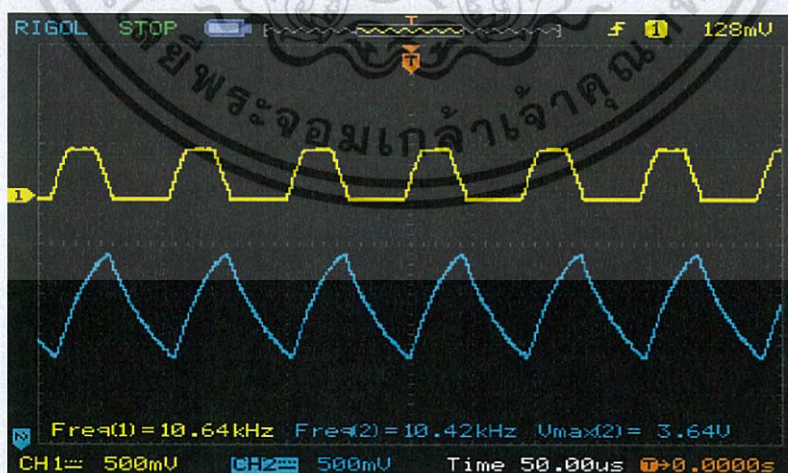
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากหลอดไฟรบกวน ในระยะ 1.50m

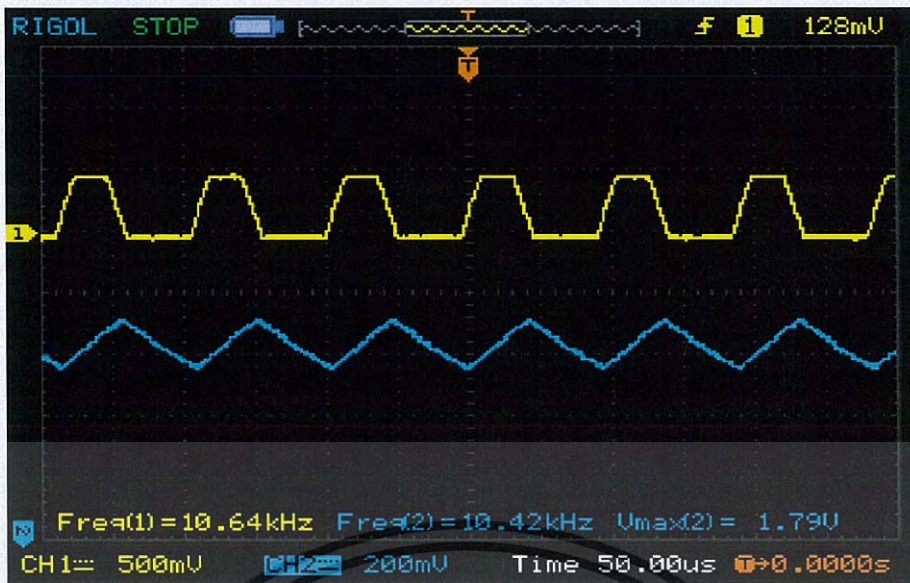
#### 4.1.3 สัญญาณที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจาก Function Generator เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากแสงจากทุกแหล่งรบกวน

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generature และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้



รูปที่ 4.7 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 1m

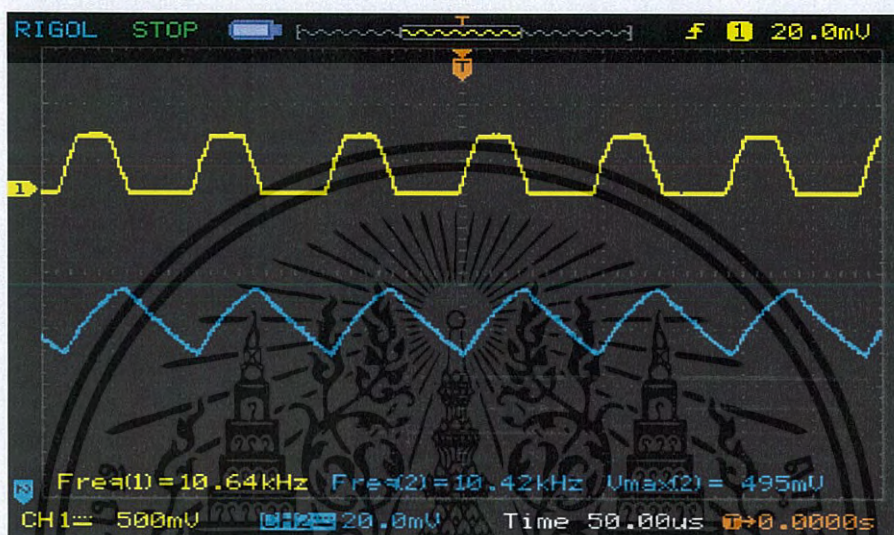


รูปที่ 4.9 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในกรณีสภาพแวดล้อมปราศจากแสงจากแหล่งรบกวน ในระยะ 1.50m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การเทียบสัญญาณที่เกิดจากตัวรับสัญญาณจาก Function Generator ในขนาดพื้นที่ตัวรับที่ต่างกัน

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generator และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณเดียวกัน และใช้ตัวรับสัญญาณที่มีพื้นที่รับแสงขนาดต่างๆกัน ดังนี้

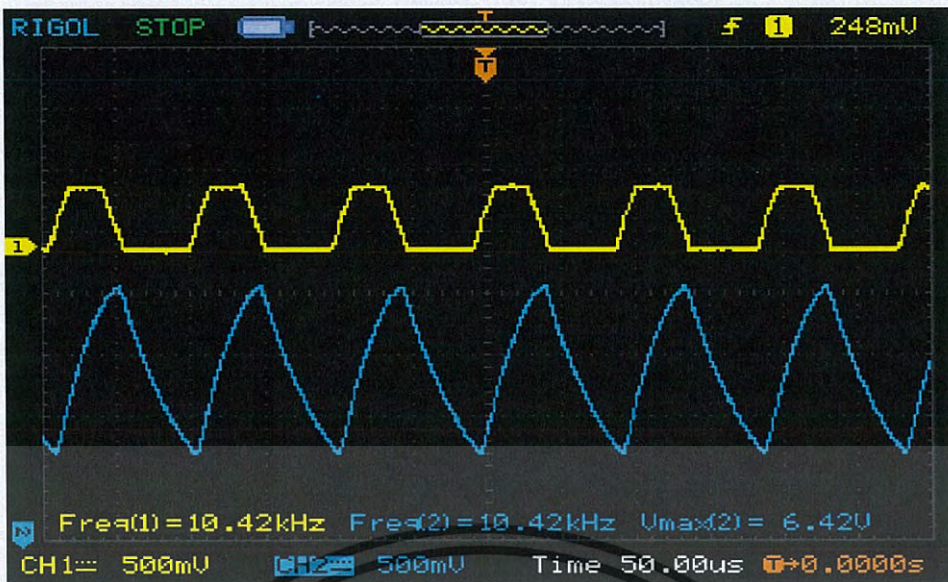


รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 6x6 mm เทียบกับตัวส่งสัญญาณ



รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 1x1 cm เทียบกับตัวส่งสัญญาณ

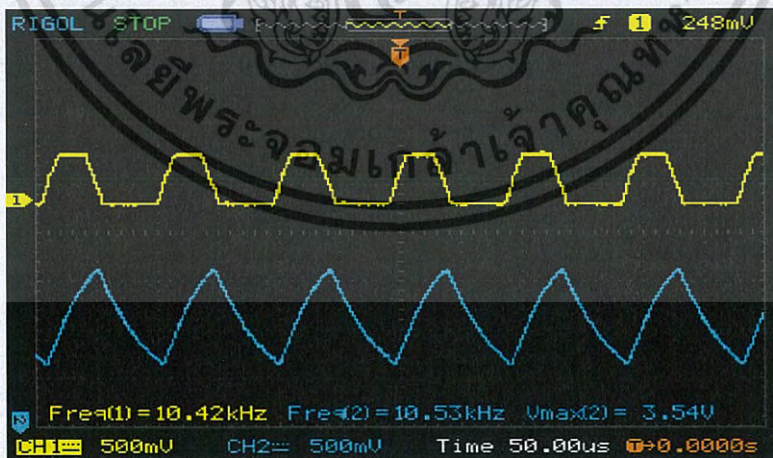
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



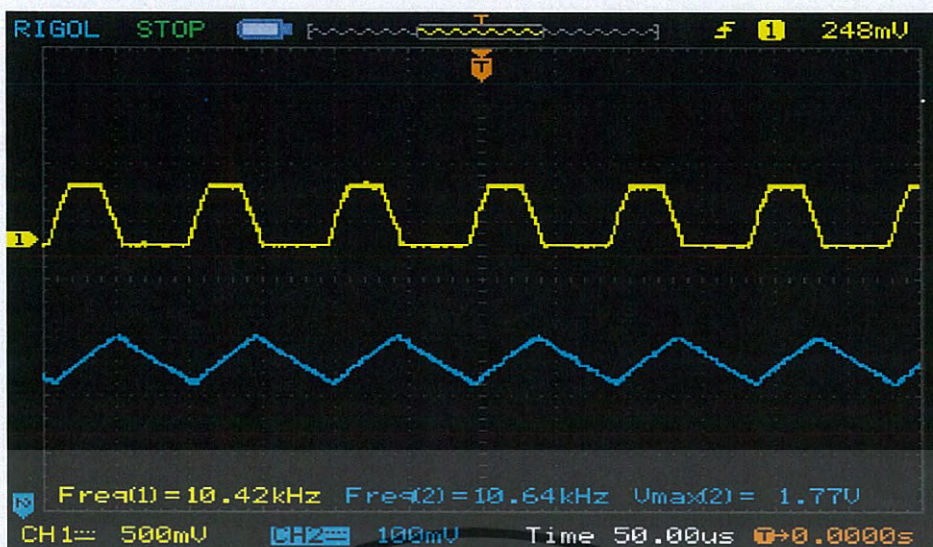
รูปที่ 4.12 รูปสัญญาณที่เกิดจากตัวรับขนาด 12.5 x 19.5 cm เทียบกับตัวส่งสัญญาณ

#### 4.1.5 สัญญาณที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับของสัญญาณจาก Function Generator เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำมากั้นระหว่างการส่งสัญญาณผ่านแสง (น้ำบรรจุในภาชนะพลาสติก)

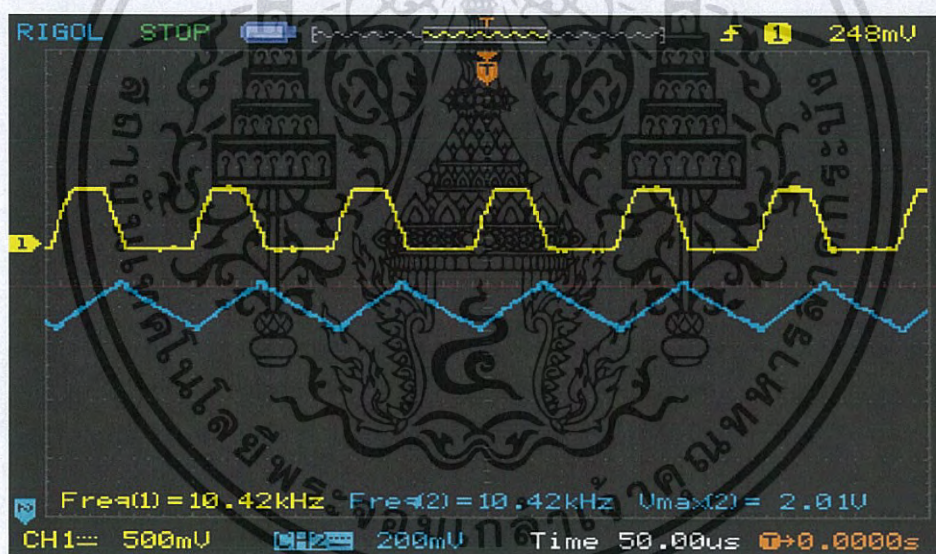
ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generator และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่าง ๆ กัน ดังนี้



รูปที่ 4.13 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 30cm



รูปที่ 4.14 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 1m



รูปที่ 4.15 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel 2) ในภาชนะบรรจุน้ำกั้นกลาง ในระยะ 1.5m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 สัญญาณที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับของสัญญาณจาก Function Generator เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมมีแผ่นกระจกใสนั้น

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generature และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้

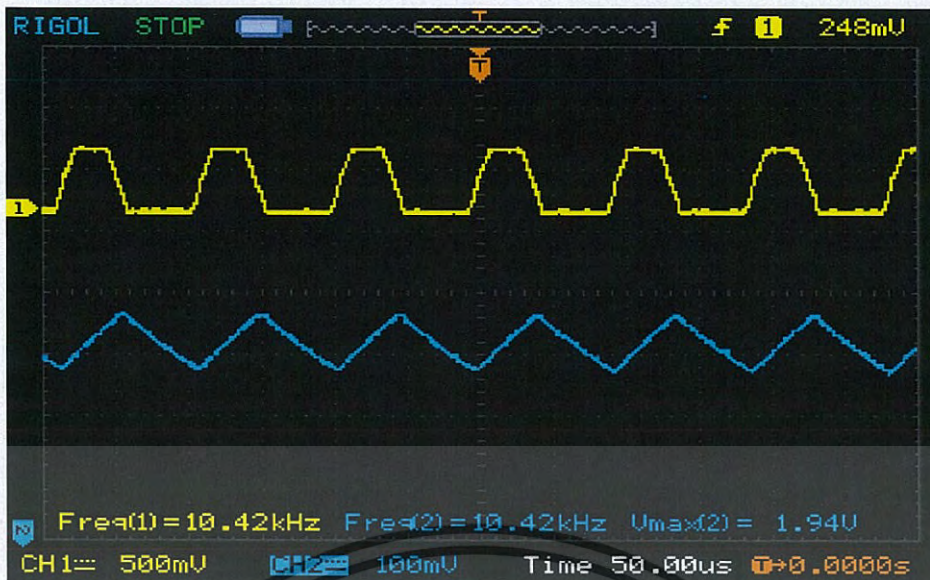


รูปที่ 4.16 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 30 cm



รูปที่ 4.17 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



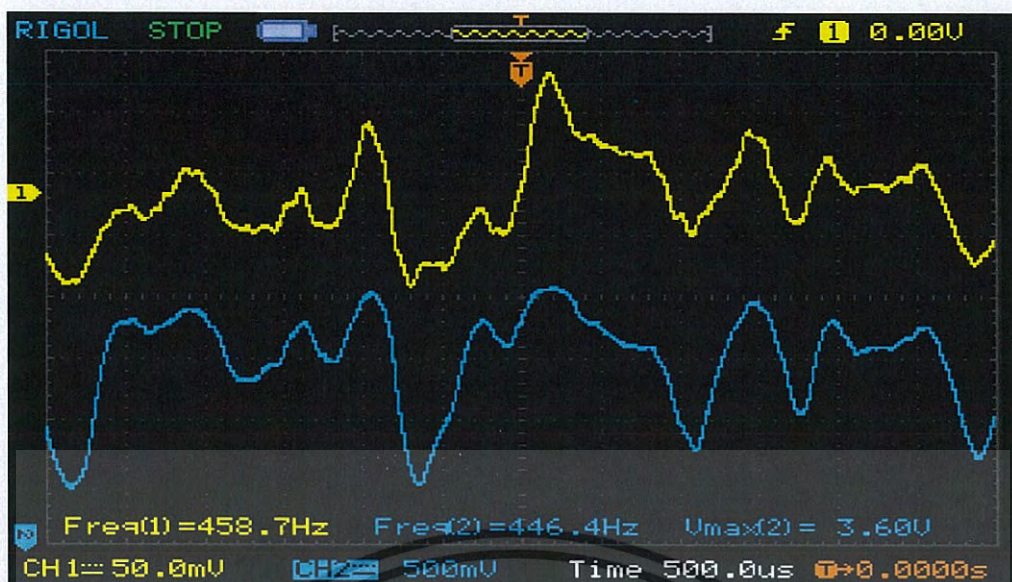
รูปที่ 4.18 รูปแสดง Waveform ระหว่างสัญญาณที่วัดได้จากตัวส่ง (Channel 1) และ สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับ (Channel2) ในกรณีสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน ในระยะ 1.5 m

## 4.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณเสียงจากไฟล์เสียงที่ออกมาจากภาคส่งเทียบกับสัญญาณเสียงจากวงจรภาครับสัญญาณ

สัญญาณเสียงที่ถูกส่งออกมาจากภาคส่งนี้เป็นสัญญาณ Analog ที่ถูกแปลงมาจากสัญญาณ Digital ของข้อมูลผ่านอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงเช่น การส่งสัญญาณเสียงของโทรศัพท์หรือของคอมพิวเตอร์ เมื่อเทียบสัญญาณที่ออกมาเหล่านี้กับสัญญาณที่ทำการขยายสัญญาณก่อนจะส่งไปที่ภาคส่ง (หลอด LED) ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองวัดสัญญาณเสียงที่ส่งมาจากต้นแบบวงจรส่งสัญญาณเสียง ในห้องที่มีสภาพแสงแวดล้อมต่างๆกัน ดังต่อไปนี้

### 4.2.1 สัญญาณเสียงที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจากเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงจากหลอดไฟภายในห้องรบกวน

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณไฟล์เสียงที่ส่งมาจากต้นแบบวงจรส่งสัญญาณเสียง และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้



รูปที่ 4.19 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 30cm



รูปที่ 4.20 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1 m

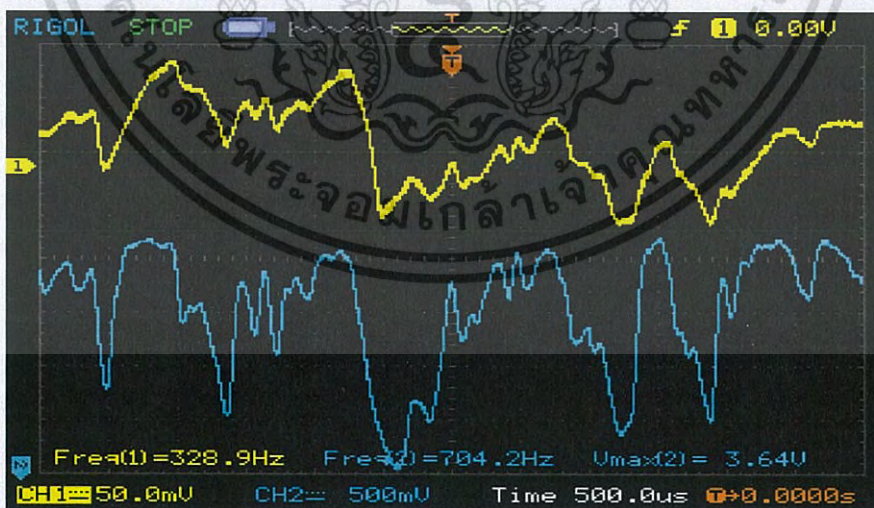
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1.5 m

#### 4.2.2 สัญญาณเสียงที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจากเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีภาชนะบรรจุน้ำก้นกลาง

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generature และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแ่งที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้

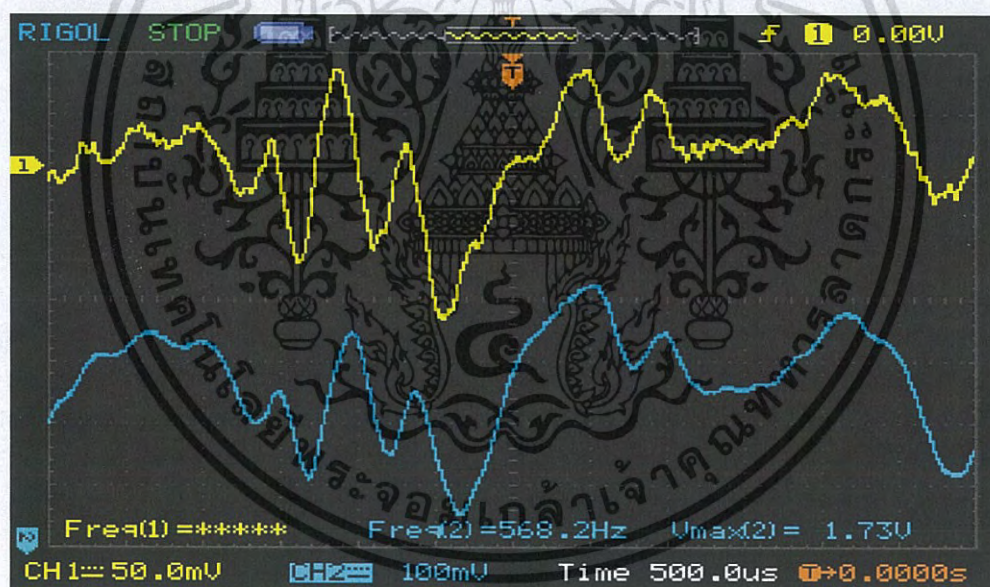


รูปที่ 4.22 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1m

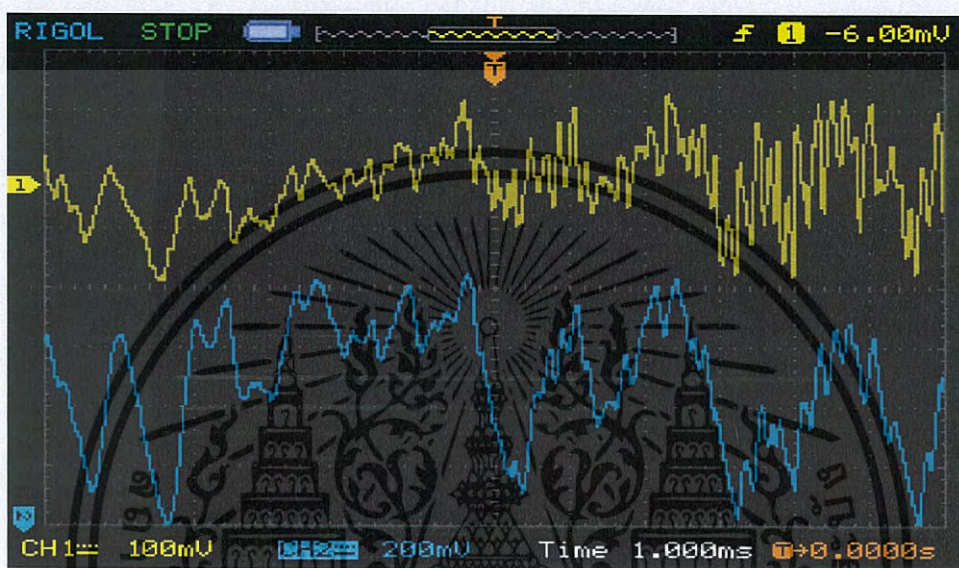


รูปที่ 4.24 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1.5m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 สัญญาณเสียงที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจากเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีกระจกติดฟิล์มกั้นกลาง

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่ส่งมาจาก function generature และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่างๆกัน ดังนี้



รูปที่ 4.25 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 30cm



รูปที่ 4.26 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1m

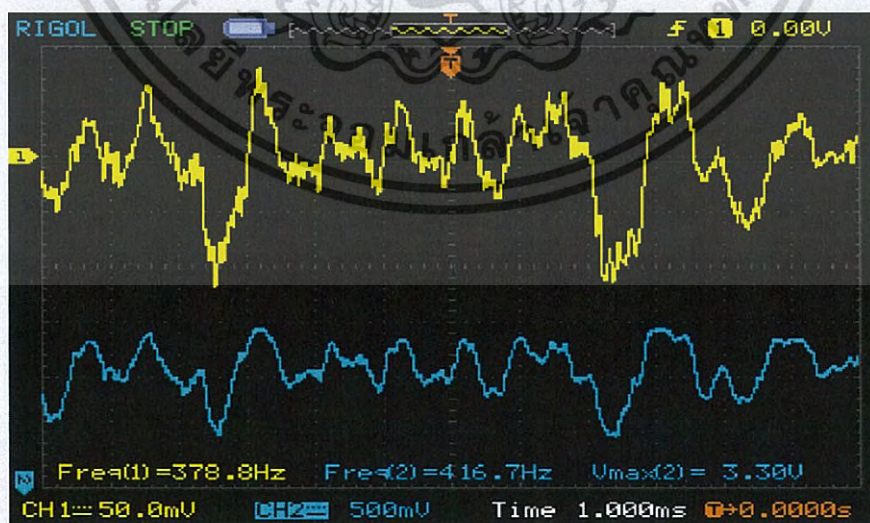
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1.5m

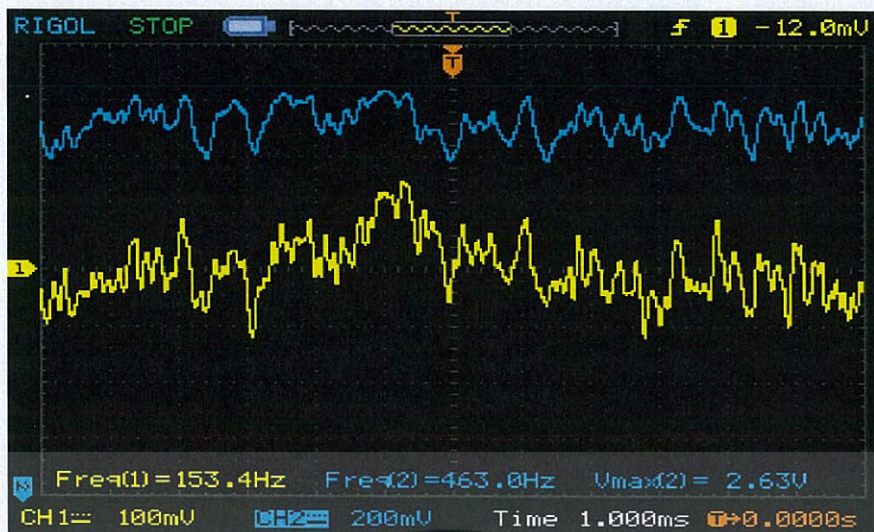
#### 4.2.4 สัญญาณเสียงที่ได้จากตัวส่งเทียบกับตัวรับจากเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์รบกวน

ในการทดลอง เราได้ใช้ channel 1 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณไฟล์เสียงที่ส่งมาจากต้นแบบวงจรส่งสัญญาณเสียง และใช้ channel 2 สำหรับตรวจสอบ wave form ของสัญญาณที่รับได้ด้วยตัวรับแสงที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการทดสอบที่ระยะระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ วางห่างกันเป็นระยะต่าง ๆ กัน ดังนี้

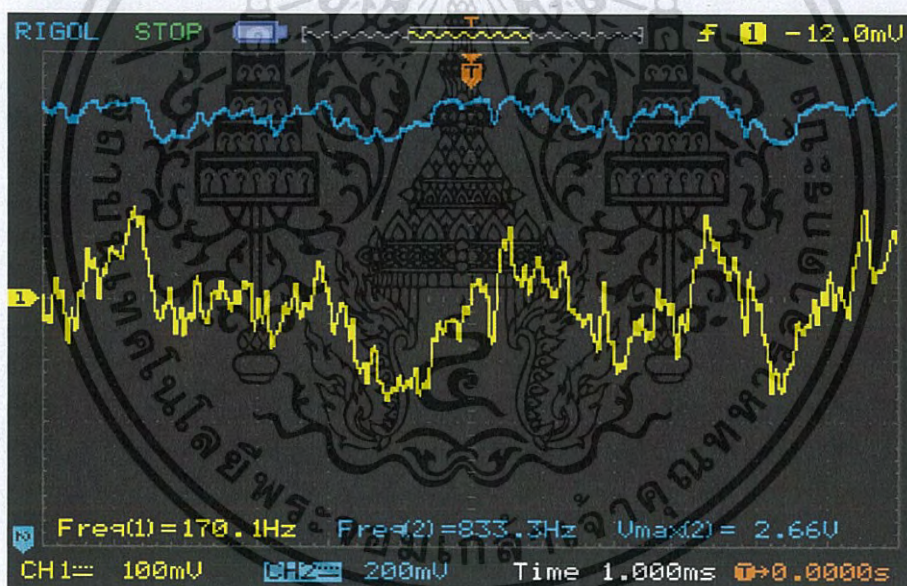


รูปที่ 4.28 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 30cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1 m



รูปที่ 4.30 รูปแสดงสัญญาณเสียงที่วัดได้โดยประกอบด้วย สัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาคส่งสัญญาณ (Channel1) และสัญญาณเสียงที่วัดได้จากภาครับสัญญาณ(Channel2) ที่ระยะ 1.5 m

### 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดต่างๆกัน ในขณะที่มีการรับข้อมูลเสียง และในขณะที่ยังไม่มีการส่งข้อมูลเสียง เมื่อตัวรับส่งข้อมูลวางห่างกันเป็นระยะต่างๆ ดังที่ปรากฏในตารางที่ 4.3.1 และตารางที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.1 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับสัญญาณแต่ละประเภท (โดยยังไม่ส่งสัญญาณ)

ระยะระหว่าง ตัวรับและตัว ส่ง สัญญาณ (cm)	Soloar panel ขนาด6.5x6.5 cm	Soloar panel ขนาด5.5x8 cm	Soloar panel ขนาด12x19 cm	Photodiode ขนาด 0.6x0.6 cm
10	4.14 V	3.80 V	4.78 V	0.52 V
20	3.34 V	3.16 V	4.97 V	0.49 V
30	2.75 V	2.63 V	4.86 V	0.47 V
40	2.38 V	2.32 V	4.50 V	0.45 V
50	2.07 V	2.06 V	4.17 V	0.43 V
60	1.87 V	1.87 V	3.75 V	0.43 V
70	1.71 V	1.67 V	3.53 V	0.42 V
80	1.58 V	1.52 V	3.33 V	0.41 V
90	1.46 V	1.38 V	3.00 V	0.41 V
100	1.24 V	1.35 V	2.76 V	0.40 V
110	1.16 V	1.30 V	2.73 V	0.39 V
120	1.04 V	1.22 V	2.62 V	0.39 V
130	0.98 V	1.14 V	2.46 V	0.39 V
140	0.88 V	1.03 V	2.31 V	0.38 V

ตารางที่ 4.3.2 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับสัญญาณแต่ละประเภท (พร้อมส่งสัญญาณ)

ระยะระหว่าง ตัวรับและตัว ส่ง สัญญาณ (cm)	Soloar panel ขนาด6.5x6.5 cm	Soloar panel ขนาด5.5x8 cm	Soloar panel ขนาด12x19 cm	Photodiode ขนาด 0.6x0.6 cm
10	4.11 V	3.96 V	4.99 V	0.52 V
20	3.18 V	3.22 V	5.23 V	0.49 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	2.67 V	2.66 V	4.90 V	0.47 V
40	2.25 V	2.33 V	4.51 V	0.46 V
50	1.96 V	2.00 V	4.11 V	0.44 V
60	1.74 V	1.84 V	3.76 V	0.43 V
70	1.51 V	1.66 V	3.47 V	0.42 V
80	1.40 V	1.52 V	3.18 V	0.42 V
90	1.28 V	1.32 V	2.98 V	0.41 V
100	1.18 V	1.29 V	2.83 V	0.40 V
110	1.13 V	1.26 V	2.58 V	0.40 V
120	1.05 V	1.16 V	2.50 V	0.39 V
130	0.98 V	1.12 V	2.44 V	0.39 V
140	0.94 V	1.07 V	2.32 V	0.39 V

ตารางที่ 4.3.3 ตารางระหว่าง ระยะทางในการวัดกับความดังและความต่างศักย์ของตัวรับในสภาพแวดล้อมต่างๆ

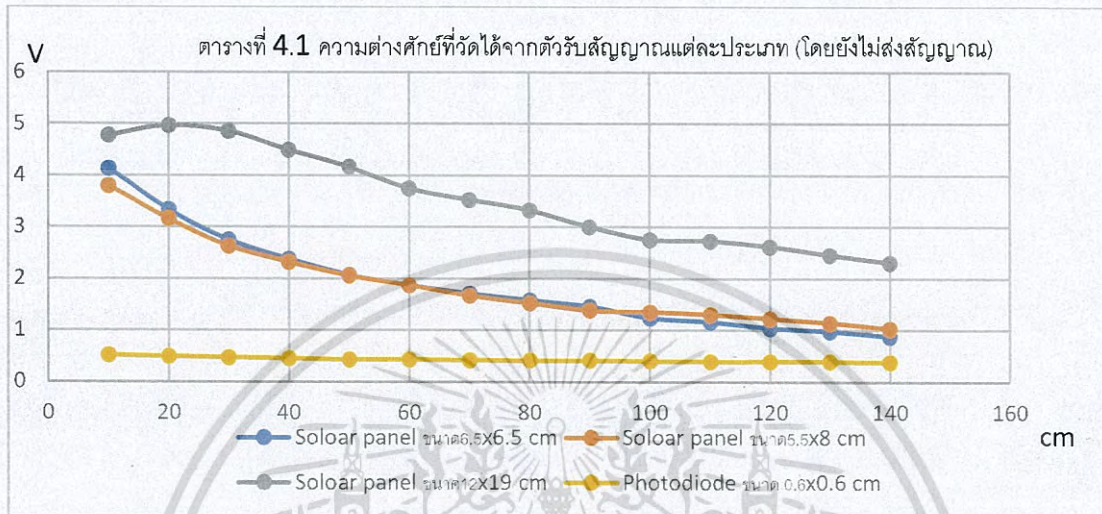
ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์และความดังเสียงที่วัดได้ โดยใช้เครื่องวัดความดังเสียง ในห้องที่มีสภาพแสงต่าง ๆ กัน เมื่อตัวรับส่งข้อมูลวางห่างกันเป็นระยะต่างๆ ดังนี้

ระยะที่วัด cm	ห้องมืด		แสงอาทิตย์		ผ่านน้ำ	
	ความดัง dBA	ความต่าง ศักย์ V	ความดัง dBA	ความต่าง ศักย์ V	ความดัง dBA	ความต่าง ศักย์ V
30	108.7	3.64	102.9	4.3	110.3	3.54
100	102	1.79	95.5	3.24	104.5	1.77
150	88.7	1.45	88.1	3.22	95.5	2.01

\*ความดังเสียงสูงสุดที่วัดได้โดยตรงจากตัวส่งสัญญาณ 113.3 dBA

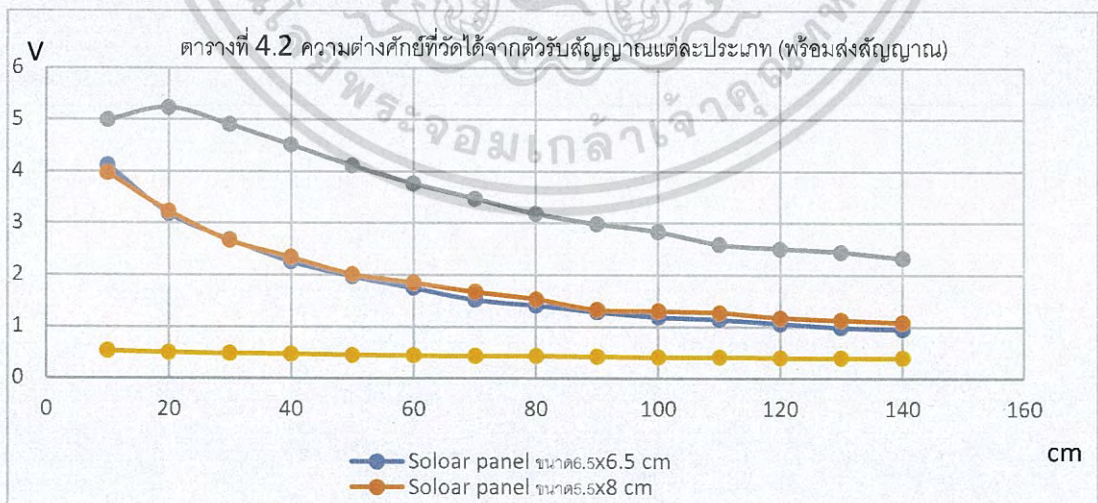
#### 4.4 กราฟที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลอง

ในส่วนนี้เป็นการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับแสงที่มีพื้นที่รับแสงขนาดต่างๆกัน ในขณะที่ยังไม่มีการส่งสัญญาณเสียง โดยวางตัวรับแสงที่ระยะห่างจากตัวส่งสัญญาณเป็นระยะต่างๆกัน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.1



รูปที่ 4.31 กราฟจากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1

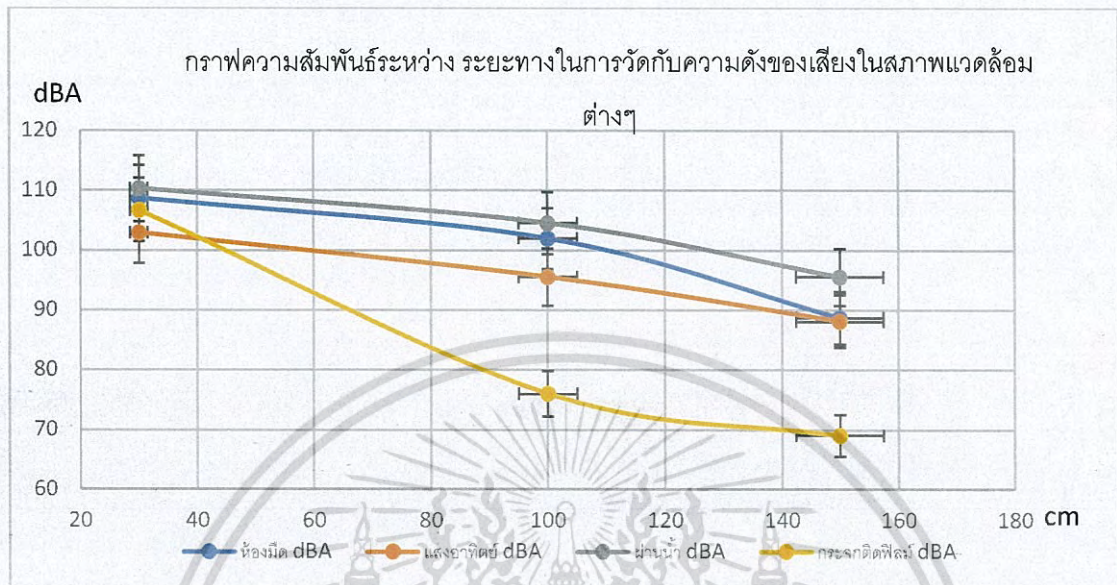
ในส่วนนี้เป็นการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับแสงที่มีพื้นที่รับแสงขนาดต่างๆกัน ในขณะที่ยังไม่มีการส่งสัญญาณเสียง โดยวางตัวรับแสงที่ระยะห่างจากตัวส่งสัญญาณเป็นระยะต่างๆกัน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.2



รูปที่ 4.32 กราฟจากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.2

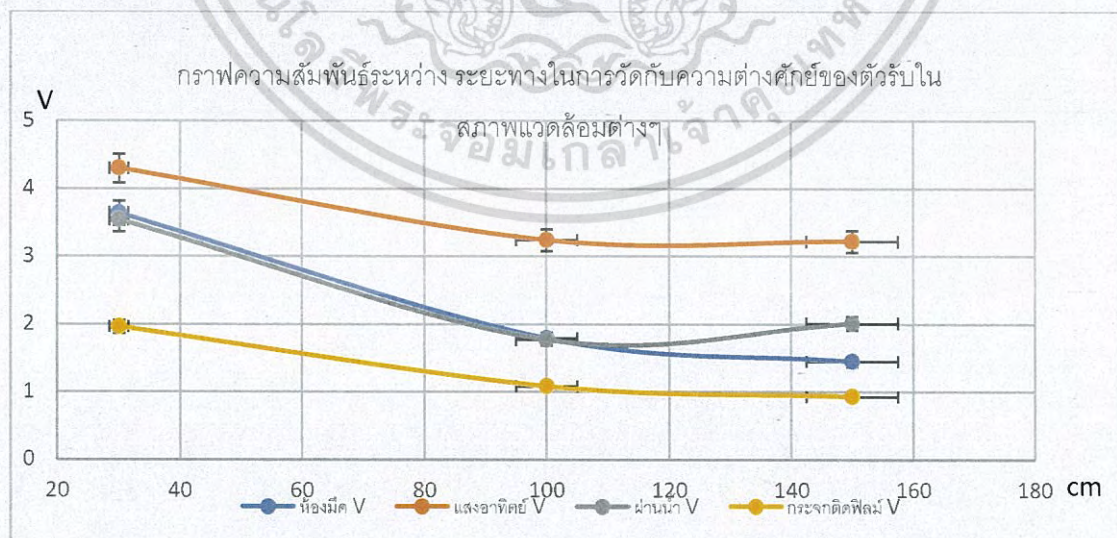
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้เป็นการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างที่วัดได้จากเครื่องวัดความดังเสียง ในห้องที่มีสภาพแสงต่าง ๆ กัน โดยวัดความดังเสียงที่รับได้ที่ระยะห่างจากตัวส่งสัญญาณเสียงเป็นระยะต่าง ๆ กัน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.3



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางในการวัดกับความดังของเสียงในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

ในส่วนนี้เป็นการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับแสง ในห้องที่มีสภาพแสงต่าง ๆ กัน โดยวัดความต่างศักย์ที่ตัวรับแสงที่วางห่างจากตัวส่งสัญญาณเสียงเป็นระยะต่าง ๆ กัน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3.3



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางในการวัดกับความต่างศักย์ของตัวรับในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบต้นแบบของระบบรับส่งสัญญาณเสียงด้วยแสงจากแอลอีดีกำลังสูง โดยการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากตัวรับในขณะที่รับสัญญาณ พบว่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับในขณะที่รับสัญญาณนั้นแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับ โดยระยะห่างมากขึ้นความต่างศักย์ก็ยิ่งมีค่าน้อย เป็นต้น นอกจากนี้ จากการทดลองพบว่าสภาพแวดล้อมแสงต่างๆในห้องขณะทำการทดลอง มีผลต่อค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวรับแสง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างห้องที่มีแสงจากหลอดไฟอื่นๆเปิดอยู่ด้วย กับห้องที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านและในห้องที่มีตีสนิท ปรากฏว่าจะเกิดความต่างศักย์มากที่สุดที่ตัวรับแสงในสภาพแวดล้อมที่มีแสงอาทิตย์ส่องผ่าน ซึ่งส่งผลทำให้สัญญาณมีความต้งน้อยลงไปด้วย สำหรับการทดสอบวัดความต้งของเสียงโดยใช้เครื่องวัดความต้งเสียง ที่ระยะห่างจากตัวส่งสัญญาณต่างๆกัน พบว่าในห้องมืดจะวัดความต้งของเสียงที่ระยะเดียวกันสามารถวัดความต้งได้มากกว่าในห้องที่มีแสงอาทิตย์ส่องผ่านและห้องที่มีหลอดไฟชนิดอื่นเปิดสว่างอยู่

ทำให้สรุปได้ว่า ความต้งของเสียง (dBA) แปรผกผันกับความต่างศักย์ (v) โดยความต่างศักย์น้อยจะมีความต้งของเสียงมาก นอกจากนี้ในระยะห่างระหว่างตัวส่งตัวรับที่ต่างกัน ความต้งของเสียงก็จะแปรผกผันตามระยะห่างด้วย คือ เมื่อระยะห่างมากขึ้น ระดับความต้งเสียงที่วัดได้มีค่าน้อยลง นอกจากนี้จากการเปลี่ยนขนาดของตัวรับแสง พบว่า มีผลต่อค่าความต่างศักย์ที่วัดได้อีกด้วย ดังนี้เมื่อใช้ตัวรับ 4 ขนาด คือ solar panel ขนาด 6.5x6.5 cm. , 5.5x8 cm. , 12x19 cm. และ photo diode 0.6x0.6 cm. พบว่า ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับขนาดของตัวรับสัญญาณ โดยตัวรับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ จะสามารถสร้างความต่างศักย์ได้สูง

เมื่อทำการทดลองส่งสัญญาณเสียงที่ระยะห่างเดียวกัน ทั้งในกรณีที่ไม่มีการกีดขวางลำแสงและในกรณีที่มีวัตถุเสกีดขวางลำแสง ให้ผลการทดสอบดังนี้ คือ ในกรณีที่ไม่มีการกีดขวางลำแสง พบว่าสามารถวัดค่าความต่างศักย์ที่ตัวรับแสงได้ค่าสูงสุด สำหรับในกรณีที่มีวัตถุเสกีดขวางลำแสง 2 ชนิด คือ วัสดุที่บรรจุน้ำ และกระจกใสที่มีความหนาเล็กน้อย ได้ผลต้งต่อไปนี้เป็นคือ ในขณะที่มีวัสดุที่บรรจุน้ำขวางลำแสงอยู่ สามารถวัดค่าความต่างศักย์ที่ตัวรับแสงได้ค่าสูงกว่าในกรณีที่มีกระจกใสขวางลำแสงอยู่

สำหรับผลการวัดความต้งของเสียงโดยใช้เครื่องวัดความต้งเสียง ให้ผลตรงกันข้ามกับความต่างศักย์ พบว่า การส่งสัญญาณเสียงโดยมีวัสดุบรรจุน้ำกีดขวางลำแสงอยู่ สามารถวัดความต้งเสียงได้ค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่มีกระจกใสกีดขวางลำแสงอยู่และกรณีที่ไม่มีการกีดขวางลำแสง โดยในขณะที่ไม่มีการกีดขวางลำแสงและในกรณีที่มีกระจกใสกีดขวางลำแสงอยู่ วัดค่าความต้งของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ใกล้เคียงกัน จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า ยิ่งความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากตัวรับสัญญาณมีค่าน้อย จะทำให้วัดความดังของเสียงได้ค่าสูง และยิ่งระยะห่างจากตัวรับส่งมีค่าห่างกันยิ่งน้อย จะยิ่งวัดความดังเสียงได้ค่ามาก”

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมา ทำให้เทคโนโลยีการส่งข้อมูลเสียงแบบไร้สายด้วยแสง แอลอีดีนั้น สามารถถูกนำไปใช้เส้นทางเลือกใหม่ในการรับส่งข้อมูลเสียงแทนที่เทคโนโลยีไร้สายแบบใช้คลื่นวิทยุอาร์เอฟซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ โดยต้นแบบระบบรับส่งข้อมูลเสียงไร้สายด้วยแสงแอลอีดีเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในห้องที่มีการห้ามใช้เสียง เช่น ห้องสมุด หรือการส่งข้อมูลเสียงจากห้องหนึ่งเข้าไปยังห้องอื่นที่มีกระจกเก็บเสียงกั้นอยู่ได้.

## 5.2 แนวทางการพัฒนา

เครื่องส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงที่จัดทำขึ้นนี้มีแนวคิดที่จะนำไปต่อยอดในรูปแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งมีแนวคิดที่จะนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาดังต่อไปนี้

1. นำไปพัฒนาในการส่งสัญญาณเสียงให้ไกลขึ้นเพื่อให้ใช้หูฟังรับสัญญาณได้ในระยะไกล และเกิดความเป็นส่วนตัวในการรับข้อมูล ไม่ให้ไปรบกวนผู้อื่นที่อยู่บริเวณใกล้เคียง
2. เป็นอุปกรณ์อธิบายคุณสมบัติ ราคา ต่างๆของสินค้า เมื่อมีลูกค้าเข้ามายังตำแหน่งที่มีแสงไฟตกกระทบหน้าสินค้านั้นๆในห้างสรรพสินค้า เพื่อให้ลูกค้าได้รับการอธิบายคุณสมบัติต่างๆโดยไม่ต้องถามพนักงานและไม่รบกวนลูกค้าบริเวณใกล้เคียง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์,พื้นฐานการสื่อสาร.วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ :โรงพิมพ์จุฬารณัฒมหาวิทยาลัย,2533.
- [2] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, เรียนรู้ไฟฟ้าสื่อสาร.กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนสมาร์ทเลิร์นนิ่ง ,2551.ภัทรสินี ภัทรโกศล.เครือข่ายคอมพิวเตอร์.กรุงเทพมหานคร:พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬารณัฒมหาวิทยาลัย,2555.
- [3] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์.เครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม), กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น,2552.
- [4] วัฒนา ถาวร.การส่องสว่าง.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร : บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด,2540.
- [5] Choi, J.H. ; Cho, E.-B. ;Kang, T.-G. ;Lee, C.G. (2010) Pulse-width modulation based signal format for visible light communications, Technical Digest of OECC 2010, pp. 276-277, 978-1-4244-6785-3, Sapporo, (July 2010) IEICE
- [6] Schubert, E. F. (2003). Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, 0-521-82330, UK
- [7] Moreira, A. J. C. ; Valadas, R. T. ; de Oliveira Duarte, A. M. (1997) Optical interference produced by artificial light, Wireless Networks, Vol. 3, No. 2, (June 1997) (131-140), 1022-0038
- [8] [Online]<http://teacher.aru.ac.th>
- [9] [Online]<https://www.thaielecomkm.org/TTE/>
- [10] [Online]<http://www.physics.kmitl.ac.th>
- [11] [Online]<http://www.thaimicrotron.com>
- [12] [Online]<http://www.electrosome.com>
- [13] [Online]<http://andy96877.blogspot.com/p/visible-light-communication-vlc-is-data.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] [Online]<http://www.rmutphysics.com>
- [15] [Online]<http://www.ebay.com/bhp/9v-solar-panel>
- [16] [Online]<https://th.wikipedia.org/wiki/เซลล์แสงอาทิตย์>
- [17] [Online]<https://www.youtube.com/watch?v=OCZlWMnA6iE>
- [18] [Online][http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong\\_web/Light.htm](http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Light.htm)
- [19] [Online]<https://www.youtube.com/watch?v=yLWNT6OveeY>
- [20] [Online]<http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/LED/thaiLED2.htm>
- [21] [Online]<https://th.wikipedia.org/wiki/เซลล์แสงอาทิตย์>
- [22] [Online]<https://www.engineergarage.com>



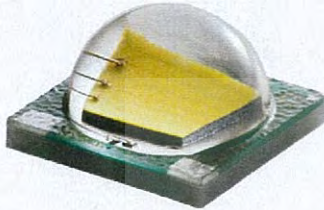
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Cree® XLamp® XM-L LEDs



## PRODUCT DESCRIPTION

The XLamp® XM-L LED is the industry's highest performance, single-die white lighting-class LED. The XLamp XM-L LED is 20% more efficient than the XLamp XP-G LED at the same current, and can deliver 1000 lumens with 100 lumens per watt efficacy. The XLamp XM-L LED offers Cree's industry-leading features: wide viewing angle, symmetrical package, unlimited floor life and electrically neutral thermal path.

XLamp XM-L LEDs can enable LED light into new applications that require tens of thousands of lumens, such as high bay and high-output area lighting. The XM-L is also the ideal choice for lighting applications where high light output and maximum efficacy are required, such as LED light bulbs, outdoor lighting, portable lighting, indoor lighting and solar-powered lighting.

## FEATURES

- Maximum drive current: 3000 mA
- Low thermal resistance: 2.5 °C/W
- Maximum junction temperature: 150 °C
- Viewing angle: 125°
- Available in cool white, 80-CRI, minimum neutral white and 80-CRI, 85-CRI and 90-CRI warm white
- ANSI-compatible chromaticity bins
- Unlimited floor life at ≤ 30 °C/85% RH
- Reflow solderable - JEDEC J-STD-020C
- Electrically neutral thermal path
- RoHS- and REACH-compliant
- UL® recognized component (E349212)

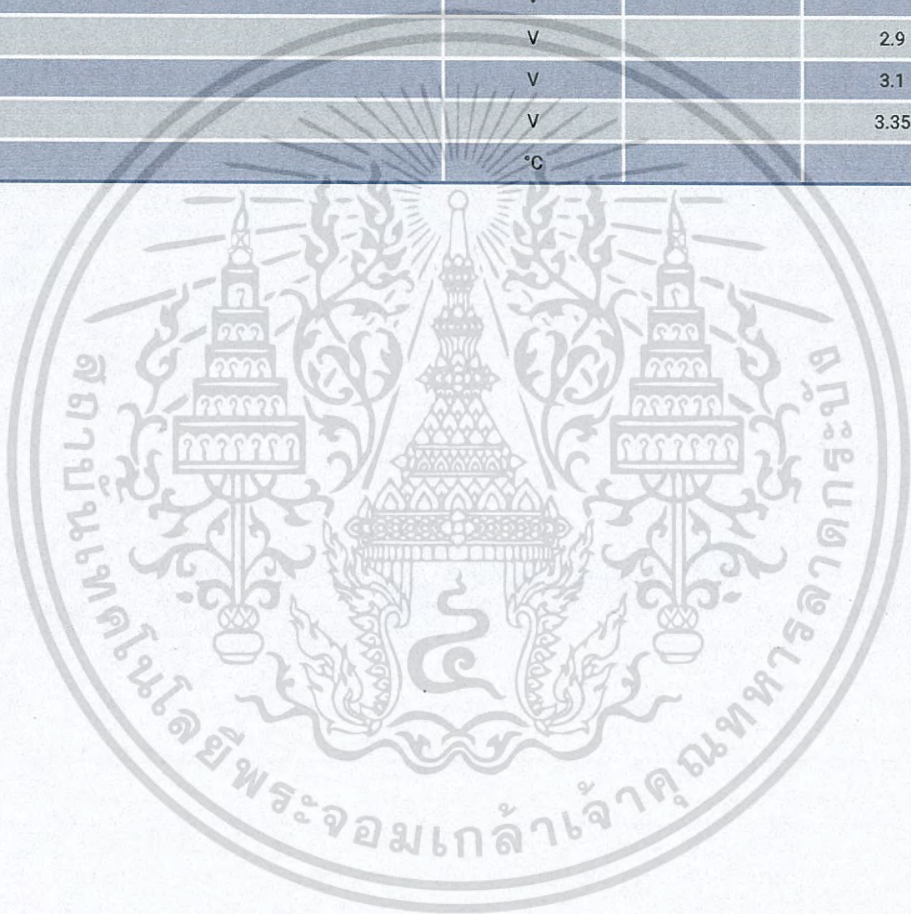


## TABLE OF CONTENTS

Characteristics .....	2
Flux Characteristics .....	3
Relative Spectral Power Distribution ....	4
Relative Flux vs. Junction Temperature .....	4
Electrical Characteristics .....	5
Relative Flux vs. Current .....	5
Relative Chromaticity vs. Current (Cool White) .....	6
Relative Chromaticity vs. Temperature (Cool White) .....	6
Relative Chromaticity vs. Current (Warm White) .....	7
Relative Chromaticity vs. Temperature (Warm White) .....	7
Typical Spatial Distribution .....	8
Thermal Design .....	8
Reflow Soldering Characteristics .....	9
Notes .....	10
Mechanical Dimensions .....	12
Tape and Reel .....	13
Packaging .....	14

**CHARACTERISTICS**

Characteristics	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Thermal resistance, junction to solder point	°C/W		2.5	
Viewing angle (FWHM)	degrees		125	
Temperature coefficient of voltage	mV/°C		-2.1	
ESD withstand voltage (HBM per Mil-Std-883D)	V			8000
DC forward current	mA			3000
Reverse voltage	V			5
Forward voltage (@ 700 mA)	V		2.9	3.5
Forward voltage (@ 1500 mA)	V		3.1	
Forward voltage (@ 3000 mA)	V		3.35	
LED junction temperature	°C			150



**FLUX CHARACTERISTICS (T<sub>j</sub> = 25 °C)**

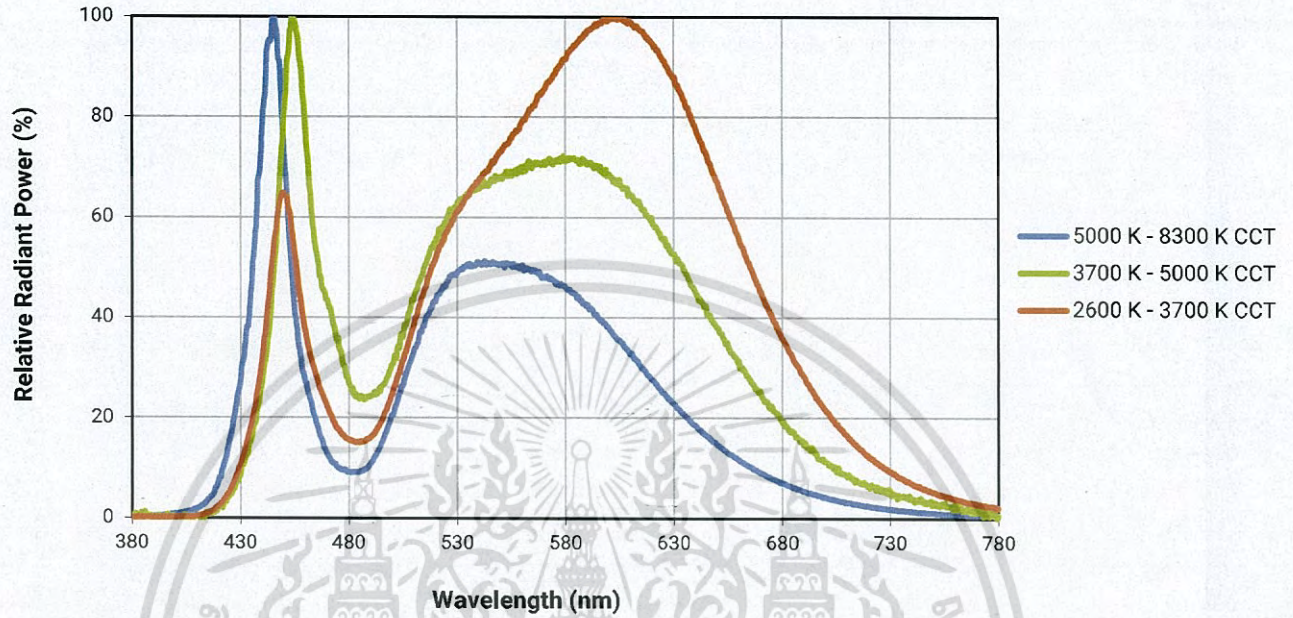
The following table provides several base order codes for XLamp XM-L LEDs. It is important to note that the base order codes listed here are a subset of the total available order codes for the product family. For more order codes, as well as a complete description of the order-code nomenclature, please consult the XLamp XM-L LED Binning and Labeling document.

Color	CCT Range		Minimum Luminous Flux @ 700 mA		Calculated Minimum Luminous Flux (lm)*			Order Code
	Min.	Max.	Group	Flux (lm)	1000 mA	1500 mA	2000 mA	
Cool White	5000 K	8300 K	T5	260	360	511	643	XMLAWT-00-0000-0000T5051
			T6	280	388	551	692	XMLAWT-00-0000-0000T6051
			U2	300	416	590	742	XMLAWT-00-0000-0000U2051
Neutral White	3700 K	5000 K	T4	240	332	472	593	XMLAWT-00-0000-000LT40E4
			T5	260	360	511	643	XMLAWT-00-0000-000LT50E4
80-CRI White	2600 K	4300 K	T2	200	277	393	494	XMLAWT-00-0000-000HT20E7
			T3	220	305	433	544	XMLAWT-00-0000-000HT30F7
Warm White	2600 K	3700 K	T2	200	277	393	494	XMLAWT-00-0000-000LT20E7
			T3	220	305	433	544	XMLAWT-00-0000-000LT30F7
85-CRI White	2600 K	3200 K	S4	164	227	323	406	XMLAWT-00-0000-000PS40E7
			S5	172	238	338	425	XMLAWT-00-0000-000PS50E7
			S6	182	252	358	450	XMLAWT-00-0000-000PS60E7
90-CRI White	2600 K	3200 K	S4	164	227	323	406	XMLAWT-00-0000-000US40E7
			S5	172	238	338	425	XMLAWT-00-0000-000US50E7
			S6	182	252	358	450	XMLAWT-00-0000-000US60E7

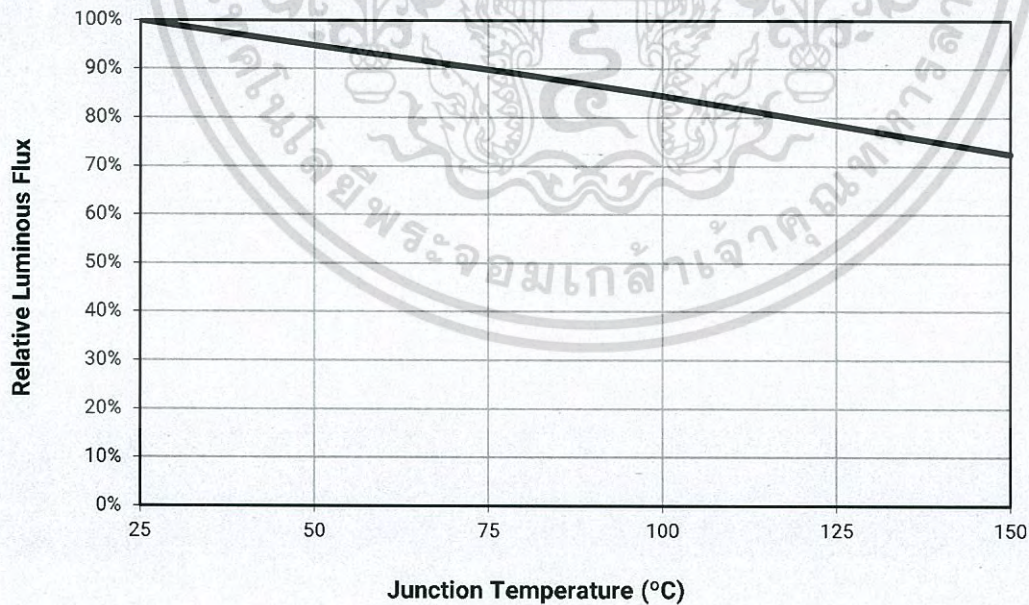
**Notes:**

- Cree maintains a tolerance of ±7% on flux and power measurements, ±0.005 on chromaticity (CC<sub>x</sub>, CC<sub>y</sub>) measurements and ±2 on CRI measurements. See the Measurements section (page 10).
  - Typical CRI for Cool White (5000 K – 8300 K CCT) is 65.
  - Typical CRI for Neutral White (3700 K – 5000 K CCT) is 75.
  - Typical CRI for Warm White (2600 K – 3700 K CCT) is 80.
  - Minimum CRI for 80-CRI White is 80.
  - Minimum CRI for 85-CRI White is 85.
  - Minimum CRI for 90-CRI White is 90
- \* Calculated flux values are for reference only.

RELATIVE SPECTRAL POWER DISTRIBUTION



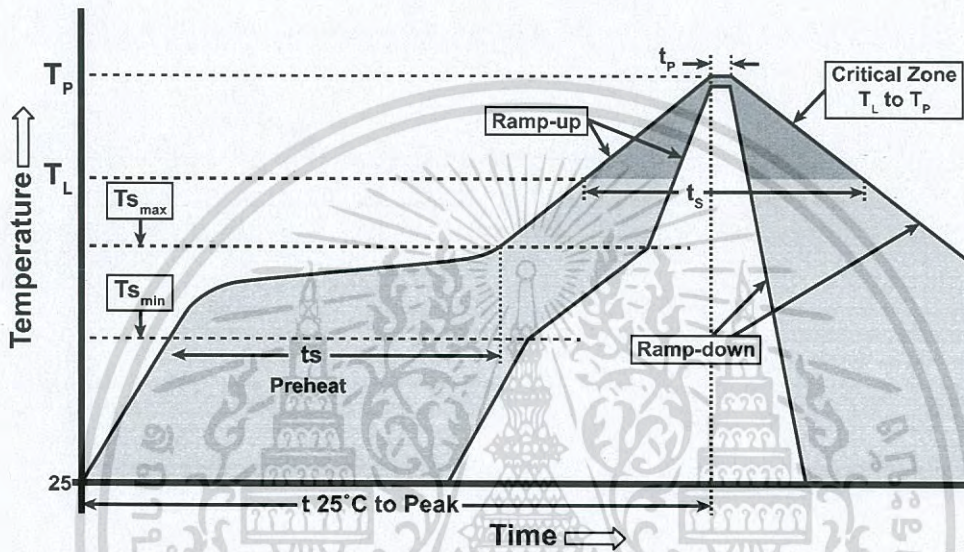
RELATIVE FLUX VS. JUNCTION TEMPERATURE ( $I_F = 700 \text{ mA}$ )



**REFLOW SOLDERING CHARACTERISTICS**

In testing, Cree has found XLamp XM-L LEDs to be compatible with JEDEC J-STD-020C, using the parameters listed below. As a general guideline, Cree recommends that users follow the recommended soldering profile provided by the manufacturer of the solder paste used.

Note that this general guideline may not apply to all PCB designs and configurations of reflow soldering equipment.



IPC/JEDEC J-STD-020C

Profile Feature	Lead-Free Solder
Average Ramp-Up Rate ( $T_{s_{max}}$ to $T_P$ )	1.2 °C/second
Preheat: Temperature Min ( $T_{s_{min}}$ )	120 °C
Preheat: Temperature Max ( $T_{s_{max}}$ )	170 °C
Preheat: Time ( $t_{s_{min}}$ to $t_{s_{max}}$ )	65-150 seconds
Time Maintained Above: Temperature ( $T_L$ )	217 °C
Time Maintained Above: Time ( $t_s$ )	45-90 seconds
Peak/Classification Temperature ( $T_P$ )	235 - 245 °C
Time Within 5 °C of Actual Peak Temperature ( $t_p$ )	20-40 seconds
Ramp-Down Rate	1 - 6 °C/second
Time 25 °C to Peak Temperature	4 minutes max.

Note: All temperatures refer to the topside of the package, measured on the package body surface.

## USB, MINI USB, MICRO USB FIREWIRE & MINI FIREWIRE

UNIVERSAL SERIAL BUS &  
IEEE 1394 FIREWIRE  
USB & FWC SERIES

### INTRODUCTION:

Adam Tech USB, Mini USB & Micro USB (Universal Serial Bus) and IEEE 1394 (Firewire) Series connectors are a complete line of shielded, hot pluggable, high speed I/O interface connectors available in a variety of body styles, sizes, positions and mounting orientations. Each is shielded for superior EMI/RFI protection and features spring contacts for exceptional connectivity properties. Specially designed shells with flares eliminate misconnection and kinked boardlocks add a strong, stable PCB attachment. An ideal solution for a low cost, high speed connection to peripheral devices.

### FEATURES:

- USB-IF Compatible
- High Speed I/O applications
- Variety of Circuit sizes
- Variety of Body Styles
- Standard and Mini versions
- Shielded for EMI/RFI protection

### MATING CONNECTORS:

Adam Tech USB, Mini USB & Micro USB and IEEE 1394 series connectors and all industry standard USB and IEEE 1394 connectors.

### SPECIFICATIONS:

#### Material:

Standard insulator: PBT, Glass filled, rated UL94V-0  
Optional Hi-Temp insulator: Nylon PA9T, rated UL94V-0  
Insulator Color: Black (White optional)  
Contacts: Phosphor Bronze or Brass  
Shell: Steel, nickel plated

#### Contact Plating:

Gold over Nickel on mating area,  
Tin over Copper underplate on tails

#### Electrical:

Operating Voltage: 30V AC  
Current Rating: 1 Amp max.  
Contact Resistance: 30 mΩ max.  
Insulation Resistance: 1000 MΩ min.  
Dielectric Withstanding Voltage: 100V AC for 1 minute

#### Mechanical:

Insertion force: 3 oz max.  
Withdrawal force: 0.5 oz min.

#### Temperature Ratings:

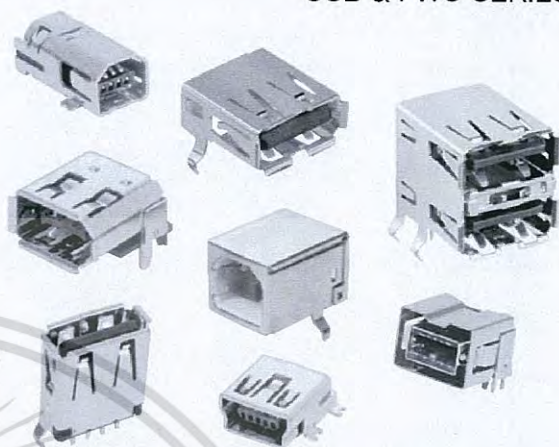
Operating Temperature: -55°C to +85°C  
Soldering process temperature:  
Standard insulator: 235°C  
Hi-Temp insulator: 260°C

#### PACKAGING:

Anti-ESD plastic trays or tubes

#### APPROVALS AND CERTIFICATIONS:

UL Recognized & CSA Certified, File no. E224053



### ORDERING INFORMATION

USB

A

S

RA

#### SERIES INDICATOR

**USB** = Universal Serial Bus  
**MUSB** = Mini USB  
**MCR** = Micro USB  
**FWC** = IEEE 1394, Firewire  
**MFW** = Mini IEEE 1394, Firewire

#### TYPE

**A** = USB Type "A"  
**A3** = USB 3.0 Type "A"  
**B** = USB Type "B"  
**B3** = USB 3.0 Type "B"  
**AB** = USB Type "AB" (Mini) mid-mount  
**B4** = USB Type "B" (Mini) 4 pin  
**B5** = USB Type "B" (Mini) 5 pin  
**C** = Firewire (IEEE 1394)  
**D** = Firewire (IEEE 1394B) Bilingual Type  
**P** = Firewire Plug (IEEE 1394)  
**AP** = USB Type A Plug  
**BP** = USB Type B Plug  
**AB1** = USB Type AB (Mini Top Mount)

#### MOUNTING ANGLE

**RA** = Right Angle  
**RU** = Right Angle Upright  
**VT** = Vertical Mount  
**S** = Wire Termination (Plug Only)

#### PORTS

**S** = Single port  
**D** = Dual port  
**T** = Triple port  
**Q** = Quad port

#### OPTIONS:

Add as Suffix to basic part no.

**SMT** = Surface Mount Leads with Hi-Temp insulator for Hi-Temp soldering processes up to 260°C

**TSMT** = True Surface Mount Leads with Hi-Temp insulator for Hi-Temp soldering processes up to 260°C

**30** = 30 μin gold plating in contact area

**WT** = White color insulator

**HT** = Hi-Temp insulator for Hi-Temp soldering processes up to 260°C (Add this option for thru-hole products only. All SMT products are manufactured with Hi-Temp insulators)

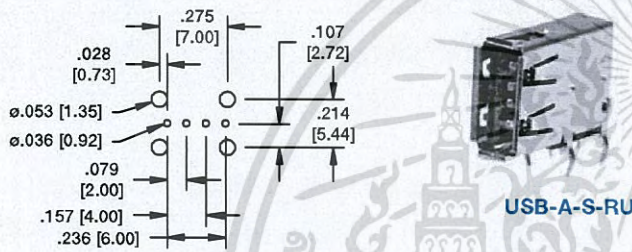
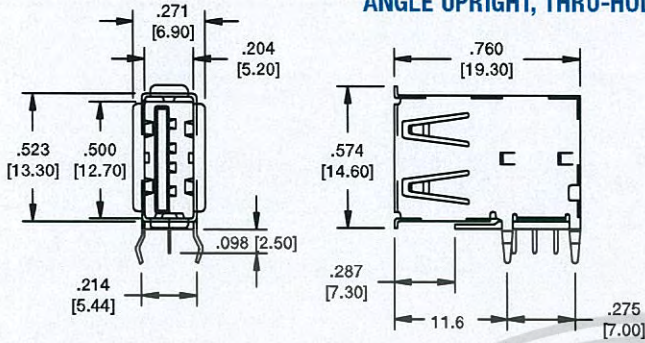
**T/R** = Tape & Reel packaging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ [www.adam-tech.com](http://www.adam-tech.com) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### USB 2.0, TYPE A ANGLE UPRIGHT, THRU-HOLE

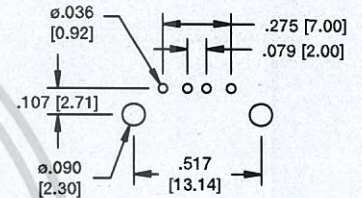
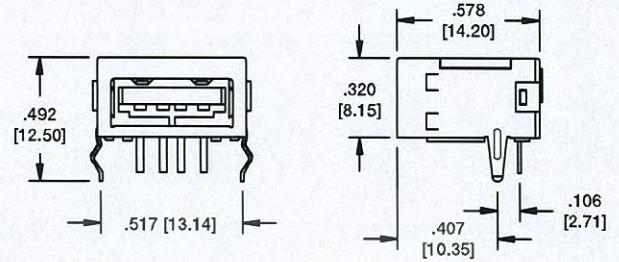


Recommended PCB Layout



USB-A-S-RU

#### USB 2.0, TYPE A RIGHT ANGLE, THRU-HOLE

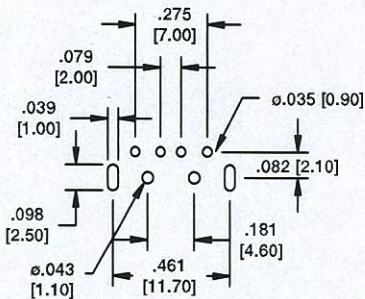
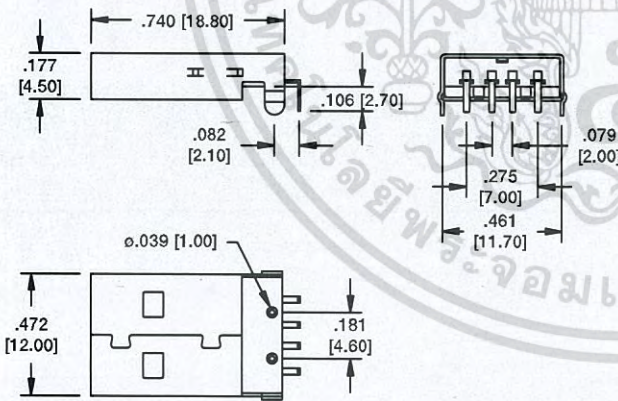


Recommended PCB Layout

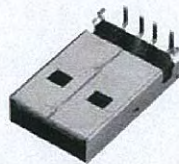


USB-A-S-RA-FS

#### USB 2.0, TYPE A PLUG RIGHT ANGLE, THRU-HOLE

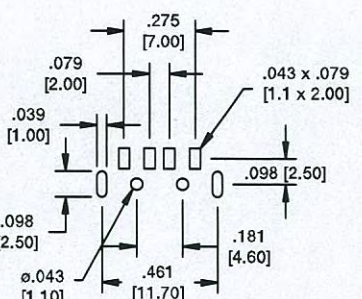
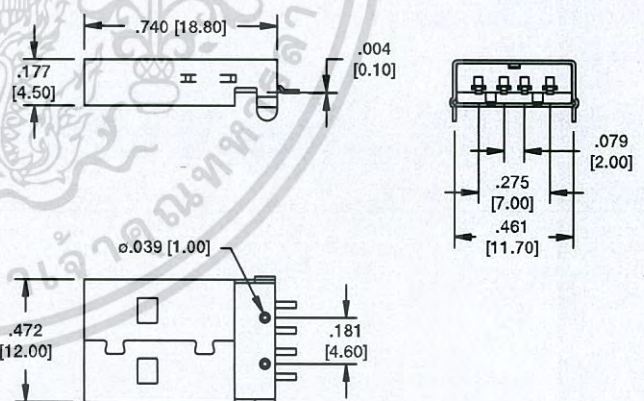


Recommended PCB Layout

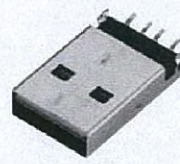


USB-AP-S-RA

#### USB 2.0, TYPE A PLUG RIGHT ANGLE, SMT



Recommended PCB Layout

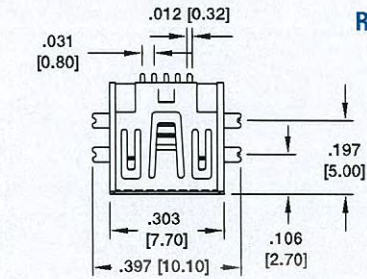


USB-AP-S-RA-SMT

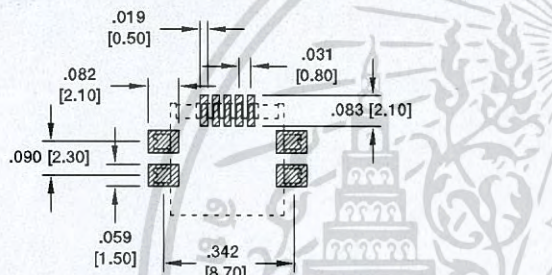
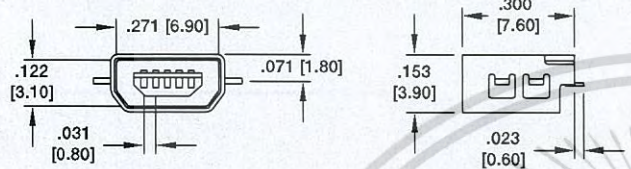
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ [www.adam-tech.com](http://www.adam-tech.com) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### MINI USB 2.0, TYPE AB RIGHT ANGLE MID MOUNT TRUE SMT

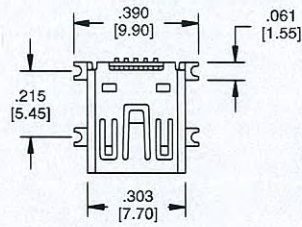


**MUSB-AB-S-RA-TSMT**

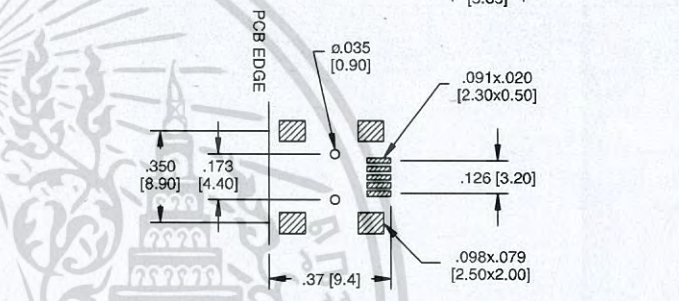
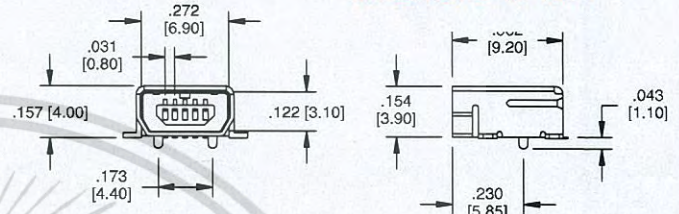


**Recommended PCB Layout**

### MINI USB 2.0, TYPE AB1 RIGHT ANGLE TRUE SMT

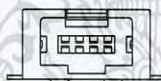
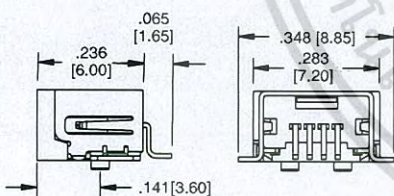


**MUSB-AB1-S-RA-TSMT**



**Recommended PCB Layout**

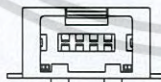
### MINI USB 2.0, TYPE A4 RIGHT ANGLE, TRUE SMT



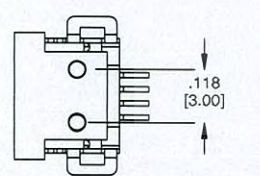
**MUSB-A4-S-RA-SMT-MK  
MIDDLE KEY**



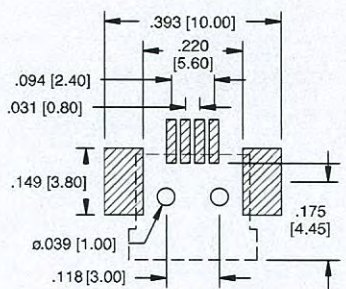
**MUSB-A4-S-RA-SMT-SK  
SINGLE KEY**



**MUSB-A4-S-RA-SMT-DK  
DUAL KEY**

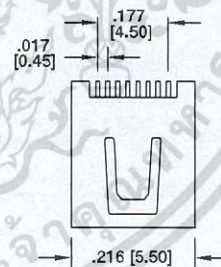


**MUSB-A4-S-RA-SMT-XX**

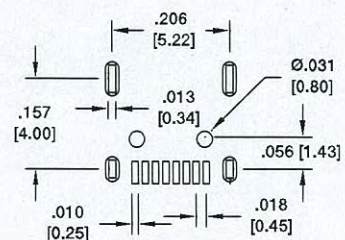
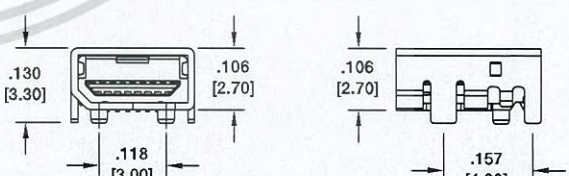


**Recommended PCB Layout**

### MINI USB 2.0, 8 PIN RIGHT ANGLE, SMT



**MUSB-8P-S-RA-SMT**

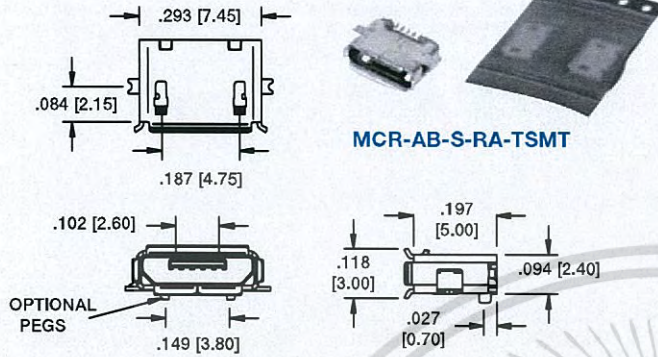


**Recommended PCB Layout**

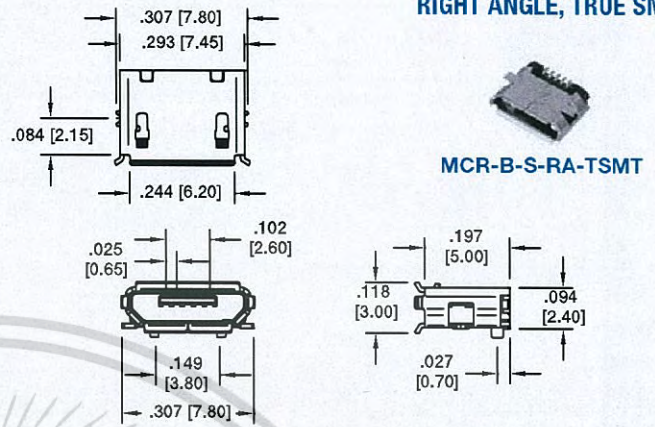
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ กรุณาติดต่อฝ่ายขาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ [www.adam-tech.com](http://www.adam-tech.com) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

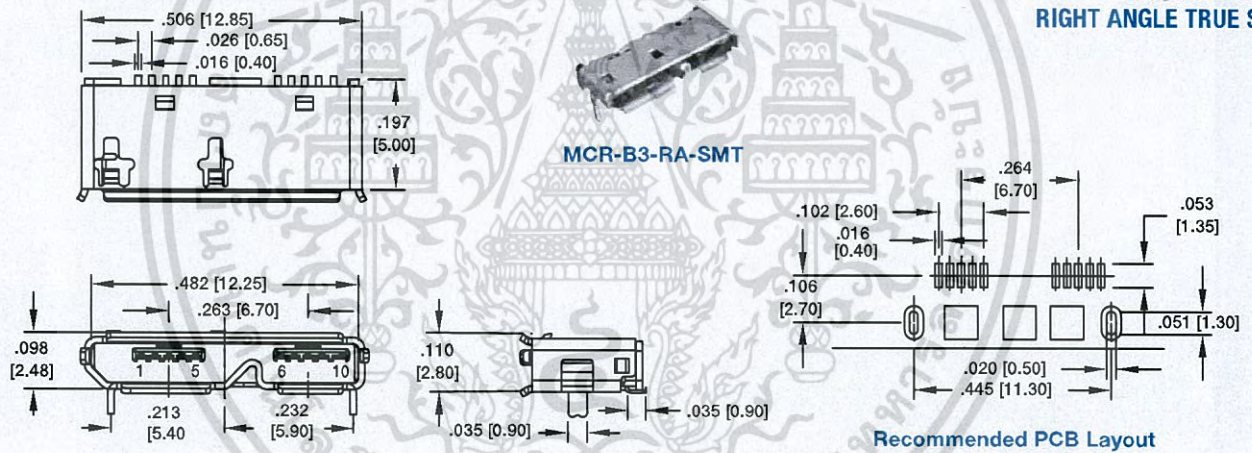
### MICRO USB 2.0, TYPE AB RIGHT ANGLE, TRUE SMT



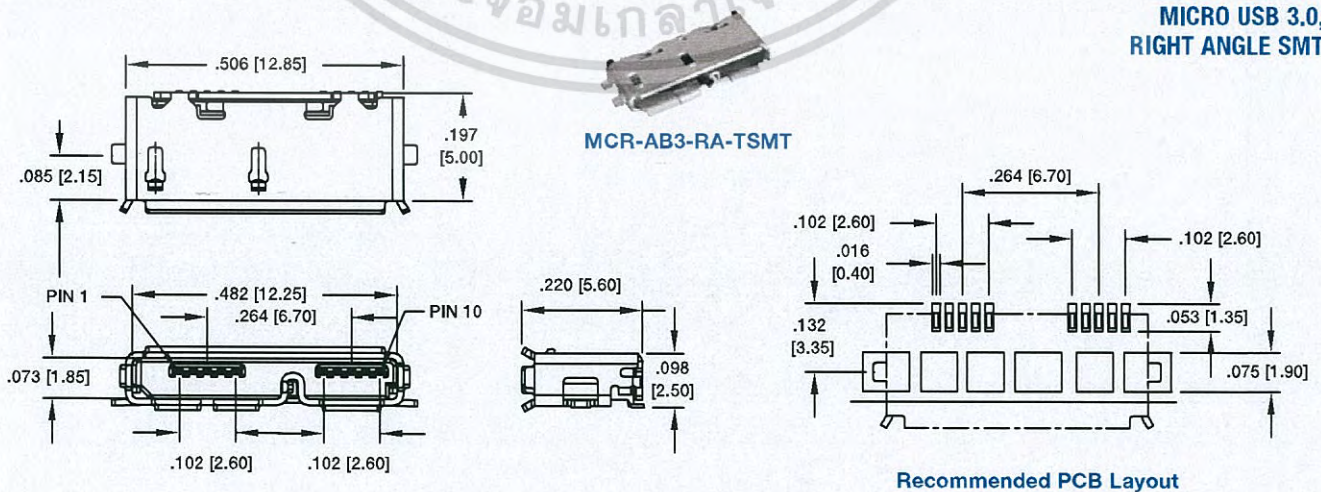
### MICRO USB 2.0, TYPE B RIGHT ANGLE, TRUE SMT



### MICRO USB 3.0, RIGHT ANGLE TRUE SMT



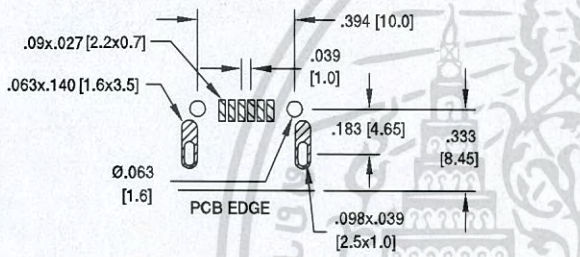
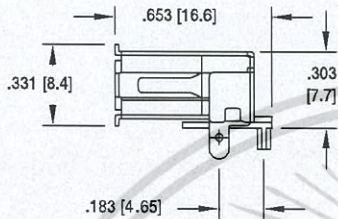
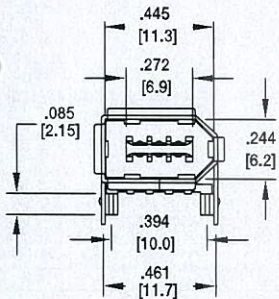
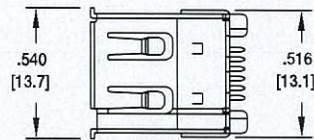
### MICRO USB 3.0, RIGHT ANGLE SMT



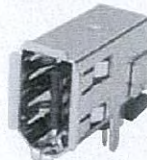


**FWC-C-S-RA-SMT**

**IEEE 1394,  
RIGHT ANGLE, SMT**

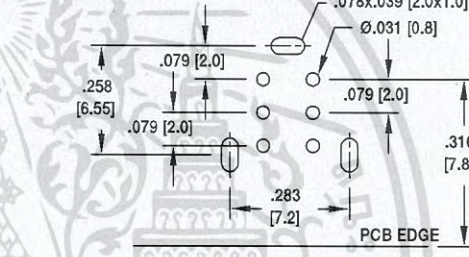
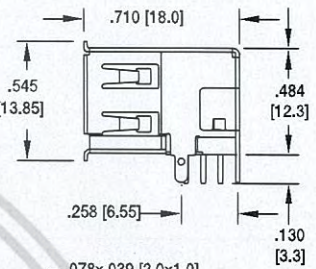
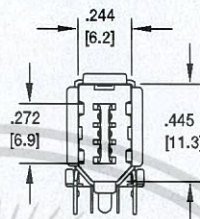
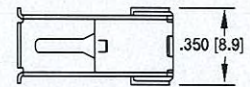


**Recommended PCB Layout**



**FWC-C-S-RU**

**IEEE 1394,  
RIGHT ANGLE UPRIGHT, THRU-HOLE**

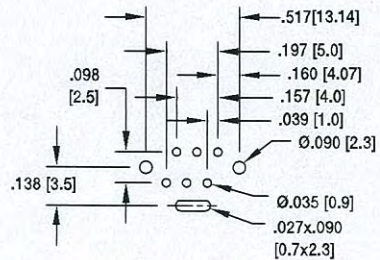
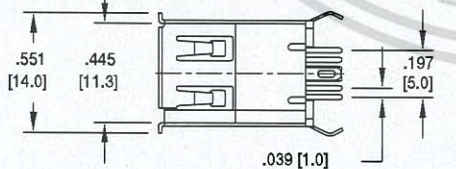
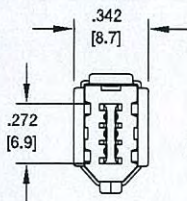
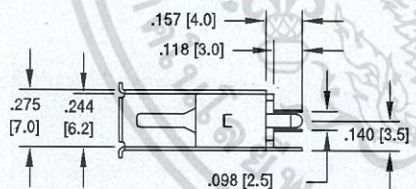


**Recommended PCB Layout**

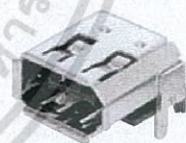


**FWC-C-S-VT**

**IEEE 1394, VERTICAL THRU-HOLE**

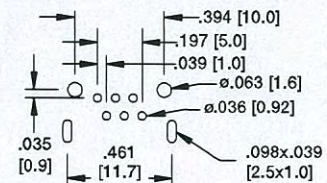
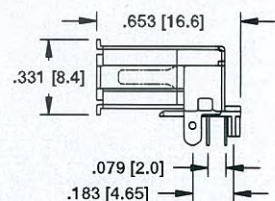
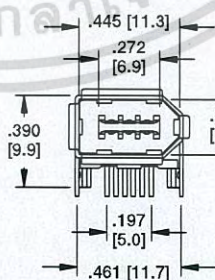
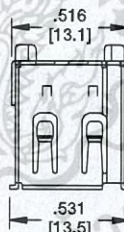


**Recommended PCB Layout**



**FWC-C-S-RA**

**IEEE 1394,  
RIGHT ANGLE THRU-HOLE**



**Recommended PCB Layout**

## LM741 Operational Amplifier

Check for Samples: **LM741**

### FEATURES

- **Overload Protection on the Input and Output**
- **No Latch-Up When the Common Mode Range is Exceeded**

### DESCRIPTION

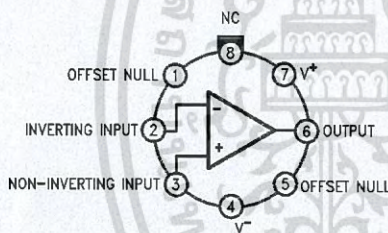
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

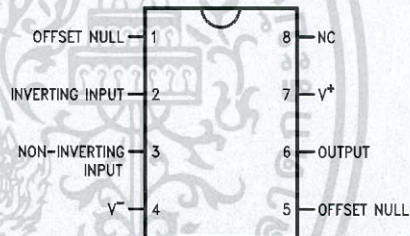
The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Connection Diagrams

LM741H is available per JM38510/10101



**Figure 1. TO-99 Package**  
See Package Number LMC0008C



**Figure 2. CDIP or PDIP Package**  
See Package Number NAB0008A, P0008E



**Figure 3. CLGA Package**  
See Package Number NAD0010A

**⚠** Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

## Typical Application

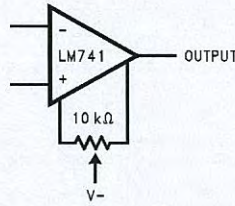


Figure 4. Offset Nulling Circuit



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

## Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)(3)</sup>

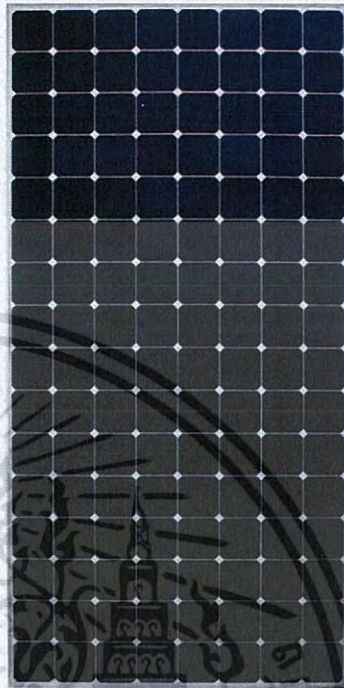
	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation <sup>(4)</sup>	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage <sup>(5)</sup>	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
P0008E-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
NAB0008A- or LMC0008C-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
ESD Tolerance <sup>(6)</sup>	400V	400V	400V

- "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits.
- For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.
- If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_j$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .
- For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

## Electrical Characteristics<sup>(1)</sup>

Parameter	Test Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

- Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .



### 20% EFFICIENCY

SunPower E20 panels are the highest efficiency panels on the market today, providing more power in the same amount of space

### MAXIMUM SYSTEM OUTPUT

Comprehensive inverter compatibility ensures that customers can pair the highest efficiency panels with the highest efficiency inverters, maximizing system output

### REDUCED INSTALLATION COST

More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

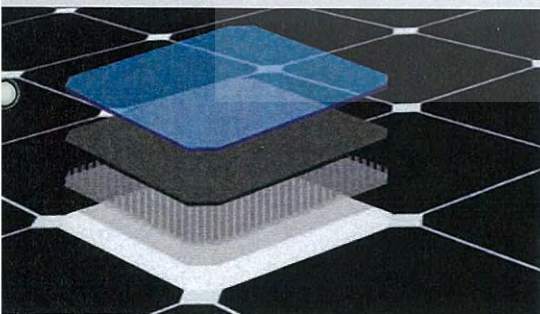
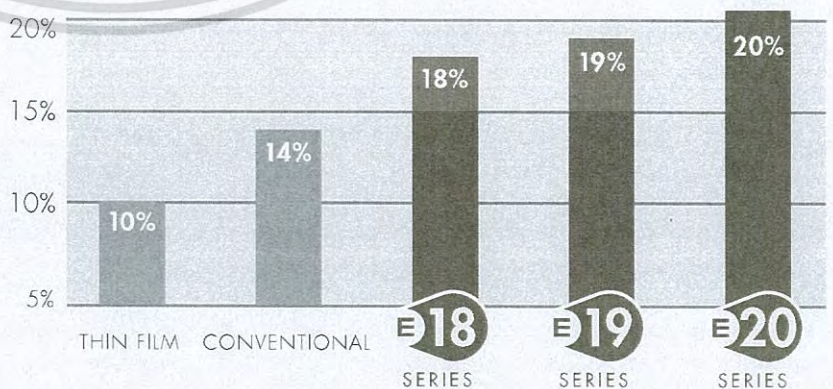
### RELIABLE AND ROBUST DESIGN

SunPower's unique Maxeon™ cell technology and advanced module design ensure industry-leading reliability

### THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR™

SunPower™ E20 Solar Panels provide today's highest efficiency and performance. Powered by SunPower Maxeon™ cell technology, the E20 series provides panel conversion efficiencies of up to 20.1%. The E20's low voltage temperature coefficient, anti-reflective glass and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

### SUNPOWER'S HIGH EFFICIENCY ADVANTAGE



### MAXEON™ CELL TECHNOLOGY

Patented all-back-contact solar cell providing the industry's highest efficiency and reliability

[sunpowercorp.com](http://sunpowercorp.com)



สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 อื่นๆ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายขาย หรือตัวแทนจำหน่ายของเรา

## MODEL: SPR-435NE-WHT-D

### ELECTRICAL DATA

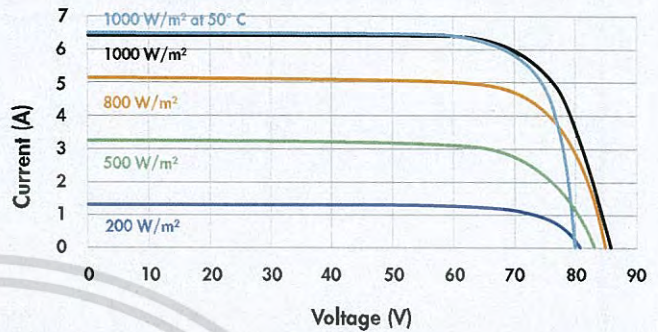
Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, and cell temperature 25° C

Peak Power (+/- 5%)	P <sub>max</sub>	435 W
Cell Efficiency	η	22.5 %
Panel Efficiency	η	20.1 %
Rated Voltage	V <sub>mpp</sub>	72.9 V
Rated Current	I <sub>mpp</sub>	5.97 A
Open-Circuit Voltage	V <sub>oc</sub>	85.6 V
Short-Circuit Current	I <sub>sc</sub>	6.43 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage (V <sub>oc</sub> )	- 235.5 mV/K
	Current (I <sub>sc</sub> )	3.5 mA/K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		20 A
Grounding		Positive grounding not required

### MECHANICAL DATA

Solar Cells	128 SunPower Maxeon™ cells
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 mm
Output Cables	700 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (silver); stacking pins
Weight	56.0 lbs. (25.4 kg)

### I-V CURVE



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

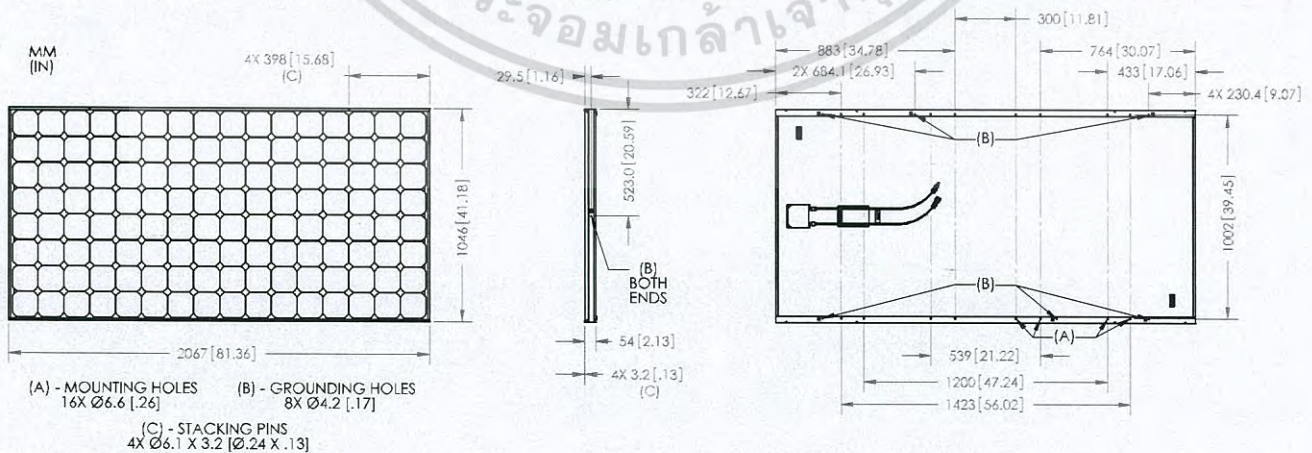
### TESTED OPERATING CONDITIONS

Temperature	- 40° F to +185° F (- 40° C to + 85° C)
Max load	113 psf 550 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa), front (e.g. snow) w/specifed mounting configurations 50 psf 245 kg/m <sup>2</sup> (2400 Pa) front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: (25 mm) at 51 mph (23 m/s)

### WARRANTIES AND CERTIFICATIONS

Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703. Class C Fire Rating

### DIMENSIONS



Please read safety and installation instructions before using this product, visit [sunpowercorp.com](http://sunpowercorp.com) for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower Logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All Rights Reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Document #C01-65754 Rev\*A / ITR\_EN

CS 11\_318

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### INTRODUCTION:

Adam Tech ASJ Series Stereo Jacks are a broad range of 2.5mm and 3.5mm jacks used primarily in computer and multi-media audio applications. This series provides a multitude of sizes and configurations that are available in single or multiple switching forms. Options include choice of full plastic or metal reinforced bodies, single, stacked or ganged versions and color-coded jacks for port identification.

#### FEATURES:

- Broad range of sizes and configurations
- Single or Multiple switching functions
- Plastic or Metal reinforced bodies
- Ganged and Stacked versions
- Color Coded option for Port Identification

#### MATING PLUGS:

All industry standard 2.50mm and 3.50mm mono or stereo plugs.

#### SPECIFICATIONS:

##### Material:

- Standard insulator: PBT or LCP, Glass reinforced, rated UL94V-0
- Optional Hi-Temp insulator: Nylon 6T, rated UL94V-0
- Insulator Color: Black
- Bushing: Brass, Nickel plated
- Contacts: Copper alloy

##### Contact Plating:

Tin over Copper underplate

##### Electrical:

- Operating voltage: 12V DC max.
- Current rating: 1 Amp max.
- Contact resistance: 30 mΩ max. initial
- Insulation resistance: 100 MΩ min.
- Dielectric withstanding voltage: 500V AC for 1 minute

##### Mechanical:

- Insertion force: 4.4 lbs max.
- Withdrawal force: 0.3 kg min
- Mating durability: 5000 cycles min.

##### Temperature Rating:

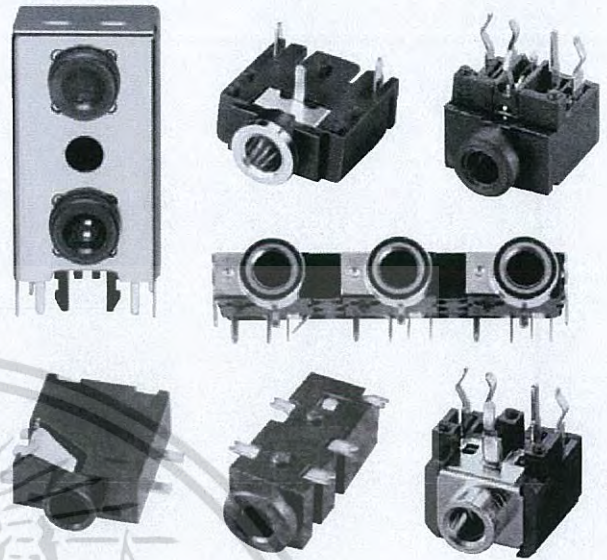
- Operating temperature: -25°C to +85°C
- Soldering process temperature:
  - Standard insulator: 235°C
  - Hi-Temp insulator: 260°C

##### PACKAGING:

Anti-ESD plastic bags or Tape and Reel

##### APPROVALS AND CERTIFICATIONS:

UL Recognized & CSA Certified, File no. E224053



#### ORDERING INFORMATION

ASJ

1

3

**SERIES INDICATOR**  
ASJ = Stereo Jack

**CONTACT FORMS**  
(see page 207-209 for individual schematics)

#### JACK TYPE

- 1, 5, 6, 7, 12, 15, 18, 37, 38, 40, 41, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113
- (see page 209-214)

#### OPTIONS:

Add designator(s) to end of part number

**E** = No back cover (Type 1 only)

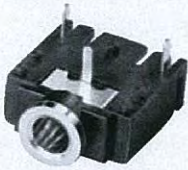
**M** = M6 x 0.5 threaded bushing

**HT** = Hi-Temp Nylon 6T insulator for Hi-Temp soldering processes up to 260°C

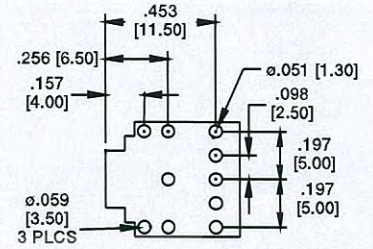
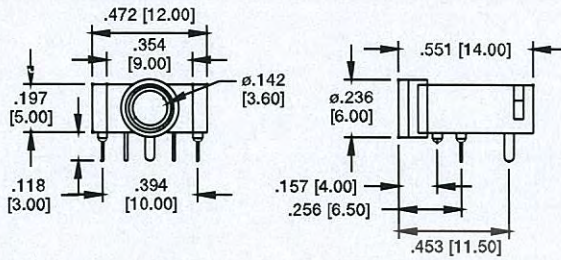
**TR** = Tape & Reel packaging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ www.adam-tech.com เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ASJ-1

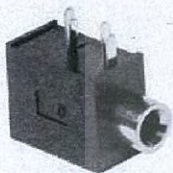


ASJ-1-3

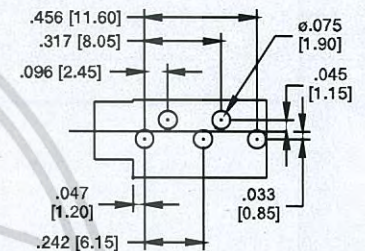
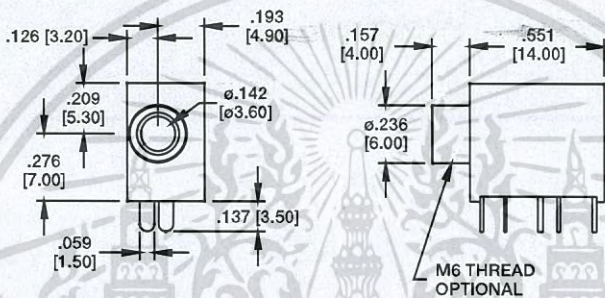


Recommended PCB Layout

#### ASJ-5



ASJ-5-4A

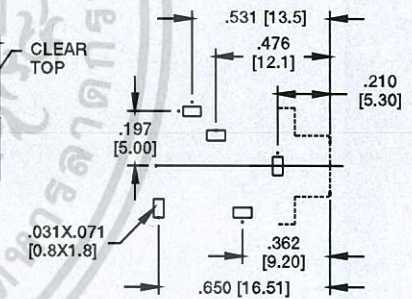
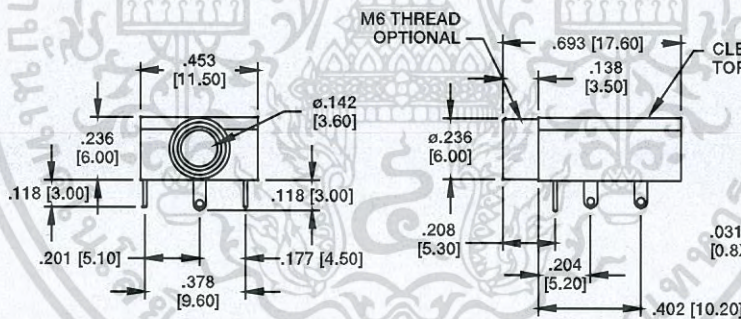


Recommended PCB Layout

#### ASJ-37



ASJ-37-5-M

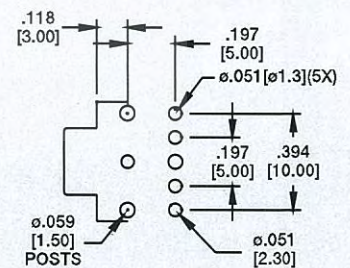
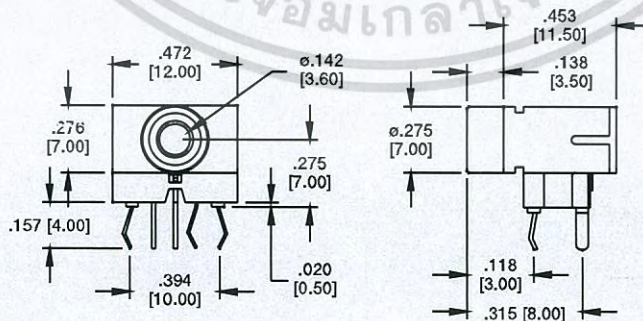


Recommended PCB Layout

#### ASJ-6



ASJ-6-5



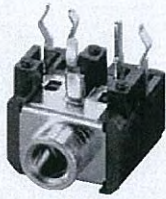
Recommended PCB Layout

CONTACT FORM	FORM 2	FORM 3	FORM 3A	FORM 4A	FORM 4B	FORM 5
SCHEMATIC						

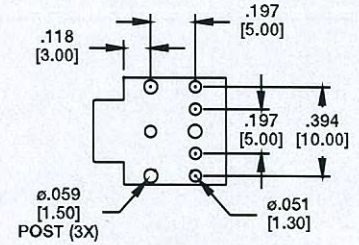
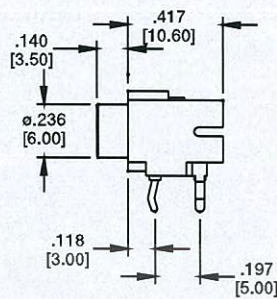
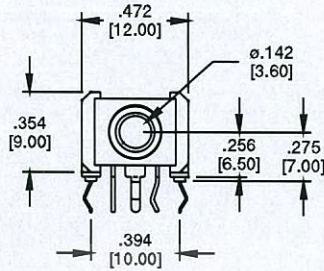
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับเป็นเอกสารที่จำหน่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

#### ASJ-7

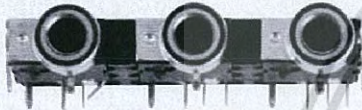


ASJ-7-5

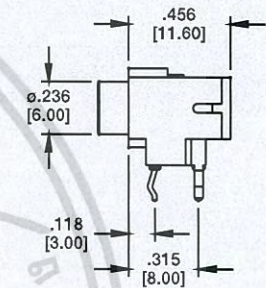
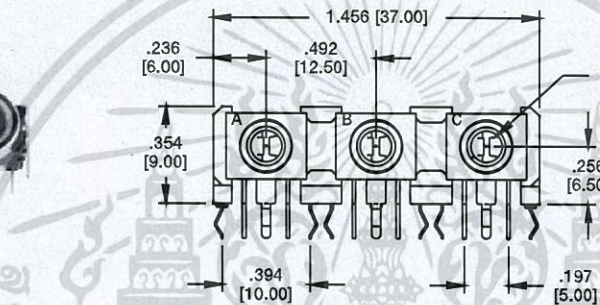


Recommended PCB Layout

#### ASJ-40



ASJ-40-4A

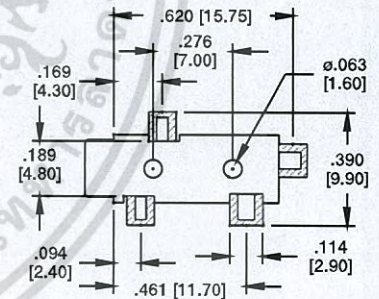
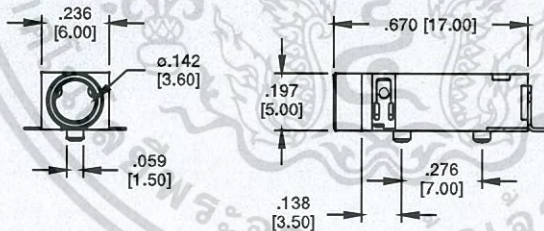


Recommended PCB Layout

#### ASJ-15

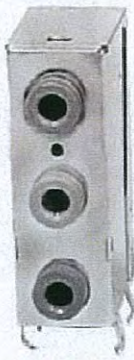


ASJ-15-4B

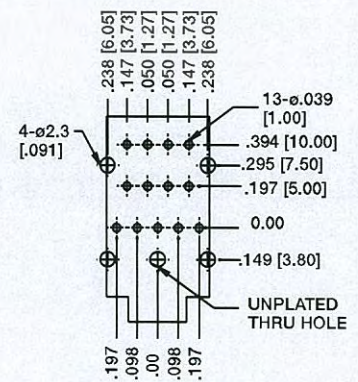
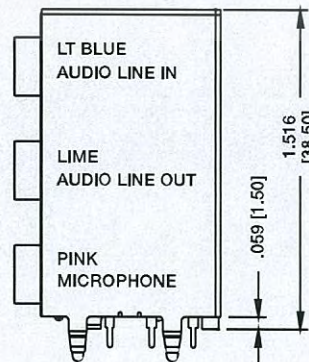
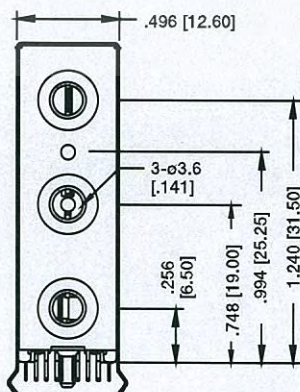


Recommended PCB Layout

#### ASJ-41

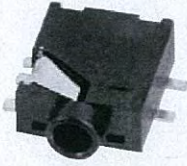


ASJ-41-5

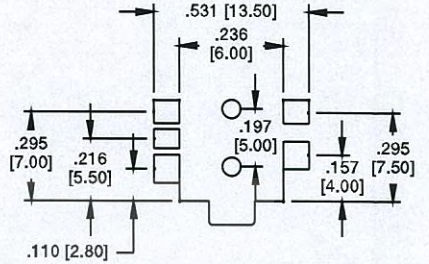
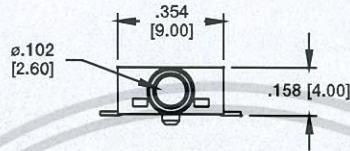
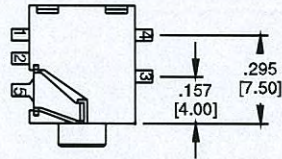
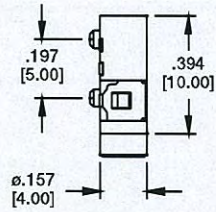


Recommended PCB Layout

### ASJ-12



ASJ-12-5

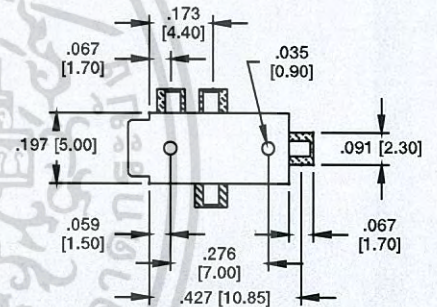
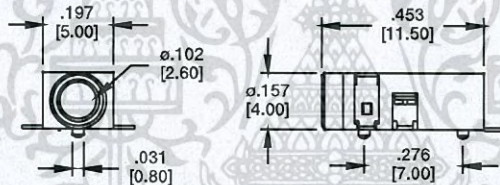


Recommended PCB Layout

### ASJ-18



ASJ-18-4B

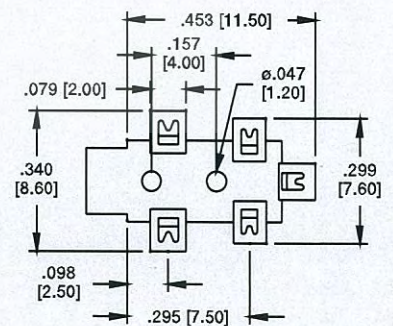
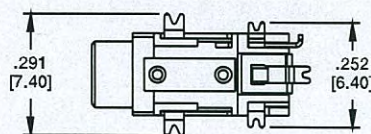
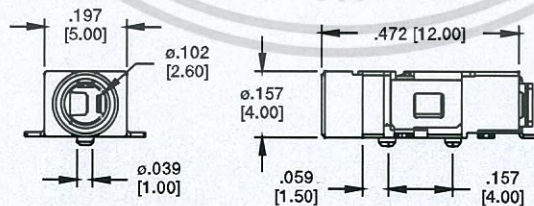


Recommended PCB Layout

### ASJ-38

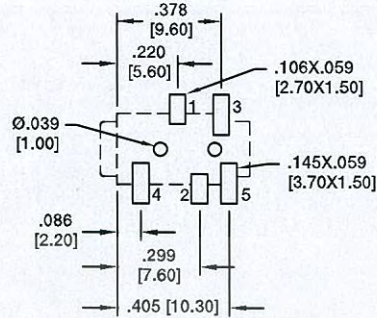
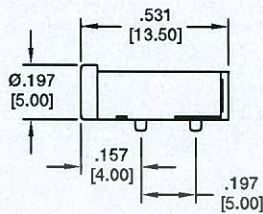
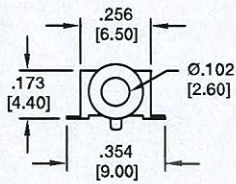


ASJ-38-5



Recommended PCB Layout

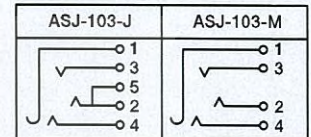
#### ASJ-103



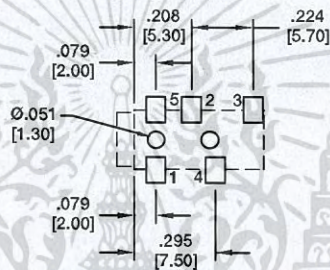
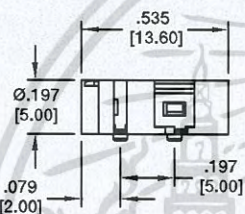
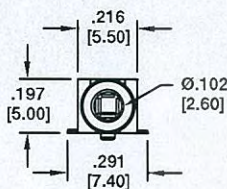
Recommended PCB Layout



ASJ-103-J



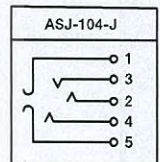
#### ASJ-104



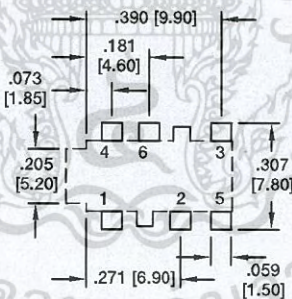
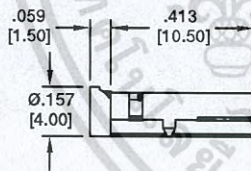
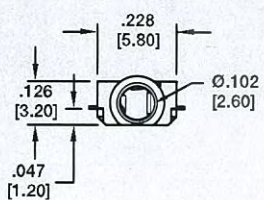
Recommended PCB Layout



ASJ-104-J



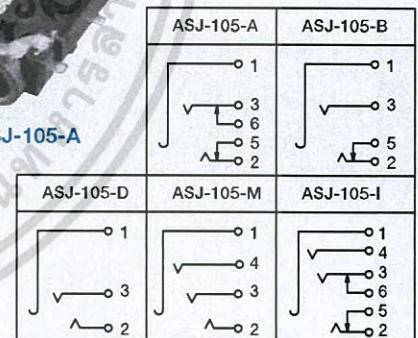
#### ASJ-105



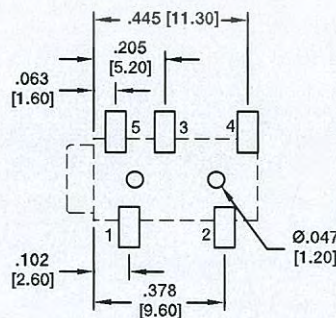
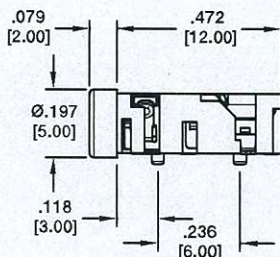
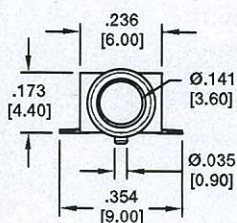
Recommended PCB Layout



ASJ-105-A



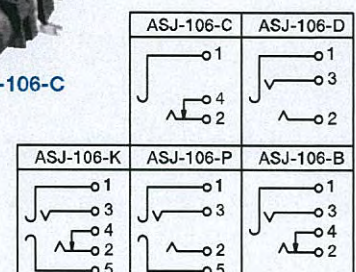
#### ASJ-106



Recommended PCB Layout



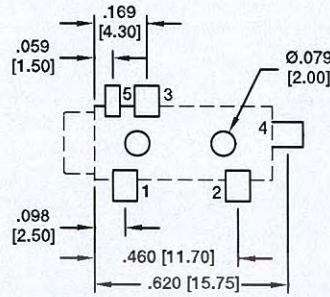
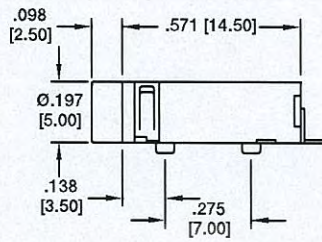
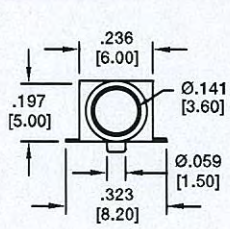
ASJ-106-C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ASJ-107

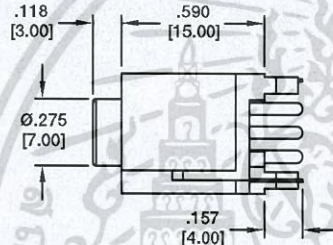
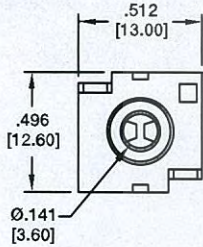


ASJ-107-B

ASJ-107-B	ASJ-107-C
ASJ-107-D	ASJ-107-F
ASJ-107-A	

Recommended PCB Layout

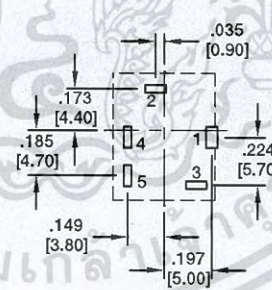
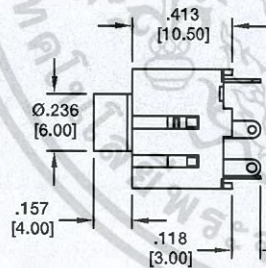
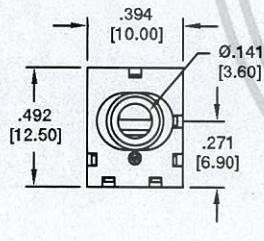
### ASJ-108



ASJ-108-A

ASJ-108-A	ASJ-108-B	ASJ-108-C	ASJ-108-D	ASJ-108-G
ASJ-108-F	ASJ-108-L	ASJ-108-N	ASJ-108-K	ASJ-108-W

### ASJ-109

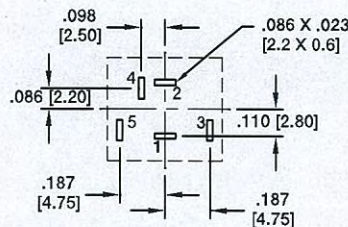
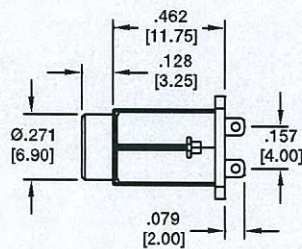
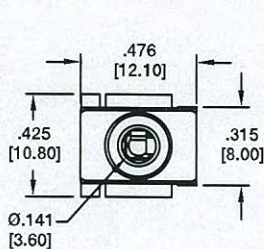


ASJ-109-A

Recommended PCB Layout

ASJ-109-A	ASJ-109-B	ASJ-109-D
-----------	-----------	-----------

### ASJ-110

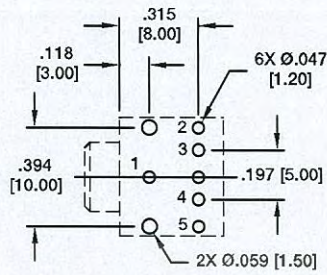
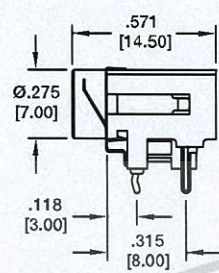
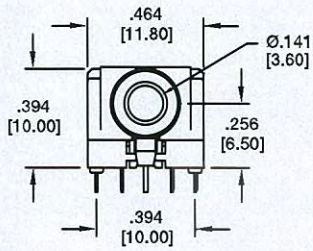


ASJ-110-A

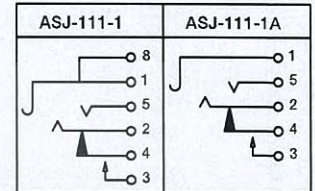
Recommended PCB Layout

ASJ-110-L
-----------

### ASJ-111

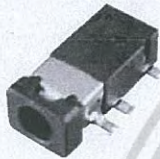


ASJ-111-1

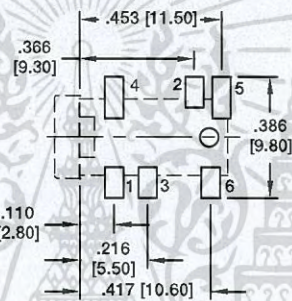
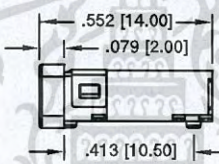
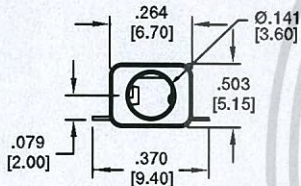


Recommended PCB Layout

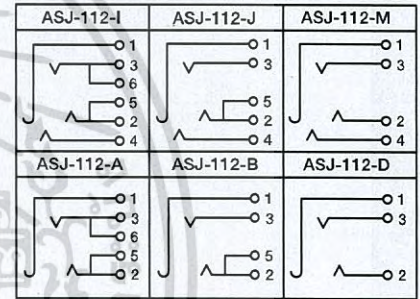
### ASJ-112



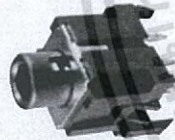
ASJ-112-J



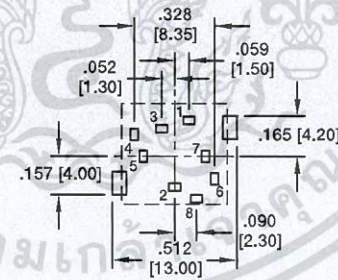
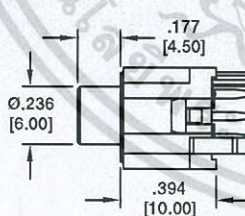
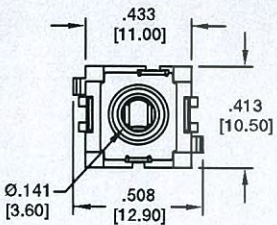
Recommended PCB Layout



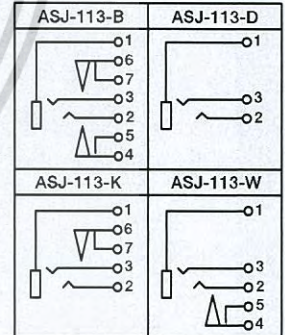
### ASJ-113



ASJ-113-B



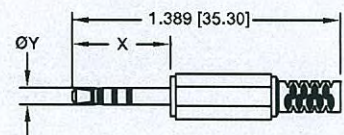
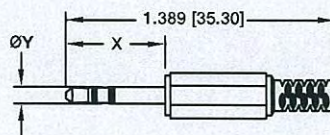
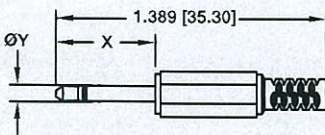
Recommended PCB Layout



### MONO AUDIO PLUG

### STEREO AUDIO PLUG 2 CHANNEL

### STEREO AUDIO PLUG 3 CHANNEL



DIMENSION	X	Y
ASP-2.5-M	.468 [11.90]	Ø.098 [2.50]
ASP-3.5-M	.590 [15.00]	Ø.137 [3.50]

DIMENSION	X	Y
ASP-2.5-S	.468 [11.90]	Ø.098 [2.50]
ASP-3.5-S	.590 [15.00]	Ø.137 [3.50]

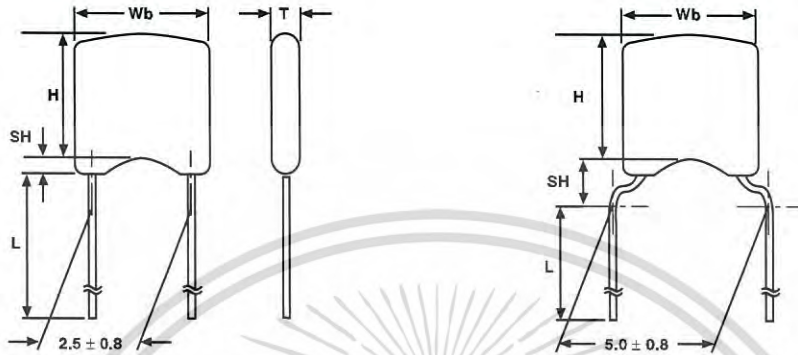
DIMENSION	X	Y
ASP-2.5-S3	.468 [11.90]	Ø.098 [2.50]
ASP-3.5-S3	.590 [15.00]	Ø.137 [3.50]

## Dipped Radial Multilayer Ceramic Capacitors for 50 - 100 Vdc

### DIMENSIONS



RoHS  
COMPLIANT



**L2**  
Component outline for  
Lead spacing  $2.5 \pm 0.8$  mm  
(straight leads)

**H5**  
Component outline for  
Lead spacing  $5.0 \pm 0.8$  mm  
(flat bent leads)

L2 and H5 are preferred styles



**K2**  
Component outline for  
Lead spacing  $2.5 \pm 0.8$  mm  
(outside kink)

**K5**  
Component outline for  
Lead spacing  $5.0 \pm 0.8$  mm  
(outside kink)

### CAPACITOR DIMENSIONS AND WEIGHT

SIZE	Wb <sub>MAX</sub>	H <sub>MAX</sub>	T <sub>MAX</sub>	MAX. SEATING HEIGHT (SH)				WEIGHT (g)
				L2	H5	K2	K5	
15	4.0 (0.15)	4.0 (0.15)	2.5 (0.100)	1.58 (0.062)	2.54 (0.100)	3.50 (0.140)	3.50 (0.140)	≈ 0.15
20	5.0 (0.20)	5.0 (0.20)	3.2 (0.13)	1.58 (0.062)	2.54 (0.100)	3.50 (0.140)	3.50 (0.140)	≈ 0.16

**Note**

1. Bulk packed types have a standard lead length L = 25.4 mm (1.0 inch) minimum
2. Dimensions between parentheses are in inches
3. Thickness is defined as T



QUICK REFERENCE DATA						
DESCRIPTION	VALUE					
Capacitance range	10 pF to 6800 pF		100 pF to 1.0 μF		0.1 μF to 1.0 μF	
Rated DC voltage	50 V	100 V	50 V	100 V	50 V	100 V
Tolerance on capacitance	± 5 %/± 10 %		± 10 %/± 20 %		+ 80/- 20 %	
Dielectric Code	C0G (NP0)		X7R		Y5V	

ORDERING INFORMATION									
<b>K</b>	<b>103</b>	<b>K</b>	<b>15</b>	<b>X7R</b>	<b>F</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>H</b>	<b>5</b>
PRODUCT TYPE	CAPACITANCE CODE	CAPACITANCE TOLERANCE	SIZE CODE	TEMP. CHAR.	RATED VOLTAGE	LEAD DIAMETER	LEAD LENGTH/PACKAGING	LEAD STYLE	LEAD SPACING
K = Mono-Kap	Two significant digits followed by the number of zeros. example: 103 = 10 000 pF	J = ± 5 % K = ± 10 % M = ± 20 % Z = + 80/- 20 %	Ref. mechanical spec.	C0G X7R Y5V	F = 50 V <sub>DC</sub> H = 100 V <sub>DC</sub>	5 = 0.5 mm (0.020")	3 = bulk, with lead length of 30 ± 5.0 (1.25") T = Tape and Reel U = Ammo pack	L = Straight Lead H = High Seated assy	2 = 2.5 (0.100") 5 = 5.0 (0.200")

## CAPACITANCE RANGE CHART C0G (NP0) DIELECTRIC

SIZE		15		20	
RATED VOLTAGE		50	100	50	100
VALUE	CODE				
10 pF	100	.	.		
12 pF	120	.	.		
15 pF	150	.	.		
18 pF	180	.	.		
22 pF	220	.	.		
27 pF	270	.	.		
33 pF	330	.	.		
39pF	390	.	.		
47 pF	470	.	.		
56 pF	560	.	.		
68 pF	680	.	.		
82 pF	820	.	.		
100 pF	101	.	.		
120 pF	121	.	.		
150 pF	151	.	.		
180 pF	181	.	.		
220 pF	221	.	.		
270 pF	271	.	.		
330 pF	331	.	.		
390 pF	391	.	.		
470 pF	471	.	.		
560 pF	561	.	.		
680 pF	681	.	.		
820 pF	821	.	.		
1000 pF	102	.	.		.
1200 pF	122	.	.		.
1500 pF	152	.	.		.
1800 pF	182	.	.		.
2200 pF	222	.	.		.
2700 pF	272	.	.	.	.
3300 pF	332	.	.	.	.
3900 pF	392	.	.	.	.
4700 pF	472	.	.	.	.
5600 pF	562	.	.	.	.
6800 pF	682	.	.	.	.
8200 pF	822	.	.	.	.
0.01 $\mu$ F	103	.	.		

## X7R DIELECTRIC

SIZE		15		20	
RATED VOLTAGE		50	100	50	100
VALUE	CODE				
100 pF	101	.	.		
120 pF	121	.	.		
150 pF	151	.	.		
180 pF	181	.	.		
220 pF	221	.	.		
270 pF	271	.	.		
330 pF	331	.	.		
390 pF	391	.	.		
470 pF	471	.	.		
560 pF	561	.	.		
680 pF	681	.	.		
820 pF	821	.	.		
1000 pF	102	.	.		
1200 pF	122	.	.		
1500 pF	152	.	.		
1800 pF	182	.	.		
2200 pF	222	.	.		
2700 pF	272	.	.	.	.
3300 pF	332	.	.	.	.
3900 pF	392	.	.	.	.
4700 pF	472	.	.	.	.
5600 pF	562	.	.	.	.
6800 pF	682	.	.	.	.
8200 pF	822	.	.	.	.
0.01 $\mu$ F	103	.	.		
0.012 $\mu$ F	123	.	.		
0.015 $\mu$ F	153	.	.		
0.018 $\mu$ F	183	.	.		
0.022 $\mu$ F	223	.	.		
0.027 $\mu$ F	273	.	.		.
0.033 $\mu$ F	333	.	.		.
0.039 $\mu$ F	393	.	.		.
0.047 $\mu$ F	473	.	.		.
0.056 $\mu$ F	563	.	.		.
0.068 $\mu$ F	683	.	.		.
0.082 $\mu$ F	823	.	.		.
0.10 $\mu$ F	104	.	.		.
0.15 $\mu$ F	154	.	.	.	.
0.22 $\mu$ F	224	.	.	.	.
0.33 $\mu$ F	334	.	.	.	.
0.47 $\mu$ F	474	.	.	.	.
0.68 $\mu$ F	684	.	.	.	.
1.0 $\mu$ F	105	.	.	.	.

## Y5V DIELECTRIC

SIZE		15		20	
RATED VOLTAGE		50	100	50	100
VALUE	CODE				
0.01 $\mu$ F	103	.	.		
0.015 $\mu$ F	153	.	.		
0.022 $\mu$ F	223	.	.		
0.033 $\mu$ F	333	.	.		
0.047 $\mu$ F	473	.	.		
0.068 $\mu$ F	683	.	.		
0.10 $\mu$ F	104	.	.		
0.15 $\mu$ F	154	.	.		.
0.22 $\mu$ F	224	.	.		.
0.33 $\mu$ F	334	.	.		.
0.47 $\mu$ F	474	.	.	.	.
0.68 $\mu$ F	684	.	.	.	.
1.0 $\mu$ F	105	.	.	.	.

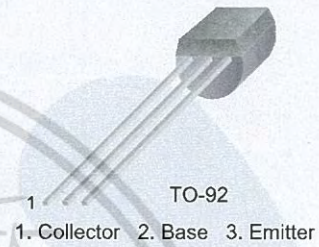


# BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550

## NPN Epitaxial Silicon Transistor

### Features

- Switching and Amplifier
- High-Voltage: BC546,  $V_{CE0} = 65\text{ V}$
- Low-Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556, BC557, BC558, BC559, and BC560



### Ordering Information

Part Number	Marking	Package	Packing Method
BC546ABU	BC546A	TO-92 3L	Bulk
BC546ATA	BC546A	TO-92 3L	Ammo
BC546BTA	BC546B	TO-92 3L	Ammo
BC546BTF	BC546B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC546CTA	BC546C	TO-92 3L	Ammo
BC547ATA	BC547A	TO-92 3L	Ammo
BC547B	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BBU	BC547B	TO-92 3L	Bulk
BC547BTA	BC547B	TO-92 3L	Ammo
BC547BTF	BC547B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC547CBU	BC547C	TO-92 3L	Bulk
BC547CTA	BC547C	TO-92 3L	Ammo
BC547CTFR	BC547C	TO-92 3L	Tape and Reel
BC548BU	BC548	TO-92 3L	Bulk
BC548BTA	BC548B	TO-92 3L	Ammo
BC548CTA	BC548C	TO-92 3L	Ammo
BC549BTA	BC549B	TO-92 3L	Ammo
BC549BTF	BC549B	TO-92 3L	Tape and Reel
BC549CTA	BC549C	TO-92 3L	Ammo
BC550CBU	BC550C	TO-92 3L	Bulk
BC550CTA	BC550C	TO-92 3L	Ammo

BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 — NPN Epitaxial Silicon Transistor

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	BC546	80	V
		BC547 / BC550	50	
		BC548 / BC549	30	
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	BC546	65	V
		BC547 / BC550	45	
		BC548 / BC549	30	
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	BC546 / BC547	6	V
		BC548 / BC549 / BC550	5	
$I_C$	Collector Current (DC)	100	mA	
$P_C$	Collector Power Dissipation	500	mW	
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$	
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

### Electrical Characteristics

Values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{CBO}$	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		90	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		250	600	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		700		mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		900		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	580	660	700	mV
		$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$			720	
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF
$C_{ib}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, f = 1\text{ kHz}, R_G = 2\text{ k}\Omega$	2.0	10.0	dB
		BC549 / BC550		1.2	4.0	
		BC549	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, R_G = 2\text{ k}\Omega, f = 30\text{ to }15000\text{ MHz}$	1.4	4.0	
		BC550	1.4	3.0		

### $h_{FE}$ Classification

Classification	A	B	C
$h_{FE}$	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

Typical Performance Characteristics

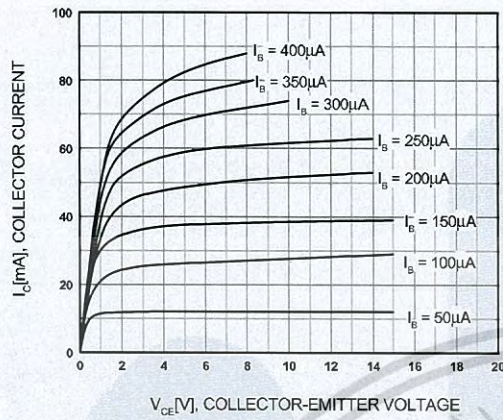


Figure 1. Static Characteristic

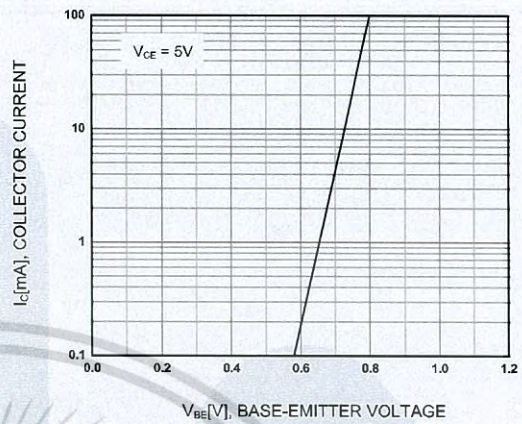


Figure 2. Transfer Characteristic

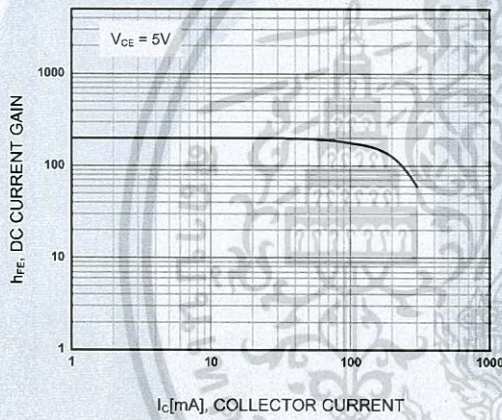


Figure 3. DC Current Gain

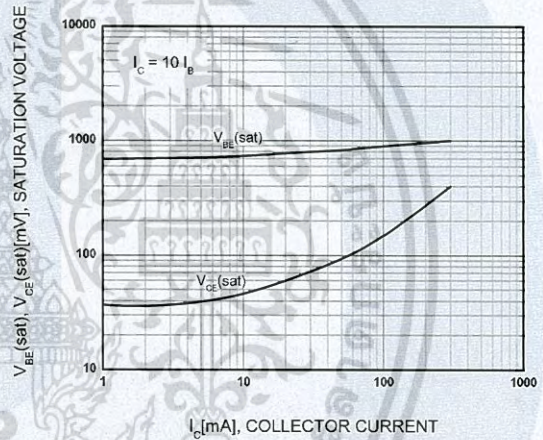


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage and Collector-Emitter Saturation Voltage

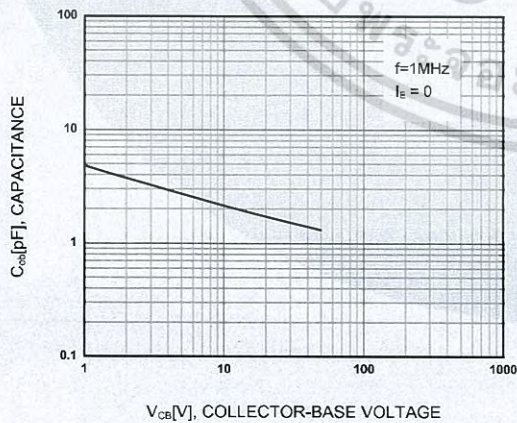


Figure 5. Output Capacitance

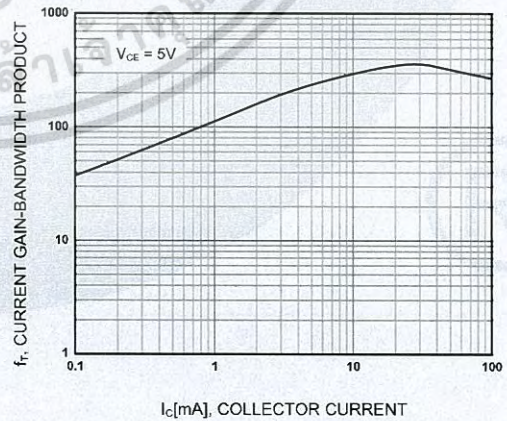


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

# 5V AC-DC Switching Power Supply



## Specifications

### AC Input

Voltage Range: 90 – 264 VAC  
 Input Frequency: 47 – 63 Hz  
 Inrush Current: 30A Max



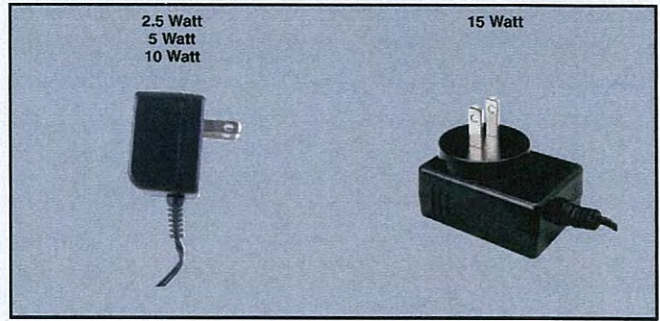
### DC Output

Voltage Range: 4.5V – 5.6V  
 Current Range: 0.1A – 3A

### Reliability

Insulation Resistance: 50MΩ Min (Input to Output, DC 500V)  
 MTBF: 50000 Hours

### Plug Types



## Ordering Information

NTE Type No.	DC Output		Plug Type
	Amps	Wattage	
57-5D-500-1	500mA	2.5	2.1mm x 5.5mm Jack
57-5D-500-2	500mA	2.5	2.5mm x 5.5mm Jack
57-5D-500-3	500mA	2.5	1.35mm ID x 3.5mm OD Plug
NEW 57-5D-500-4	500mA	2.5	2.1mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-500-5	500mA	2.5	2.5mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-1000-4	1A	5	2.1mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-1000-5	1A	5	2.5mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-2000-4	2A	10	2.1mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-2000-5	2A	10	2.5mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-3000-4	3A	15	2.1mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-5D-3000-5	3A	15	2.5mm ID x 5.5mm OD Plug

# 6V AC-DC Switching Power Supply



## Specifications

### AC Input

Voltage Range: 90 – 264 VAC  
 Input Frequency: 47 – 63 Hz  
 Inrush Current: 30A Max



### DC Output

Voltage Range: 5.5V – 6.8V  
 Current Range: 0.1A – 0.5A

### Reliability

Insulation Resistance: 50MΩ Min (Input to Output, DC 500V)  
 MTBF: 50000 Hours

### Plug Types



## Ordering Information

NTE Type No.	DC Output		Plug Type
	Amps	Wattage	
57-6D-500-1	500mA	3	2.1mm x 5.5mm Jack
57-6D-500-2	500mA	3	2.5mm x 5.5mm Jack
57-6D-500-3	500mA	3	1.35mm ID x 3.5mm OD Plug
NEW 57-6D-500-4	500mA	3	2.1mm ID x 5.5mm OD Plug
NEW 57-6D-500-5	500mA	3	2.5mm ID x 5.5mm OD Plug

# PowerWalker DC SecureAdapter 12V

12V DC UPS System

25W/2.1A DC UPS

Output Coaxial DC Connector

LED Indicators for UPS status

2.6Ah (2600mAh) Lithium-Ion Battery

Perfect solution for routers, access points, VoIP, IP cameras, Security Systems, Alarms, Modems, Decoders, etc



Item-No. 10120431

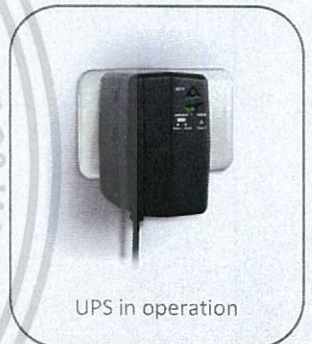
## Product Features

PowerWalker DC SecureAdapter is universal solution for small electronics. Replace your 12VDC adapter with our UPS and secure your devices from power outages. It can prevent disconnection during business video calls or data synchronising, it will keep essentials of your business operating but may also protect your property or health supporting all necessary monitoring devices. Typical applications are:

- Routers and switches,
- Signal amplifiers and repeaters,
- POE systems,
- Access points,
- security systems,
- smart home control panels,
- VoIP phones,
- IP cameras,
- modems,
- decoders,
- Media players,
- medical monitors

and many other 12VDC max 25W devices.

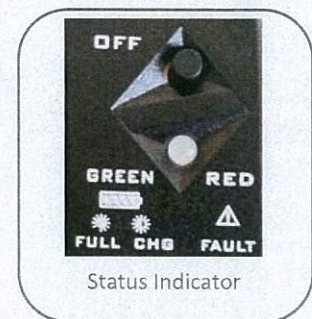
The UPS is equipped with 1m long cable and its compact size allows fitting it between other plugs in an extension cord. 12VDC is a global standard and 25W output on coaxial DC connector (OD 5.5mm / ID 2.5mm) will be compatible with most of your devices. High quality Samsung Lithium-Ion battery provides 3h backup time for typical router.



UPS in operation



Battery



Status Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Technical Details

### Product Features

#### Input

Nominal Input Voltage	230VAC
Acceptable Input Voltage Range	90-264VAC
Acceptable Input Frequency Range	50Hz / 60Hz
Surge Protection	1.5kV

#### Output

Output Power (max.)	25W/2.1A
Output Voltage	12VDC +/-5%

#### Battery

Type	3.7VDC / 2.6Ah (2600mAh) Lithium-ion
Recharge Time (internal Battery)	3h for 90% without load after complete discharge

#### Protection

Battery	Deep Discharge, Over-charge and Short Circuit Protection
Input/Output	Fuse for Short-circuit and overload protection

#### Indicators

Full Battery	Green lighting
Charging	Green flashing
Discharging	Green quick flashing
Fault	Red lighting

### Connections

Outlets	Coaxial DC Connector OD 5.5mm / ID 2.5mm 1m long cable
---------	--

### Product Details

Dimensions	68 x 42 x 74 mm (WxHxD)
Colour	Black
Weight	0.2kg
Model Code	PowerWalker DC SecureAdapter 12V

### Package Content

Package Content	PowerWalker DC SecureAdapter 12V, manual
-----------------	--

### Logistic Data

Giftbox Language	EN
Manual Language	EN
Dimension/Giftbox	113 x 52 x 104 mm (WxLxH)
Weight/Giftbox	0.21kg
Pieces/Carton	56
Dimension/Carton	470 x 390 x 225 mm (WxLxH)
Weight/Carton	17kg
Carton/Layer	6
Carton/Pallet	30
Item Number	10120431
EAN	4260074977943
Warranty	24 Months



Restart/Off Button

LED indicator

#### Backup Time Table : (For Reference)

12V/1A Router	150 mins
12V/1.5A Router	120 mins
12V/2.0A Router	90 mins



Router



VOIP Phone Systems



Surveillance Systems



Modem



Security Systems

Version: EN 23/09/2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เราขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขข้อผิดพลาดที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้



Model: GM1351

## Digital Sound Level Meter Operation manual



Version: GM1351-EN-00

- 1 -

### A. Introduction

This equipment has been designed to meet the measurement requirement of Safety Engineers, Health, Industrial Safety offices and Sound Quality control in various environment, which include factory, office, traffic, family, and audio system.

This equipment has the following functions:

1. It is designed according to the IEC651 TYPE2 & ANSI S1.4 TYPE2
2. Modern, compact, portable design
3. Accuracy up to  $\pm 1.5$  dB
4. Measurement range: 30dBA-130 dBA
5. MAX Hold
6. Auto backlight display
7. Auto power OFF

### B. Safety Notice

Operation Environmental condition:

1. Below 2000 meters in height:
2. Humidity: <80%RH
3. Operation temperature: 0-40°C

Maintenance:

Use dry cloth to clean the unit, but never with any solvent.



Figure 1

### C. Calibration Procedures

Please use a Standard Acoustic Calibrator.

1. Turn on the calibrator and set up the status to 94dB@1KHz.
2. Insert the microphone carefully into the 1/2 inch hole of the Calibrator.
3. Turn on the Calibrator and adjust the Potentiometer

inside the battery compartment of the unit (shown in the Figure 1), until the LCD display the desired Level 94.0dB.

\*\*Our products are all well calibrated before Shipment. Recommended recalibration cycle: 1 year.

### D. Name and functions (Figure 2)

1. Electret Condenser Microphone.
2. LCD Display.
3. ON/OFF button
4. Maximum value hold button. (MAX)
5. Light sensor
6. Tripod mounting nut
7. Potentiometer
8. Windscreen

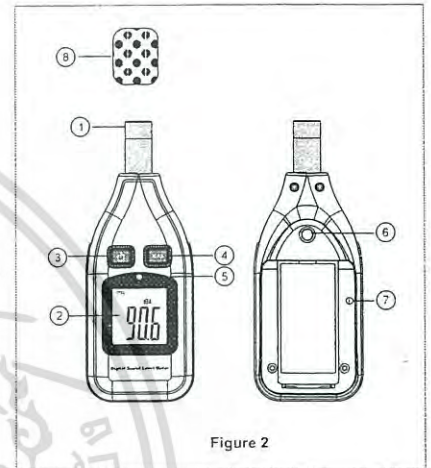


Figure 2

- 2 -

### E. LCD Display (Figure 3)

1. Low battery indication
2. Measuring Value
3. Maximum value icon
4. Measuring unit: dBA

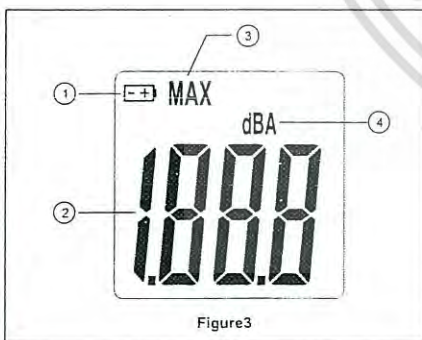



Figure3

### F. Pre-operations

1. Open the battery door and install 9V battery into the battery compartment.
2. Cover the battery door.
3. When Low battery mark "  " appears, please replaced with a new 9V battery. (Figure 4)

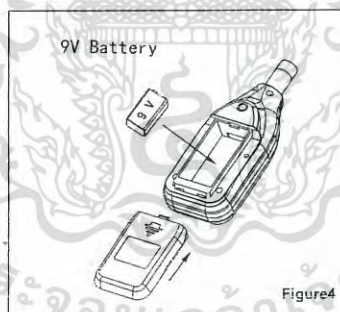




Figure4

### G. Operation.

1. Standard measure mode  
Press to "  " turn on the unit the LCD will display full screen for 1 second. Then it start to measure the current sound level.  
The reading will changed according to the sound level of the current enviroment.
2. Max hold  
Press "MAX" to lock the maximum sound level, the sound level will be locked until the higher value appears to replace. Press "MAX" again to go back the standard measure mode.
3. Auto backlight display  
The light sensor will induct the light intensity of enviroment automatically: when the light intensity is insufficient, the backlight will be turned on automatically. It will changing according to the light intensity.
4. Auto power off  
This unit will shut off automatically in about 11 minutes.

To cancel this function, press "  " continuously till "UOF" display on the LCD, the auto power off function will be renewed in next turn on.

### H. Caution

1. Do not operate the unit at high temperature and high humidity environment.
2. Please take out battery from unit if not in use for any extended period of time.
3. When using the unit in the presence of wind, mount the windscreen to avoid to pick up undesired signals.

### I. Specification

Measuring range	30dBA-130dBA
Accuracy	$\pm 1.5$ dB (94dB@1KHz)
Frequency range	31.5Hz-8.5KHz
Frequency weighting	A
Digital Display	4digits
Resolution	0.1dB
Sample rate	2 times/second
Microphone	1/2 inch electret condenser microphone
Max Hold	MAX
Power supply	9V Battery
Power life	About 30 hours (alkaline battery)
Operating condition	0-40°C, 10-80%RH
Storage condition	-10-60°C, 10-70%RH
Weight	144g (including battery)
Dimension	57*26*149mm

CE

MADE IN CHINA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตก่อนนำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4 -

- 5 -

- 6 -